

Implementierung eines Tracking Systems für Produkte auf einer Fertigungskette

Studienarbeit T3_3101

Studiengang Embedded Systems

Duale Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg, Campus Friedrichshafen

von

Kilian Röper

Abgabedatum:	25. April 2025
Bearbeitungszeitraum:	01.10.2024 - 15.07.2025
Matrikelnummer:	5928177
Kurs:	TSA22
Betreuerin / Betreuer:	Markus Wengle

Erklärung

gemäß Ziffer 1.1.14 der Anlage 1 zu §§ 3, 4 und 5 der Studien- und Prüfungsordnung für die Bachelorstudiengänge im Studienbereich Technik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg vom 29.09.2017 in der Fassung vom 24.07.2023.

Ich versichere hiermit, dass ich meine Studienarbeit T3_3101 mit dem Thema:

Implementierung eines Tracking Systems für Produkte auf einer Fertigungskette

selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich versichere zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

Friedrichshafen, den 25. April 2025

Kilian Röper

Kurzfassung

Die Lernfabrik produziert teilautomatisiert über eine Fertigungskette verschiedene Produkte. Zur Verbesserung der Steuerung, Nachverfolgbarkeit und Dokumentation soll ein System entwickelt werden, das die Position der Produkte mittels NFC-Technologie erfasst und die entsprechenden Daten an ein Manufacturing Execution System (MES) übermittelt. Während geeignete NFC-Tags bereits identifiziert wurden, muss die restliche Systemarchitektur standortspezifisch konzipiert, implementiert und getestet werden.

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines industrietauglichen Systems zur positionsbasierten Produktverfolgung innerhalb der Fertigung. Die erfassten Informationen sollen in Echtzeit an ein vorhandenes System übertragen und dort visualisiert werden.

Zur Entwicklung der Systemarchitektur kamen klassische ingenieurwissenschaftliche Methoden zum Einsatz. Der Fokus lag auf einem kosteneffizienten, störungstoleranten und modular erweiterbaren Aufbau der Hardware- und Softwarekomponenten.

Die Arbeit mündete in einem vollständigen Systementwurf zur produktionsbegleitenden Datenerfassung über NFC. Realisiert wurde ein Prototyp bestehend aus dezentralen Erfassungseinheiten und einer zentralen Steuereinheit, die eine Schnittstelle zum MES bereitstellt. Neben der Hardware wurden die erforderlichen Softwarekomponenten zur Datenübertragung und -visualisierung sowie eine technische Dokumentation für zukünftige Erweiterungen erstellt.

Abstract

The learning factory produces various products semi-automatically via a production chain. To improve control, traceability, and documentation, a system is to be developed that records the position of the products using NFC technology and transmits the corresponding data to a Manufacturing Execution System (MES). While suitable NFC tags have already been identified, the remaining system architecture must be designed, implemented, and tested site-specifically.

The goal of this work is to develop an industrial-grade system for position-based product tracking within production. The recorded information is to be transmitted in real time to an existing system and visualized there.

Classical engineering methods were used to develop the system architecture. The focus was on a cost-effective, fault-tolerant, and modularly expandable design of the hardware and software components.

The work culminated in a complete system design for production-related data acquisition via NFC. A prototype was realized consisting of decentralized acquisition units and a central control unit that provides an interface to the MES. In addition to the hardware, the necessary software components for data transmission and visualization as well as technical documentation for future extensions were created.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Grundlagen	3
2.0.1	RFID und NFC-Technologie	3
2.0.2	Das MQTT-Protokoll	3
2.0.3	Node-Red - Eine Steuerungs- und Visualisierungssoftware	3
2.0.4	Speicherprogrammierte Steuerungen (SPS)	3
3	Konzeptentwurf	4
3.0.1	Anforderungsanalyse mittels Requirements Engineering	4
3.0.2	Hardwarebewertung mithilfe einer Nutzwertanalyse	4
3.0.3	Systementwurf basierend auf den gewählten Komponenten . . .	4
4	Umsetzung und Ergebnisse	6
5	Zusammenfassung	7
	Literaturverzeichnis	8
	Verzeichnis verwendeter Formelzeichen und Abkürzungen	10
	Abbildungsverzeichnis	11
	Tabellenverzeichnis	12
A	Nutzung von Künstliche Intelligenz basierten Werkzeugen	13

B Ergänzungen	14
B.1 Details zu bestimmten theoretischen Grundlagen	14
B.2 Weitere Details, welche im Hauptteil den Lesefluss behindern	14
C Details zu Laboraufbauten und Messergebnissen	15
C.1 Versuchsanordnung	15
C.2 Liste der verwendeten Messgeräte	15
C.3 Übersicht der Messergebnisse	15
C.4 Schaltplan und Bild der Prototypenplatine	15
D Zusatzinformationen zu verwendeter Software	16
D.1 Struktogramm des Programmentwurfs	16
D.2 Wichtige Teile des Quellcodes	16
E Datenblätter	17
F Tips und Beispiele zu \LaTeX-Befehlen	21
F.1 Wichtige \LaTeX -Befehle	21
F.2 Vorlagen für \LaTeX Umgebungen	23
F.2.1 Listen und Aufzählungen	23
F.2.2 Bilder und Grafiken	24
F.2.3 Tabellen	30
F.2.4 Formeln	32
Sachwortverzeichnis	35

1 Einleitung

Mit der zunehmenden Automatisierung industrieller Produktionsprozesse wächst der Bedarf an intelligenten Systemen, die eine lückenlose Nachverfolgbarkeit und effiziente Steuerung ermöglichen. Besonders in hochvernetzten Fertigungsumgebungen, wie sie im Kontext von Industrie-4.0 realisiert werden, spielt die automatische Identifikation von Produkten entlang der Fertigungskette eine zentrale Rolle. Zum Einsatz kommen dafür verschiedene Technologien - von optischer Erkennung bis hin zu RFID und NFC (Near Field Communication).

Die Lernfabrik der DHBW bietet eine reale, teilautomatisierte Fertigungsumgebung, in der solche Konzepte unter praxisnahen Bedingungen erprobt werden können. Aktuell fehlt jedoch ein System zur durchgängigen Identifikation und Nachverfolgung von Produkten innerhalb der Fertigungslinie. Dies erschwert nicht nur die Prozessüberwachung, sondern limitiert auch Möglichkeiten zur Datenanalyse, Optimierung und Dokumentation.

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Systems, das die Position und Identität von Produkten während des Fertigungsprozesses mit Hilfe von NFC-Sensoren automatisch erfasst. Zusätzlich soll es möglich sein Informationen automatisch auf die NFC-Tag zu schreiben. Die erfassten Daten werden an ein bestehendes Manufacturing Execution System (MES) übermittelt und dort zur Visualisierung bereitgestellt. Darüber hinaus sollen die von den NFC-Sensoren erfassten Informationen genutzt werden, um den logischen Ablauf des Bandumlaufsystems zu steuern. Hierfür ist ein Kommunikationsmechanismus zwischen den einzelnen Bandumlaufstationen und den NFC-Sensoren zu entwerfen. Im Rahmen dieser Arbeit wird eine geeignete Systemarchitektur für die Hard- und Softwarekomponenten konzipiert, implementiert und evaluiert.

Die zentrale Fragestellung der Arbeit lautet:

Wie kann ein robustes, kosteneffizientes und erweiterbares Trackingsystem für Produkte in einer bestehenden Fertigungsumgebung mithilfe von NFC-Technologie gestaltet und in ein MES integriert werden?

Zur Beantwortung dieser Frage werden klassische ingenieurwissenschaftliche Methoden wie Anforderungsanalyse, Systementwurf, prototypische Umsetzung und Validierung angewendet. Neben der technischen Umsetzung liegt ein besonderes Augenmerk auf der industriellen Tauglichkeit sowie der zukünftigen Erweiterbarkeit des Systems.

Die Arbeit gliedert sich wie folgt: Kapitel 2 beschreibt die theoretischen und technischen Grundlagen der verwendeten Technologien. Kapitel 3 analysiert die Anforderungen an das System und erläutert das methodische Vorgehen. Kapitel 4 enthält den Entwurf der Systemarchitektur sowie die Darstellung und Auswertung der Ergebnisse. Abschließend fasst Kapitel 5 die wesentlichen Erkenntnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen.

2 Grundlagen

Zielgerichtete theoretische Grundlagen, sowohl fachliche, wie auch methodische.

Zu den Grundlagen gehören z. B. auch Details zur Problemstellung, Stand der Technik und weitere Grundlagen, welche zur Konzeptausarbeitung, Umsetzung und Verifikation erforderlich sind.

Grundlagen haben immer einen Bezug zu den nachfolgenden Kapiteln. Diesen Bezug sollte man gelegentlich explizit herstellen, damit bereits in diesem Kapitel klar ist, wo und für was die Grundlagen gebraucht und angewandt werden.

2.0.1 RFID und NFC-Technologie

2.0.2 Das MQTT-Protokoll

2.0.3 Node-Red - Eine Steuerungs- und Visualisierungssoftware

2.0.4 Speicherprogrammierte Steuerungen (SPS)

3 Konzeptentwurf

3.0.1 Anforderungsanalyse mittels Requirements Engineering

3.0.2 Hardwarebewertung mithilfe einer Nutzwertanalyse

3.0.3 Systementwurf basierend auf den gewählten Komponenten

Je nach Art der Arbeit kann diese Kapitelüberschrift auch „Konzeptentwurf“ lauten.

Beschreibung der Ausgangssituation und des Themenumfelds. Ggf. wird darauf eingegangen, welche Randbedingungen und Einflüsse zu beachten sind.

Anforderungsanalyse und Anforderungsdefinition, nach Möglichkeit strukturiert, um zu einem späteren Zeitpunkt die Anforderungen nachvollziehbar verifizieren zu können.

Herleitung einer Lösung (einer Methodik, eines experimentellen Aufbaus oder von unterschiedlichen Konzepten), Lösungsbewertung und bewusste Wahl des gewählten Vorgehens. An dieser Stelle ist auch auf die Zuverlässigkeit einer Methodik oder auf die Genauigkeit von Untersuchungen einzugehen. Die Überlegungen sollen dazu helfen, mit der angestrebten Lösung die gestellten Anforderungen zu erfüllen, um schließlich die Ziele der Arbeit erreichen zu können.

Bei einer Gegenüberstellung von verschiedenen Lösungsansätzen kann z. B. eine Nutzwertanalyse helfen. Dabei sind nicht nur z. B. die Funktion, Leistungsfähigkeit, Umsetzbarkeit und Nutzbarkeit, sondern auch z. B. wirtschaftliche Aspekte, wie Stück-, Entwicklungskosten oder Ressourcenverbrauch zu berücksichtigen. Sehr bedeutend sind auch Aspekte der Nachhaltigkeit unter Betrachtung des gesamten Lebenszyklus einer erarbeiteten Lösung.

Sowohl bei der Anforderungsdefinition, als auch bei der Lösungsfindung gibt es eine große Anzahl an verschiedenen Methoden. Eine kleine Auswahl ist in der folgenden Aufzählung zu finden.

- Anforderungsdefinition mithilfe des Requirements Engineering [PR21]
- Systems Engineering Ansatz [Sch23]
- Agile Entwicklungsmethodiken [Coh10; Mar20; WRM22]
- Klassische Bewertungsverfahren [BK97; Zan14]

Ziel dieses Kapitels ist, dass auf Basis von umfassend und genau formulierten Anforderungen (ggf. auch Nicht-Zielen) eine Lösungsvielfalt erarbeitet wird, welche anschließend strukturiert bewertet wird, um eine fundierte Begründung für die angestrebte Art der Umsetzung herzuleiten.

4 Umsetzung und Ergebnisse

Je nach Art der Arbeit kann diese Kapitelüberschrift auch „Ergebnisse“ lauten, z. B. bei rein messtechnischen Aufgaben.

Beschreibung der Umsetzung des zuvor gewählten Vorgehens (theoretische Untersuchung, Erhebungen, Durchführung von Experimenten, Prototypenaufbau, Implementierung eines Prozesses, etc.).

Verifikation anhand der zuvor erarbeiteten Anforderungen und Validierung in Bezug auf das zuvor gestellte Ziel. Diskussion der Ergebnisse. Spätestens hier auch auf die Zuverlässigkeit der gewonnenen Erkenntnisse eingehen (z. B. anhand der Genauigkeit von Messergebnissen).

5 Zusammenfassung

Auf zwei bis drei Seiten soll auf folgende Punkte eingegangen werden:

- Welches Ziel sollte erreicht werden
- Welches Vorgehen wurde gewählt
- Was wurde erreicht, zentrale Ergebnisse nennen, am besten quantitative Angaben machen
- Konnten die Ergebnisse nach kritischer Bewertung zum Erreichen des Ziels oder zur Problemlösung beitragen
- Ausblick

In der Zusammenfassung sind unbedingt klare Aussagen zum Ergebnis der Arbeit zu nennen. Üblicherweise können Ergebnisse nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ benannt werden, z. B. „...konnte eine Effizienzsteigerung von 12 % erreicht werden.“ oder „...konnte die Prüfdauer um 2 h verkürzt werden“.

Die Ergebnisse in der Zusammenfassung sollten selbstverständlich einen Bezug zu den in der Einleitung aufgeführten Fragestellungen und Zielen haben.

Literaturverzeichnis

- [BK97] A. Breiing und R. Knosala. *Bewerten technischer Systeme: Theoretische und methodische Grundlagen bewertungstechnischer Entscheidungshilfen*. Springer eBook Collection Computer Science and Engineering. Springer Berlin Heidelberg, 1997. ISBN: 9783642592294. DOI: 10.1007/978-3-642-59229-4.
- [Coh10] Mike Cohn. *User stories: für die agile Software-Entwicklung mit Scrum, XP u.a.* 1. Aufl. mitp, 2010. ISBN: 9783826658983.
- [Dua21] Duale Hochschule Baden-Württemberg, Fachkommission Technik. *Leitlinien für die Bearbeitung und Dokumentation der Module Praxisprojekt I bis III, Studienarbeit I / II, Bachelorarbeit*. Okt. 2021. URL: https://www.ravensburg.dhbw.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/Dokumente_fuer_Studierende/191212_Leitlinien_Praxismodule_Studien_Bachelorarbeiten.pdf.
- [Lin22] Frank Lindenlauf. *Wissenschaftliche Arbeiten in den Ingenieur- und Naturwissenschaften: Ein praxisorientierter Leitfaden für Semester- und Abschlussarbeiten*. 1st ed. 2022. Springer Fachmedien Wiesbaden und Imprint Springer Spektrum, 2022. ISBN: 9783658367367. DOI: 10.1007/978-3-658-36736-7.
- [Mar20] Robert Martin. *Clean Agile – Die Essenz der agilen Softwareentwicklung*. 1st edition. mitp-Verlag und Safari, 2020. URL: <https://learning.oreilly.com/library/view/-/9783747501139/?ar>.

- [PR21] Klaus Pohl und Chris Rupp. *Basiswissen Requirements Engineering: Aus- und Weiterbildung nach IREB-Standard zum Certified Professional for Requirements Engineering Foundation Level*. 5., überarbeitete und aktualisierte Auflage. dpunkt Verlag, 2021. ISBN: 9783864908149.
- [Sch23] Nadine Schlüter. *Generic Systems Engineering: Ein methodischer Ansatz zur Komplexitätsbewältigung*. 3. Auflage 2023. Springer Berlin Heidelberg, 2023. ISBN: 9783662667897. DOI: 10.1007/978-3-662-66789-7.
- [Tip+19] Paul Allen Tipler u. a., Hrsg. *Physik: Für Studierende der Naturwissenschaften und Technik*. 8., korrigierte und erweiterte Auflage. Lehrbuch. Berlin: Springer Spektrum, 2019. ISBN: 9783662582800.
- [WRM22] Ralf Wirdemann, Astrid Ritscher und Johannes Mainusch. *Scrum mit User Stories*. 4., überarbeitete und erweiterte Auflage. Hanser eLibrary. Hanser, 2022. ISBN: 9783446474383. DOI: 10.3139/9783446474383. URL: <https://www.hanser-elibrary.com/doi/book/10.3139/9783446474383>.
- [Zan14] Christof Zangemeister. *Nutzwertanalyse in der Systemtechnik: Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen*. 5. Auflage 2014 (erweitert). Zangemeister & Partner, 2014. ISBN: 9783923264001.
- [Zie17] Julius Ziegler. „Optimale Trajektorienplanung für Automobile“. Dissertation. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing und Karlsruher Institut für Technologie, 2017. URL: <http://dx.doi.org/10.5445/KSP/1000056530>.

Verzeichnis verwendeter Formelzeichen und Abkürzungen

a	Beschleunigung
ABS	Antiblockiersystem
EMF	Enhanced Metafile
ESC	Electronic Stability Control, Fahrdynamikregelung
etc.	et cetera
F	Kraft
f.	folgende Seite
ff.	fortfolgende Seiten
JPG	Joint Photographic Experts Group
KI	Künstliche Intelligenz
m	Masse
P	Leistung
PDF	Portable Document Format
PNG	Portable Network Graphics
R	Widerstand
U	Spannung
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

F.1	Beispiel für die Einbindung eines Bildes.	24
F.2	Mit Tikz programmierte Grafik.	25
F.3	Mit Tikz programmierte Grafik, welche bereits vorgefertigte Bibliothe- ken für Symbole aus der Digitaltechnik nutzt.	26
F.4	Diagramm, erstellt mit dem <i>pgfplot</i> -Befehlssatz.	27
F.5	Diagramm mit zwei unterschiedlichen y-Achsen.	29

Tabellenverzeichnis

A.1	Liste der verwendeten Künstliche Intelligenz basierten Werkzeuge . . .	13
F.1	Liste der verwendeten Messgeräte	30

A Nutzung von Künstliche Intelligenz basierten Werkzeugen

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Künstliche Intelligenz (KI) basierte Werkzeuge benutzt. Tabelle A.1 gibt eine Übersicht über die verwendeten Werkzeuge und den jeweiligen Einsatzzweck.

Tabelle A.1: Liste der verwendeten KI basierten Werkzeuge

Werkzeug	Beschreibung der Nutzung
ChatGPT	<ul style="list-style-type: none">• Grundlagenrecherche zu bekannten Prinzipien optischer Sensorik zur Abstandsmessung (siehe Abschnitt ...)• Suche nach Herstellern von Lidar-Sensoren (siehe Abschnitt ...)• ...
ChatPDF	<ul style="list-style-type: none">• Recherche und Zusammenfassung von wissenschaftlichen Studien im Themenfeld ...• ...
DeepL	<ul style="list-style-type: none">• Übersetzung des Papers von [...]
Tabnine AI coding assistant	<ul style="list-style-type: none">• Aktiviertes Plugin in MS Visual Studio zum Programmieren des ...• ...
...	<ul style="list-style-type: none">• ...

B Ergänzungen

B.1 Details zu bestimmten theoretischen Grundlagen

B.2 Weitere Details, welche im Hauptteil den Lesefluss behindern

C Details zu Laboraufbauten und Messergebnissen

C.1 Versuchsanordnung

C.2 Liste der verwendeten Messgeräte

C.3 Übersicht der Messergebnisse

C.4 Schaltplan und Bild der Prototypenplatine

D Zusatzinformationen zu verwendeter Software

D.1 Struktogramm des Programmentwurfs

D.2 Wichtige Teile des Quellcodes

E Datenblätter

Auf den folgenden Seiten wird eine Möglichkeit gezeigt, wie aus einem anderen PDF-Dokument komplette Seiten übernommen werden können, z. B. zum Einbindungen von Datenblättern. Der Nachteil dieser Methode besteht darin, dass sämtliche Formateinstellungen (Kopfzeilen, Seitenzahlen, Ränder, etc.) auf diesen Seiten nicht angezeigt werden. Die Methode wird deshalb eher selten gewählt. Immerhin sorgt das Package „*pdfpages*“ für eine korrekte Seitenzahleinstellung auf den im Anschluss folgenden „nativen“ L^AT_EX-Seiten.

Eine bessere Alternative ist, einzelne Seiten mit „*\includegraphics*“ einzubinden.

F Tips und Beispiele zu L^AT_EX-Befehlen

Dieses Kapitel können Sie einfach löschen, indem Sie in der Präambel am Anfang der Zeile „`\include{chapter/anhang_vorlagen}`“ das Symbol % zum Auskommentieren einfügen.

F.1 Wichtige L^AT_EX-Befehle

<code>\label{}</code>	Definition eines Labels, auf welches referenziert werden kann, z. B.: <code>\label{fig:MyImage}</code>
<code>\ref{}</code>	Setzen einer Referenz zu einem Label z. B.: ... siehe Tabelle~ <code>\ref{tab:messdaten}</code> .
<code>\pageref{}</code>	Gibt die Seitenzahl zu einer Referenz zurück
<code>\autocite{}</code>	Literaturreferenz einfügen
<code>\autocite[7]{}</code>	Literaturreferenz einfügen, hier mit zus. Referenz auf Seite 7
<code>\autocites{Abc15, Def16}</code>	Mehrere Literaturreferenzen, hier Abc15 und Def16, einfügen
<code>\footnote{}</code>	Fußnote einfügen
<code>~</code>	Einfügen eines geschützten Leerzeichens
<code>\$Formel\$</code>	Eingabe einer Formel im Text
<code>\$l=\SI{10}{\meter}\$</code>	Korrekte Ausgabe Maßzahl und Einheit in Formeln, hier $l = 10\text{ m}$
<code>\index{Kraft}</code>	Aufnahme des Begriffs „Kraft“ in das Sachwort-

	verzeichnis
<code>\index{Induktion!Vollständige}</code>	Aufnahme des Begriffs „Vollständige“ in das Sachwortverzeichnis unter „Induktion“.
<code>\nomenclature[etc]{etc.}{et cetera}</code>	Aufnahme der Abkürzung „etc.“ für „et cetera“ in das Abkürzungsverzeichnis. Die Angabe [etc] dient als Sortierschlüssel
<code>\clearpage</code>	Ausgabe aller Gleitobjekte und Umbruch auf eine neue Seite

F.2 Vorlagen für \LaTeX Umgebungen

F.2.1 Listen und Aufzählungen

Es gibt folgende Listentypen. Die wichtigsten:

- Einfache Liste mit *itemize*-Umgebung
- ...
- 1. Nummerierte Liste mit *enumerate*-Umgebung
- 2. ...
- a. wobei man bei der *enumerate*-Umgebung leicht die Art der Nummerierung ändern kann,
- b. ...

und durch verschachtelte Umgebungen verschiedene Aufzählungsebenen darstellen kann:

- a) Erster Aufzählungspunkt der ersten Ebene
- b) ...
 - Erster Punkt der zweiten Ebene
 - Zweiter Punkt der zweiten Ebene
- c) Das sollte an Beispielen zunächst einmal genügen.

F.2.2 Bilder und Grafiken

Bilder können als PDF-, JPG-, und PNG-Bilder in L^AT_EX eingebunden werden. Damit eine Grafik in hoher Qualität dargestellt wird, sollte das Dateiformat der Grafik vektorbasiert sein, d.h. als PDF-Datei vorliegen. Viele Zeichenprogramme unterstützen einen PDF-Export (z. B. GIMP, Adobe Illustrator, etc.). Für Grafiken aus PowerPoint sei folgende Vorgehensweise beim Export empfohlen:

1. Die gewünschte Grafik in PowerPoint zeichnen.
2. Gewünschten Bildbereich markieren, rechte Maustaste klicken und „Als Grafik speichern ...“ wählen.
3. Grafik im Format EMF abspeichern. Das EMF-Format ist vektorbasiert.¹
4. Mit dem Programm XnView die Grafik im EMF-Format in PDF wandeln und abspeichern.
5. Die so erzeugte PDF-Datei enthält eine vektorbasierte Grafik und kann in L^AT_EX eingebunden werden.

Abbildung F.1 zeigt ein Beispielbild einer Grafik, welche aus PowerPoint exportiert wurde.



Abbildung F.1: Beispiel für die Einbindung eines Bildes (PDF-, JPG-, und PNG-Bilder können eingebunden werden).

Der Quellcode des Beispielbildes aus Abbildung F.1 ist in Listing F.1 zu sehen.

¹Mit dem Mac kann in PowerPoint die Grafik direkt im PDF-Format exportiert werden. Die weiteren Schritte entfallen daher.

Listing F.1: Quellcode der Abbildung F.1.

```
1 \begin{figure}[hbt]           % here , bottom , top
2 \centering                   % Zentrierung
3 \includegraphics[width=0.6\linewidth]{images/MyImage}
4 \caption[Beispiel für die Einbindung eines Bildes.]{Beispiel für die
   Einbindung eines Bildes (PDF-, JPG-, und PNG-Bilder können
   eingebunden werden).}
5 \label{fig:MyImage}
6 \end{figure}
```

Jedes Bild aus fremder Quelle ist mit einem Zitat in der Abbildungsunterschrift zu kennzeichnen. Nur eigene Bilder benötigen keine entsprechende Kennzeichnung. Bilder aus fremder Quelle mit eigenen Ergänzungen oder Änderungen sind mit Zitat und einer entsprechenden Bemerkung (z. B. „auf Basis [Quelle] mit eigenen Ergänzungen“ oder „eigene Darstellung auf Basis [Quelle]“) zu versehen. Der besseren Lesbarkeit halber sind im Abbildungsverzeichnis keine Zitate anzugeben. Hierfür kann im Befehl `\caption{ }` innerhalb der eckigen Klammer eine modifizierte Abbildungsunterschrift eingegeben werden, welche in das Abbildungsverzeichnis übernommen wird. Der Text innerhalb der geschweiften Klammer wird direkt unter die Abbildung gedruckt und kann dagegen ausführlich mit Angabe eines Zitats sein. Sollte die Arbeit veröffentlicht werden, ist unbedingt darauf zu achten, dass nur dann Bilder von fremder Quelle übernommen werden dürfen, wenn hierfür das explizite Einverständnis des Urhebers vorliegt. Dieses Einverständnis ist persönlich einzuholen und separat zu dokumentieren.

Grafiken können auch mithilfe des Packages Tikz gezeichnet, bzw. programmiert werden. Grafiken mit Tikz werden mit dem *input*-Befehl in die *figure*-Umgebung geladen, wie nachfolgendes Beispiel in Abbildung F.2 zeigt:

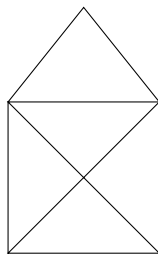


Abbildung F.2: Mit Tikz programmierte Grafik.

Ein etwas umfangreicheres Beispiel zur Digitaltechnik ist in Abbildung F.3 dargestellt:



Abbildung F.3: Mit Tikz programmierte Grafik, welche bereits vorgefertigte Bibliotheken für Symbole aus der Digitaltechnik nutzt.

In der Tikz-Umgebung können auch Diagramme mit dem *pgfplot*-Befehlssatz erzeugt werden. In Abbildung F.4 sehen Sie ein Beispiel.

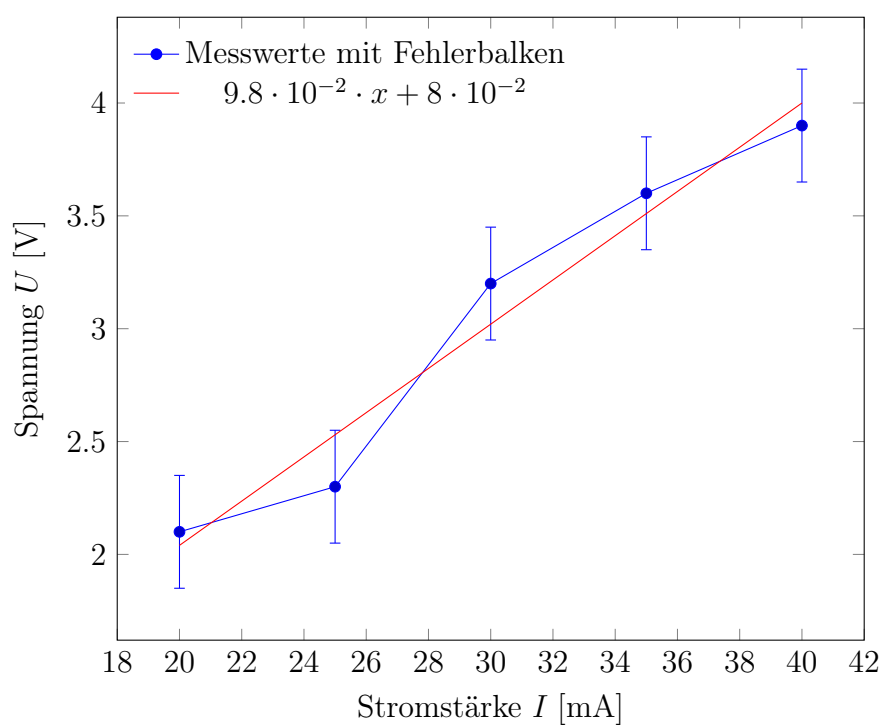


Abbildung F.4: Ein Diagramm, erstellt in der *tikzpicture*-Umgebung mit dem *pgfplot*-Befehlssatz. Das Diagramm stellt Messdaten, deren Fehlerbalken und eine Regressionskurve dar. Die Messdaten werden von einer separaten Datei eingelesen und die Regressionskurve wurde mit *pgfplot* berechnet und erstellt.

Auch hierzu der Quellcode in Listing F.2.

Listing F.2: Quellcode der Abbildung F.4.

```

1 \begin{figure}[hbt]
2 \centering
3 \input{pgfplot/mess_fehlerbalken.tex}
4 \caption[Diagramm, erstellt mit dem \textit{pgfplot}-Befehlssatz.]{Ein
   Diagramm, erstellt in der \textit{tikzpicture}-Umgebung mit dem \
   \textit{pgfplot}-Befehlssatz. Das Diagramm stellt Messdaten, deren
   Fehlerbalken und eine Regressionskurve dar. Die Messdaten werden von
   einer separaten Datei eingelesen und die Regressionskurve wurde mit \
   \textit{pgfplot} berechnet und erstellt.}
5 \label{fig:pgfplot}
6 \end{figure}

```

In Listing F.3 ist der Quellcode der Datei *mess_fehlerbalken.tex* dargestellt.

Listing F.3: Quellcode der Datei *mess_fehlerbalken.tex*.

```

1 \begin{tikzpicture}
2 \begin{axis}[scale=1.3,legend entries={Messwerte mit Fehlerbalken ,
3 $\pgfmathprintnumber{\pgfplotstableregressiona}$ \cdot x
4 $\pgfmathprintnumber[print sign]{\pgfplotstableregressionb}$}, legend
   style={draw=none},legend style={at={(0.01,0.98)},anchor=north west},
   xlabel=Stromstärke $I$ \; \mathrm{\lbrack mA \rbrack},ylabel=
   Spannung $U$ \; \mathrm{\lbrack V \rbrack}]
5 \addlegendimage{mark=*,blue}
6 \addlegendimage{no markers,red}
7 \addplot+[error bars/.cd, y dir=both,y explicit]
8 table[x=x,y=y,y error=error y]
9 {pgfplot/messdaten_mitfehler.dat};
10 \addplot table[mark=none,y={create col/linear regression={y=y}}]
11 {pgfplot/messdaten_mitfehler.dat};
12 \end{axis}
13 \end{tikzpicture}

```

In Abbildung F.5 wird ein weiteres Beispiel für ein Diagramm gezeigt. Oftmals wird eine zweite y-Achse verwendet, um verschiedene Skalen darstellen zu können.

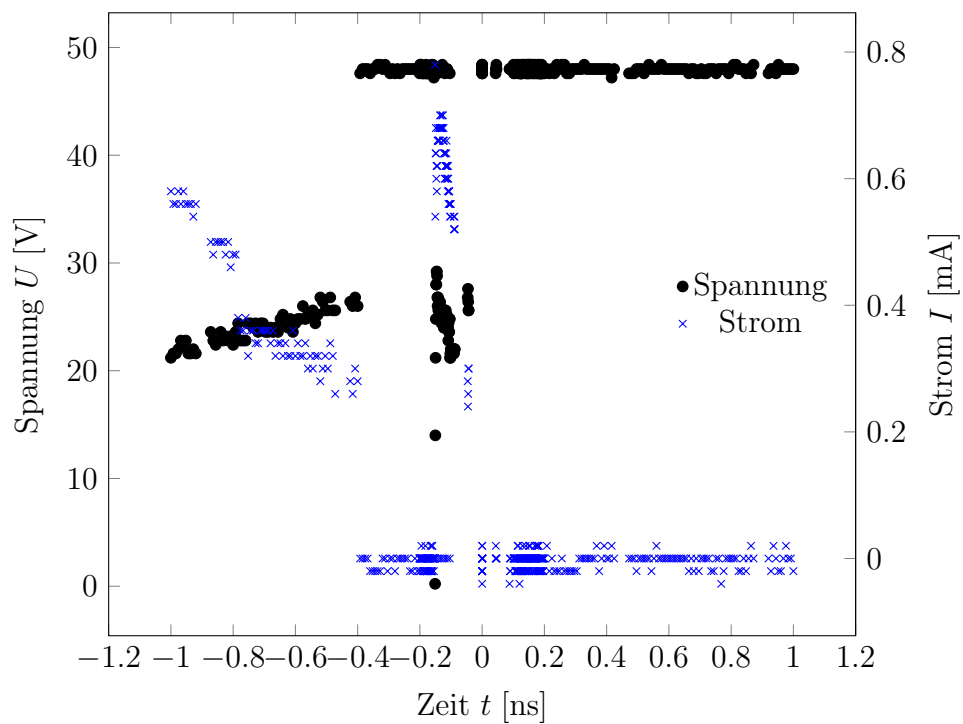


Abbildung F.5: Diagramm mit zwei unterschiedlichen y-Achsen.

F.2.3 Tabellen

Tabelle F.1: Liste der verwendeten Messgeräte. Die Genauigkeitsangaben beziehen sich auf die Standardabweichung $1 \cdot \sigma$.

Messgerät	Hersteller	Typ	Verwendung	Genauigkeit
Spannungsversorgung	Voltmaker	HV2000	Spannungsversorgung der Platine	$\Delta U = \pm 5 \text{ mV}$
Strommessgerät	Currentcount	Hotamp 16	Strommessung am Versorgungspin des μC	$\Delta I = \pm 0.1 \text{ A}$

Der Quellcode der Beispieltabelle F.1 ist in Listing F.4 zu sehen.

Listing F.4: Quellcode der Tabelle F.1.

```

1 \begin{table}[hbt]
2 \centering
3 \renewcommand{\arraystretch}{1.5} % Skaliert die Zeilenhöhe der Tabelle
4 \captionabove[Liste der verwendeten Messgeräte]{Liste der verwendeten
   Messgeräte. Die Genauigkeitsangaben beziehen sich auf die
   Standardabweichung  $1 \cdot \sigma$ .}
5 \label{tab:bsp}
6 \begin{tabular}{ccccc}
7 \textbf{Messgerät} & \textbf{Hersteller} & \textbf{Typ} & \textbf{Verwendung} & \textbf{Genauigkeit} \\
8 \hline
9 \hline
10 \parbox[t]{0.2\linewidth}{\centering Spannungsversorgung} & Voltmaker
   & HV2000 & \parbox[t]{0.2\linewidth}{\centering Spannungsversorgung der
   Platine} &  $\Delta U = \pm 5 \text{ mV}$  \\
   % Der parbox-Befehl ist erforderlich, damit ein Zeilenumbruch erzeugt werden kann.
   % c-Spalten (zentriert) erlauben nicht automatisch einen Zeilenumbruch.
   % Linksbündig gesetzte p-Spalten erlauben automatisch den Zeilenumbruch.
11 Strommessgerät & Currentcount & Hotamp 16 & \parbox[t]{0.2\linewidth}{\centering Strommessung
   am Versorgungspin des \textmu C} &  $\Delta I = \pm 0.1 \text{ A}$  \\
12 \hline

```

```
13 \end{tabular}  
14 \end{table}
```

F.2.4 Formeln

Formeln lassen sich in L^AT_EX ganz einfach schreiben. Es gibt unterschiedliche Umgebungen zum Schreiben von Formeln. Z. B. direkt im Text $v = s/t$ oder abgesetzt

$$F = m \cdot a$$

oder auch, wie in wissenschaftlichen Dokumenten üblich, nummeriert

$$P = \frac{U^2}{R} \quad . \quad (\text{F.1})$$

Mit einem Label in Formel F.1 lassen sich natürlich auch Formeln im Text referenzieren. L^AT_EX verwendet im Formelmodus einen eigenen Schriftsatz, welcher entsprechend der gängigen Konventionen kursive Zeichen verwendet. Sollen im Formelmodus Einheiten in normaler Schriftart eingefügt werden, dann kann dies über den Befehl `\mathrm{}` erwirkt werden, wie im Quellcode von Formel F.2 zu sehen ist.

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{(100 \text{ V})^2}{100 \, \Omega} = 100 \text{ W} \quad . \quad (\text{F.2})$$

Zum direkten Vergleich sind die Einheiten in Formel F.3 falsch dargestellt:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{(100 \text{ V})^2}{100 \, \Omega} = 100 \text{ W} \quad (\text{F.3})$$

Zur einfachen Eingabe von Einheiten kann auch das Package `\siunitx` verwendet werden:

$$P = 100 \text{ W} = 100 \text{ J s}^{-1} \quad (\text{F.4})$$

Das sind nur ein paar wenige Beispiele und es gibt sehr viele Packages, um Besonderheiten in Formeln realisieren zu können, z. B. mehrzeilige Formeln mit vertikaler Ausrichtung. Nennen Sie Formeln nur, wenn diese zum besseren Verständnis auch

wirklich nützlich sind.

Folgende Befehle sind innerhalb von Formel-Umgebungen nützlich:

`\text{}` oder `\mathrm{}` Damit kann in Formel-Umgebung Text geschrieben werden.
`\,`, `\:`, `\;`, `\quad`, `\qquad` Zusätzlichen Abstand zwischen Symbolen einfügen.
`\notag` Nummerierung einer bestimmten Formel ausschalten.

Hier noch ein kleines Beispiel aus der Mathematik:

$$\sum_{n=1}^{\infty} f(x_n) \cdot \Delta x = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)}{\Delta x} = \frac{df}{dx} = \dot{f}(x) \quad (\text{F.5})$$

Und abschließend ein Beispiel aus der Physik zum Induktionsgesetz:

$$\oint_{\partial \mathcal{A}(t)} \vec{E} \cdot d\vec{s} = - \int_{\mathcal{A}(t)} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{A} \quad (\text{F.6})$$

