

DEZEMBER 2025

NO. 8

BAVARIAN JOURNAL

OF APPLIED SCIENCES®



www.jas.bayern

BAVARIAN JOURNAL OF APPLIED SCIENCES®



PRINCIPAL EDITORS

Prof. Dr. Michelle Cummings-Koether
Dr. Kristin Seffer

michelle.cummings-koether@th-deg.de
kristin.seffer@th-deg.de

EDITORIAL TEAM

Simone Lindlbauer (editorial manager)
Esther Kinatader (proofreader)
Diana Karl (typesetting)
Steffen Menzel (technical support)

simone.lindlbauer@th-deg.de
esther.kinatader@th-deg.de
diana.karl@th-deg.de
steffen.menzel@th-deg.de

EDITORIAL BOARD

Prof. Dr. Diane Ahrens (DIT)
Prof. Dr. Tobias Bader (DIT)
Prof. Dr.-Ing. Günther Benstetter (DIT)
Prof. Dr. Robert Feicht (DIT)
Prof. Dr. Andreas Fischer (DIT)
Prof. Dr. Melanie Kappelmann-Fenzl (DIT)
Mario Lanza, PhD (King Abdullah University
of Science and Technology (KAUST))
Prof. Dr. rer. nat. Agnes Nocon (DIT)
Prof. Dr. Gerald Schönwetter (FH Oberösterreich)
Prof. Dr. Christian Steckenbauer (DIT)
Prof. Dr. Javier Valdes (DIT)
Prof. Dr.-Ing. Bernd Valeske (HTW Saar Fraunhofer IZFP)
Prof. Dr. Roland Zink (DIT)

diane.ahrens@th-deg.de
tobias.bader@th-deg.de
guenther.benstetter@th-deg.de
robert.feicht@th-deg.de
andreas.fischer@th-deg.de
melanie.kappelmann-fenzl@th-deg.de
mario.lanza@kaust.edu.sa
agnes.nocon@th-deg.de
gerald.schoenwetter@fh-steyr.at
christian.steckenbauer@th-deg.de
javier.valdes@th-deg.de
bernd.valeske@izfp.fraunhofer.de
roland.zink@th-deg.de

DESIGN

Kathrin Weindl

ISSN: 2366-3952

The Bavarian Journal of Applied Sciences is published annually.

CONTACT US

Bavarian Journal of Applied Sciences
Technische Hochschule Deggendorf
Dieter-Görlitz-Platz 1
94469 Deggendorf, Germany
Phone: ++49 (0) 991 3615-0
Fax: ++49 (0) 991 3615-297
E-Mail: info@jas.bayern
Web: <https://jas.bayern>

This is an open access journal which means that all content is freely available without charge to the user or his/her institution. Users are allowed to read, download, copy, distribute, print, search, or link to the full texts of the articles in this journal without asking for prior permission from the publisher or the author under the condition that the original publication is properly cited. This is pursuant to the BOAI definition of open access.

CONTENT

Foreword <i>Vorwort</i>	3
---------------------------	---

Articles | *Artikel*

Kathrin Burgmaier, Antonia Hofmann, Stefan Schönstein, Aida Anetsberger, Hendrik Bollen, Inge Eberl, Matthias Feyrer, Robert Hable, Cornelia Hagl, Claudia Heilmann, Peter Heistermann, Andreas Hetey, Katharina Larisch, Tanja Meyer, Marcus Plaschke, Florian Schuberth, Sebastian Schwinger, Martin Starke, Markus Witzmann, Markus Zimmermann, Christian Rester, Mathias Burgmaier Implementation of a Novel Research Platform to Research New Academic Healthcare Professions at the Deggendorf Institute of Technology	5
---	---

Kathrin Auer, Helen Rogers From Menace to Market: The Economic Transformation of Invasive Species	13
--	----

Johann Brunner, Matthias Hien, Tobias Dobmeier, Dmitrii Dobriborsci Effektive Datenaufzeichnung in der Landwirtschaft: Ein robustes System für mobile Maschinen	34
--	----

Call for Papers Issue No. 9 (2026)	56
------------------------------------	----

Imprint <i>Impressum</i>	58
----------------------------	----

FOREWORD

We are pleased to present the eighth issue of the Bavarian Journal of Applied Sciences (BJAS), which features three very diverse contributions addressing highly topical applied research questions: a research platform which evaluates new academic health professions within the German healthcare system; the possibility of curbing the spread of invasive species by unlocking their economic potential; and the evaluation of a solution that helps to improve sensors deployment in precision agriculture.

The group of authors led by Kathrin Burgmaier present the initial results of a platform development project designed to help evaluate the efficiency gains and benefits for new academic healthcare professions. The academization of healthcare professions such as nurse practitioners and physician assistants in Germany urgently requires more data. To this end, a research platform has been set up at the Deggendorf Institute of Technology to investigate the efficiency, costs, and quality of care provided by these new professional groups. The platform is intended not only to record the effects of these professions within the German healthcare system, but also to serve as a model for further national research projects.

Kathrin Auer and Helen Rogers dedicate their article to an alluring idea: helping to restrict the spread of invasive species, which are not threatened by any natural predator, by making use

of them in new and innovative products. Although this sounds very promising, companies and start-ups face particular challenges. Nevertheless, the authors see great potential in combining the economically attractive use of these species with the containment of their spread.

Digitalization and the use of artificial intelligence in the agricultural sector are constantly moving forward. The article by Johann Brunner and colleagues presents a robust data recording system for agricultural machinery that works reliably even under extreme conditions. It captures image and signal data from multispectral cameras and machine-specific signals and synchronizes them precisely. Validations in the laboratory and in practical use demonstrate high data quality, availability, and real-time processing. The concept is considered practical and offers a flexible basis for future applications in precision agriculture.

We would like to thank Esther Kinatader for her proofreading and editorial support, Simone Lindlbauer for her reliable work as editorial manager and Diana Karl for her outstanding typesetting expertise. Last but not least, we would also like to acknowledge the valuable work of the peer reviewers, without whom quality assurance for the journal would be inconceivable.

Michelle Cummings-Koether & Kristin Seffer

In der 8. Ausgabe des Bavarian Journal of Applied Sciences (BJAS) finden sich drei anwendungsnahe Beiträge aus sehr unterschiedlichen Bereichen, die alle zu sehr aktuellen Themen beitragen: eine Forschungsplattform zur Evaluierung des Einsatzes von akademisiertem Pflegepersonal und Physician Assistants im deutschen Gesundheitssystem; die Möglichkeit, die Ausbreitung invasiver Arten einzudämmen, indem ihr wirtschaftliches Potenzial erschlossen wird; sowie ein System zur Erfassung, Synchronisation und Verarbeitung von Sensordaten landwirtschaftlicher Maschinen als Grundlage für KI-gestützte Anwendungen in der Präzisionslandwirtschaft.

Die Autorinnen und Autoren um Kathrin Burgmaier präsentieren erste Ergebnisse einer Plattformentwicklung, die dabei helfen soll, die Effizienzgewinne und den Nutzen von neuen akademisierten Gesundheitsberufen wie Nurse Practitioners und Physician Assistants in Deutschland zu evaluieren. In diesem Bereich sind dringend mehr Daten erforderlich. Zu diesem Zweck wurde an der Technischen Hochschule Deggendorf eine Forschungsplattform eingerichtet, die Effizienz, Kosten und Versorgungsqualität dieser neuen Berufsgruppen untersucht. Die Plattform soll nicht nur die Effekte dieser Berufe im deutschen Gesundheitssystem erfassen, sondern auch als Modell für weitere nationale Forschungsprojekte dienen.

Kathrin Auer und Helen Rogers untersuchen in ihrem Beitrag, wie es gelingen kann, die Ausbreitung invasiver Arten, die keine natürlichen Fressfeinde haben, durch menschlichen Eingriff

nicht nur einzudämmen, sondern diese Arten wirtschaftlich nutzbar zu machen. Auch wenn dies Potenziale birgt, sind Unternehmen bzw. Start-ups mit besonderen Herausforderungen konfrontiert. Invasive Arten dürfen z. B. nicht angebaut werden bzw. nicht ohne Weiteres über Grenzen transportiert werden. Dennoch sehen die Autorinnen großes Potenzial darin, eine wirtschaftlich attraktive Nutzung dieser Arten mit der Eindämmung ihrer Ausbreitung zu verknüpfen.

Der Artikel von Johannes Brunner et al. widmet sich einem robusten Datenaufzeichnungssystem für landwirtschaftliche Maschinen, das auch unter extremen Bedingungen zuverlässig arbeitet. Es erfasst multispektrale Bilddaten und maschinenspezifische Signale und synchronisiert diese präzise. Validierungen im Labor und im Praxiseinsatz zeigen eine hohe Datenqualität, Verfügbarkeit und zeitnahe Verarbeitung. Das Konzept bietet damit eine praxisnahe Grundlage für KI-gestützte Anwendungen in der Präzisionslandwirtschaft, etwa zur Optimierung von Ernteprozessen oder zur Verbesserung der Ressourcennutzung.

Wir danken Esther Kinatender für Korrekturarbeiten und Redaktion, Simone Lindlbauer für ihr verlässliches Engagement als Redaktionsleitung sowie Diana Karl für die gewohnte zügige und zuverlässige Arbeit beim Satz dieser Ausgabe. Ebenso bedanken wir uns für die wertvollen Beiträge der Peer Reviewers, ohne die die Qualitätssicherung für das Journal nicht denkbar wäre.

Michelle Cummings-Koether & Kristin Seffer

Implementation of a Novel Research Platform to Research New Academic Healthcare Professions at the Deggendorf Institute of Technology

Novel research platform for national healthcare profession research at the DIT

Kathrin Burgmaier^{1#}	Cornelia Hagl⁸	Sebastian Schwinger¹⁵
Antonia Hofmann¹	Claudia Heilmann⁹	Martin Starke¹⁵
Stefan Schönstein¹	Peter Heistermann⁹	Markus Witzmann¹⁶
Aida Anetsberger²	Andreas Hetey¹⁰	Markus Zimmermann¹⁷
Hendrik Bollen³	Katharina Larisch¹¹	Christian Rester^{1*}
Inge Eberl^{14,5}	Tanja Meyer¹²	Mathias Burgmaier^{1,14*}
Matthias Feyrer⁶	Marcus Plaschke¹³	
Robert Hable⁷	Florian Schuberth¹⁴	

<https://doi.org/10.25929/ql1zxt54>

ABSTRACT

More data on the academization of healthcare professions such as academically qualified nurse practitioners (NPs) and physician assistants (PAs) in Germany are urgently needed. Thus, a research platform that enables the assessment and evaluation of these new academically qualified healthcare professions regarding their effects on efficiency, cost-effectiveness and quality of patient care nationwide is necessary and depicted in this manuscript.

We now describe a novel research platform, which was implemented at the Deggendorf Institute of Technology (DIT) for nationwide research of novel healthcare

*shared last authorship

corresponding author

¹ Faculty of Applied Healthcare Sciences, Deggendorf Institute of Technology, Deggendorf;

² Fakultät Interdisziplinäre Studien, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Landshut, Landshut;

³ The PA Company GmbH, Essen;

⁴ Fakultät für Soziale Arbeit, Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, Eichstätt;

⁵ Institut für Pflegewissenschaft, LMU Klinikum München, München;

⁶ Department of Industrial Engineering and Health, Technical University of Applied Sciences Amberg-Weiden, Weiden;

⁷ Faculty of Applied Computer Science, Deggendorf Institute of Technology, Deggendorf;

⁸ Carl Remigius Medical School München, München;

⁹ German University Association Physician Assistant, Cologne;

¹⁰ Clinical Trial Office, Charité Universitätsmedizin Berlin, Berlin;

¹¹ CBS University of Applied Sciences Berlin, Berlin;

¹² CBS University of Applied Sciences Köln, Köln;

¹³ Kliniken am goldenen Steig, Freyung;

¹⁴ Allgemeinmedizin Schuberth und Kollegen, Deggendorf;

¹⁵ IT Centre, Deggendorf Institute of Technology, Deggendorf;

¹⁶ Faculty 11, Munich University of Applied Sciences, Munich;

¹⁷ Fachbereich Gesundheit, Hochschule Bielefeld, Bielefeld

professions. Following thorough evaluation of various research tools regarding data safety, feasibility and power, REDCap has been selected as part of this extensive platform for data acquisition and management. In addition, the platform is based on modules encompassing project-internal as well as external stakeholders and infrastructure, data management including ethical approval and statistics, as well as enrollment of study participants.

Hence, this new research platform including REDCap aims to characterize new healthcare professions regarding their effects and performance in the German healthcare system. In addition, this platform can be used as a role model for nationwide research also in natural and social sciences.

In Deutschland werden dringend mehr Daten zur Akademisierung von Gesundheitsberufen wie akademisch qualifizierten Nurse Practitioners (NPs) und Physician Assistants (PAs) benötigt. Daher ist eine Forschungsplattform erforderlich, die eine bundesweite Erhebung und Bewertung dieser neuen akademisch qualifizierten Gesundheitsberufe bezüglich ihrer Auswirkungen auf Effizienz, Kosteneffektivität, und Qualität der Patientenversorgung ermöglicht. Eine solche Plattform wird in diesem Manuskript dargestellt.

Wir beschreiben hier eine neue Forschungsplattform, die an der Technischen Hochschule Deggendorf zur bundesweiten Erforschung neuer Gesundheitsberufe implementiert wurde. Nach einer gründlichen Bewertung verschiedener Forschungssoftwaretools hinsichtlich Datensicherheit, Praktikabilität und Leistungsfähigkeit wurde schlussendlich REDCap als Bestandteil dieser umfassenden Plattform für die Datenerhebung und -verwaltung ausgewählt. Darüber hinaus basiert die Plattform auf Modulen, die projektinterne sowie externe Partner und Infrastruktur, Datenmanagement inklusive Ethikvotum und Statistik sowie die Rekrutierung von Studienteilnehmenden umfassen.

Daher zielt diese neue Forschungsplattform mit REDCap integriert darauf ab, neue Gesundheitsberufe hinsichtlich ihrer Auswirkungen und Leistungsfähigkeit im deutschen Gesundheitssystem zu charakterisieren. Zudem kann die Plattform als Modell für bundesweite Forschung auch in den Natur- und Sozialwissenschaften dienen.

KEYWORDS

Research platform, physician assistants, academic nursing, Research Electronic Data Capture, national registry study

Forschungsplattform, Physician Assistants, akademisierte Pflege, Research Electronic Data Capture, nationale Registerstudie

Introduction

The German healthcare system is characterized by a rapidly increasing shortage of both nursing and medical staff in inpatient as well as outpatient care. In analogy to the development in other countries, the academization of healthcare professions such as academically qualified nurse practitioners (NPs) and physician assistants (PAs) is an interesting option to resolve this staff shortage and stabilize patient care in Germany.

Specifically, there are already more than 2,400 individuals who hold a bachelor's degree in physician assistance in Germany¹. However, to fully integrate these health professionals in the German healthcare system and to fully utilize their potential for patient care, more data about the role of PAs in the German healthcare system is urgently needed. In addition, the concept of academically qualified NPs is currently among the most promising strategies to address structural deficits and the ongoing nursing shortage. In countries such as the United States and across parts of Europe, both nursing

and physician assistance are well established within universities, scientific research, and higher education. In Germany, however, there is a scarcity of national data on these novel healthcare professionals.

Taken together, for the full implementation of novel healthcare professionals such as PAs and academically trained NPs in the German healthcare system, it is necessary to generate further data assessing and validating these promising healthcare professions. Although the efficiency, cost-effectiveness and quality of patient care could be demonstrated for healthcare professionals such as NPs and PAs in other countries including the United States, the Netherlands and United Kingdom²⁻⁹, it still requires more evidence to show if these data can also be transferred one-to-one to the German healthcare system.

Thus, a research platform is necessary to research and elucidate the role of new academic healthcare professions such as NPs and PAs within the German healthcare system. Here, we describe the development of this research platform at the Deggendorf Institute of Technology (DIT), the selection process of the data management tool Research Electronic Data

Capture (REDCap) and its applicability in the context of two national healthcare profession registries.

Methods

In order to establish a research platform which allows the standardized longitudinal nationwide capture of pseudonymized data on new health professions such as PAs and NPs including their contribution to patient care in Germany, several modules, researching tools and software options were evaluated. As data safety, feasibility, versatility and power are essential, the REDCap system was chosen and implemented at the DIT as part of this novel research platform. In former years and for anonymous purposes, the DIT used LimeSurvey. However, longitudinal pseudonymized data capture, meaning multiple survey answers over consecutive years attributable to one participant ID as well as attributable proxy assessments are essential for this research platform and thus guided the selection process. As REDCap is capable of meeting these characteristics and is freely available, it was chosen over LimeSurvey. However, REDCap has its limitations as e.g. integrated statistical analyses are not included in REDCap itself. Also, identifying a participant's

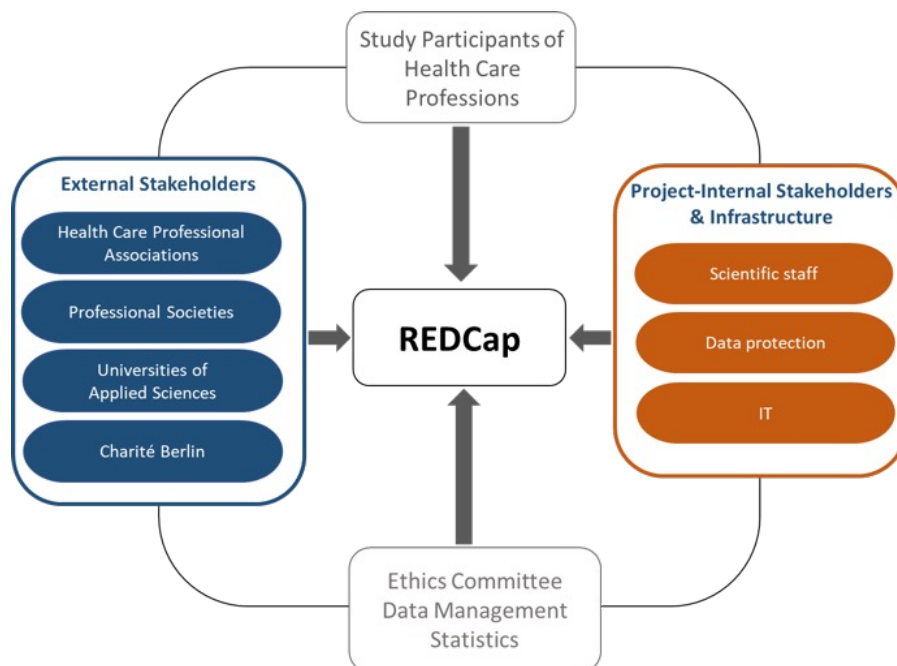


Figure 1: Novel research platform at the Deggendorf Institute of Technology using REDCap to research new academic health care professions. Relevant modules encompass project-internal and external stakeholders, data management including ethical approval and statistics as well as enrollment of study participants.

data (such as an email address) may not be stored in the same data set as personal study data according to data protection laws. Thus, these and other tasks were included in separate modules of the researching platform (Figure 1) and the research platform is described in detail below.

Results

New research platform to investigate novel healthcare professions

In order to generate data for the implementation of new healthcare professions such as PAs and NPs within the German healthcare system, a research platform is necessary. For this purpose, REDCap has been implemented at the DIT as part of this research platform (Figure 1). Further modules include the de-identifying of email addresses, ethical approval, data safety, statistics, data collection, data management/processing and data interpretation (for details see Figure 1).

REDCap

REDCap is a web-based data management system, which is increasingly established in biomedical and health science research. It was

created at the Vanderbilt University, USA, in 2004, but it is used worldwide. The system supports electronic data collection, storage and management, focused on security, traceability and flexibility. As of May 2025, there are already over 2.4 million projects worldwide involving more than 3.7 million users. The “REDCap consortium” includes more than 7,800 active partners across 160 countries (according to <https://projectredcap.org/about/>).

In Germany, REDCap is increasingly being adopted at medical universities and university hospitals. The platform is an efficient tool for conducting clinical and psychological studies due to its versatile functionalities, such as the ability to collect longitudinal data, individually timestamped documentation, and email-based participant invitations. The “Charité Berlin”, a university hospital, has been a member of the REDCap consortium since 2014 and has since then conducted over 300 studies using REDCap. In 2020, Charité, together with the “Technologie- und Methodenplattform für die vernetzte medizinische Forschung e. V.” (TMF), the Technology and Methods Platform for Networked Medical Research, founded the “REDCap German User Group” (GUG), which holds annual meetings. In addition, regular REDCap user meetings are held at Charité.

Data security and privacy	User- and role-based access control Audit trails for tracking changes
Data collection instruments	Online forms and surveys without programming knowledge Branching logics for dynamic question paths Randomization tools for clinical trials
Longitudinal data and events	Longitudinal studies with repeated time points Organization of data and events by time points Alerts
Data export and interoperability	Export to formats such as CSV, SPSS, SAS, R, Stata Data dictionaries and metadata standards
Web-based and mobile-friendly	Access via browser REDCap mobile app Email notifications for automated workflows
Costs	Freely available, no-cost resource
Access options	Public survey link QR code Custom survey link Survey access code Embedded codes
Language	Multi-language management

Table 1: Features of REDCap

An essential benefit of REDCap is the standardized and structured data collection, assisted by individual configurable forms, validation rules and branching logics.

Additionally, REDCap allows time-staggered data collection (longitudinal design) and the assignment of individual user-level permissions, enabling a differentiated distribution of roles within project teams. The traceability of data processing is ensured through audit trails, automatic logs of all changes, which is particularly crucial for studies with high demands on data protection and ethical standards in science. REDCap also provides comprehensive data export features, simplifying the processing of collected data (Table 1).

However, several challenges must be considered. REDCap necessitates a certain level of technical competence and organizational effort. The user interface is functional but not always intuitive, which can result in a longer onboarding period, especially for new users. Moreover, project configuration can be complex, particularly in longitudinal designs with multiple data collection time points. Therefore, a solid knowledge of study design and data management is required.

De-identification of email addresses

In accordance with data protection regulations, identifying information such as email addresses must not be stored alongside study data. To ensure compliance, a minimalistic pseudonymization server with its own database was implemented to which the staff has no access. When a participant enters their email address in REDCap, it is automatically replaced with a pseudonym in the dataset. Emails sent via REDCap are re-identified at the time of dispatch, ensuring researchers only see pseudonyms and communications must occur only within REDCap. This solution was developed in collaboration with the Clinical Trial Office of Charité – Universitätsmedizin Berlin and the IT Center of the DIT.

Study design

The aim is to systematically capture the areas of application and responsibilities, work areas, and working conditions of healthcare professionals longitudinally, e.g. on an annual basis. The studies are aimed at students in healthcare profession programs such as nursing and PA programs, as well as at employed academically

trained healthcare professionals. Data collection takes place across various German locations in cooperation with universities, hospitals, and health profession organizations. The data protection officers of the DIT and the ethical review board of the Bavarian Universities of Applied Sciences (Gemeinsame Ethikkommission der Hochschulen Bayerns, GEHBa) were involved and already approved the first initiatives of this novel research platform.

Data collection

Data entry can be structured into basic general data (e.g. data on education and degrees) and longitudinal follow-up data (e.g. details on professional activities). The data collection is standardized at longitudinal collection points. Participants are guided through a series of structured questionnaires. The online survey is conducted via servers at the DIT, with access available nationwide and without VPN restrictions. At every follow-up, a participant can decide whether a proxy (e.g. a colleague in the interprofessional team) should be able to answer questions regarding the impact of the profession on patient care and interprofessional collaboration (“proxy questionnaires”) via a personal link to a specific questionnaire.

Data management

The collection and management of study data is carried out electronically through the REDCap system. REDCap uses validation rules, filter logic, and timestamps to ensure traceability and data quality. Access rights are regulated through role-based user accounts, enabling targeted and data protection-compliant control of data entries. Data export and storage are performed in anonymized or pseudonymized form.

Statistical analysis

REDCap itself does not provide a function for statistical analysis. However, the collected data can be exported in various formats including widely used applications (such as csv/Microsoft Excel, SPSS Statistical Software, SAS Statistical Software, R Statistical Software, Stata Statistical Software or CDISC ODM). A separate module of the research platform consisting of a statistician and experts with experience in multinational registry studies performs the statistical analyses using the above-mentioned software.

Expanding fields of application at the DIT

Overall, REDCap offers a powerful and versatile system for conducting longitudinal structured data collection in scientific research. Although historically REDCap has primarily been established in biomedical and health science research, it is increasingly being used for studies from various applied sciences due to its broad functionalities, such as collection of longitudinal data, individual documentation, proxy assessments and email-based participant invitations. It therefore also qualifies for a broader spectrum in applied sciences, such as other natural sciences and social sciences. Its benefits are particularly evident when the necessary technical infrastructure and methodological expertise are in place, like at the DIT, to make optimal use of the platform.

Discussion

Given the rapidly increasing shortage of both nursing and medical staff within the German healthcare system, the academization of healthcare professions such as academically qualified NPs and PAs is an interesting option to resolve this staff shortage and to stabilize patient care in Germany. Although this approach was already successful in other countries such as the United States of America, it still needs to be demonstrated if this can be transferred one-to-one to the German healthcare system. Still, academic programs for healthcare professions are rapidly evolving. In the Faculty of Applied Healthcare Sciences at the DIT, there are academic programs for various healthcare professions including nursing, paramedics, physiotherapists, social workers and PAs. German-wide, there are more than 2,400 individuals who hold a bachelor's degree in physician assistance¹ and about 1.67 million nurses, of whom between 1 and 2 % have a university degree, which corresponds to between 16,700 and 33,400 nurses with an academic background¹⁰. We urgently await further data to explore whether the academization of health professions can, in analogy to other countries, serve as an opportunity to stabilize patient care and resolve staff shortage in Germany. In addition, the scientific basis for the full integration of these already graduated health professionals into the German healthcare system and the full utilization of their potential for patient care is urgently needed.

Thus, a research platform to generate these data was implemented at the DIT and is depicted in this manuscript. Core of this research platform is the implementation of a software, which allows the standardized longitudinal nationwide capture of pseudonymized data on new health professions such as PAs and NPs including their contribution to patient care in Germany. Several criteria were used to evaluate various software such as data safety, feasibility, versatility and power, which are essential. Therefore and following thorough consideration, the REDCap system was chosen and implemented at the DIT as part of this research platform. REDCap was created in 2004 and since then has been increasingly employed in research. For example, Cressati et al. have recently published the use of REDCap within The Canadian Open Parkinson Network (C-OPN), a national research platform generated to advance Parkinson's disease research, comprising de-identification of data concerning demographics, symptoms and signs, treatment approaches and standardized assessments¹¹. Moreover, Pivetta et al. used a REDCap-based research platform for a trauma registry and to validate local quality indicators as improvement opportunities in trauma management¹². With regard to research concerning PAs and NPs, REDCap-based research platforms have previously been used to assess these professions in varying contexts^{13–19}.

However, REDCap has several limitations. Specifically, integrated statistical analyses are not possible in REDCap itself. Therefore, it was essential to establish another module within this research platform to enable statistical analysis. Part of this statistics module are expert researchers with a long-standing experience who were previously in charge of the statistical analysis of large multinational registries and their statistical analyses^{20–22}.

In summary, this research platform is able to lay the foundation for research on the role of new academic healthcare professions such as NPs and PAs within the German healthcare system. Moreover, from a local 'DIT' point of view, the research platform about academically qualified healthcare professions can function as a role model for integrating REDCap in other applied sciences as REDCap has successfully been implemented in organizational and personal infrastructure at the DIT.

References

1. Heistermann P, Deutscher Hochschulverband Physician Assistant e.V. Grenzen des Wachstums der Studiengänge zum Physician Assistant? Accessed December 7, 2025. <https://www.hochschulverband-pa.de/wp-content/uploads/2025/02/Datenerhebung-DHPA-2024-07.02.2025.pdf>.
2. Drennan VM, Halter M, Joly L, et al. Physician associates and GPs in primary care: a comparison. *Br J Gen Pract J R Coll Gen Pract*. 2015;65(634):e344–350. <https://doi.org/10.3399/bjgp15X684877>.
3. van den Brink GT, Kouwen AJ, Hooker RS, Vermeulen H, Laurant MG. PA and NP general practice employment in the Netherlands. *JAAPA Off J Am Acad Physician Assist*. 2023;36(12):30–36. <https://doi.org/10.1097/01.JAA.0000991348.71693.1c>.
4. Halter M, Drennan V, Wang C, et al. Comparing physician associates and foundation year two doctors-in-training undertaking emergency medicine consultations in England: a mixed-methods study of processes and outcomes. *BMJ Open*. 2020;10(9):e037557. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-037557>.
4. Timmermans MJC, van den Brink GT, van Vught AJAH, et al. The involvement of physician assistants in inpatient care in hospitals in the Netherlands: a cost-effectiveness analysis. *BMJ Open*. 2017;7(7):e016405. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-016405>.
5. van den Brink GTWJ, Hooker RS, Van Vught AJ, Vermeulen H, Laurant MGH. The cost-effectiveness of physician assistants/associates: A systematic review of international evidence. *PloS One*. 2021;16(11):e0259183. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259183>.
6. Martin-Misener R, Harbman P, Donald F, et al. Cost-effectiveness of nurse practitioners in primary and specialised ambulatory care: systematic review. *BMJ Open*. 2015;5(6):e007167. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2014-007167>.
7. Donald F, Kilpatrick K, Reid K, et al. A systematic review of the cost-effectiveness of nurse practitioners and clinical nurse specialists: what is the quality of the evidence? *Nurs Res Pract*. 2014;2014:896587. <https://doi.org/10.1155/2014/896587>.
9. Li Y, Aiken LH, Becker ER, et al. The effect of registered nurse staffing and skill mix on length of stay and hospital costs. *Nurs Outlook*. 2025;73(2):102356. <https://doi.org/10.1016/j.outlook.2025.102356>.
10. Carstensen J, Seiber H, Wiethölter D. Internationalisierung der Pflege – Pflegekräfte mit ausländischer Staatsangehörigkeit und ihr Beitrag zur Fachkräftesicherung.
11. Cressatti M, Pinilla-Monsalve GD, Blais M, et al. Advancing Parkinson’s Disease Research in Canada: The Canadian Open Parkinson Network (C-OPN) Cohort. *J Park Dis*. 2024;14(7):1481–1494. <https://doi.org/10.3233/JPD-240213>.
12. Pivetta LGA, Antunes PDSL, Shimoda GM, Parreira JG, Perlingeiro JAG, Assef JC. Trauma Registry: Trauma Quality indicators analysis in hospitalized patients. *Rev Col Bras Cir*. 2024;51:e20243604. <https://doi.org/10.1590/0100-6991e-20243604-en>.
13. Otto M, Sterling M, Siegler E, Eiss B. Assessing Origins of Quality Gaps in Discharge Summaries: A Survey of Resident Physician Attitudes. *J Biomed Educ*. 2015;2015:341759. <https://doi.org/10.1155/2015/341759>.
14. Muniz NA. How Do Physicians and Nurse Practitioners Perceive the Title Change from Physician Assistant to Physician Associate? *J Allied Health*. 2024;53(1):e49–e53.
15. Shimpi N, Bharatkumar A, Jethwani M, et al. Knowledgeability, Attitude and Behavior of Primary Care Providers Towards Oral Cancer: a Pilot Study. *J Cancer Educ Off J Am Assoc Cancer Educ*. 2018;33(2):359–364. <https://doi.org/10.1007/s13187-016-1084-4>.
16. Johnson BL, Rosenfeld EH, Carter BD, et al. An assessment of provider satisfaction with the use of a standardized visual aid for informed consent for appendectomy in children. *J Pediatr Surg*. 2020;55(5):913–916. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2020.01.044>.
17. Burrowes SAB, Barlam TF, Skinner A, Berger R, Ni P, Drainoni ML. Provider views on rapid diagnostic tests and antibiotic prescribing for respiratory tract infections: A mixed methods study. *PloS One*. 2021;16(11):e0260598. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260598>.
18. Boyce DJ, Shiffrin MM, Moses SR, Moss CR. Perceptions of motivating factors and barriers to precepting. *J Am Assoc Nurse Pract*. 2022;34(11):1225–1234. <https://doi.org/10.1097/JXX.0000000000000788>.

**Implementation of a Novel Research Platform to Research New Academic Healthcare Professions
at the Deggendorf Institute of Technology**

19. Na HK, Cacchione PZ, Cannon J, Schwab CW, Yelon JA. Military-Civilian Partnership to Improve Combat Casualty Care Readiness Among Non-physician Providers. *Mil Med.* 2025;190(3-4):817–822. <https://doi.org/10.1093/milmed/usae425>.
20. Ebner K, Schaefer F, Liebau MC, ARegPKD Consortium. Recent Progress of the ARegPKD Registry Study on Autosomal Recessive Polycystic Kidney Disease. *Front Pediatr.* 2017;5:18. <https://doi.org/10.3389/fped.2017.00018>.
21. Burgmaier K, Ariceta G, Bald M, et al. Severe neurological outcomes after very early bilateral nephrectomies in patients with autosomal recessive polycystic kidney disease (ARPKD). *Sci Rep.* 2020;10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71956-1>.
22. Burgmaier K, Brinker L, Erger F, et al. Refining genotype-phenotype correlations in 304 patients with autosomal recessive polycystic kidney disease and PKHD1 gene variants. *Kidney Int.* 2021;100(3):650–659. <https://doi.org/10.1016/j.kint.2021.04.019>.

From Menace to Market: The Economic Transformation of Invasive Species

Kathrin Auer*

Helen Rogers**

<https://doi.org/10.25929/1abs2m96>

ABSTRACT

Invasive species, encompassing both plants and animals, are prevalent across much of Europe. The European Union currently lists 88 invasive species, which, lacking natural predators, tend to spread uncontrollably in various regions. While these species may have some positive effects, they predominantly present significant ecological and economic challenges. This paper explores the potential for human intervention as a "natural" predator or consumer of these invasive species. It examines how established companies and innovative start-ups mainly in the DACH region (Germany, Austria and Switzerland) are addressing the issue of invasive species, including logistical considerations and the challenges they encounter. The paper also provides practical recommendations for improvement on scientific, practical, economic, and political levels. This study demonstrates that innovative economic business models can enable companies to both mitigate the spread of invasive species and utilize them as valuable resources. However, compared to conventional enterprises in agriculture or animal husbandry, these companies face greater challenges in sourcing such species—primarily due to logistical constraints. Since invasive species are neither cultivated nor bred, they often occur in remote areas and must be hunted or gathered in the wild, which complicates their systematic use.

Invasive Arten, darunter sowohl Pflanzen als auch Tiere, sind in weiten Teilen Europas verbreitet. Die Europäische Union listet derzeit 88 invasive Arten auf, die sich aufgrund fehlender natürlicher Fressfeinde in verschiedenen Regionen unkontrolliert ausbreiten. Diese Arten können zwar auch positive Auswirkungen haben, stellen jedoch überwiegend erhebliche ökologische und wirtschaftliche Herausforderungen dar. In diesem Beitrag wird das Potenzial menschlicher Eingriffe als „natürliche“ Fressfeinde oder Konsumenten dieser invasiven Arten untersucht. Es wird beleuchtet, wie etablierte Unternehmen und innovative Start-ups vor allem in der DACH-Region (Deutschland, Österreich und Schweiz) mit dem Problem invasiver Arten umgehen, einschließlich logistischer Überlegungen und der Herausforderungen, denen sie dabei begegnen. Der Beitrag enthält auch praktische Empfehlungen für Verbesserungen auf wissenschaftlicher, praktischer, wirtschaftlicher und politischer Ebene. Diese Studie zeigt, dass innovative wirtschaftliche Geschäftsmodelle es Unternehmen ermöglichen können, sowohl die Ausbreitung invasiver Arten einzudämmen als auch diese als wertvolle Ressourcen zu nutzen. Im Vergleich zu konventionellen Unternehmen in der Landwirtschaft oder Tierhaltung stehen diese Unternehmen jedoch vor größeren Herausforderungen bei der Beschaffung solcher invasiven Arten als Rohstoffe – vor allem aufgrund logistischer Einschränkungen. Da invasive Arten weder angebaut noch gezüchtet werden, kommen sie oft in abgelegenen Gebieten vor und müssen in freier Wildbahn gejagt oder gesammelt werden, was ihre systematische Nutzung erschwert.

*Deggendorf Institute of Technology, Dieter-Görlitz-Platz 1, Deggendorf

**Nuremberg Institute of Technology Georg Simon Ohm, Keßlerplatz 12, Nürnberg

KEYWORDS

Sustainable business, food supply chain, entrepreneurship, bioeconomy

Nachhaltiges Wirtschaften, Lebensmittelversorgungskette, Unternehmertum, Bioökonomie

1. Introduction

In Europe, native flora and fauna face growing threats from invasive species—non-native plants and animals spreading through natural migration and human activity. Such invasions disrupt ecosystems (Shine, Kettunen, & ten Brink, 2009), endanger food security (Genovesi & Shine, 2004), and harm regional economies (Pimentel, 2011). Annual damages are estimated at €26.64 billion by the European Union (Jördens, 2023). Their spread is driven by human behaviour, climate change, and natural dispersal (Ricciardi & MacIsaac, 2011). Management often requires hunting, harvesting, or eradication to mitigate severe impacts (Simberoff, 2003). Examples include nutria, a South American rodent damaging dikes, and raccoons preying on bird eggs. Using these species as resources once culled aligns with sustainability principles.

The European Commission lists 88 invasive species—47 animals and 41 plants (European Commission, 2024)—spurring business interest. Some companies integrate these species into products or build business models around them. For example, Berlin's Holy Crab! (INWERT GmbH, 2024) processes invasive American red swamp crayfish. Most ventures remain small-scale, but exceptions exist: Norway's seafood industry exploits invasive king crabs (Lorentzen et al., 2017), Teton Leather (USA) produces luxury goods from invasive pythons (Texfash, 2022), and Austria's WeLoveFurs (WeLoveFurs GmbH, 2024) specializes in fur fashion.

This study examines what sets successful businesses in the invasive species sector apart from less successful ones, highlighting obstacles and opportunities to extract lessons for the industry. Whereas existing research often emphasises biodiversity or macroeconomic perspectives, this paper focuses on microeconomic factors and entrepreneurial approaches in managing and utilising invasive species, related supply chains,

and the creation of new markets ("market shaping"). To our knowledge, only one study has explored macroeconomic aspects (Meadows & Sims, 2023). We contribute by analysing the microeconomic dimensions of companies working with invasive species.

The evolving invasive species market provides an excellent opportunity to study how companies can both conserve resources and contribute to ecosystem conservation through their business activities and removal of endangered species from the ecosystem. There are many different market players that collect, hunt or process different species. It is important to find out whether these businesses must contend with similar framework conditions, opportunities and risks and perhaps also obstacles. The diversity of the players makes it exciting to find out, whether common practices exist. This research also looks at various players in the corresponding supply chains, from companies that extract raw materials to processors and traders, a large part of the value chain is present.

Research Question:

"What business models are being developed by companies to commercialise products from invasive species, and what opportunities and challenges do they face in comparison to conventional companies in their business processes?"

2. Scientific state of the art

Creation of value

Value creation theory (Windsor, 2017), commonly applied in business and management contexts, explores how companies and organisations create, sustain, and enhance value. The use of invasive species provides intriguing perspectives within this framework since currently, invasive species often yield little to no

economic value (Lepak, Smith, & Taylor, 2007; Vilá, et al., 2010).

Companies have the potential to generate new products and markets using invasive species, as well as offer cost-effective and/or sustainable solutions to existing products. Additionally, their utilisation can contribute to waste reduction and enhance the sustainability of ecosystems (Nunez et al, 2012). Beyond ecological benefits, the use of invasive species can also create new job opportunities and raise public awareness about biological balance. These points highlight the multifaceted opportunities for value creation through invasive species and their significance for sustainable development (Shackleton, Shackleton, & Kull, 2019).

Circularity, bioeconomy and the food waste hierarchy

The issue of invasive species and the underutilisation of their products and by-products is closely linked to the broader challenge of food waste. While some invasive species are edible and can contribute to food systems, others may not be suitable for consumption. Nevertheless, their by-products and residues can be valorised through material applications within the framework of the bioeconomy—for instance, in the production of textiles or other biobased materials. A relevant model in this context is the food waste hierarchy. It outlines a series of utilisation solutions for food waste, ranked from the most to the least preferable options: prevention, re-use for human consumption (food), re-use as animal feed, re-use of by-products or recycling of the waste, recycling (nutrient recovery), energy recovery (burning), and disposal (European Commission, 2024). This hierarchy provides a framework for maximising value derived from food and organic waste, suggesting that even materials currently considered waste, such as those from invasive species, could be better managed and utilised if approached systematically.

Centralised and decentralised supply chains

Centralised and decentralised supply chains are a core topic in supply chain management, with each one of them bringing advantages and disadvantages to business operations (Giannocco, 2018; Epanchin-Niell, 2017). Invasive species intended for use as raw materials typically involve wild-harvested

plants or animals that must be captured or hunted in their habitats. This results in procurement routes and supply chains that are markedly different from those of conventional products, which are cultivated, bred, or kept in controlled environments (Shackleton, et al., 2019).

Market-shaping

Market-shaping theory (Nenonen & Storbacka, 2021) emphasises the active creation and influence of markets by companies and other stakeholders. Markets are not static (Bentsen, 2021) and do not merely respond to supply and demand; they can be deliberately shaped (Jaworski, Kohli & Sahay, 2000). Firms and other actors influence markets through innovations, new business models, or by shaping customer behaviour (Jaworski, Kohli & Sahay, 2000). This process requires collaboration between companies, governments, and customers. Competition remains but is complemented by cooperation and the joint development of market standards (Möller & Rajala, 2007).

Active market shaping creates new value opportunities, for example through products, services, or business models that did not exist before (Kindström & Kowalkowski, 2014). It often triggers systemic changes with long-term effects on market structures, rules of engagement, and actor behaviour (Gawer & Cusumano, 2014). Technological innovations are central, as they can disrupt existing structures and create entirely new markets (Adner & Kapoor, 2010). Market-shaping companies can also take on social and environmental responsibility, for example by promoting sustainable products and practices (Porter & Kramer, 2007). In short, the theory enables stakeholders to shape markets actively rather than merely react to them, unlocking new value and driving long-term, positive change (Jaworski, Kohli & Sahay, 2000). Therefore, market shaping can bring great opportunities to companies that try to create new markets with new respectively under-used resources.

Typical steps in market shaping are: OBSERVING the market (Affordability, Availability, Assured Quality, Appropriate Design, Awareness), DIAGNOSING root causes, ASSESSING options, IMPLEMENTING tailored interventions, and MEASURING results (Savage et al., 2021). Flaig et al. (2021) distinguish four types: Market Reduction,

Market Maintenance, Market Disruption, and Market Widening. For offensive market expansion, “Market Disruption” and “Market Widening” are particularly relevant.

Key activities in market widening include standardisation, building market infrastructure, lowering prices, cognitive reframing of exchange objects, creating value for customers and stakeholders, and pursuing deregulation (Flaig, Kindström & Ottosson, 2021). Disruptive strategies, by contrast, involve network reconfiguration, radical market-creating innovations, new value propositions, lobbying for new rules and standards, triggering institutional change, and innovating the business model (Flaig, Kindström & Ottosson, 2021).

3. Research methodology

A qualitative approach using in-depth interviews was used to examine the various factors that contribute to the success of companies using invasive species. This approach enabled us to perform an in-depth analysis of this real-world problem and hence fundamentally examine the issues that companies using invasive species are currently facing. Due to the lack of information on invasive species and related business practices (both on the supply and the demand side), the interviews were valuable in broadening our understanding beyond mere business theory and to collect primary data to broaden knowledge.

No.	Company/Association/Person	Company size	Country	No. of organisations interviewed
1	Trading company for herbs and teas	Small, family-owned business	Germany	2
2	(Tannery), furrier & fur trade	Small & medium-sized family-owned businesses	Germany	8
3	Import, wholesale & retail wool	Small, family-owned business (2 employees)	Germany/New Zealand	1
4	Swiss & German Hunting Federations	Federation, 280.000 members in total	Switzerland	2
5	Production and trade of cosmetics & consumer goods (mainly soaps)	Small, family-owned business; long family tradition	Germany	1
6	Hunter & butcher	Small, family-owned business	Germany	3
7	Farm, herbal education & farm shop	Small, family-owned business	Germany	2
8	Processing & trading company for seafood	Small, family-owned business	Germany	1
9	NGO for awareness & education against a specific invasive species	Small association	USA	1
10	Producer, trading company for cosmetics and consumer goods	Small, family-owned business; Partner business in Croatia	Austria/Croatia	1
11	Production and distribution of leather goods	Small company	USA	1
12	Trading company for cosmetics & consumer goods	Small company	Germany	1
13	Restaurant	Small restaurant, now inactive	Germany	1

Table 1: Overview of companies and organisations interviewed. More details in Table 4 (appendix).

We conducted an extensive investigation across various media to identify companies in Europe involved in hunting, collecting, trading and/or manufacturing products from the 88 invasive species listed by the European Union. Subsequently 584 companies were identified. Companies located outside the DACH region (Germany, Austria, and Switzerland) were then excluded from further analysis except for two companies (one in the USA and one in New Zealand) since they represented very interesting cases, leaving 176 companies, all of which were contacted via email with a request for an interview. Ultimately, 26 companies and associations agreed to participate, and interviews via online meetings and telephone were subsequently carried out. The participating companies and organisations are listed in Table 1. Out of these interviewees, 23 are operating in Germany, Austria and Switzerland, but some of them are even located in the USA and one of the German companies is sourcing in New Zealand. The reason for including these companies is that we got the unique chance to interview them and because their cases reflect the basic tenor of what has been said by the other companies very well. In addition to the companies, one US American researcher (marine biologist) was interviewed. In future research, we want to investigate whether the same results found also apply in other regions and continents.

According to the research questions, suitable companies for interviews were identified and contacted. Subsequently, semi-structured interviews were conducted. Most of the interviewees were interviewed for about an hour and the interviews were analysed and coded qualitatively according to Mayring and Fenzl (2019). The collected data were analysed using predefined codes and paraphrasing. Through this coding process, the material was examined to identify similarities and differences in respondents' statements, which were then compared against the research questions.

The companies interviewed varied in age from long-established firms with up to 86 years of history to newly founded start-ups, allowing for the inclusion of a broad spectrum of organisational backgrounds and experiences. The period in which the interviews took place was from June to August 2024. Theoretical saturation was reached due to very similar answers over time (Grounded Theory).

Furthermore, a comprehensive analysis of both scientific literature and grey literature was conducted as a baseline for the topic, to obtain a basic understanding of theoretical and practical topic-related aspects and to develop related keywords.

4. Findings

This section summarises the main results of the survey by category. The content is based on interviews conducted with the participating companies. The categories were developed inductively by identifying recurring patterns within the codes, derived through qualitative content analysis following Mayring and Fenzl's approach to qualitative data analysis (Mayring & Fenzl, 2019). The analysis reveals that companies working with invasive species are predominantly small or family-run craft businesses and manufactories. They operate under challenging conditions due to the decentralised and unpredictable availability of raw materials, which are neither cultivated nor optimised for human use and often occur only seasonally. This seasonality affects both procurement and sales, creating additional logistical and planning difficulties. Supply chains, production, and distribution processes are therefore highly individualised and small-scale.

In terms of perception, there is a marked disconnect between producers and consumers: while producers view invasive species as valuable raw materials, consumers often associate them with ethical or ecological concerns. Culturally, invasive species remain poorly anchored as usable resources, and many business customers lack knowledge about their processing and potential applications. Consequently, these products often occupy niche markets with high prices but limited profit margins.

Scaling and growth are constrained by market size, regulations, and certification requirements. Sales strategies tend to emphasise the unique properties of the products rather than their role in invasive species control. Although there is potential for expansion into other markets, companies face obstacles related to policy frameworks, regulatory barriers, and a lack of institutional support. Environmental and animal welfare organisations also play an ambivalent role—sometimes as partners, sometimes as

opponents—in shaping the market for invasive species-based products.

4.1 Predominance of small and family-owned businesses

The interview results indicate that most companies working with invasive species as raw materials are small, often family-run businesses, frequently operating as artisanal workshops or small-scale manufactories. Some collaborate with small family enterprises abroad to source species not locally available. A few are long-standing, generational establishments specialised in crafts such as furriery, producing unique products.

These artisans take great pride in their work, which, though labour-intensive, provides a strong sense of purpose. Hunting and processing animals are considered meaningful both for conservation and in compliance with legal regulations. However, some businesses face declining customer interest and a lack of successors, particularly in sectors such as tanning and furriery, putting traditional knowledge—like preparing raw hides from martens or weasels—at risk.

Many companies integrate multiple professions along a single supply chain. It is common for butchers to also be certified hunters or for fur and leather workers to manage hunting, processing, and distribution themselves. Other professions, such as foresters, farmers, and silviculturists, are also represented. Ethical concerns regarding the killing of animals solely for disposal further shape practices. For example, nutria farms for pelts have largely disappeared due to changing public attitudes.

Several entrepreneurs intentionally maintain small-scale, workshop-style operations to avoid overexploitation. They oppose industrial harvesting methods that could harm other species, preferring manual collection of plants and animals, with machinery used only for specific processing steps. One company even cultivates invasive plants like Himalayan balsam for ecological benefits, such as supporting pollinators.

Because these species are commonly neither cultivated nor farmed, acquisition relies on hunting, fishing, or wild harvesting, resulting in low levels of automation. In luxury leather

goods, capturing invasive species like pythons requires significant manual effort. Despite these challenges, the work engages a dedicated number of people, sometimes supported by government funding, and the market for these products is well-established, occasionally leading to competition among producers.

4.2 Limited and decentralised raw material supply

Invasive species differ from conventional goods in that they generally may not be cultivated, bred, or transported alive, preventing any optimisation for human use. As a result, they are collected in their natural state, which presents both opportunities and challenges. Locating these species in the wild requires active searching, often without guarantee of success, and yields are usually smaller than those of farmed species, affecting product quality. Consequently, specialising solely in invasive species is rarely economically viable; they are often processed as bycatch or co-products.

Their decentralised distribution complicates collection and quality control, as environmental factors such as soil composition, climate, and seasonality affect yields. Businesses emphasise that the focus should remain on ecosystem health and biodiversity rather than purely on resource extraction. Sustainable practices, including permaculture and agroforestry, are preferred over large-scale, monocultural exploitation.

Processing invasive species is labour-intensive, with wild animals often requiring the same effort as conventional livestock but yielding less meat or usable material. Manual collection is time-consuming and limits scalability, while inspections and testing further increase costs. The irregular availability and variability in quality, combined with dispersed sources, complicate logistics, traceability, and standardisation. Legal, ethical, and sustainability considerations further shape the supply chains, which are typically direct, short, and managed by small-scale operators. These factors collectively define the distinct challenges of sourcing and processing invasive species compared to conventional products.

4.3 Seasonal markets

For companies working with products derived from wild collection and hunting, seasonal availability of raw materials plays a critical role. Certain animals, for example, develop denser winter fur, making their pelts more desirable at specific times of the year. Similarly, the availability of plant-based materials depends on blooming or ripening seasons, while hunting seasons dictate when species can be harvested. While some species are less affected by seasonality, this factor significantly influences many of the companies interviewed. To mitigate these limitations, some businesses strategically stockpile raw materials during peak seasons to maintain a steady supply throughout the year.

Supply chain disruptions can result not only from seasonal factors but also from processing challenges and variations in consumer preferences, such as seasonal colour trends in fashion. Poor harvest or hunting years may lead to temporary stockouts, yet many businesses accept this risk to remain aligned with natural cycles. These fluctuations often cause price volatility, which some companies manage by building reserves during high-yield periods. Environmental factors, such as droughts, can also reduce yields for specific species in certain years. In some industries, bottlenecks are unrelated to raw material availability. For instance, in the fur processing sector, the critical constraint lies in tanning, as only a few companies can meet stringent environmental regulations.

Seasonal effects extend to sales as well. Demand for knitted yarns, furs, roast meat from invasive animals, and wild-harvested herbal teas increases during colder months, with peaks around the Christmas season. Companies respond by producing custom orders in advance and maintaining stock of standard products throughout the year to ensure consistent supply. External events, such as the COVID-19 pandemic and geopolitical conflicts, have further impacted sales, occasionally leading to severe market disruptions. Businesses thus balance natural variability, consumer demand, and operational constraints to manage seasonal markets effectively.

4.4 Procurement, production, and distribution processes

For companies utilising invasive species in Europe, vertical integration in supply chains is common. Many of the supply chains considered directly engage in manual harvesting or hunting, using limited tools such as traps, sensors, or firearms, resulting in more complex processes than conventional supply chains for cultivated products.

When not managing the entire process internally, firms rely on short, regional supply chains, sourcing from local collectors and hunters. In Germany, fur traders specialise in pelt processing, sorting, and bulk auctioning, sourcing from wildlife-rich regions like Scandinavia and North America. However, geopolitical events, such as the Russian-Ukrainian conflict and related sanctions, have disrupted the luxury fur trade.

Finished products are typically produced in-house with minimal outsourcing. Transport and supply operations are shaped by regulations, including the EU Invasive Alien Species Regulation, and hunting laws mandate humane trapping and immediate processing of animals such as nutria. For invasive plants, logistics focus on short processing times and direct delivery to preserve ripeness, though limited production can lead to stockouts. Environmental considerations and regional quotas further influence harvesting and storage practices.

Supply chains for invasive seafood follow similar patterns. Local fishermen deliver catches like American crayfish to processors, who produce value-added products. The decentralised nature of wild harvesting complicates maintaining consistent supply volumes. Companies such as Teton Leather (USA) balance supply and demand while ensuring sustainability and regulatory compliance.

Overall, firms working with invasive species navigate distinct logistical, regulatory, and environmental constraints, creating supply chains that differ markedly from those for conventional resources.

4.5 Perception of invasive species as resources

The perception of invasive species as raw

materials highlights a disconnect between industries and consumers, particularly around ethical concerns. Interviews reveal that consumers often misunderstand invasive species and their products, a view supported by research (Martin et al., 2016). In the fur industry, for example, consumers focus on animal killing while overlooking the sustainability claims of materials sourced from necessary conservation efforts. Fur, a natural and durable fibre, contrasts with synthetic materials derived from fossil fuels and fast fashion. The industry adapts by upcycling older furs, which decompose naturally, unlike synthetic alternatives.

A major challenge is the public's unfamiliarity with invasive species and the persistence of misinformation—such as the belief that certain harmless plants are poisonous. Despite niche "invasivore" movements promoting the consumption of invasive species, many consumers remain unaware of their uses. In some regions, however, strong aversion to invasive species has led to a more open mindset regarding their potential as resources. Consumer attitudes are inconsistent: many accept leather and meat but reject fur. As interviewee 2 remarked, "Everyone wants to eat meat, but no one wants to see the slaughterhouse." Today, most pelts are byproducts of environmental conservation or the food industry, but this remains largely unknown. Animal conservation organisations also shape perceptions, often stigmatising fur.

Fur producers argue that the debate is overdue, especially in urban areas where connections to nature are limited. Rural populations, more familiar with wildlife management, tend to be more accepting. Changing perceptions is particularly challenging for "cute" species like raccoons, with social media reinforcing these biases and complicating discussions about the need for control. Consumer education is widely regarded as key to shifting these views.

4.6 Limited cultural integration of invasive species as raw materials

Most invasive species and their by-products are currently not used in high-value applications according to the (food) waste hierarchy, such as human or animal consumption. Instead, culled or cut invasive species are often buried in soil, incinerated, or disposed of, even though these resources hold considerable potential

for more efficient and sustainable use. This underutilisation reflects both practical and cultural limitations.

In many regions, invasive species lack cultural integration as products. Knowledge of how to prepare or use them is often missing, or traditional uses have disappeared over time as societies have modernised, and affluence has increased. Practices once based on necessity—such as "nose-to-tail" consumption—are nowadays seen as ethically or gastronomically commendable but are far less common in everyday life.

Interestingly, species that are considered invasive in one part of the world may be native and highly valued in another. In those regions, they are often well integrated into local cuisines and markets. This has led to cross-border trade, where species are hunted or processed in one country and exported to another where demand is higher. A long-standing example is the export of fur from Western to Eastern Europe, where it has traditionally been in high demand. However, the COVID-19 pandemic, war, and economic sanctions have sharply reduced these export flows and changed market dynamics.

In parallel, certain invasive species are being rediscovered and marketed as exclusive, even luxurious products. In high-end gastronomy, they are reintroduced as exotic and desirable ingredients, reflecting a global trend toward re-evaluating and redefining the value of overlooked natural resources. This movement illustrates both ecological awareness and a growing openness to alternative food sources.

Despite these developments, the market for wild game meat remains relatively narrow in the DACH region (Germany, Austria, Switzerland). Compared with France—where a more diverse and well-established market for wild poultry and other game exists—consumers in the DACH region still have limited access to comparable variety and quality. This highlights both a cultural gap and an untapped opportunity for expanding the culinary use of invasive species.

4.7 Knowledge gaps among business customers in processing and utilisation

Not only private and end consumers, but also corporate clients face major challenges in using

invasive species as raw materials. These issues often start with hunters and gatherers, who generally have little knowledge of invasive species. Within hunting circles, such species are often perceived as low-value or waste products. As one interviewee noted about nutria, “I wouldn’t touch a rat,” illustrating the deep-seated prejudice against these animals.

To counter this, some professionals now promote the culinary use of invasive species—such as nutria—through specialised training programs for meat sommeliers and similar audiences. Participants tend to be open to these ideas, and once they taste the meat, they often respond with enthusiasm.

The same undervaluation applies to fur from invasive species, which is frequently discarded despite its potential usefulness. This lack of appreciation is not only a societal issue but also rooted within the industry itself. Considerable educational work is needed to shift perceptions and build awareness of the broader potential of these materials.

One non-profit organisation has taken a leading role by creating recipes and training chefs on how to cook with invasive green crabs. Although the crabs provide relatively little meat, their exceptional flavour and prized roe have impressed chefs and inspired creative dishes such as pasta. This initiative demonstrates how education and hands-on experience can transform perception and practice.

In Germany, a hunting association attempted to promote local fur products to business clients, but the project failed due to insufficient engagement with clients, logistical challenges, and other practical issues. This highlights the need for market research, communication, and a clear understanding of client needs when introducing new products.

A further barrier lies in the lack of available product information. For many invasive species and their derivatives, few ingredients or physical/ chemical properties are documented, and technical data sheets are rare. This lack of transparency and standardisation makes such products less attractive to the industry and hinders their commercial potential.

4.8 Sales driven by product attributes rather than invasive species control

Discussions with companies reveal that combatting invasive species is rarely the main selling point of related products. Instead, marketing and consumer appeal focus on intrinsic product qualities such as taste, appearance, or technical features. The fur of the common brushtail possum, for instance, is prized for its high quality, while meat from the invasive king crab—now common in Norway—is sought after primarily for its flavour, especially in Asian markets, and is gaining popularity elsewhere through social media. Similarly, jams made from Himalayan balsam flowers or seeds are produced mainly for their taste, and invasive herbs are used as teas or spices for their flavour or health benefits rather than for ecological reasons.

Price and convenience remain decisive factors in consumer choices. As one furrier remarked, “Germans prefer cheap goods from China, ideally delivered by drone through the living room window.” Local processing, though a potential marketing advantage, is rarely emphasised. Larger companies, such as supermarket chains, tend to communicate regional origins more effectively—an approach smaller firms could adopt to enhance their appeal.

An exception is the company Holy Crab!, which pursues impact-driven goals. Its main mission is to combat invasive species, achieved through the sale of attractive culinary products. Customers are also drawn by the high quality of the meat, which is antibiotic-free, naturally raised, and thoroughly inspected. The company emphasises sustainability, animal welfare, and the necessity of using hunted species responsibly.

Some companies seek to highlight sustainability through social media, videos, websites, or direct customer engagement. However, many of these products require detailed explanation—particularly regarding the rationale behind hunting or culling—to gain broader acceptance.

4.9 Niche products, premium pricing, and constrained margins

Many of the species discussed are niche products due to limited automation, scalability,

and consumer awareness. Compared with conventional, mass-produced goods, these products are often more expensive and yield lower profit margins, making them less attractive to both end consumers and corporate clients. Consequently, they are typically sold in high-end or specialty stores.

Producers of invasive species-based products rarely rely solely on these niche offerings. For most companies, such products represent only a small segment of their overall assortment; only one interviewed company offered a range entirely composed of invasive-species products. Unusual items serve primarily to attract curious customers and differentiate companies from competitors. Sustaining the business generally requires the sale of more mainstream products alongside these niche offerings. Companies note that while niche products generate attention and initial interest, customers frequently purchase additional items as well.

This pattern is consistent across producers dealing in python leather, nutria or raccoon meat, jams from invasive plants, and similar products. While niche offerings can spark interest and provide market differentiation, business viability depends on maintaining a broader product range.

4.10 Limitations to scaling and growth

Many companies do not plan to scale their products, either due to limited interest in growth or because they perceive it as highly challenging. Key obstacles include the decentralised sourcing of raw materials, low yield per animal or plant, and the extensive manual labour required. Consequently, production quantities are often not scalable, and the products are typically seen as non-competitive compared with conventional alternatives, largely because of their niche market status and higher prices. Moreover, the invasive nature or specific characteristics of these species often prevent cultivation, further limiting economic utilization. Much of the sourcing and processing work remains manual, with minimal technological support.

Only a few companies are experiencing notable growth. For example, businesses dealing with invasive king crabs in Norway benefit from favourable pricing, strong demand, an

established market, large crab size, and sufficient quantities that allow industrial-scale processing. Similarly, a US-based leather manufacturer attributes rapid growth to extensive marketing and public relations efforts. In Austria, WeLoveFurs has achieved relative success in its niche. This online fur retailer, founded by marketing professionals, leveraged strong branding, sustainability-focused strategies, and product designs appealing to younger consumers compared with competitors.

4.11 Sales and distribution channels

Due to customers' unfamiliarity with the raw materials, products from these companies often require detailed explanation. In the fur industry, for example, complex processes are involved in repurposing and modifying materials. Consequently, many companies sell directly through physical stores as well as online shops and websites. The most successful firms communicate the unique properties of their products effectively through marketing and public relations, including social media campaigns and collaborations with film crews.

Most companies operate in the B2C (business-to-consumer) market, with some also engaging in B2B (business-to-business) transactions. Many sell at farmers' markets, city festivals, food trucks, or farm shops, where direct customer advice is possible. When distributing through retail partners, such as supermarkets, companies typically supply only conventional products, believing that specialty items—like those derived from invasive species—are too niche to attract consumers without targeted consultation.

Companies are also aware of challenges in the declining fashion market, characterised by shrinking retail spaces and city centre vacancies. To remain appealing, businesses often offer a diverse product range, combining invasive and conventional products to create a balanced portfolio.

4.12 Additional market opportunities in other markets

Many companies perceive greater sales potential for their products outside Europe, particularly beyond the DACH region. Fur, pelt, and yarn manufacturers, for example, consider Eastern

Europe a promising market due to climate and consumer preferences, although this potential has largely been lost due to the Russia–Ukraine war. Scandinavia, the United Kingdom, and other northern countries are also regarded as attractive export markets. Some manufacturers view the United States as an interesting opportunity, although distribution there is often handled through separate contractual distributors.

4.13 Regulatory frameworks and certifications

Companies in this sector face numerous regulatory challenges, often imposed by government authorities, which vary by species but share common issues. For wild collection and organic-certified products, firms must provide detailed documentation of collection sites, often requiring mapped areas certified as both wild and organic. All companies, regardless of size, are subject to regular inspections, with even small firms reviewed at least annually. Wild collections are also monitored by food control authorities.

Invasive species introduce additional complexity under the EU Novel Food Regulation, which mandates approval for any food not widely consumed in Europe before 1997. Many invasive species now require lengthy approval processes. Health claim regulations further challenge companies, as natural variability in active compounds in wild plants makes it difficult to meet strict requirements, placing small processors at a disadvantage compared to the pharmaceutical industry. As a result, even recognized organic wild products are increasingly rare in EU retail and must often be sold as generic “plant raw materials” without usage guidance, despite strong demand driven by international medical recommendations.

Other regulatory constraints include the prohibition of certain products, such as teas, under Novel Food rules, and complications with organic certification of natural aromas. Some producers report excessive focus on certification, which may not always be beneficial. Specific cases illustrate these hurdles: in New Zealand, government programs for controlling fox kusu (an invasive species) are supported by organizations like WWF, whereas in the EU, businesses in sectors like cosmetics or soap may face additional labelling requirements and

pressure from environmental organisations.

Hunting regulations are particularly complex. Special permits may be required, and jurisdiction varies by region and species, often involving local water management or conservation authorities. In areas like North Rhine-Westphalia and the Netherlands, invasive species threaten dikes, creating regulatory pressure and sometimes incentivised hunting through bounties. EU regulations require member states to manage or eradicate invasive species, and hunters must obtain specialised training.

Despite these pressures, commercialisation of invasive-species products faces resistance, as authorities prioritise eradication over market development to avoid creating perverse economic incentives. Social challenges also arise: hunters and butchers often respond to residents’ complaints, yet receive little official support.

Smaller companies face additional burdens, including frequent health inspections, strict licensed kitchen requirements, and complex documentation for organic certification. Products once permitted can suddenly be banned, creating uncertainty. International trade adds further challenges, such as compliance with CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) regulations, which vary by region and species.

Overall, the regulatory landscape for wild and invasive species is highly complex, particularly for small businesses. Companies call for reduced bureaucracy, clearer guidance, and greater support from authorities to navigate overlapping regulations while maintaining necessary consumer protections.

4.14 Environmental and animal welfare organisations

Companies using products derived from invasive species are acutely aware of ethical concerns surrounding animal culling. They emphasise that they generally use byproducts rather than targeting animals solely for production. Nevertheless, they face challenges from organisations like PETA (People for the Ethical Treatment of Animals), which oppose all animal use and killing, regardless of ecological necessity (PETA-Team, 2022).

Many companies describe interactions with such organisations as irrational and emotionally driven. They note these groups often operate without transparency or democratic accountability, supported by substantial financial and legal resources, extensive media networks, and high-budget campaigns aimed at awareness rather than practical support for animal shelters or conservation.

These campaigns influence public perception, creating paradoxes: for example, people who consume meat may still view the use of fur as morally unacceptable. Companies argue that this undermines both the appreciation and image of their work, especially since animals culled for conservation purposes often have their fur discarded in favour of synthetic alternatives.

The fur industry highlights that humane treatment is essential for high-quality pelts and emphasises partnerships with indigenous communities, such as Native American trappers, who sustainably harvest only what they need. The decline of the fur industry has contributed to social issues, including rising unemployment and associated challenges in these native communities. Legal frameworks exacerbate this, as failure to hunt on indigenous lands can result in state control and environmentally destructive activities like oil fracking.

Companies also note misinformation spread by some environmental organisations, including claims that certain species are protected when they are not. In some cases, activists have released non-native species, such as farmed mink, into the wild, causing ecological damage. These animals are often culled and buried, rather than used.

Despite these challenges, some companies collaborate with conservation groups—for example, hunters leasing land to manage species harmful to forest ecosystems. However, widespread caution and mistrust persist due to potential public backlash. Veganism promoted by advocacy groups is often viewed

as an extreme stance, adding to tensions, as exemplified by debates in Berlin over orphaned raccoon cubs that are later euthanised despite causing property damage.

In summary, companies using invasive-species products navigate a complex mix of ethical, social, and regulatory challenges. They must manage public opinion shaped by powerful advocacy organizations while addressing the practicalities and ethics of invasive species management to maintain their businesses in a hostile public environment.

4.15 Market-shaping attempts

Interviews with companies working with invasive-species products reveal that many actively seek to shape the market, either by introducing new products or enhancing public awareness. These efforts are often fragmented and unsystematic but reflect key aspects of market shaping, including observing the market (factors such as affordability, availability, quality, design, and awareness), diagnosing market challenges, assessing shaping options, implementing tailored interventions, and measuring outcomes (Savage et al., 2021).

For example, women producing and selling invasive-plant products often hold certifications as herbal educators. Through their courses, they teach the public about culinary and medicinal uses of invasive species, expand knowledge, dispel misconceptions (e.g., that certain plants are poisonous), and reframe these species as valuable resources, sometimes branding them as "local superfoods".

Other companies pursue alternative strategies to enhance market acceptance, such as forming brand alliances to jointly market products and communicate their benefits. Examples include initiatives like "WE PREFUR," WeLoveFurs' "GreenCollection," and the "Fellwechsel" initiative, each of which will be discussed in more detail.

Company name	Business content	Country of origin
WE PREFUR	Marketing association of the German furrier trade	Germany
WeLoveFurs	Sales of fashion with real and faux furs (modern fashion)	Austria
Fellwechsel	Sale of fur products, initiative of the German Hunting Association	Germany

Table 2: Successful actors in market shaping for invasive species.

WE PREFUR is a collective brand and association established by the central association of furriers in Germany. Collaborating with a marketing agency, the brand promotes local fur products as “natural and fair,” emphasising sustainable hunting, ethical sourcing, and the distinction between natural and synthetic fibers. Only qualifying products carry the label, and around 30 businesses are currently certified.

The Fellwechsel initiative, launched by the German Hunters’ Federation, aimed to better market local fur from sustainable hunting. While initial supply chain development and marketing efforts were extensive, the project achieved only limited success and continues at a smaller scale in Baden-Württemberg, one of Germany’s Federal States.

In Austria, the WeLoveFurs GmbH markets fur under its GreenCollection brand, sourcing wild, non-farmed Finn raccoon fur directly from Finnish hunters. Founded by marketing professionals in collaboration with experienced furriers, the company combines ethical sourcing with a young, trendy design aesthetic, contributing to its popularity.

Other companies, including those producing luxury yarns from invasive species such as the Australian fox kusu, enhance product appeal through designs and knitting patterns that showcase practical uses, educating consumers and increasing desirability.

The German Hunters’ Federation promotes culinary uses of game through its Wild auf Wild initiative, encouraging recipe submissions that feature invasive species like Nutria. Recipes, cooking tips, and marketing advice are shared online, increasing public interest and positioning game meat as a sustainable food source.

Fur industry companies also engage in public outreach through workshops, media collaborations, and social media campaigns to raise awareness and address public misconceptions, emphasising sustainability and ethical sourcing.

These examples demonstrate diverse strategies employed to shape markets for invasive-species-derived products. Through education, branding, alliances, and public engagement, companies create new market opportunities while promoting responsible and sustainable use of invasive species.

5. Discussion, limitations and conclusion

5.1 Discussion

This study provides a detailed view of how companies managing invasive species operate within their market environment. These firms face challenges in product scalability but also have opportunities to shape the market. Key areas for improvement include further research on the chemical and technical properties of invasive species to expand industrial applications, as well as enhancing collection and harvesting methods, including AI-driven technologies.

Strategic market shaping is essential. Companies need to modernise product designs and marketing strategies while navigating complex regulatory frameworks. Government support is critical for democratising research and providing smaller firms with access to valuable data and resources. Although invasive species are often seen as threats, they also present opportunities for new applications and substances.

Despite this potential, few businesses fully utilise invasive species. Innovation in research and technology is needed, but economic viability remains uncertain, and ethical concerns—particularly regarding pathogens and bycatch—must be addressed. Companies should aim to move beyond niche markets, as invasive species could strengthen regional supply chains and enhance food security. The distinction between pests and invasive species should be considered, and future developments, such as lab-grown meat, may further impact the industry.

Customer perceptions often conflict with industry practices. Misunderstandings about the sustainability of materials, such as fur versus synthetic alternatives, highlight the need for improved consumer education. Cultural integration remains challenging, as historically forgotten uses and recent geopolitical events limit acceptance. Some efforts aim to reintroduce these species as luxury items, but broader adoption is still limited.

Processing invasive species is labour-intensive and often considered low-value. Educational initiatives are required to improve adoption and profitability. Many companies use these products to attract attention but rely on a broader product range for financial stability. Scaling is constrained by low yields and high

labour costs, so successful companies combine market differentiation with diversified offerings. Distribution is primarily direct through stores and online platforms, emphasising consumer education and blending invasive and conventional products.

There is potential for market growth beyond Europe, though geopolitical issues may affect these opportunities. Companies also navigate

complex regulations, including documentation for wild collection and EU Novel Food Regulations, which can be particularly burdensome for smaller firms. Conflicts with environmental and animal welfare organisations, such as PETA, are common, as these groups oppose the use of invasive species despite their conservation benefits, affecting public perception.

Companies using invasive species	Companies using conventional species
Small and medium-sized enterprises (SMEs), family-run businesses, craftsmanship, manufactories, pride, personal connections, purpose, sustainable thinking	Big businesses, few family businesses, long-term growth, often emotionally more disconnected from companies
Small-scale (middle-scale) operations	Small-scale (middle-scale) operations
Decentralised availability of raw materials, no human optimisation, small quantities	Often centralised, planned crops, bred and optimised plants and animals, big quantities
Seasonal availability and poor predictability of raw materials	Often seasonal availability as well, but usually better predictability of raw materials
Seasonality of the sales market	Seasonality of the sales market
Regional, short supply chains, stockpiling in times of poor harvest	International, often global and long supply chains
Personal contacts, private links in business	International business relationships, more formal relationships
High vertical integration	High specialisation, low vertical integration
Customer ignorance, indifference or even bias, ethical concerns and inconsistency	Products well-known and accepted by the customers
Culturally poor anchoring of invasive species as raw material	Products well-known and accepted by the customers
Business customers' lack of knowledge about processing and use of invasive species	Well-established recipes and forms of use, both by B2C and B2B customers
Sales via different, typical product properties like taste, quality, price (control of invasive species is secondary)	Sales via typical product properties like taste, quality, price
Niche products, expensive prices, and sometimes low margins	Mainstream products, competitive prices, standard margins
Scaling and growth difficulties	Scaling and growth difficulties
Focus amongst others on availability of nature, protection of biodiversity and the ecosystem	Protection of nature, biodiversity and the ecosystem are rather secondary
Distribution channels: specialised stores, extensive explanation needed	Standard distribution channels, standardised shops
Further market potential in other markets sometimes limited due to current circumstances	Further market potential in other markets possible
Policy, regulations and laws, certifications sometimes limiting; low influence on policy-making due to small size, low political power and influence, lower (marketing) funds	Policy, regulations and laws, certifications sometimes limiting; higher influence on policy-making due to medium and big size, bigger political power and influence, (marketing) funds
Environmental organisations and animal welfare organisations are influencing customer perceptions on certain product types like fur	Environmental organisations and animal welfare organisations have less influence on customer perception since they are well-established in the markets
Market-shaping attempts to change market perception (from negative to positive)	Market-shaping attempts to even promote more sales of already accepted products

Table 3: Main contrasts between invasive species-based and conventional material companies.

Companies' market-shaping efforts include consumer education, brand alliances, and public outreach. Examples include:

- WE PREFUR: promoting natural and ethical fur products
- Fellwechsel: marketing local fur products
- GreenCollection by WeLoveFurs: highlighting ethical sourcing
- Wild auf Wild: promoting game meat recipes

These initiatives aim to enhance market acceptance and highlight the sustainability of products derived from invasive species.

The main differences between companies working with conventional species and those utilising invasive species can be summarised as follows. From these differences, key enablers and barriers for businesses working with invasive species can also be derived:

Using those kinds of information, we can answer the research question of this paper: Companies commercialising products from invasive species typically operate as small to medium-sized, often family-run or craft businesses, emphasising sustainability, biodiversity, and ethical sourcing. Their business models rely on niche markets, offering products such as meat, fur, yarn, and plant-based goods, often with higher prices and lower margins than conventional products.

In contrast to conventional companies, these firms face decentralised and unpredictable raw material supplies, labour-intensive processing, and cultural and consumer unfamiliarity, requiring extensive education, marketing, and market-shaping efforts to enhance acceptance. Regulatory challenges—including EU Novel Food rules, organic certifications, and animal welfare concerns—further complicate operations, while environmental and animal welfare organisations strongly influence public perception.

Opportunities for these companies lie in leveraging the intrinsic qualities of their products, promoting sustainable and ethical practices, expanding into new regional or international markets, and developing innovative applications for invasive species. Compared to conventional companies, which benefit from standardised production, well-known products, established supply chains, and scalable operations, firms using invasive species

must combine creative branding, education, and alliances with diversified product offerings to achieve economic viability while contributing to ecosystem management.

5.2 Research limitations

The scope of this study was limited by the number of companies surveyed, although a larger sample could have provided more comprehensive insights. Nonetheless, the responses indicated a degree of theoretical saturation, as defined in Grounded Theory, suggesting that additional interviews might not substantially alter the overall findings.

Further research could explore practices in other countries and continents, as existing literature is predominantly grey, with limited peer-reviewed studies on the topic. This presents substantial potential for future investigation.

It should be noted that information on certain invasive species remains incomplete. Some species, including fungi, viruses, disease vectors, and insects, currently have limited economic applications. From a biological perspective, it is essential to assess whether their control or utilisation is a viable strategy, and management actions must be carefully evaluated to avoid counterproductive outcomes.

Ethical considerations are also significant. While species movement is a natural process, using invasive species as raw materials raises moral questions. For example, species like Indian balsam attract many insects, complicating their management.

This study focuses on the use of invasive species as raw materials when their control or minimisation is both biologically and ethically justified. While invasive species may offer potential benefits, this research specifically addresses cases where they are considered harmful and require management. Future research could explore broader implications and potential benefits of invasive species beyond immediate control.

5.3 Conclusion and outlook

This study addressed the research question: "What business models are being developed by companies to commercialise products from invasive species, and what opportunities

and challenges do they face in comparison to conventional companies in their business processes?" It provides valuable insights into the operations, supply chains, and market contexts of companies using invasive species, highlighting both their challenges and potential for market shaping.

Despite issues related to scalability, labour intensity, and cultural unfamiliarity, these companies demonstrate significant opportunities. Key areas for improvement include research into the chemical and technical properties of invasive species to enhance industrial applications, the development of AI-driven harvesting and automated processing technologies, and the creation of standardised product data and ingredients lists. Strategic market shaping—including modernised design, communication, and branding—remains crucial, as does navigating regulatory frameworks and engaging with consumers to improve acceptance. Government support for research and access to knowledge is particularly important for smaller businesses.

While the economic utilisation of invasive species can help control their populations, ethical and biological considerations—particularly regarding vertebrates, bycatch, and ecosystem impacts—must be addressed. Companies could also expand beyond niche markets to strengthen regional supply chains, enhance food security, and develop innovative product offerings. Current and emerging technologies, such as lab-grown meat and fur, may reshape the field, highlighting the need for adaptability and long-term strategic planning.

In conclusion, this paper demonstrates that invasive species, long viewed as ecological threats, can be transformed into valuable economic resources. By combining innovative supply chain management, technological advancements, and strategic market shaping,

businesses can turn environmental challenges into opportunities, redefining invasive species from menace to market.

Outlook

Future research should explore broader international practices, investigate additional industrial and pharmaceutical applications, and assess the long-term sustainability and ethical implications of utilising invasive species. Expanding the evidence base and technological capabilities could further enhance the viability of this emerging market and its contribution to both ecological management and economic development.

Acknowledgements

A detailed overview over the companies is given in Table 4 in the Appendix. Furthermore, selected quotes that emphasise the basic tenor of the interviewees are presented in Table 5 in the Appendix. The interview questions all interviewed companies, associations and partners were asked, can be found in Table 6 in the Appendix.

Disclaimer

Statements about animal welfare organisations such as PETA only reflect the statements of the companies surveyed and do not necessarily reflect the authors' opinions.

References

- Adner, R., & Kapoor, R. (2010). Value Creation in Innovation Ecosystems: How the Structure of Technological Interdependence Affects Firm Performance in New Technology Generations. *Strategic Management Journal* 31(3), 306–333. <https://doi.org/10.1002/smj.821>.
- Bentsen, K. (2021, February). Market Shaping Dynamics in Digital Local Food Markets. *Three Essays on Market Shaping Dynamics in Digital Local Food Markets*. Horten, Norway: University of South-Eastern Norway – USN School of Business. ISBN: 978-82-7860-479-3 (online).
- Bundesministerium der Justiz. (2024, August 1). *Bundesamt für Justiz*. Retrieved from Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG): https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg_2009/_40.html.
- Burgiel, S. W., & Muir, A. A. (2010). *Invasive Species, Climate Change and Ecosystem-Based Adaptation: Addressing Multiple Drivers of Global Change*. GISP Global Invasive Species Programme. <https://doi.org/10.13140/2.1.1460.8161>.
- Engelhardt, K. M. (2021). Economic Utilization of Invasive Alien Species: A Systematic Literature Review. *NeoBiota*, 87–114.
- Epanchin-Niell, R. S. (2017). Economics of invasive species policy and management. *Biological Invasions*, 3333–3354. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1406-4>.
- European Commission. (2019, December 14). EUR-Lex. *Access to European Union law*. Retrieved from Access to Regulation (EU) No 1143/2014 of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1483614313362&uri=CELEX:32014R1143>.
- European Commission. (2024, August 10). *European Commission | Energy. Climate Change, Environment*. Retrieved from Invasive alien species. Preventing and minimising the effects on invasive alien species on Europe's biodiversity: https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/invasive-alien-species_en.
- European Commission. (2024, August 1). *European Commission | Food, Farming, Fisheries*. Retrieved from Food waste measurement: https://food.ec.europa.eu/safety/food-waste/eu-actions-against-food-waste/food-waste-measurement_en.
- Flaig, A., Kindström, D., & Ottosson, M. (2021). Market-shaping strategies: A conceptual framework for generating. *Industrial Marketing Management* 96, 254–266. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2021.06.004>.
- Gawer, A., & Cusumano, M. A. (2014). Industry platforms and ecosystem innovation. *Journal of Product Innovation Management* 31(3), 417–433. <https://doi.org/10.1111/jpim.12105>.
- Genovesi, P., & Shine, C. (2004). European strategy on invasive alien species. *Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats* (Bern Convention). Bern: Council of Europe. ISBN 92-871-5487-2.
- Giannoccaro, I. (2018). Centralized vs. decentralized supply chains: The importance of decision maker's cognitive ability and resistance to change. *Industrial Marketing Management*, 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2018.01.034>.
- HOLYCRAB! (INWERT GmbH) . (2024, February 2). HOLYCRAB! – *Invasive Delicatessen*. Retrieved from HOLYCRAB! – If you can't beat them, eat them: www.holycrab.berlin.
- Hulme, P. E., & Smith, M. U. (2009). The Role of Enemy Release and Resource Availability in Invasion Success: Evidence from a New Zealand Epiphyte. *Journal of Ecology*, 267–277.
- Jaworski, B., Kohli, A. K., & Sahay, A. (2000). Market-Driven Versus Driving Markets. *Academy of Marketing Science*, Volume 28, Issue 1. <https://doi.org/10.1177/0092070300281005>.
- Jördens, J. (2023, June 15). *Senckenberg world of biodiversity*. Retrieved from Invasive Arten in Europa: Kostensteigerung um über 500 Prozent: <https://www.senckenberg.de/de/pressemeldungen/invasive-arten-in-europa-kostensteigerung-um-ueber-500-prozent/>.
- Kindström, D., & Kowalkowski, C. (2014). Service innovation in product-centric firms: A multidimensional business model perspective. *Journal of Business and Industrial Marketing* 29(2), 96–111. <https://doi.org/10.1108/JBIM-08-2013-0165>.
- Lepak, D. P., Smith, K. G., & Taylor, M. S. (2007). Value Creation and Value Capture: A Multilevel Perspective. *Academy of Management Review*, Vol. 32, No. 1

- (online). <https://doi.org/10.5465/amr.2007.23464011>.
- Lorentzen, G., Voldnes, G., Whitaker, R. D., Kvalvik, I., Vang, B., Solstad, R. G., . . . Siikavuopio, S. I. (2017). Current Status of the Red King Crab (*Paralithodes camtschaticus*) and Snow Crab (*Chionoecetes opilio*) Industries in Norway. *Fisheries Science & Aquaculture* 26:1, 42–54. <https://doi.org/10.1080/23308249.2017.1335284>.
- Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., & De Poorter, M. (2000). *100 of the world's worst invasive alien species*. Auckland: ISSG Invasive Species Specialist Group.
- Martin, P., Chaoy, D. L., LeGal, E., & Lingard, K. (2016). *Discussion paper: Effective citizen action on invasive species – The institutional challenge*, Invasive Animals Cooperative Research Centre, Bruce, Australia. Web ISBN: 978-0-9924083-0-5.
- Mayring, P., & Fenzl, T. (2019). Qualitative Inhaltsanalyse. In N. Baur, & J. Blasius, *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (pp. 633–648). Wiesbaden: Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-21308-4_42.
- Meadows, B., & Sims, C. (2023). Can We Love Invasive Species to Death? Creating Efficient. *Environmental and Resource Economics* 85, 443–477. <https://doi.org/10.1007/s10640-023-00772-8>.
- Möller, K., & Rajala, A. (2007). Rise of strategic nets - New modes of value creation. *Industrial Marketing Management*, 36(7), 895–908. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2007.05.016>.
- Nunez, M. A., Kuebbing, S., Dimarco, R. D., & Simberloff, D. (2012). Invasive Species: to eat or not to eat, that is the question. *Conservation Letters*, 334–341. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2012.00250.x>
- Pasko, S., & Goldberg, J. (2014). Review of harvest incentives to control invasive species. *Management of Biological Invasions* Volume 5, Issue 3, 263–277. <http://dx.doi.org/10.3391/mbi.2014.5.3.10>.
- PETA-Team. (2022, Oktober 26). PETA. Retrieved from Neozoen: Warum die Jagd auf "invasive Arten" keine Lösung ist: <https://www.peta.de/themen/neozoen/>.
- Pimentel, D. (2005). The Economic Costs of Invasive Species. In Inderjit, *Invasive Plants: Ecological and Agricultural Aspects* (pp. 269–276). Delhi: Inderjit. <https://doi.org/10.1007/3-7643-7380-6>.
- Pimentel, D. (2011). *Biological Invasions. Economic and Environmental Costs of Alien Plant, Animal, and Microbe Species, Second Edition*. Boca Raton, FL, USA: Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/b10938>.
- Pimentel, D., Lach, L., Zuniga, R., & Morrison, D. (2000). The Economic Impacts of Invasive Species: A Review of the Literature. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1–15.
- Porter, M. E., & Kramer, M. (2007). Strategy and Society: The Link Between Competitive Advantage and Corporate Social Responsibility. *Harvard Business Review* 84(12), 78–92.
- Rainey, H. J., Pollard, E. H., Dutson, G., Ekstrom, J. M., Livingstone, S. R., Temple, H. J., & Pilgrim, J. D. (2014). A review of corporate goals of No Net Loss and Net Positive Impact on biodiversity. *Oryx - Volume 49, Issue 2*, 232–238. <https://doi.org/10.1017/S0030605313001476>.
- Ricciardi, A., & MacIsaac, H. J. (2011). Impacts of Biological Invasions on Freshwater Ecosystems. In D. M. Richardson, *Fifty Years of Invasion Ecology: The Legacy of Charles Elton* (pp. 211–224). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781444329988.ch16>.
- Sanchez Lopez, J., De Laurentiis, V., Caldeira, C., & Sala, S. (2020). *Brief on Food Waste in the European Union*. Brussels: European Commission.
- Savage, M., Albala, S., Seghers, F., Kattel, R., Liao, C., Chaudron, M., & Afdhila, N. (2021). Applying market shaping approaches to increase access to assistive technology in low- and middle- income countries. *Assistive Technology*, 124–135. <https://doi.org/10.1080/10400435.2021.1991050>.
- Shackleton, R. T., Richardson, D. M., Shackleton, C. M., Bennett, B., Crowley, S. L., Dehnen-Schmutz, K., . . . Novoa, A. (2019). Explaining people's perceptions of invasive alien species: A conceptual. *Journal of Environmental Management* 229, 10–26. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.045>.
- Shackleton, R. T., Shackleton, C. M., & Kull, C. A. (2019). The role of invasive alien species in shaping local livelihoods and human. *Journal of Environmental Management* 229, 145–157. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.007>.
- Shine, C., Kettunen, M., & ten Brink, P. G. (2009). Recommendations on policy options to minimise the negative impacts of invasive alien species on

- biodiversity in Europe and the EU. *Final report for the European Commission*. Brussels, Belgium: Institute for European Environmental Policy (IEEP).
- Simberoff, D. (2003). Eradication – preventing invasions at the outset. *Weed Science*, 51(2), 247–253.
- Texfash. (2022, December 1). Texfash. Retrieved from Inversa and Teton Launch Leather Collection Made of Invasive Dragonfin that Destroyed Native Mississippi River Species : <https://texfash.com/update/inversa-and-teton-launch-leather-collection-made-of-invasive-dragonfin-that-destroyed-native>.
- Vilá, M., Basnou, C., Pysek, P., Josefsson, M., Genovesi, P., Gollasch, S., . . . Hulme, P. E. (2010). How well do we understand the impacts of alien species on ecosystem services? A pan-European, cross-taxa assessment. *Frontiers in Ecology and the Environment* 8(3), 135–144. <https://doi.org/10.1890/080083>.
- Vilá, M., Espinar, J. L., Hejda, M., E. H. P., Jarosik, V., Maron, J. L., . . . Pysek, P. (2011). Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. *Ecology Letters*, 702–708. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01628.x>.
- WeLoveFurs GmbH. (2024, August 08). *Pelze online shoppen - WeLoveFurs*. Retrieved from <https://welovefurs.com/de/>.
- Williamson, M., Hill, A. F., & Richardson, D. M. (1996). Global Patterns of Invasions and the Concept of Invasibility. *Ecology*, 1588–1599.
- Windsor, D. (2017). Chapter 4: Value Creation Theory: Literature Review and Theory Assessment. In D. M. Wasieleski, & J. Weber, *Stakeholder Management* (pp. 75–100), Bingley (UK), Emerald Publishing Limited.

Appendix

Company/ association/ person	Position of interviewee	Length of interview (minutes) each	Affected invasive species/similar processes	Company size	Country	Number of organisations interviewed
Trading company for herbs and teas	Owner	60	Wild harvest of herbs and teas	SME, family- owned business	Germany	2
(Tannery), furrier & fur trade	Owner, furrier	60	Invasive: Nutria, raccoon, etc.	SME, family- owned business	Germany	8
Import, wholesale & retail wool	Co-owner	45	Fox kusu (wool)	SME, family- owned business	Germany/ New Zealand	1
Swiss & German Hunting Federations	Employee,	60	Raccoon, Nutria	Association, 280.000 members in total	Switzerland	2
Production and trade of cosmetics & consumer goods (mainly soaps)	Owner	60	Myrtle heath (herbs)	SME, family- owned business, long family tradition	Germany	1
Hunter & butcher	Owner	60	Nutria, raccoon	SME, family- owned business	Germany	3
Farm, herbal education & farm shop	Owner	35	Indian balsam	ME, family-owned business	Germany	2
Researcher, marine biologist	Scientist	40	Green and blue crabs	SME	USA	1
Processing & trading company for seafood	Co-founder & Co-owner	60	American swamp crayfish, (raccoon), not invasive but sometimes also biological plague: swans	SME, family- owned business	Germany	1
NGO for awareness & education against a specific invasive species	Founder & leader	30	Green crab	Small Association	USA	1
Producer, trading company for cosmetics and consumer goods	Co-founder & Co-owner	60	Indian balsam	SME, family- owned business; partner business in Croatia	Austria/ Croatia	1
Production and distribution of leather goods	Owner & assistant	60	Invasive snakes, invasive carp, python, dragonfin	SME	USA	1
Trading company for cosmetics and consumer goods (essential oils)	Co-owner	45	Myrtle heath	SME	Germany	1
Restaurant	Owner, cook	30	Raccoon	Small restaurant, now inactive	Germany	1

Table 4: Interview details and respondent characteristics.

Source	Representative quote	First-order categories	Second-order themes
Processing & trading company for seafood	"The Bible knows 10 plagues. 4 of them can be eaten. Since man has been acting like God, a few more have been added. Fortunately, some of them are also edible..."	Humans have influence on invasive species' spread. Nevertheless, many of them can be used (economically)/ consumed.	Human impact, economic use (potential)
Furrier	"I am a furrier and craftsman with heart and soul."	Pride in the profession	Pride in profession, dissonance with customers
Furrier	"Germany is an extremely fur-rich country."	In some areas there are more than enough raw materials.	Abundance of raw materials
Hunter and butcher	"We are 'hunters and carers', but we no longer have much of a lobby".	Contradiction between own and external view	Pride in profession, dissonance with customers
Furrier	"We do what the industry already wants. Yet we are not the model industry of the green movement." "Don't believe what people are saying." "There are no queues at the organic food shop." "Put your money where your mouth is – Germans don't."	Remodelling of clothes: upcycling, more durability; own green acting, customer dissonance	Pride in profession, sustainability, dissonance with customers' behaviour
Hunter and butcher	In the hunting community, exotic is inferior, like a waste product. You might hear a statement like "I'm not going to touch a rat".	Lack of knowledge about invasive species and their potential use	Lack of knowledge about invasive species and their potential use

Table 5: Representative quotes (translated mostly from German language).

1.	Introduction of the interview partners
2.	<u>Questions about the company</u> - History of origin - Original motivation - How did you come across invasive species? - How big is your company?
3.	<u>Products & supply chain/organisational matters</u> - Which animals or plants do you process? Which of them are invasive? - What does the supply chain look like to you, who processes? - How many suppliers do you have? - If you collect or hunt yourself, how do you do it? - What is made from the raw materials? - What is the main difference between wild and conventional products? - What quantities do you produce? - Could you still scale?
4.	<u>Marketing and sales</u> - If brands are used in the company: asking about the history of origin, success and use - Perception of the population/potential customers - Typical customers? Cultural or age differences? - Sales arguments - Question about competitors
5.	<u>Dealing/relationship with authorities, support from them</u>

Table 6: Interview questions (semi-structured interviews).

Effektive Datenaufzeichnung in der Landwirtschaft: Ein robustes System für mobile Maschinen

Johann Brunner*

Matthias Hien*

Tobias Dobmeier*

Dmitrii Dobriborsci**

<https://doi.org/10.25929/2exfpr11>

ABSTRACT

Die präzise Erfassung und Verarbeitung von Sensordaten stellt eine Schlüsselvoraussetzung für die Entwicklung KI-gestützter Anwendungen in der Landwirtschaft dar. In dieser Studie werden die Konzeption und Implementierung eines robusten Datenaufzeichnungssystems für mobile landwirtschaftliche Maschinen vorgestellt, das auch unter extremen Einsatzbedingungen zuverlässig arbeitet. Das System erfasst und speichert die Bild- und Signaldatenströme einer multispektralen Kamera im sichtbaren und nahinfraroten Spektralbereich sowie zweier maschinenspezifischer CAN-Bussysteme. Die Hardware basiert auf einem Rechnersystem mit stoß- und vibrationsresistentem Gehäuse sowie austauschbaren SSD-Speichern, die eine langfristige Sicherung großer Datenmengen ermöglichen. Die Softwarearchitektur erlaubt eine autarke, ereignisgesteuerte Datenerfassung und gewährleistet durch das Precision Time Protocol eine präzise Synchronisation aller Quellen. Validierungen im Labor und unter realen Einsatzbedingungen auf einer Überlademaschine für Zuckerrüben belegen die hohe Verfügbarkeit, die konsistente Datenqualität sowie die zeitlich determinierte Erfassung und zeitnahe Verarbeitung der Sensordaten. Die Bildqualität wurde anhand des Signal-Rausch-Verhältnisses bewertet und als gut eingestuft; zudem konnte eine korrekte Ausleuchtung in 99,97 % der Aufnahmen nachgewiesen werden. Die Ergebnisse bestätigen die Praxistauglichkeit des Systems und seine Eignung als Aufzeichnungsgerät dieser Datenströme. Das entwickelte Konzept bietet darüber hinaus eine flexibel anpassbare Lösung für zukünftige Anwendungen zur Datenakquise in der Präzisionslandwirtschaft.

The precise acquisition and processing of sensor data is a key prerequisite for the development of AI-supported applications in agriculture. This study presents the design and implementation of a robust data recording system for mobile agricultural machinery that operates reliably even under extreme operating conditions. The system acquires and stores the image and signal data streams from a multispectral camera in the visible and near-infrared spectral range, as well as from two machine-specific CAN bus systems. The hardware is based on a computer system with a shock- and vibration-resistant housing and replaceable SSD storages, enabling long-term archiving of large data volumes. The software architecture allows for autonomous, event-driven data acquisition and ensures precise synchronization of all sources through the Precision Time Protocol. Validations in laboratory and under real-world operating conditions on a sugar beet overloading machine demonstrate the high availability, consistent data quality, and the time-determined acquisition and real-time processing of sensor data. Image quality was assessed based on the signal-to-noise ratio and rated as good. Furthermore, correct illumination was confirmed in 99.97% of the images. The results confirm the system's practicality and its suitability as a recording device for these data streams. The developed concept also offers a flexibly adaptable solution for future applications usable for data acquisition in precision agriculture.

*Campus Cham „Intelligente Produktion“, Technische Hochschule Deggendorf

**Campus Cham „Intelligente Robotik“, Technische Hochschule Deggendorf

KEYWORDS

Data acquisition, data recording system, agriculture 4.0, robust system, precision agriculture

Datenerfassung, Datenaufzeichnungssystem, Landwirtschaft 4.0, robustes System, Präzisionslandwirtschaft

1. Einleitung

Eine grundlegende Voraussetzung für die Entwicklung eines statistischen Modells ist die Verfügbarkeit eines für die jeweilige Aufgabe geeigneten Datensatzes. Dieser muss sowohl unabhängige als auch abhängige Variablen umfassen. Der Gesamtprozess von der Auswahl der Variablen bis zu fertigen Modellen wird durch die Zusammenführung in einer umfangreichen Datenbasis, wie in Abbildung 1 dargestellt, ergänzt. Die Datenquellen werden dabei über physikalische Sensoren sowie

Schnittstellen zum automatisierten Auslesen der Datenströme definiert. Zur Sicherstellung einer hohen Datenqualität erfolgt vor und während der Zusammenführung eine Sichtung und Bereinigung der unterschiedlichen Quellen. Auf Grundlage dieser Datenbasis werden anschließend spezifische Datensätze für die jeweilige Analyse abgeleitet. Die vorliegende Studie untersucht die Gewinnung einer solchen umfangreichen Datenbasis (orange Box) als Ausgangspunkt für die Ableitung aufgabenspezifischer Datensätze.

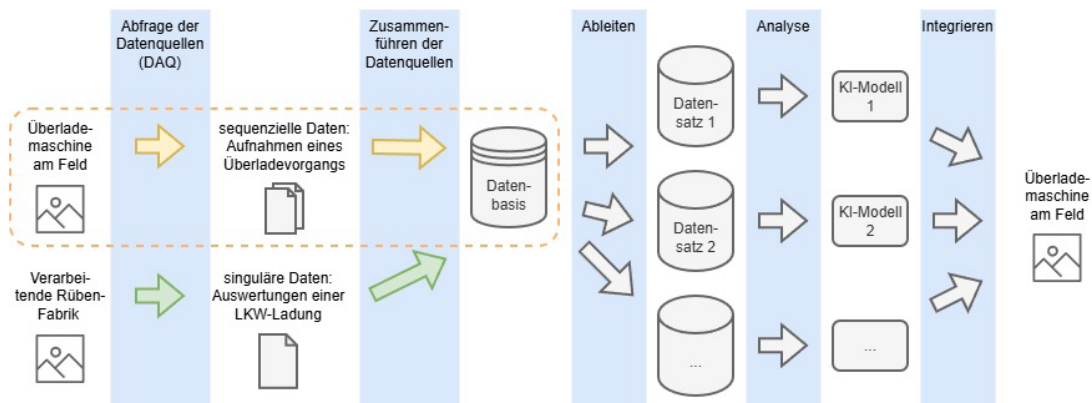


Abbildung 1 beschreibt die Prozesskette zur Entwicklung und Implementierung eines statistischen Modells: Von der Datenakquise über die Gewinnung einer umfassenden Datenbasis bis hin zur Ableitung spezifischer Datensätze für zielgerichtete Datenanalysen.

Diese Studie ist Teil eines Projektvorhabens zur Entwicklung einer echtzeitfähigen Methode zur Bestimmung des Gewichtsanteils von an geerntetem Wurzel- und Knollengemüse anhaftender Erde. In einem ersten Schritt werden die relevanten Datenquellen identifiziert. Dazu zählen zunächst eine multispektrale Kamera, die deckungsgleiche Flächenbilder im sichtbaren (VIS, visible) und nahen infraroten (NIR, near-infrared) Spektrum aufnimmt, sowie ausgewählte Signale des CAN-Bussystems (CAN = Controller Area Network)

der landwirtschaftlichen Maschine (siehe Abschnitt 3.2.3). Die tatsächliche Relevanz dieser Datenquellen lässt sich jedoch meist erst im Prozessschritt „Analyse“ (siehe Abbildung 1) verifizieren. Bei der Konfiguration des automatisierten Aufzeichnungssystems sollten daher möglichst viele verfügbare Datenquellen berücksichtigt werden, da fehlende Quellen nachträglich nicht ergänzt werden können.

Die aus den aufgezeichneten Daten abgeleiteten Ergebnisse sollen eine präzisere Messung

und Steuerung der Reinigung von Feld- und Bodengemüse durch Erntemaschinen ermöglichen. Da das entwickelte Aufnahmesystem auf einer Überlademaschine für Feldfrüchte (vgl. Abbildung 2) eingesetzt wird, muss dessen Betrieb unter rauen Bedingungen, etwa starken Vibrationen, Staub, Sonneneinstrahlung, wechselnden

klimatischen Einflüssen und begrenztem Bauraum, gewährleistet sein. Im Rahmen des Projektvorhabens erfolgte eine Kooperation mit der Firma ROPA Fahrzeug- und Maschinenbau GmbH [1]. Das Aufnahmesystem konnte für die Überlademaschine ROPA MAUS 6 vorbereitet und erfolgreich validiert werden.

Zu Beginn des Vorhabens stand keine



Abbildung 2 zeigt die Überladung einer Zuckerrübenmiete auf einen LKW nach der Ernte im Herbst mithilfe einer Überlademaschine des Herstellers ROPA. [2]

umfassende Datenbasis zur Verfügung, die für Datenanalysen hätte genutzt werden können. Zur Bestimmung des Gewichtsanteils der Erde auf dem LKW mithilfe Künstlicher Intelligenz (KI) wurden daher folgende Datenquellen definiert:

- Bild- und Signalaufnahmen einer multispektralen Kamera sowie des CAN-Bussystems, die sequenziell während eines Überladevorgangs auf der Überlademaschine erfasst werden (vgl. Abschnitt 3.2.3; Abbildung 1, gelbe Pfeile)
- Aufzeichnungen der verarbeitenden Fabrik, die jeweils für jede LKW-Ladung separat dokumentiert werden (vgl. Abbildung 1, grüne Pfeile)

Vor diesem Hintergrund ergibt sich die zentrale Forschungsfrage dieser Studie: Inwieweit erfüllt das entwickelte Datenaufzeichnungssystem wesentliche Anforderungen, wie die Verfügbarkeit der Aufnahmefunktion, das

Speichermanagement, die Qualität der aufgenommenen Bilder sowie die zeitliche Präzision der Sensordatenabfrage und weitere anwendungsspezifische Kriterien (vgl. Abschnitt 3.2), um für den Einsatz auf mobilen landwirtschaftlichen Maschinen geeignet zu sein?

Für den Aufbau einer umfangreichen Datenbasis sind zudem zusätzliche Informationen, wie Identifikationsnummern, Zeitstempel und örtliche Positionen entscheidend. Diese ermöglichen eine nachträgliche Ergänzung und Verknüpfung mit öffentlich zugänglichen Datenbanken zu Klima und Bodenbeschaffenheit. Damit entsteht die Datengrundlage für spezifische Analysen und das Training von KI-Modellen im weiteren Projektverlauf.

2. Stand der Technik

In der modernen Präzisionslandwirtschaft ist präzises Datenlogging essenziell, insbesondere

bei der Multisensordatenerfassung [3]. Neben der Aufzeichnung einfacher Parameterverläufe wie Temperatur und Luftdruck umfasst dies auch die Verarbeitung großer Datenmengen, z. B. bei der Bildaufnahme.

2.1 Bilddatengenerierung

Im Rahmen der Studie wurde eine Flächenkamera eingesetzt, da eine Linienkamera aufgrund der hohen Förderbandgeschwindigkeit von 1,5–2 m/s auf der Überlademaschine kein zusammenhängendes Bild hätte erzeugen können. Multispectral Imaging (MSI) ermöglicht die Erfassung ausgewählter Spektralbänder des sichtbaren und nicht-sichtbaren Lichts und liefert zusätzliche Informationen über Materialeigenschaften, sowie chemische Zusammensetzungen von Pflanzen und Böden [4–6].

Die Generierung des multispektralen Bilddatenstroms stellt besondere Anforderungen an die Kamera: Eine zeitlich präzise Bildaufnahme ist notwendig, um die Bilder eindeutig den gleichzeitig erfassten Sensordaten zuordnen zu können. Dies wird durch das Protokoll GigE Vision v2 unterstützt [7, 8]. Manche Hersteller (Allied Vision, Baumer u. a.) implementieren neben der Synchronisation auch einen internen Pufferspeicher, sodass Bilder unabhängig vom Zeitpunkt der Aufnahme und Abfrage aus diesem ausgelesen werden können.

Für kohärente multispektrale Bildaufnahmen müssen die drei CMOS-Bildsensoren (CMOS = Complementary Metal-Oxide Semiconductor) in der Kamera exakt ausgerichtet sein, insbesondere bei bewegten Objekten. Technologisch stehen neben der Strahlteilung durch ein Prisma auch Mehrfach-Kamera-Systeme zum Einsatz zur Verfügung. Das Prismen-System ermöglicht durch den kurzen Betrachtungsabstand deckungsgleiche Bilder, was bei Systemen mit einzelnen, nahe beieinander angeordneten Kameras, wie dem Parrot Sequoia [9], nicht realisierbar ist. Mehr-Kamera-Systeme werden häufig bei Drohnenflügen eingesetzt, wo der große Abstand zu den Objekten die fehlende Kohärenz weniger kritisch macht. Im Projektvorhaben hingegen ist der Abstand zwischen Kamera und Förderband sehr gering, sodass das Prismen-System die methodisch sinnvollere Lösung darstellt.

2.2 Einsatz-Szenarien

Datenaufzeichnungssysteme bzw. Datenlogger sind essenzielle Komponenten in der Präzisionslandwirtschaft. Sie werden häufig projektspezifisch entwickelt, um den jeweiligen Anforderungen gerecht zu werden. Besonders im modernen Agrarsektor und in der Automatisierungstechnik spielen sie eine zentrale Rolle und bieten ein hohes Potenzial für zukünftige Entwicklungen, v. a. im Bereich der KI und der nachträglichen Fehleranalyse. Grundsätzlich lassen sie sich in stationäre und mobile Systeme kategorisieren.

Stationäre Datenlogger dienen in der Regel der kontinuierlichen Überwachung physikalischer Größen wie Strom, Spannung oder Widerstand [10]. Projektspezifische Ausführungen ermöglichen darüber hinaus spezialisierte Analysen, beispielsweise zur Überwachung des Werkzeugverschleißes bei CNC-Maschinen [11] oder zur Erfassung des Volumenzuwachses bei Pflanzen [12]. Mobile Datenlogger werden hingegen bevorzugt für orts aufgelöste Messungen eingesetzt. Typische Einsatzbereiche sind die Bodenkartierung, bei der Bilddaten mit präzisen Positionsinformationen kombiniert werden [13], oder die Entwicklung autonomer Fahrzeuge [14].

2.3 Umsetzung von DAQ-Systemen in der Landwirtschaft

Traditionell werden landwirtschaftliche Prozessparameter und andere Daten manuell von den Landwirt:innen erfasst. Mit dem Aufkommen von Landwirtschaft 4.0 und der Verfügbarkeit von Big-Data-Technologien übernehmen diese Aufgaben jedoch zunehmend Sensoren mit integriertem Datenspeicher, smarte Maschinen und speziell entwickelte Datenlogger (vgl. [15–17]). Dabei liegt der Fokus aktuell noch auf klassischen Sensordaten wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder Bodenparametern. Dennoch findet die Bildverarbeitung in der Landwirtschaft einen wachsenden Anwendungsbereich, insbesondere bei der Analyse von Multi- und Hyperspektralbildern [4].

Die Erfassung von Multi- und Hyperspektraldaten durch Datenlogger eröffnet neue Möglichkeiten für das präzise Pflanzenmanagement. Diese Technologien ermöglichen es, Zustände der Pflanzen wie Wassergehalt, Nährstoffversorgung

oder Stressfaktoren genau zu bestimmen. Durch solche Analysen können landwirtschaftliche Prozesse zielgerichteter gestaltet und Ressourcen wie Wasser und Dünger effizienter eingesetzt werden [18]. Die in diesen Anwendungen verwendeten Datenlogger sind dabei immer speziell auf den jeweiligen Einsatzbereich zugeschnitten und zeichnen sich durch einen hohen Grad an Anpassbarkeit aus.

Ein herausragendes Beispiel hierfür ist das in Mayo et al. [19] beschriebene System, das eine offene und vollständig anpassbare Lösung zur Datenakquisition für die hyperspektrale Bildgebung bietet. Dieses System kombiniert handelsübliche Komponenten mit Open-Source-Software, um ein kompaktes, leichtes und transportables Gerät zu schaffen. Das System wurde speziell für den Einsatz auf Drohnen entwickelt, wobei die Leichtbauweise ein zentrales Designkriterium war. Die Integration eines GPS-Systems (GPS = Global Positioning System) ermöglicht es, hyperspektrale und Navigationsdaten gleichzeitig zu erfassen und direkt zu georeferenzieren. Diese Technologie eignet sich hervorragend für die effiziente Überwachung agrarrelevanter Parameter wie Pflanzenzustand, Krankheitsbefall oder Nährstoffversorgung auf großen landwirtschaftlichen Flächen und hat sich bereits in der Praxis bewährt. Beispielsweise wurde das System eingesetzt, um ein ausgewähltes Gebiet unter Verwendung von hyperspektralen Bildern zu kartographieren.

Ein entscheidender Aspekt bei mobilen und stationären DAQ-Systemen (DAQ = Data Acquisition) ist der Energieverbrauch. Insbesondere bei autarken Systemen, die über längere Zeiträume ohne externe Stromversorgung betrieben werden, ist ein geringer Energiebedarf essenziell. Solche Systeme müssen nicht nur effizient arbeiten, sondern auch robust gegenüber widrigen Umweltbedingungen sein, um zuverlässige Daten über lange Zeiträume hinweg zu liefern.

Obwohl handelsübliche Datenlogger-Systeme in vielen Anwendungen etabliert sind, erfüllen sie im Rahmen des vorliegenden Projekts die spezifischen Anforderungen nicht. So erfordert die Datenaufzeichnung eine simultane Erfassung von Bilddaten mit hoher Bildfrequenz sowie die parallele Aufzeichnung von CAN-Signalen, wobei die Steuerung der Aufzeichnung über CAN-Nachrichten erfolgen

muss. Darüber hinaus ist eine flexible und transparente Datenablage notwendig, um die aufgezeichneten Rohdaten ohne proprietäre Formate direkt weiterverarbeiten zu können (vgl. Abschnitte 3.2.3 f. und 4.1.2 f.). Die von Herstellern angefragten Systeme hätten zwar Standardfunktionen wie CAN-Trigger unterstützt, jedoch basierten sie auf proprietären Softwarelösungen und Dateiformaten, die eine zusätzliche Nachverarbeitung erfordert hätten. Damit wären die notwendige Flexibilität und Erweiterbarkeit nicht gegeben gewesen. Aus diesen Gründen wurde eine projektspezifische Lösung entwickelt, die die genannten Anforderungen vollständig berücksichtigt.

3. Methoden

Um die Leistungsfähigkeit und Effizienz des zu entwickelnden Aufzeichnungssystems zu gewährleisten, ist es entscheidend, die spezifischen Anforderungen zu kennen. Diese Anforderungen bilden die Grundlage für den Systemaufbau und ermöglichen eine umfassende Systemvalidierung. Im folgenden Abschnitt werden die Anforderungen an das Aufnahmesystem im Kontext des Projektvorhabens erläutert und deren technische Umsetzung beschrieben.

3.1 System-Scope

Bevor das Aufnahmesystem umgesetzt wird, werden die spezifischen Anforderungen daran identifiziert. Ein wichtiger Aspekt ist der Einsatz auf einer landwirtschaftlichen Maschine, was besondere Anforderungen an Robustheit und Zuverlässigkeit stellt. Außerdem muss sichergestellt werden, dass die relevanten Datenquellen in konstanten Zeitabschnitten abgefragt werden. Dies ist entscheidend für die Qualität der späteren Datenanalyse und die Verlässlichkeit der Ergebnisse. Ein weiterer Aspekt ist die Skalierbarkeit, Wiederverwendbarkeit und Erweiterbarkeit des Systems. Das System muss flexibel genug sein, um zukünftige Bedürfnisse im Projekt abdecken zu können. Das betrifft einerseits die Anschlussmöglichkeiten von Sensoren und das Abspeichern der abgefragten Datenpakete, aber auch den Aufbau von Remoteverbindungen zur Fernwartung. Möglicherweise muss auch eine KI-Beschleunigerkarte nachgerüstet werden können. Das vorhandene Projekt-Budget und somit das Streben nach einer kosteneffizienten Lösung spielen ebenfalls

eine wesentliche Rolle. Die Entwicklung des Aufnahmesystems berücksichtigt die Bedürfnisse und Anforderungen verschiedener Interessensgruppen:

- Der Fahrer und Bediener der Überlademaschine hat wenig bis keine Zeit, sich während einer Überladung mit dem System zu beschäftigen. Daher wird das System so konzipiert, dass es vor Ort möglichst nicht bedient werden muss.
- Die beteiligten Projektpartner legen Wert auf ein zuverlässig funktionierendes System, das die erforderlichen Daten aufzeichnet, ohne den Überladevorgang zu behindern.
- Die Projektmitarbeiter sind die Entwickler des KI-Systems. Sie wollen ein möglichst autark laufendes System, das nur minimalen Wartungsaufwand erfordert.

3.2 Anforderungen

3.2.1 Robustheit

Für den zuverlässigen Betrieb des DAQ-Systems unter den anspruchsvollen Bedingungen einer Überlademaschine müssen eine Reihe physikalischer Anforderungen erfüllt werden. Der eingesetzte Rechner muss mechanisch und thermisch stabil sein, Schocks und Vibrationen tolerieren, gegenüber Staub und Feuchtigkeit widerstandsfähig sein sowie elektronisch zuverlässig arbeiten. Rechner dieser Kategorie werden als „robust“ oder „rugged“ bezeichnet. Die Auswahl fiel auf den OnLogic Karbon 804, der speziell für den Einsatz unter rauen Umgebungsbedingungen entwickelt wurde. Das System verfügt über ein vibrationsdämpfendes, passiv gekühltes Gehäuse und ist so ausgelegt, dass es mechanischen Belastungen durch Vibrationen und Stöße, thermischen Einflüssen wie Heizung und Zugluft sowie Umwelteinwirkungen durch Staub, Feuchtigkeit und Sonneneinstrahlung standhält. Darüber hinaus wurde der Rechner nach strengen Standards entwickelt, getestet und validiert. Die Erfüllung dieser Anforderungen sowie die Eignung des Geräts lassen sich anhand der Spezifikation [20] und des Handbuchs [21] nachprüfen.

Bei den ex- und internen Schnittstellen, die zum Anschluss von Sensoren und

Erweiterungskarten gedacht sind, wird ebenfalls auf Robustheit geachtet. Deshalb bietet der Rechner M12-Ethernet- und USB-Anschlüsse für die Anbindung der Kamera und zeitweise erforderlicher Peripherie-Geräte (z. B. Maus, Keyboard, Monitor). Der interne PCIe-x4-Slot (PCIe = Peripheral Component Interconnect Express) ist für die verwendete CAN-Karte und der PCIe-x16-Slot zur Nachrüstung einer KI-Beschleunigerkarte vorgesehen.

Außerdem verfügt er über Einschübe, um Speichermedien flexibel austauschen zu können. Die Wahl fiel auf SSD-Speicher (SSD = Solid State Drive), welche keine beweglichen, mechanischen Teile besitzen und somit besser geeignet sind als herkömmliche HDD-Speicher (HDD = Hard Disk Drive).

Besonders schützenswert ist die Kamera, die den rauen Bedingungen am Aufnahmeort ausgesetzt ist. Dieser befindet sich am Überladearm der Maschine 80 cm über dem Förderband. Zum Schutz gegen Sonne, Wind und Wetter, aber auch zur Schaffung konstanter Aufnahmebedingungen wurde eine Abdeckung montiert. Zum Schutz der Kamera gegen Steinschlag wird sie in das Gehäuse „Megalodon“ von autoVimation montiert ([22], siehe Abbildung 5). Das Gehäuse weist eine robuste Bauweise auf, ist vibrationssicher, bietet eine gute Wärmeableitung und setzt die Schutzklasse IP67 (IP = Ingress Protection) um.

Auch das Datenkabel zwischen Rechner und Kamera wird robust ausgelegt. Es handelt sich um ein Ethernet-Kabel mit 8-poligem X-codiertem M12-Anschluss und RJ45-Stecker, das der CAT-7e-Spezifikation entspricht. Diese Spezifikation ermöglicht Kabellängen von max. 100 m bei max. 10 Gbps (vgl. [23]).

3.2.2 Speicherkapazität

Des Weiteren muss die Speicherkapazität ausreichend groß sein, um den Datenstrom, der vom Fahrzeug-Bussystem und der Kamera generiert wird, über einen Ziel-Zeitraum von ca. einer Woche speichern zu können. Um über mehrere Wochen aufnehmen zu können, muss die Festplatte ausgetauscht werden. Pro Abfrage wird im Speicher eine Datenmenge von 8,28 KByte der beiden Bussysteme und 9,44 MByte der Kamera erzeugt. Ausgehend davon, dass während eines Überladevorgangs alle 0,3 Sekunden diese Datenquellen abgefragt werden

und eine Festplattenkapazität von 16 TByte gewählt wird, wird eine Aufnahmezeit von bis zu 140 Stunden ermöglicht. Je nach Anzahl und Dauer der Überladungen pro Tag wird eine Aufnahmedauer von 1–2 Wochen ermöglicht. Danach muss die Festplatte getauscht werden. Die 16 TByte verteilen sich auf zwei Samsung 870 QVO SATA III 2,5 Zoll SSD-Speicher, für die der Rechner zwei Einschübe zur Verfügung stellt.

3.2.3 Aufzeichnung relevanter Datenquellen

Aufgabe im Beispielprojekt ist es, relevante Daten zu sammeln, die einen Bezug zum Gewichtsanteil der Erde in einer Ladung Feldfrüchte herstellt. Für den späteren Analyseprozess bietet sich daher eine Datenerfassung auf der Überlademaschine an, da alles, was auf den LKW geladen wird, diese Maschine passiert. Deshalb fiel die Wahl auf die Aufzeichnung von Bildern und Signalen. Die Bilder zeigen die überladenen Feldfrüchte auf einem Förderband. Die Signale werden vom Bussystem der Überlademaschine abgegriffen.

3.2.3.1 Ausgeleuchtete Bilder der MSI-Kamera

Die Kamerawahl fiel auf eine multispektrale Flächenkamera, die Bilder im sichtbaren RGB-Bereich (RGB = Rot/Grün/Blau) aufnimmt. Zusätzlich werden zwei monochrome Bilder im niedrigen und hohen Nahinfrarotbereich (NIR) deckungsgleich zum RGB-Bild erfasst, was bei Bedarf eine weitere Informationsquelle darstellt. Die gewählte MSI-Kamera vom Typ FS-3200T-10GE-NNC [24] liefert mit drei Bild-Kanälen (Abbildung 6), einer eingestellten Bit-Tiefe von 8 Bit pro Pixel, einer Bildhöhe von 1.536 und einer Bildweite von 2.048 Pixeln 9,44 MByte pro Bildaufnahme. Eine hyperspektrale Kamera wurde hingegen ausgeschlossen, da sie technisch immer als Zeilenkamera umgesetzt wird, aber trotzdem eine immense Datenmenge bei letztlich langsamer Verarbeitungsgeschwindigkeit generiert. Die Kamera wurde senkrecht und mittig zum Förderband in einem Abstand von 80 cm dazu über diesem montiert (siehe Abbildung 3 bis Abbildung 5). Sie wird über das Bordnetz der Überlademaschine mit Strom versorgt. Außerdem unterstützt sie den GigE-Vision-2.0-Standard, welcher das Precision Time Protocol (PTP) umsetzt (vgl. [25], nähere Ausführung in den Abschnitten 3.2.5 und 4.1.1).

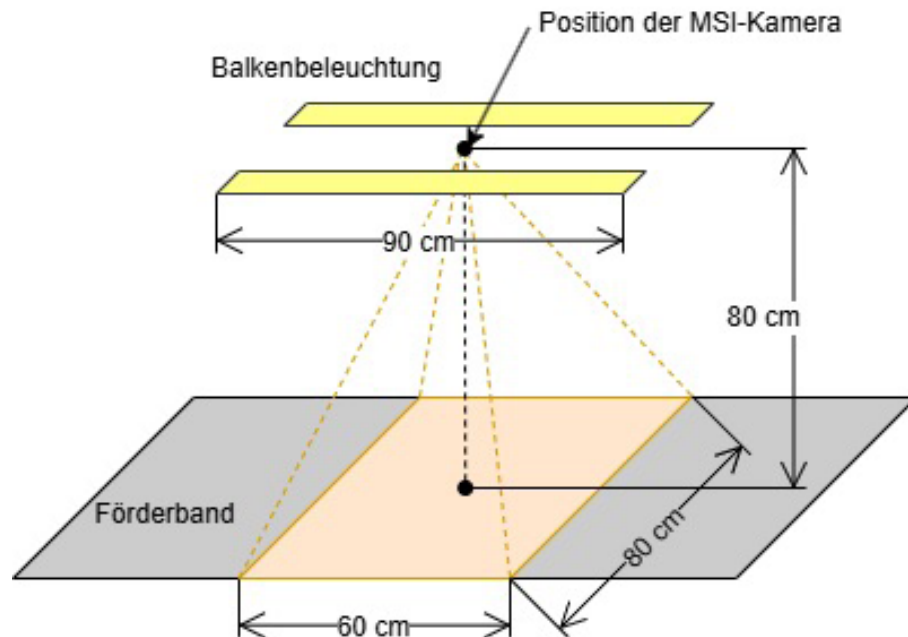


Abbildung 3 zeigt die physikalische Anordnung von MSI-Kamera und Beleuchtung über dem Förderband auf der Überlademaschine.

Um bewegte Objekte auf dem Förderband scharf abbilden zu können, darf die Verschlusszeit der Kamera eine bestimmte Zeit nicht überschreiten. Die Bewegung eines Punktes auf dem Objekt wird durch das Objektiv auf den Sensor projiziert. Dabei darf sich dieser Punkt auf dem Sensor nicht weiter als um die Größe eines Pixels verschieben, um eine scharfe Abbildung zu gewährleisten. Unter Berücksichtigung einer Brennweite von 6 mm, einer Pixelgröße von 3,45 μm , einem Objektstand von 80 cm und einer maximalen Förderbandgeschwindigkeit von 2 m/s ergibt sich eine erforderliche Verschlusszeit von etwa 0,2 ms oder weniger.

Die Brennweite des Kamera-Objektivs wurde so gewählt, dass die Kamera bei dem möglichen maximalen Abstand zum Förderband die komplette Breite des Bandes erfassen kann. Aufgrund der Förderbandgeschwindigkeit, der Brennweite und der Pixelgröße des Kamerasensors ergeben sich Belichtungszeiten im Sub-Millisekunden-Bereich. Um dennoch Bilder mit ausreichender Helligkeit aufnehmen zu können, wurde das für die Kamera geeignete lichtstärkste Objektiv JVS-C118-0628 gewählt. Licht unterschiedlicher Wellenlänge wird von den Linsen unterschiedlich stark gebrochen. Dies führt zu Abbildungsfehler am Bildrand. Da der Wellenlängenbereich größer als bei normalen RGB-Kameras ist, ist dieses Objektiv für Prismen integrierende MSI-Kameras ausgelegt [26].

Testaufnahmen zeigen, dass gut beleuchtete Bilder, vor allem im Infrarotbereich, nur bei indirektem Tageslicht möglich sind. Die

Qualität der Bilder wird zusätzlich durch eine tief stehende Sonne und den Schattenwurf vom Förderbandaufbau beeinträchtigt. Dies hatte stark über- und unterbelichtete Bildbereiche zur Folge (siehe Abbildung 7 und Abbildung 8). Als Abhilfe wurde im nächsten Entwicklungszyklus eine Abdeckung über der montierten Kamera angebracht (siehe Abbildung 4 und Abbildung 5). Dadurch waren die Aufnahmen mangels Lichts zu dunkel, um die überladenen Feldfrüchte erkennen zu können. In einem ersten Entwicklungszyklus werden einfache Arbeits-LED-Scheinwerfer angebracht. Diese konnten zumindest das sichtbare Lichtspektrum der Kamera ausleuchten. Damit die drei Bildsensoren der MSI-Kamera genügend Licht erreichen, werden im nächsten Entwicklungszyklus zwei professionelle Zeilen-Beleuchtungen (siehe Abbildung 3 und Abbildung 5) neben dieser montiert, die die geforderten Lichtspektren bestmöglich abdecken.

In die Zeilen-Beleuchtung sind Hochleistungs-LEDs in weißer Farbe und zwei in verschiedenen Infrarotbereichen verbaut. Aufgrund der hohen erforderlichen Lichtleistung wäre bei Dauerbetrieb eine aufwändige aktive Kühlung der LEDs erforderlich. Da dies auf der Maschine unter den Bedingungen nicht zweckdienlich wäre, wird die Beleuchtung nur vor und nach dem Zeitpunkt der Bildaufnahme eingeschaltet. Dieser Impulsbetrieb wird über die Software des Rechners realisiert. Dazu werden Befehle an den im Rechner verbauten Microcontroller gesendet, welcher einen digitalen Ausgang ansteuert.



Abbildung 4 zeigt die einzelnen, an der Bildaufnahme beteiligten Komponenten am Arm der Überlademaschine von außen.



Abbildung 5 zeigt die an der Bildaufnahme beteiligten Komponenten unterhalb der Abdeckung.

Da die Beleuchtung ausschließlich während der Bildaufnahme durch die Kamera eingeschaltet ist, können zentrale Kameraparameter nicht automatisch von der Kamera eingestellt werden. Zur Konfiguration der für die Bildaufnahme wichtigen Parameter wird das mit der Kamera kompatible eBusSDK [27] verwendet. Der Gain, der die Verstärkung des Bildsignals zur Anpassung der Helligkeit beschreibt, wird für jeden Bildsensor individuell kalibriert. Zu diesem Zweck werden Testaufnahmen durchgeführt, um sicherzustellen, dass das Histogramm der Testbilder keine Ausreißer an den Rändern aufweist. Somit sind unter- oder überbelichtete Stellen im Bild ausgeschlossen. Die Belichtungszeit kann ebenfalls nicht automatisch von der Kamera eingestellt werden und wird manuell auf 0,2 ms festgelegt. Der Weißabgleich für die RGB-Bilder wird auf 5.000K eingestellt, basierend auf den vom Hersteller angegebenen Spezifikationen der weißen LEDs der Beleuchtung, ohne Verwendung eines separaten Testobjekts. Die zeitliche Synchronisation der einzelnen Bildsensoren untereinander sowie mit dem Trigger der Beleuchtung konnte in diesem Zusammenhang bereits nachgewiesen werden.

Aufgrund der unzureichenden Kühlung kann die Beleuchtung maximal 5% der Periodendauer, also der Zeit zwischen den Datenframes, eingeschaltet werden. Damit im Falle eines Softwarefehlers die Beleuchtung nicht dauerhaft eingeschaltet bleibt, wird das Signal des Microcontrollers vor Ansteuerung des Relais an eine monostabile Kippstufe geleitet (vgl. mit Abbildung 11). Die Schaltung ist so ausgelegt, dass bei einer steigenden Signalflanke das Ausgangssignal unmittelbar auf *high* und nach 15 ms automatisch auf *low* geschaltet wird. Diese Zeitperiode wird mit dem Verhältnis aus einem Widerstand und einem Kondensator fest eingestellt und überschreitet den maximal zulässigen Duty Cycle der Beleuchtung von 5 % nicht. Damit die Schaltung von Umwelteinflüssen geschützt ist, wird ein Gehäuse mit Hilfe eines 3D-Druckers gefertigt und auf dem robusten PC befestigt, in dem neben der Schaltung auch ein DC/DC-Konverter Platz findet.

Unter Berücksichtigung dieser technischen Details lassen sich Aufnahmen wie in Abbildung 6 realisieren.

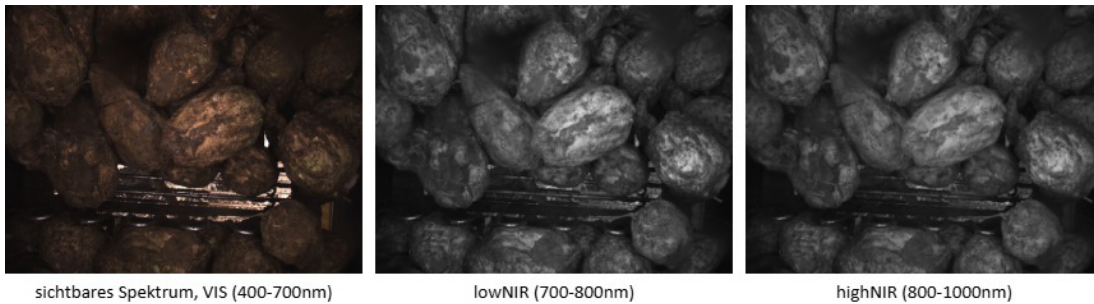


Abbildung 6 zeigt die drei Bilder einer Aufnahme mit der MSI-Kamera vom Typ FS-3200T-10GE-NNC. Das VIS-Spektrum wird als 3-Kanal-RGB-Bild, die beiden anderen Spektren als monochrome Bilder aufgenommen.

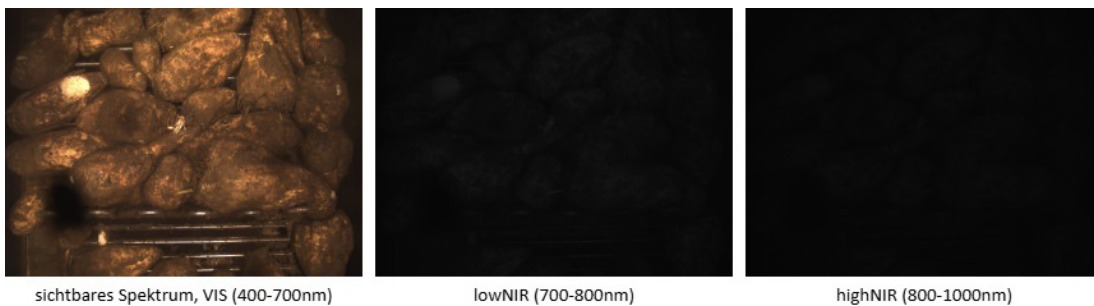


Abbildung 7 zeigt die drei Bilder einer Aufnahme mit der MSI-Kamera vom Typ FS-3200T-10GE-NNC ohne Beleuchtung im VIS- und NIR-Spektrum.

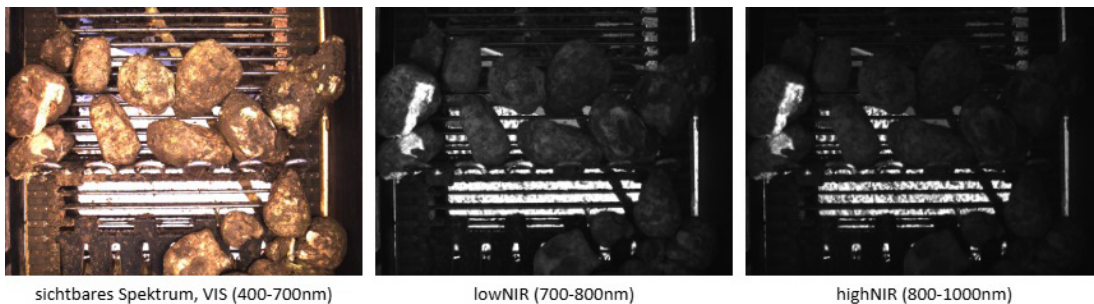


Abbildung 8 zeigt die drei Bilder einer Aufnahme mit der MSI-Kamera vom Typ FS-3200T-10GE-NNC ohne Abdeckung gegen Fremdlicht oder Sonnenlicht.

3.2.3.2 Signale des CAN-Bus

Als weitere Datenquelle auf der Überlademaschine wurden zwei CAN-Bus-Systeme ausgewählt. Die potenziellen Signale werden über Beschreibungsdateien im DBC-Format festgelegt (DBC = Database Container), die von den Projektbeteiligten ausgesucht wurden. Deshalb werden ausschließlich Signale aufgezeichnet, für die eine gültige Botschaft in der Datei angelegt wurde [28]. Die Bussysteme werden dabei nur abgehört und nicht manipuliert. Ein wichtiges Signal im Kontext des Beispielprojekts ist die Förderbandgeschwindigkeit, die über das DAQ-System zeitaufgelöst erfasst werden kann. Bei der eingesetzten Hardware entschied man sich für die PCAN-PCI-Express-Karte

des Herstellers PEAK-System Technik GmbH [29]. Diese Karte nutzt das unter Linux häufig vorinstallierte Socket-CAN.

Zur Aufzeichnung der Bus-Daten wird ein SW-interner Puffer verwendet. In diesem werden die Werte der bekannten Signale regelmäßig erneuert, sobald das Signal neu auf den Bus abgelegt wird. Der Inhalt des Puffers wird bei der zyklischen Abfrage regelmäßig ausgelesen und in den Datenframes dargestellt abgespeichert.

3.2.4 Autark arbeitende Aufnahme-Software

Die Aufzeichnungsfunktion der Software erstellt eine Aufnahme mit bekannten Start- und Stopp-Zeitpunkten. Jede Aufnahme besteht aus

mehreren Datenframes, die jeweils mit einem Zeitstempel versehen sind. Ein Datenframe stellt eine Sammlung von Datenquellen zum Zeitpunkt des jeweiligen Zeitstempels dar. Zu den Quellen des Beispielprojekts gehören zwei CAN-Bussysteme und die MSI-Kamera, deren Bildaufnahme durch eine automatische Ein- und Ausschaltfunktion der Beleuchtung ausgelöst wird. Die Aufnahme-Software, die für dieses Projekt implementiert wurde, ist in der Lage, die einzelnen Datenquellen automatisch aufzuzeichnen. Deshalb wird die Software in einzelne Funktionskomponenten unterteilt. Diese werden entsprechend der objektorientierten Programmierung umgesetzt. Die daraus entstandenen Komponenten der Software werden übersichtlich in Abbildung 9 dargestellt.

ereignisbasiert und veranlasst die Managing-Komponente, die kontinuierliche Quellabfrage und Datenablage zu initiieren, während des Überladevorgangs aufrecht zu erhalten und danach wieder abzubauen.

Schließlich wird die Speicherbelegung mithilfe des Python-Moduls „psutil“ überwacht [30]. Diese Überwachung erfolgt für zwei Speicherplätze ebenfalls in konstanten Zeitintervallen, indem der Rückgabewert der Disk-Usage-Methode ausgewertet wird. Aufgrund dieser Funktion konfiguriert die Managing-Komponente bei Aufzeichnungsbeginn einen der beiden möglichen Speicherplätze in der Datenablage-Komponente.

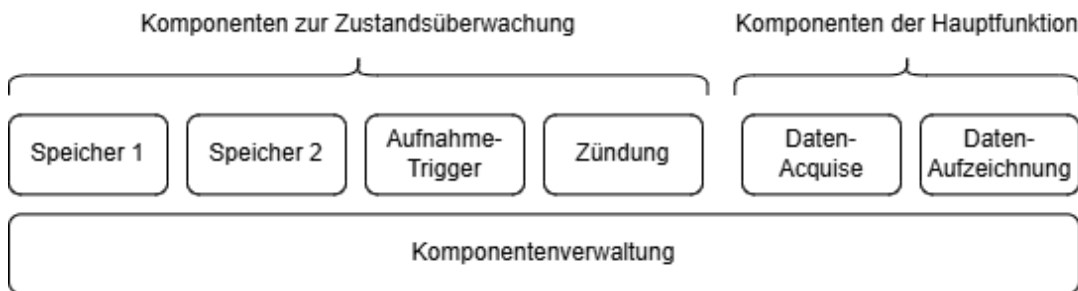


Abbildung 9 zeigt die Softwarekomponenten der Aufnahme-Software in einer einfachen Übersicht.

Der Rechner reagiert auf das Zündungssignal der Überlademaschine. Geht das Signal auf *high*, fährt der Rechner hoch; sobald es wieder auf *low* geht, erfolgt nach einer einstellbaren Verzögerungszeit (im Projekt 2 min) ein kontrolliertes Herunterfahren. Die Spannungsversorgung des Rechners bleibt dabei über die Bordnetzversorgung auch nach Abschalten des Zündungssignals noch erhalten. Erst 6 min nach Abschalten des Batterie Hauptschalters wird die Spannungsversorgung des Rechners unterbrochen. Dadurch ist gewährleistet, dass die Aufnahme-Software die fallende Flanke des Signals in konstanten Intervallabständen überwacht, die Aufzeichnung geordnet beendet und einen Verlust nicht gespeicherter Datenframes verhindern kann.

Zusätzlich wird ein Signal überwacht, das die Aufnahme eigenständig startet und stoppt. Im Projektkontext ist dies ein Signal von einem der beiden Bussysteme, das den Beginn und das Ende des Überladevorgangs anzeigt. Die Überwachung des Signalzustands erfolgt

Die automatische Abfrage der Datenquellen erfolgt zeitgesteuert durch Timer-Threads, die die Abfrage der verschiedenen Datenquellen koordinieren. Jede Abfrage wird zu einem berechneten Zeitstempel ausgeführt, der verwendet wird, um die verschiedenen Datenquellen zusammenzuführen, in einem Datenframe zusammenzufassen und abzuspeichern. Die abgefragten Datenpakete werden mithilfe einer Queue an die Datenablage-Komponente übergeben. Die Datenabfrage muss präzise arbeiten und bis zur Nächsten wieder bereit sein. Um diese Funktion gewährleisten zu können, wurden anderen Funktionen, wie die Datenablage, in eine eigene, threadbasierte Funktionskomponente ausgelagert.

Die automatische Datenablage fasst die aufgenommenen Datenquellen in Aufnahmesequenzen, sog. Recordings, und Aufnahmen, sog. Datenframes, zusammen (siehe Abbildung 10). Datenframes sind die gesammelten Aufnahmen der Datenquellen zu einem bestimmten Zeitpunkt. Die

Datenablagekomponente erstellt dafür einen Ordner und speichert darin die Bilder der MSI-Kamera als gezippte Datei und die ausgelesenen Signale der beiden Bussysteme in zwei einfachen Textdateien im YAML-Format ab. Die Datenframe-Ordner werden mithilfe der Zeitstempel, die die Überwachung des Aufnahme-Trigger-Signals ermittelt, in einem weiteren Ordner als Repräsentant eines Recordings zusammengefasst. Zusätzliche Informationen zum Recording bzw. dem Überladevorgang, beispielsweise die Anzahl der verlorenen Datenframes, werden in eine Text-Datei im gleichen Ordner geschrieben.

haben (siehe Abbildung 1):

Eine Anpassung in der Logger-SW mit Auswirkungen ist beispielsweise eine effizientere Methode zur Speicherung bestimmter Datenquellen. Die MSI-Kamera liefert pro Aufnahme drei Bilder, die anfangs in drei separaten Dateien unter Verwendung im npy-Format von Numpy abgespeichert wurden (vgl. Abbildung 6). Später wurde entschieden, dass das npz-Format von Numpy mehr Vorteile bietet.

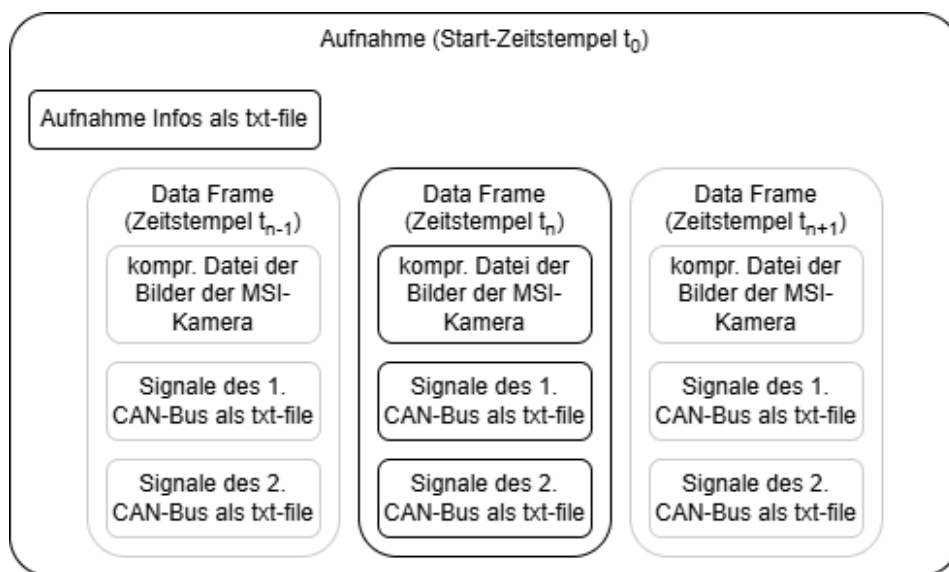


Abbildung 10 zeigt die Datei- und Ordner-Struktur, die zur Ablage der abgefragten Datenquellen implementiert wird.

Um gut ausgeleuchtete Bilder aufnehmen und abspeichern zu können, wird eine Spezial-Beleuchtung vor und nach der Kameraabfrage Software-getriggert ein- und ausgeschaltet. Für diesen Impulsbetrieb wird die Kamera-Komponente durch das Konzept der Vererbung erweitert und die erforderlichen Befehle, die an den im Rechner verbauten Microcontroller zu senden sind, ergänzt.

3.2.5 Kompatibilität der Komponenten während des Entwicklungsprozesses

Das automatisierte Aufzeichnungssystem wird während der Projektlaufzeit iterativ weiterentwickelt. Neben Schnittstellen für Datenquellen, die ergänzt oder entfernt werden können, können Änderungen relevant werden, die Auswirkungen auf die weitere Prozesskette

Dadurch konnten die erforderlichen Anweisungen im SW-Code übersichtlicher gestaltet werden. Die Unterscheidung der drei Bildquellen des VIS-, LowNIR- und HighNIR-Spektralbereichs führte ursprünglich zur Erstellung von drei unterschiedlichen npy-Dateien. Mit dem npz-Format muss nur eine einzige Datei erzeugt werden, was die Notwendigkeit aufwändiger if-Anweisungen überflüssig macht. Die Bezeichnung der drei Quellen wird innerhalb dieser Datei abgespeichert, wodurch sich die Anzahl der Dateien von drei auf eine reduziert. Bei Bedarf und wenn es die Echtzeitfähigkeit des Systems zulässt, kann die Dateigröße zusätzlich komprimiert werden.

Eine SW-Anpassung ohne Auswirkungen ist beispielsweise das optimierte Threading. Mithilfe von Threading können Aufgaben am

Prozessor zeit- und ereignisgesteuert verteilt werden. In der ersten Version der Logger-SW wurde eine erforderliche Wartezeit durch einen erneuerbaren Timer-Thread abgelöst. Dadurch kann der Prozessor die Verarbeitungszeit während der Datenaufnahme besser ausnutzen.

Als Folge müssen Anpassungen am Aufnahmesystem anhand der Verwendbarkeit in der nachfolgenden Prozesskette geprüft werden. In diesem Fall kann die Implementierung einer zusätzlichen Interpretationsoption im Postprocessing diese Problematik abfangen, sodass Aufnahmen, die mit beiden Versionen der Logger-SW erstellt wurden, weiterhin verwendbar sind.

3.2.6 Echtzeitfähigkeit, zeitliche Präzision und Synchronisation

Das Aufnahmesystem als Echtzeitsystem [31] muss spezifische Anforderungen erfüllen, um sicherzustellen, dass innerhalb eines vorgegebenen Zeitrahmens die Abfrage und Ablage der Datenquellen zuverlässig erfolgen. Dabei stellt die Datenabfrage im Vergleich zur Datenablage eine strengere Echtzeitanforderung dar: Sie muss innerhalb eines kurzen Zeitintervalls abgeschlossen sein, um die erfassten Daten einem Zeitstempel zuordnen zu können. Die Datenablage hingegen muss spätestens beim Herunterfahren des Rechners abgeschlossen sein. Zu diesem Zweck wird eine Datenqueue zwischen Abfrage- und Ablagekomponente implementiert, die vor dem Herunterfahren vollständig abgearbeitet wird. Im Beispielprojekt wurde die Queue-Größe per Parameter auf „unbegrenzt“ gesetzt, wodurch sie praktisch durch den verfügbaren Arbeitsspeicher limitiert ist und ein Überlauf ausgeschlossen wird. Für produktive Systeme empfiehlt sich hingegen eine definierte Obergrenze, die sich an der maximal erwarteten Datenrate und den verfügbaren Speicherressourcen orientiert.

Die Zeitsynchronisation erfordert eine gemeinsame Zeitbasis für die bei der DAQ beteiligten Kontrollsysteme. Im Kontext des Beispielprojekts betrifft dies das Telematik-Steuergerät der Überlademaschine, den Aufnahme-Rechner und die MSI-Kamera, die jeweils eine eigene Zeitbasis nutzen. Zur Synchronisation dieser drei Steuergeräte wird das Precision Time Protokoll (PTP) eingesetzt. PTP setzt eine hohe zeitliche Präzision gemäß dem Standard IEEE 1588 um. Durch Installation

der Programme ptp4l und phc2sys wird PTP am Aufnahme-Rechner aktiviert (vgl. [32]).

3.2.7 Energiebedarf

Die Nennspannung des Energiebordnetzes der Überlademaschine beträgt 24 V DC. Mobile Maschinen im LKW-Bereich können im realen Betrieb bis zu 32V DC anbieten. Der Aufnahmerechner sollte mit der durch die Maschine vorgegebenen Eingangsspannung betrieben werden können. Ein DC/DC-Konverter regelt daher die Bordnetzspannung auf konstant 12V DC und versorgt neben der Kippstufenschaltung die digitalen Ausgänge des Microcontrollers mit Strom. Ein weiterer DC/DC-Konverter stellt 48V DC für die Beleuchtung zur Verfügung und glättet außerdem die Leistungsspitzen, die durch das schnelle Schalten entstehen, auf ein Minimum, sodass die Bordelektronik möglichst wenig beeinflusst wird.

3.2.8 Remote-Wartung

Eine Remoteverbindung zum Aufnahme-Rechner am Einsatzort der Überlademaschine ist für die Fernwartung unerlässlich. Um diese Funktion bereitstellen zu können, wird eine Mobilfunkverbindung am Rechner vorgesehen. Der ausgewählte Rechner verfügt über einen SIM-Karten-Slot und wurde mit einer LTE-Antenne (LTE = Long Term Evolution) ausgestattet. Ein Prepaid-Vertrag für mobile Daten wurde separat abgeschlossen. Mit der hergestellten Internetverbindung ist es möglich auf den Rechner mittels Reverse-SSH zuzugreifen. Dadurch wird es möglich, eine Fernwartung auszuführen, um Problemanalysen durchzuführen und Bug-Fixes zu implementieren. Außerdem kann so der aktuell verfügbare Speicherplatz und die Bild-Qualität kontrolliert werden.

3.2.9 Übertragbarkeit des Hardware-Setups und der Software-Architektur

Die Ausgestaltung des Hardware-Aufbaus ist stark abhängig von der konkreten Aufgabenstellung – im vorliegenden Projektvorhaben der Datenaufzeichnung auf einer mobilen Erntemaschine – sowie von den ausgewählten Datenquellen und den teils widrigen Umgebungsbedingungen. Dafür fiel die Entscheidung auf eine MSI-Kamera mit relativ hohen und CAN-Bus-Daten mit

vergleichsweise geringen Datenströmen, was entsprechend ausgelegte Kabel und Anschlüsse am ebenso robusten Aufzeichnungsrechner erfordert hat (Abschnitt 3.2.1). Auch der Energiebedarf der eingebundenen Systeme muss mit der verfügbaren Bordnetzleistung abgestimmt sein. Für andere Zielumgebungen kann eine angepasste Hardware sinnvoll sein, etwa infolge alternativ ausgewählter Sensoren, entsprechender Rechnerleistung oder Energieversorgungskonzepte. Die im Vorhaben identifizierten Anforderungen werden gezielt hardwaretechnisch adressiert und gelöst. Die Adaption auf andere Anwendungen muss entsprechend geprüft werden.

Die Softwarearchitektur wurde möglichst modular aufgebaut, um eine Wiederverwendbarkeit in ähnlichen oder abweichenden Anwendungskontexten zu ermöglichen (Abbildung 9). Die Komponentenverwaltung ist universell einsetzbar und kann auch für andere als die Datenaufzeichnung geeignete Aufgaben verwendet werden. Die Zustandsüberwachungen leiten sich von einer Basisklasse ab und wurden der integrierenden Umgebung entsprechend parametrisiert. Dadurch sind sie für unterschiedliche Aufgabenstellungen adaptierbar. Die Komponenten der Hauptfunktion hingegen sind für die Datenaufzeichnung innerhalb dieses Projektvorhabens konzipiert. Es wurden Interface-Module zur Datenabfrage der MSI-Kamera und der CAN-Bussysteme erstellt. Bei der Integration anderer Sensoren müssen neue Module implementiert werden, wobei auch in diesem Fall eine Basisklasse als Grundlage zur Verfügung steht. Die Datenablage

erfolgt ebenfalls projektspezifisch (Abschnitt 3.2.4). Für andere Datenaufzeichnungsprojekte kann eine abweichende Speicherstruktur sinnvoll sein. Insgesamt bietet die modulare Softwarearchitektur eine hohe Flexibilität für zukünftige Erweiterungen und Anpassungen.

4. Ergebnisse

Die Hauptaufgabe des Aufzeichnungssystems in dieser Umsetzung ist es, Daten aus verschiedenen Quellen aufzuzeichnen. Da bei Projektbeginn keine umfassende Datenbasis vorlag, die man als Entscheidungsgrundlage für die Auswahl dieser Quellen zugrunde legen hätte können, mussten diese erarbeitet werden. Dabei spielt die zeitliche Synchronisation des Rechners mit der landwirtschaftlichen Maschine und der Kamera eine wichtige Rolle, ebenso wie die zuverlässige Erkennung von Aufnahmebeginn und -ende. Da das System in die Zielumgebung eingreift, muss ebenfalls sichergestellt werden, dass dieses mit dem zusätzlichen System nicht wechselwirkt und die Messung möglicherweise sogar verfälscht.

4.1 Validierung der autonomen Aufnahmefunktion

Um das gesamte bzw. Teil-Systeme zu entwickeln und ihre Verfügbarkeit vor dem Start der Aufnahme-Kampagne sicherzustellen, wird unter Laborbedingungen ein Validierungssetup (Darstellung 1 in Abbildung 11) aufgebaut, welches mit dem Setup in der Zielumgebung (Darstellung 2 in Abbildung 11) vergleichbar ist. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf Abbildung 11:

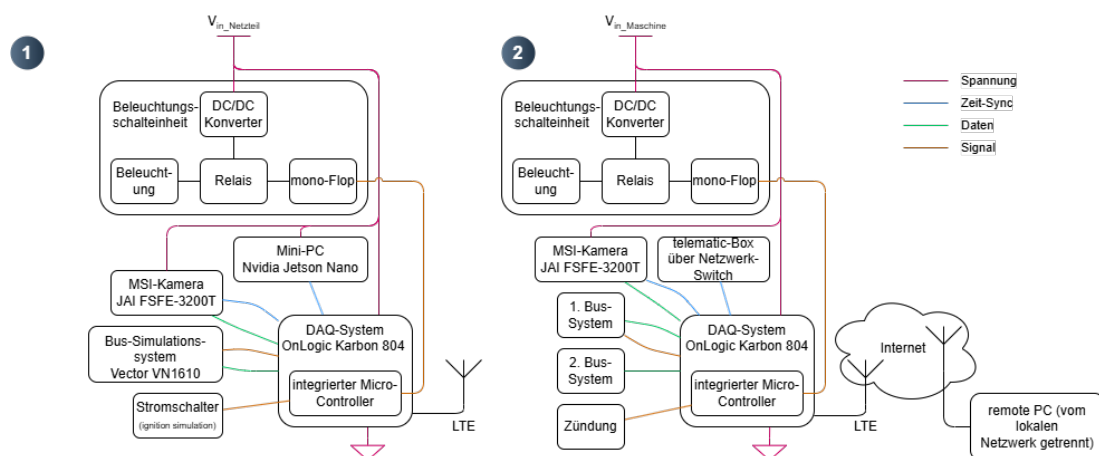


Abbildung 11 zeigt den Systemaufbau zur Validierung im Labor (1) und in der Zielumgebung (2) mit den relevanten Anschlüssen zum Abgriff der Energieversorgung und der Daten, der Signalüberwachung und zur Zeit-Synchronisation.

4.1.1 Zeit-Synchronisierung

Für die Zeitsynchronisierung vorbereitete Systemkomponenten sind der Rechner von OnLogic und die MSI-Kamera von JAI. Die Zeitbasis wird von der landwirtschaftlichen Maschine vorgegeben und wird von einer dort installierten Telematik-Box über Gigabit-Ethernet abgegriffen. Im Validierungssetup wird stattdessen ein „Jetson Nano“-Mini-Rechner von Nvidia verwendet. Unter Linux liegen die benötigten Software-Komponenten „ptp4l“ und „phc2sys“ über den integrierten Software-Paketmanager installationsbereit zur Verfügung. Diese werden am Jetson Nano- und am OnLogic-Rechner installiert. Die Ethernet-Ports der beiden Rechner werden nach Dokumentation so konfiguriert, dass der Jetson Nano-Rechner die Zeitbasis an den OnLogic-Rechner und dieser an die JAI-Kamera weiterreicht. Die Kamera implementiert das GigEVisionv2-Protokoll und kann somit die vorgegebene Zeitbasis übernehmen. Diese Synchronisationsmöglichkeit basiert auf dem Time-Master-to-Slave-Konzept. Das Auslesen der Protokolle zeigt eine Synchronisationsgenauigkeit im zweistelligen Mikrosekundenbereich. Für die Anwendung stellt dies eine präzise und zuverlässige Zeitsynchronisierung dar.

4.1.2 Überwachung der Zündung

Die Überwachung der Zündungsspannung wird am OnLogic-Rechner umgesetzt. Der Leitungspegel wird von dem im OnLogic-Rechner integrierten Microcontroller überwacht. Die Logger-Software fragt den Microcontroller über eine serielle Schnittstelle in konstanten Zeitabständen ab. Der interne Microcontroller übernimmt den Shutdown des Rechners nach 60 Sekunden. In dem darauffolgenden Zeitraum von 4 min wird die Logger-SW kontrolliert beendet, um einen Verlust bis dahin nicht abgespeicherter Datenpakete zu vermeiden. Weil nur der fallende Signalpegel erkannt werden kann, ist nur eine periodische Überwachung in engen Zeitintervallen von 3 Sekunden sinnvoll. Die Überwachung wird während einer aktiven Aufnahme ausgesetzt. Im Validierungssetup wird die Implementierung durch das Öffnen und Schließen eines Schalters simuliert.

4.1.3 Überwachung des Aufnahme-Triggers

Die Überwachung des Aufnahmesignals wird ebenfalls am OnLogic-Rechner umgesetzt. Dafür wird die Schnittstelle zum Auslesen des Bussystems in der Logger-Software genutzt. Das Signal wird aus einer bekannten CAN-Botschaft ausgelesen, um die Statusänderung zu erfassen. Die Abfrage erfolgt ereignisbasiert, um die Rechnerauslastung gegenüber einer zeitbasierten Abfrage zu reduzieren und um direkt auf Signaländerungen durch Aufnahmestart und -beendigung reagieren zu können. Zur Funktionsvalidierung wird das Bus-System simuliert, was mit einem Rechner mit CANoe-Software und einer VN1610-Box von Vector umgesetzt wird. Die Botschaften von zwei simulierten CAN-Systemen kann im Validierungssetup auf einem Port reduziert werden, da in der Logger-SW der überwachte CAN-Port konfiguriert werden kann. Um realistisch die Zielumgebung abbilden zu können, wird ein Trace abgespielt. Die Analyse mit einem Oszilloskop ergab eine hohe Trigger-Genauigkeit und eine konsistente Integrität der erfassten Daten unter den gegebenen Bedingungen.

4.1.4 Abfrage der Datenquellen

Die Abfrage der Datenquellen wird mit der Logger-SW am OnLogic-Rechner realisiert. In der Logger-SW werden Module umgesetzt, die die JAI-Kamera und die beiden Bussysteme abfragen. Da diese Module ebenfalls konfigurierbar sind, können im Validierungssetup ein und in der Zielumgebung zwei CAN-Ports abgefragt werden. Bei einer aktiven Aufnahme erfolgt die Abfrage zyklisch alle 0,3 Sekunden. Das ist das minimale Zeitintervall, das durch den physikalischen Aufbau am Aufnahmeort der Kamera gefordert werden muss und welches das Aufnahmesystem erfüllt.

4.2 Evaluation relevanter Anforderungen

Zur Beantwortung der in Abschnitt 1 formulierten Forschungsfrage wurde das entwickelte Datenaufzeichnungssystem anhand ausgewählter Systemparameter evaluiert. Die Bewertung orientierte sich an vier zentralen Anforderungen: der Verfügbarkeit der Aufnahmefunktion, der Praxistauglichkeit

des Speichermanagements, der Qualität der aufgenommenen Bilder sowie der zeitlichen Präzision der Sensordatenabfrage.

4.2.1 Verfügbarkeit der Aufnahmefunktion

Für den produktiven Einsatz im Feld ist die Verfügbarkeit der Aufnahmefunktion essenziell. Das System sollte nach einem Kaltstart innerhalb kürzester Zeit betriebsbereit sein, sodass die Datenaufzeichnung ohne Verzögerung nach dem Anlaufen der Überlademaschine beginnen kann. Zur Validierung dieser Anforderung wurde ein Integrationstest „Boot-to-Service Availability“ entwickelt. Dieser misst die Zeitspanne vom Einschalten des Rechners bis zur Verfügbarkeit des Dienstes `data_logger.service`.

Als erstes wird die Gesamtbootzeit des Onlogic-Rechners betrachtet. Dafür wird dieser vollständig vom Strom getrennt, um einen Kaltstart zu simulieren. Nach Abschluss des Bootvorgangs wird im Terminal der Befehl `systemd-analyze time` ausgeführt, um die Gesamtbootzeit zu ermitteln [33]. Diese umfasst die Zeitanteile für Firmware, Loader, Kernel und Userspace. Der Userspace wird von der Betrachtung ausgeklammert, da innerhalb dieser Zeitspanne auch die im nächsten Absatz betrachteten Dienste starten. Der Test wird dreimal ausgeführt. Die gemessenen Zeiten sind in Tabelle 1 dargestellt.

Testlauf	Firmware	Loader	Kernel	Gesamtzeit
1	38,889s	27,481s	3,983s	70,353s
2	38,807s	27,475s	3,958s	70,240s
3	38,929s	27,492s	3,941s	70,362s

Tabelle 1 zeigt die Bootzeiten des Betriebssystems nach einem Kaltstart in mehreren Testläufen.

Des Weiteren werden die Startzeiten der für die Zeit synchrone Aufnahmefunktion relevanten Services `data_logger.service`, `ptp4l_enp9s0.master.service`, `ptp4l_enp10s0.slave.service` und `phc2sys.service` betrachtet. Die zuletzt genannten drei Services sind für die Zeit-Synchronisation zuständig und starten nacheinander. Deshalb ist der `phc2sys.service` für diese Betrachtung ausreichend. Parallel dazu startet der `data_logger.service`. Die Startzeiten der Services werden mithilfe der Befehle entsprechend Listing 1 ermittelt. Der Test wird

ebenfalls dreimal ausgeführt. Die gemessenen Zeiten betragen immer 1ms für `data_logger.service` und 2,003s für `phc2sys.service`.

```
systemd-analyze blame | grep data_logger.service
systemd-analyze blame | grep phc2sys.service
```

Listing 1: CLI-Befehle zur Dienstanalyse

Die Zeit bis zur Verfügbarkeit der Aufnahmefunktion auf der Überlademaschine ergibt sich aus der Bootzeit des Betriebssystems nach Aktivierung der Zündung sowie der Startzeit des Dienstes `data_logger.service`. Zur Bewertung wurden die gemessenen Zeiten aus drei Testläufen addiert. Die resultierende Dauer bis zur vollständigen Bereitstellung einer zeitsynchronen Aufnahmefunktion beträgt etwa 1,21 Minuten und liegt damit innerhalb des verfügbaren Zeitfensters von 1,5 Minuten, in dem die Überlademaschine betriebsbereit ist. Dieses Ergebnis bestätigt, dass die Aufnahmefunktion die Anforderungen für den Feldeinsatz erfüllt.

4.2.2 Praxistauglichkeit des Speichermanagements

Ein praktischer Aspekt betrifft den Austausch der Speichermedien. Aufgrund der großen Datenmengen (mehrere Terabyte) erweist sich der physische Versand der SSDs per Post als schneller und effizienter als ein Upload über eine Internetverbindung. Dies unterstreicht die Relevanz einer durchdachten Strategie für Speicherung und Datenaustausch.

Im Rahmen der Aufnahmekampagne konnte festgestellt werden, dass die in Abschnitt 3.2.2 beschriebene Speicherkapazität ausreichend dimensioniert wurde, um die Aufnahmefunktion über den gesamten Zeitraum zuverlässig aufrechtzuerhalten. Der damit verbundene organisatorische Aufwand blieb überschaubar und bestätigte die Praxistauglichkeit der gewählten Speicherlösung.

4.2.3 Qualität der Aufnahmen

Die Beurteilung der Bildqualität ist ein wesentlicher Schritt bei der Bewertung von Bildgebungssystemen, da sie ein objektives Maß für die Leistung des Kamerasensors und die Zuverlässigkeit der erfassten Daten liefert. Unter den häufig verwendeten Kriterien ist das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR = Signal-to-Noise Ratio) besonders wichtig, da es

das Verhältnis zwischen sinnvollem Signal und zufälligem Rauschen in einem Bild widerspiegelt. Gemäß den Richtlinien von ISO 15739 [34] wird das SNR anhand einheitlicher Bereiche von RGB- und NIR-Bildern mithilfe eines robusten Rauschschätzverfahrens quantifiziert. Die resultierenden SNR-Werte betragen 66, 63 und 65 (36 dB) für den Rot-, Grün- und Blaukanal der RGB-Kamera, 56 (32 dB) für den HighNIR-Kanal und 37 (31 dB) für den LowNIR-Kanal. Gemäß ISO 12232 [35] gelten SNR-Werte über 40 (ca. 32 dB) als ausgezeichnet, Werte um 20 (ca. 26 dB) als gut und Werte nahe 10 (ca. 20 dB) stellen die minimal akzeptable Qualität dar. Basierend auf diesen Schwellenwerten erreichen alle Kanäle der MSI-Kamera mindestens eine gute Bildqualität, wobei die meisten in die Kategorie „ausgezeichnet“ fallen. Dies bestätigt, dass das entwickelte DAQ-System eine Bildqualität gemäß internationalen Standards und nahe den im Datenblatt [24] der Kamera angegebenen SNR-Werten gewährleistet.

4.2.4 Ausleuchtung der aufgenommenen Bilder

Der Betrieb der Beleuchtung erfolgt aufgrund der hohen Leistungsanforderungen ausschließlich im Impulsbetrieb. Die korrekte Aufnahme erfordert eine exakte zeitliche Synchronisation mit der aktiven Beleuchtungsphase. Zur Überprüfung der Synchronisation wurde die mittlere Helligkeit von insgesamt 573.890 Aufnahmen berechnet. Nach automatischer Sortierung der Bilder nach Helligkeit, konnte sehr leicht festgestellt werden, dass Unterbelichtung lediglich bei 187 Aufnahmen

auftrat, was einem Anteil von 0,03 % entspricht. Damit wurde in 99,97 % der Fälle eine korrekte Ausleuchtung erzielt, womit die Zuverlässigkeit für die vorliegende Anwendung als ausreichend bewertet werden kann.

4.2.5 Dauer der Datenabfrage und -ablage

Im Rahmen der Evaluation zeitkritischer Anforderungen wurde die Dauer der Datenabfrage und -ablage innerhalb eines Aufnahmeintervalls untersucht. Grundlage dieser Analyse ist ein Integrationstest, dessen Ziel es ist, die Einhaltung eines Aufnahmezyklus von 0,3 Sekunden unter realen Betriebsbedingungen zu verifizieren.

Die Datenabfrage erfolgt über drei voneinander unabhängige Timer-Threads, die jeweils eine Sensorquelle (zwei CAN-Bussysteme und eine MSI-Kamera) bedienen. Die Threads starten ihre Abfragen idealerweise gleichzeitig. In der Praxis können geringe zeitliche Verschiebungen auftreten, da alle Threads denselben Prozessorkern nutzen. Die effektive Dauer der Datenabfrage wird durch den Thread bestimmt, der als letzter sein Datenpaket in der FIFO-Pipe (FIFO = first-in, first-out) ablegt. Sobald das erste Datenpaket in der Pipe liegt, beginnt der Consumer-Thread mit der Verarbeitung, d.h. dem Ablegen der Datenpakete auf der SSD-Festplatte. Die Gesamtzeit der Datenablage wird durch das zuletzt aus der Pipeline entnommene Paket bestimmt. Abbildung 12 veranschaulicht die betrachteten Threads.

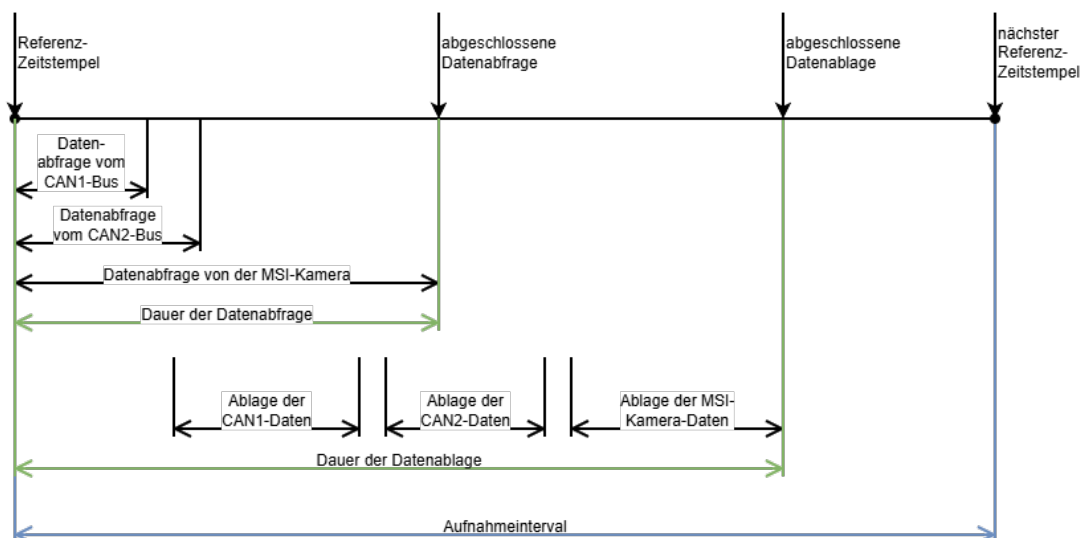


Abbildung 12 zeigt die Dauer von Datenabfrage und -ablage während einer Aufnahme.

Zur Evaluation dieser Prozessdauern wurde im Softwarecode eine Zeitmessung integriert, die zur Laufzeit des Dienstes `data_logger.service` eine CSV-Datei erzeugt. Die in Grün dargestellten Zeitdauern werden während einer aktiven Aufnahme für jedes Aufnahmeintervall in diese Datei geschrieben. Nach Abschluss der Aufnahme erfolgt eine Auswertung der Datei, wobei Mittelwert, Standardabweichung und Maximalwert der Zeitdauern berechnet werden (siehe Tabelle 2).

	Mittelwert	Standard-abweichung	Maximum
Datenabfrage	0,0951s	0,0012s	0,1011s
Datenablage	0,2389s	0,0344s	0,3079s

Tabelle 2 zeigt Mittelwert, Standardabweichung und Maximalwert der Dauer einer Datenabfrage und -ablage während einer Aufnahme.

Die Analyse der Prozessdauern zeigt, dass der Aufnahmezyklus von 0,3 Sekunden in 95,28 % der Fälle eingehalten wurde. Der Anteil der Überschreitungen lag bei 4,72 %. Im Rahmen des Testlaufs wird der Anteil als akzeptabel bewertet, da das jeweils folgende Aufnahmeintervall wieder unterschritten wurde. Dennoch sollte dieser Anteil weiter beobachtet werden, da eine Zunahme potenziell dazu führen könnte, dass die Datenablage die nächste Datenabfrage verzögert.

Die Datenablage stellt sich als kritischster Teilprozess im DAQ-System dar. Dies zeigt sich in einem hohen Mittelwert und einer hohen Standardabweichung. Im Gegensatz dazu weist die Datenabfrage eine hohe zeitliche Stabilität auf. Die geringe Standardabweichung deutet auf eine konsistente und zuverlässige Ausführung der Abfrage-Threads hin. Idealerweise sollte die Datenabfrage möglichst unmittelbar nach dem Referenzzeitstempel abgeschlossen sein, um die Präzision und Qualität der Datenaufnahme zu gewährleisten. Die Datenablage kann das verbleibende Zeitfenster des Aufnahmeintervalls nutzen. Sollte dieses Fenster verkürzt werden, wäre eine Optimierung der Ablagedauer erforderlich, beispielsweise durch eine zeitliche Entkopplung der Datenabfrage und -ablage.

4.3 Systemverhalten in Zielumgebung

Trotz der gründlichen Validierung vor Inbetriebnahme traten bei und nach der Installation in der Produktivumgebung ein paar Probleme auf, die v.a. im Zusammenhang mit der neuen Systemumgebung stehen. Über die Internetverbindung ist es gelungen, Fehler im Gesamtsystem remote zu identifizieren und nachträglich zu lösen.

- Auf der landwirtschaftlichen Maschine musste ein kompatibler Softwarestand durch den Projektpartner installiert werden. Diese Installation war nötig, da der Hersteller ein eigenes Signal zur Aktivierung der Aufnahme angeboten hatte. Außerdem musste der Ethernet-Port zur Zeitsynchronisation konfiguriert werden. Daraufhin war auch eine Neukonfiguration am Logger und an der Kamera erforderlich.
- Bei ersten Testaufnahmen auf der Maschine fiel auf, dass nur etwa die Hälfte der Bilder beleuchtet waren. Kameraaufnahme und Beleuchtung werden nacheinander im gleichen Thread getriggert. Es zeigte sich, dass die Ansteuerung der Beleuchtung über die serielle Schnittstelle am Microcontroller mehr Zeit in Anspruch nimmt als das Senden des Befehls für die Abfrage der Kameradaten. Eine Verzögerung der Kameraabfrage in der Software konnte hier Abhilfe schaffen. Dieser Fehler konnte durch Messungen mit einem Oszilloskop an der Hardware identifiziert werden.
- Die drei Parameterwerte „Gain“ eines jeden Sensors der MSI-Kamera mussten neu eingestellt werden, da die Rüben einen anderen Lichtreflexionsgrad als die Testobjekte im Labor aufwiesen. Aufgrund der konstanten Beleuchtungssituation auf dem Förderband kann der Gain für alle drei CMOS-Sensoren fest eingestellt werden. Eine Abdeckung schützt das Sichtfeld der MSI-Kamera gegen direktes Tageslicht. Die Helligkeit von einfallendem Rest-Tageslicht, auch zu unterschiedlichen Tageszeiten, ist im Vergleich zur Beleuchtung vernachlässigbar gering und hat keinen Einfluss auf die Helligkeit der Bilder.

- Eine für die Aufnahmefunktion nicht relevante Monitoring-Komponente wurde auskommentiert, nachdem festgestellt wurde, dass sie diese Funktion blockiert.
- Der Remote-Zugriff auf den Datenlogger konnte final nach der Erstinbetriebnahme über Reverse-SSH konfiguriert werden.
- Bei Aufnahmestart geht ein Datenframe verloren, was beim Vergleich des Zeitstempels des ersten Datenframes mit dem eigentlichen Startzeitstempel aufgefallen ist. Dieser Umstand wird aufgrund der zum Aufnahmestart-Zeitpunkt wenig aussagekräftigen Bilder akzeptiert.

Wie man sieht, ist die Fehler-Ursache des Öfteren die Tatsache, dass die Zielumgebung, für die das Aufnahmesystem ausgelegt wird, ein anderes Verhalten aufweist als angenommen. Für die Weiterentwicklung der Logger-SW ist es essenziell, diese im realen Betrieb der Produktivumgebung zu überwachen. Dadurch und durch absichernde Testläufe kann eine hohe Systemverfügbarkeit erreicht werden. Auch künftige Probleme können so hoffentlich erfolgreich identifiziert und behoben werden.

5 Schlussfolgerung

Insgesamt war das Projekt zur Entwicklung eines robusten Datenaufzeichnungssystems für mobile Maschinen ein großer Erfolg. Die gesetzten Ziele, wie die erforderliche Framerate, wurden erreicht und das System konnte erfolgreich implementiert werden. Die Hardware- und Softwarekomponenten haben sich während des Praxiseinsatzes als zuverlässig und robust erwiesen, selbst unter den anspruchsvollen Bedingungen der landwirtschaftlichen Umgebung.

Die durchgeführten Tests und Validierungen haben gezeigt, dass das System in der Lage ist, präzise und konsistente Daten zu erfassen und zu verarbeiten. Der Einsatz des Systems in der Praxis über mehrere Wochen hat dies bestätigt. Die Echtzeitfähigkeit und die zeitliche Synchronisation der verschiedenen Komponenten haben sich als besonders wertvoll erwiesen, um die Anforderungen des Projekts zu

erfüllen. Trotz einiger Herausforderungen, wie der Notwendigkeit zur Fehlerbehebung in der Produktionsumgebung und der eingeschränkten Internetverfügbarkeit auf landwirtschaftlichen Flächen, konnte das Projektteam diese erfolgreich meistern. Die Möglichkeit zur Fernwartung und die Implementierung von Sicherheitsmechanismen haben dazu beigetragen, die Systemstabilität zu erhöhen.

Jedoch wird auch deutlich, dass die Fehlerbehebung in der Produktionsumgebung schwierig ist und ein besseres Validierungsumfeld erforderlich macht. Zudem ist die Online-Fehlerbehebung oder sogar die Datenübertragung in landwirtschaftlichen Gebieten aufgrund der aktuellen Situation nicht immer möglich.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Projekt nicht nur die technischen Anforderungen erfüllt hat, sondern auch wertvolle Erkenntnisse für zukünftige Entwicklungen im Bereich der Datenaufzeichnung und -verarbeitung in der Landwirtschaft geliefert hat. Die erzielten Ergebnisse und die gewonnenen Erfahrungen bilden eine solide Grundlage für weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in diesem Bereich.

Danksagungen

Wir danken unserem Projektpartner ROPA Fahrzeug- und Maschinenbau GmbH, auf deren Entwicklungsmaschine wir das Aufnahmesystem installieren durften.

Ein besonderer Dank gilt dem Projektträger VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, insbesondere Dr. Roland Krebs, sowie dem Bayerischen Verbundforschungsprogramm (BayVFP) des Freistaates Bayern mit der Förderlinie "Digitalisierung", die dieses Projekt durch ihre finanzielle Unterstützung ermöglicht haben.

Erklärung zu Interessenkonflikten

Die Autor:innen erklären, dass kein Interessenkonflikt in Bezug auf die Veröffentlichung dieser Arbeit besteht.

References

- [1] ROPA Fahrzeug- und Maschinenbau GmbH. "Historie – Vom Landwirt zum Maschinenbauer." Zugriff am: 9. Dezember 2024. [Online.] Verfügbar: <https://www.ropa-maschinenbau.de/unternehmen/historie/>.
- [2] W. Weiser, Zuckerrübenerte Mit Landmaschinen. Zugriff am: 4. März 2025.
- [3] C. Lozoya, A. Aguilar und C. Mendoza, "Service Oriented Design Approach for a Precision Agriculture Datalogger," IEEE Latin Am. Trans., Jg. 14, Nr. 4, S. 1683–1688, 2016, <https://doi.org/10.1109/TLA.2016.7483501>.
- [4] K. Dasari, S. A. Yadav, L. Kansal, J. Adilakshmi, G. Kaliyaperumal und A. Albawi, "Fusion of Hyperspectral Imaging and Convolutional Neural Networks for Early Detection of Crop Diseases in Precision Agriculture," in 2024 International Conference on Communication, Computer Sciences and Engineering (IC3SE): 9-11 May 2024, Gautam Buddha Nagar, India, 2024, S. 1172–1177, <https://doi.org/10.1109/IC3SE62002.2024.10593368>.
- [5] "Was ist multispektrale Bildgebung?" Zugriff am: 10. Dezember 2024. [Online.] Verfügbar: <https://www.baslerweb.com/de-de/learning/multispektrale-bildgebung/>.
- [6] Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS. "Hyperspektrale und multispektrale Bildgebung – Fraunhofer IWS." Zugriff am: 10. Dezember 2024. [Online.] Verfügbar: https://www.iws.fraunhofer.de/de/technologiefelder/optische-messtechnik/optische_inspektionstechnik/technologien/hyperspectral_imaging.html.
- [7] Automate. "GigE Vision." Zugriff am: 15. Januar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.automate.org/vision/vision-standards/vision-standards-gige-vision?>
- [8] "IEEE 802.3 ETHERNET." Zugriff am: 15. Januar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://ieee802.org/3/>.
- [9] Parrot Drones S.A.S. "Datasheet: Sequoia: the multi-band sensor designed for agriculture."
- [10] dataTec AG. "Leitfaden für DAQ-Systeme. Die Messdatenerfassung mit dem Datalogger optimieren." Zugriff am: 24. November 2024. [Online.] Verfügbar: <https://www.datatec.eu/wiki/leitfaden-fuer-daq-systeme-die-mess-datenerfassung-mit-dem-datenlogger-optimieren>.
- [11] J. Downey, S. Bombiński, M. Nejman und K. Jemielniak, "Automatic Multiple Sensor Data Acquisition System in a Real-time Production Environment," Procedia CIRP, Jg. 33, S. 215–220, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.06.039>.
- [12] S.-H. Lee und J. Park, "A spatiotemporal data acquisition toolkit for volume estimation tools in precision agriculture," Concurrency and Computation, Jg. 33, Nr. 3, 2021, Art. Nr. e5258, <https://doi.org/10.1002/cpe.5258>.
- [13] V. Schatz, "Synchronised data acquisition for sensor data fusion in airborne surveying," S. 1125–1130, 2008, <https://doi.org/10.24406/publica-fhg-360314>.
- [14] B. Borgmann, V. Schatz, M. Hammer, M. Hebel, M. Arens und U. Stilla, "MODISSA: a multipurpose platform for the prototypical realization of vehicle-related applications using optical sensors," Applied optics, Jg. 60, Nr. 22, F50-F65, 2021, <https://doi.org/10.1364/AO.423599>.
- [15] A. Weersink, E. Fraser, D. Pannell, E. Duncan und S. Rotz, "Opportunities and Challenges for Big Data in Agricultural and Environmental Analysis," Annu. Rev. Resour. Econ., Jg. 10, Nr. 1, S. 19–37, 2018. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100516-053654>. [Online.] Verfügbar unter: <https://www.annualreviews.org/docserver/fulltext/resource/10/1/annurev-resource-100516-053654>
- [16] A. Samourkasidis, E. Papoutsoglou und I. N. Athanasiadis, "A template framework for environmental timeseries data acquisition," Environmental Modelling & Software, Jg. 117, S. 237–249, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.10.009>.
- [17] M. G. P. S und B. R. Chintala, "Big Data Challenges and Opportunities in Agriculture," International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems, Jg. 11, Nr. 1, S. 48–66, 2020, <https://doi.org/10.4018/IJAEIS.2020010103>.
- [18] F. Piccoli, S. G. Locatelli, R. Schettini und P. Napoletano, "An Open-Source Platform for GIS Data Management and Analytics," Sensors (Basel, Switzerland), Early Access. <https://doi.org/10.3390/s23083788>.
- [19] Y. Mao et al., "A Customisable Data Acquisition System for Open-Source Hyperspectral Imaging," Sensors (Basel, Switzerland), Early Access. <https://doi.org/10.3390/s23208622>.
- [20] OnLogic. "OnLogic Karbon 804 High-Performance Rugged PC mit ModBay & PCIe: Spezifikation."

- Zugriff am: 11. Dezember 2024. [Online.] Verfügbar: <https://www.onlogic.com/de/store/k804/>.
- [21] OnLogic, K800-Product-Manual. Zugriff am: 12. Dezember 2024. [Online.] Verfügbar unter: <https://static.onlogic.com/resources/manuals/OnLogic-K800-Product-Manual.pdf>.
- [22] autoVimation GmbH, Hg., "Datenblatt: Megalodon-Kameraschutzgehäuse," 2024. Zugriff am: 12. Dezember 2024. [Online.] Verfügbar unter: <http://www.autovimation.com/de/downloads/datenblaetter-deutsch/523-megalodon-de/file>.
- [23] CABLIFY. "Speeds of Cat5e, Cat6, Cat6a, Cat7, and Cat8 Cables Compared." Zugriff am: 17. Dezember 2024. [Online.] Verfügbar: <https://www.cablify.ca/speeds-of-cat5e-cat6-cat6a-cat7-and-cat8-cables-compared/>.
- [24] JAI A/S, Hg., "FS-3200T-10GE-NNC Datasheet," Zugriff am: 18. April 2023. [Online.] Verfügbar unter: https://www.jai.com/uploads/documents/English-Manual-Datasheet/Fusion-Series/Datasheet_FSFE-3200T-10GE-Flex-Eye.pdf.
- [25] Basler AG. "Wie profitieren Multi-Kamerasysteme von GigE Vision 2.0." Zugriff am: 17. Dezember 2024. [Online.] Verfügbar: <https://www.baslerweb.com/de/learning/multi-kamerasysteme-gige-vision-2-0/>.
- [26] JAI A/S. "Lenses for JAI cameras." Zugriff am: 9. Januar 2025. [Online.] Verfügbar: www.jai.com.
- [27] JAI A/S. "Software products for JAI cameras." Zugriff am: 24. Januar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.jai.com/de/support-software/jai-software>.
- [28] "DBC Introduction — Open Vehicles documentation." Zugriff am: 16. Januar 2025. [Online.] Verfügbar: https://docs.openvehicles.com/en/latest/components/vehicle_dbc/docs/dbc-primer.html.
- [29] PEAK-System Technik GmbH. "PCAN-PCI Express: PEAK-System." Zugriff am: 17. Dezember 2024. [Online.] Verfügbar: <https://www.peak-system.com/PCAN-PCI-Express.206.0.html#>.
- [30] "psutil documentation — psutil 6.1.1 documentation." Zugriff am: 20. Dezember 2024. [Online.] Verfügbar: https://psutil.readthedocs.io/en/latest/index.html#psutil.disk_usage.
- [31] P. Scholz, Softwareentwicklung eingebetteter Systeme: Grundlagen, Modellierung, Qualitätssicherung (SpringerLink Bücher). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005.
- [32] Linux PTP Project. Zugriff am: 13. Januar 2025. [Online.] Verfügbar unter: <https://linuxptp.nwttime.org/>.
- [33] "systemd-analyze," ubuntu Deutschland e. V., Hg., 2025. Zugriff am: 21. August 2025. [Online.] Verfügbar unter: <https://wiki.ubuntuusers.de/systemd/systemd-analyze/>.
- [34] ISO 15739:2017 Photography — Electronic still-picture aw imaging — Noise measurements, International Organization for Standardization, ISO, 2017.
- [35] ISO. "ISO 12232:2019 Photography - Digital still cameras - Determination of exposure index: ISO speed ratings, standard output sensitivity, and recommended exposure index: Photography — Digital still cameras — Determination of exposure index." Zugriff am: 27. August 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.iso.org/standard/73758.html>.

CALL FOR CONTRIBUTIONS

BJAS Issue 9 (2026):

We are looking forward to receiving your contributions with a focus on applied sciences for the next issue in 2026. Please submit your article in line with our style guidelines and citation rules (see section Information for Authors) via the journal's website <http://jas.bayern> until May 31st, 2026. Contributions may be submitted either in German or English. They will undergo a double-blind peer reviewing process. The publication of the issue is scheduled for autumn 2026.

BJAS Heft 9 (2026):

Reichen Sie sehr gerne Ihre wissenschaftlichen Beiträge mit Anwendungsbezug zur Begutachtung (double-blind peer review) für das nächste themenoffene Heft im Jahr 2026 ein. Die Einreichungsfrist ist der 31. Mai 2026. Die Veröffentlichung ist für Herbst 2026 geplant. Bitte beachten Sie die Informationen für Autoren, die Stilrichtlinien sowie die Vorgaben zur Zitierweise auf der Website des Bavarian Journal of Applied Sciences: <https://jas.bayern>.

CALL FOR GUEST EDITORS

BJAS Issue 9 (2026)

The Bavarian Journal of Applied Sciences is seeking proposals from Guest Editors for the next issue of the journal to be published in 2026 (No. 9).

Proposals should be submitted no later than 30 January 2026 to info@jas.bayern, and will be evaluated by the journal's Editorial Board for their relevance to the BJAS readership and their academic quality.

About BJAS

For further information about the BJAS, please see the BJAS website: <https://jas.bayern>.

For preliminary enquiries and submissions, contact Michelle Cummings-Koether and Kristin Seffer via info@jas.bayern.

Proposal format

The next issue of the BJAS can have a specific topic and address different disciplines or interdisciplinary approaches, or it can have a disciplinary focus. It shall have a strong focus on applied research but with a theoretical foundation. Collaborative proposals (2 or 3 guest editors) are particularly welcome.

Proposals should include information in the following sections:

- the proposed topic for the special issue,
- a draft Call for Papers including the chosen theme, and target readership (max. 2 pages),
- Guest Editor profiles: names, affiliations, contact details, short biographical information,
- a list of potential reviewers.

The role of Guest Editors

Guest editors will work in close collaboration with the Editors and journal administrators of the BJAS, whose role is to help with the editorial procedures (dissemination of the Call for Papers, refereeing process, communication with authors, preparation of manuscripts for publication, etc.).

Duties of Guest Editors include:

- writing a Call for Papers,
- assessing initial submissions, selecting and allocating reviewers for submitted and invited papers,
- selecting papers for the issue on the basis of the peer reviews; Guest Editors are in charge of acceptance/rejection/revision and resubmission decisions and liaise closely with the Editor on the process as a whole,
- helping authors respond to reviewers' and Guest Editors' comments to improve the quality of their paper,
- preparing the manuscripts of the issue in accordance with the published guidelines, so as to facilitate the publisher's work,
- checking the publisher's proofs, along with the authors.

Timeline

- 31 January 2026: Deadline for submission of proposals from Guest Editors
- 15 February 2026: Decision by the Editors advised by the Editorial Board
- 20 February 2026: Publication of the Call for Papers
- 31 July 2026: Deadline for submission of papers
- 30 November 2026: Deadline for finalizing complete manuscript
- 15 December 2026: Publication and print



Bavarian Journal of Applied Sciences
Engineering, Information Technology, Economics, Health Sciences
Vol. 8 (2025)

Publishers:
Prof. Waldemar Berg & Prof. Dr. Wolfgang Dorner.
Deggendorf Institute of Technology, 2025