

HTWK

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur

Fakultät Ingenieurwissenschaften

Abschlussarbeit

Systemsengineering

Thema:	Entwurf eines Re-EMF-Ladegerätes für Bleiakkumulatoren
Autor:	Leon Arnecke, Johannes Trummer MatNr. 79511, 87051
E-Mail Leon:	leon.arnecke@stud.htwk-leipzig.de
E-Mail Johannes:	johannes.trummer@stud.htwk-leipzig.de
Version vom:	5. Juni 2025
Prüfer:	Prof. Dr.-Ing Thomas Neumuth

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	3
1.1	Aufgabenstellung	3
1.2	Anwendungsübersicht und Nutzungskontext	3
1.3	Systemumfeld	4
1.4	Rahmenbedingungen für die Systemauslegung	5
1.4.1	Personen	5
1.4.2	Umwelt	6
1.4.3	Fremdsysteme	6
2	Systembeschreibung	7
2.1	Konzept des idealen Systems	8
2.2	Modellierung der Anforderungen	9
2.3	Technische und Physikalische Widersprüche	10
2.3.1	Technische Widersprüche	10
2.3.2	Physikalische Widersprüche	12
3	Systementwurf	14
3.1	Auflösung der technischen Widersprüche	14
3.2	Auflösung der physikalischen Widersprüche	15
3.3	Interaktion zwischen Systemkomponenten	16
3.4	Überblick Ladealgorithmus	16
3.5	Technologieauswahl	17
3.5.1	Zentrale Steuerungseinheit	18
3.5.2	Ladeelektronik	18
3.5.3	Sensorik	18
3.5.4	Kommunikation und Steuerlogik	19
3.5.5	Mechanik und Kühlung	19
3.5.6	Energieversorgung	19
3.6	Ausgeschlossene Technologien	19
4	Zusammenfassung und Fazit	21
5	Eidesstattliche Erklärung	22
	Abbildungsverzeichnis	23
	Literaturverzeichnis	24

1 Einführung

1.1 Aufgabenstellung

Die Entwicklung effizienter Ladeverfahren für Batterien und Akkumulatoren ist ein zentrales Thema in der modernen Energietechnik.

In dieser Arbeit wird ein systematischer Zugang zur Thematik des Ladens von Energiespeichern verfolgt. Im ersten Schritt erfolgt eine umfassende **Systemanalyse**, mit der das technische und funktionale Umfeld eines Ladesystems beschrieben und eingegrenzt wird. Ziel ist es, die relevanten Komponenten, Wechselwirkungen und Rahmenbedingungen zu erfassen, die beim Laden von Akkumulatoren eine Rolle spielen.

Darauf aufbauend werden die Anforderungen an ein **ideales Ladesystem** formuliert. Im Abgleich mit bestehenden Systemen werden zentrale **Widersprüche und technische Zielkonflikte** identifiziert. Diese dienen als Ausgangspunkt für die Anwendung der **TRIZ-Methode (Theorie des erfinderischen Problemlösens)**, mit der systematisch Lösungsideen für widersprüchliche Anforderungen entwickelt werden können.

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden verschiedene technologische Konzepte zur Realisierung eines geeigneten Ladesystems gegenübergestellt und bewertet. Abschließend wird eine bevorzugte Lösungstechnologie ausgewählt und durch eine **technische Implementierung** detailliert beschrieben. Ziel dieser Arbeit ist es, ein strukturiertes Verständnis für die Konstruktion innovativer Ladesysteme zu gewinnen und eine methodisch fundierte Lösung zu erarbeiten.

1.2 Anwendungsübersicht und Nutzungskontext

Die folgende Abbildung veranschaulicht zentrale Nutzungsszenarien und Interaktionen verschiedener Akteure mit dem Ladesystem. Im Fokus stehen dabei der Endnutzer, das Entwicklerteam sowie ein übergeordnetes System, das etwa in einer vernetzten Infrastruktur oder einem Energieverbund agiert.

Der **Endnutzer** initiiert den Prozess durch das Anschließen eines Akkus. Daraufhin kann ein Ladevorgang mit einer Regeneration eingeleitet. Im Anschluss steht der geladene und regenerierte Akku wieder zur Verfügung. Zusätzlich werden akkuspezifische Informationen bereitgestellt.

Der **Entwickler** nutzt gesammelte Betriebsdaten zur gezielten Systemverbesserung. Dieser Rückkopplungsprozess unterstützt die iterative Weiterentwicklung des Ladesystems auf Basis realer Einsatzbedingungen.

Das **übergeordnete System** greift sowohl auf Daten des Ladeprozesses als auch auf Regenerationsfunktionen zu. Es kann diese Informationen für übergeordnete Aufgaben wie Energiemanagement oder das Recycling nicht mehr verwendbarer Akkus nutzen.

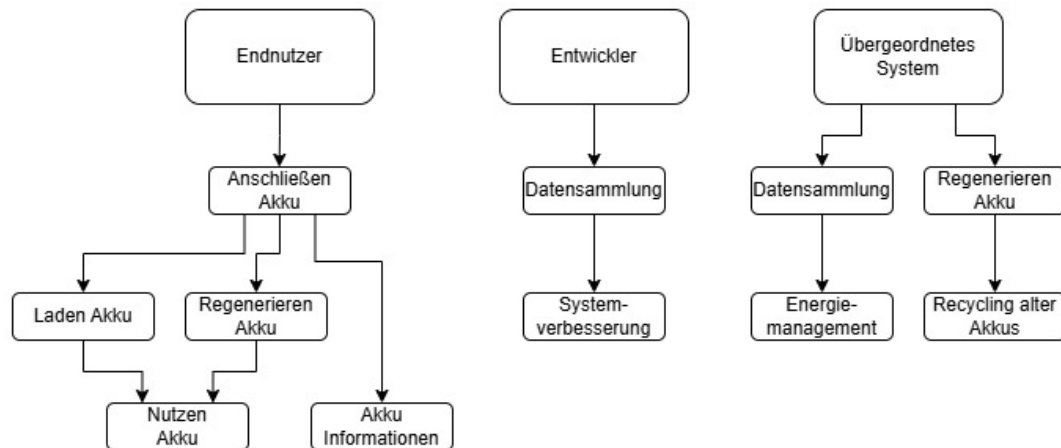


Abbildung 1: Use-Case-Diagramm

1.3 Systemumfeld

Das Systemumfeld eines Ladesystems für Batterien und Akkumulatoren lässt sich in drei wesentliche Einflussbereiche gliedern: Personengruppen, Umweltbedingungen und Fremdsysteme. Diese Kategorien stellen unterschiedliche Anforderungen an die Gestaltung, Sicherheit und Funktionsweise des Systems. Zu den mit dem System interagierenden Personengruppen zählen Endnutzerinnen und Endnutzer, Wartungspersonal, Entwicklungs- und Fertigungspersonal. Das Ladesystem kann unterschiedlichen Umwelteinflüssen ausgesetzt sein, je nach Einsatzgebiet. Wesentliche Einflussfaktoren sind Temperatur, Feuchtigkeit und Staub, Mechanische Belastungen, Elektromagnetische Einflüsse. Auch Fremdsysteme spielen hier eine Rolle, die Ladestation kann auf externe Energiesysteme oder Datenspeichersysteme angewiesen sein. Außerdem ist zur netzwerkbasierter Kommunikation ein entsprechendes System sinnvoll.

Die genannten Anforderungen aus dem Personen-, Umwelt- und Systemkontext bilden die Grundlage für die spätere Systemauslegung und fließen direkt in die Bewertung möglicher Lösungskonzepte ein.

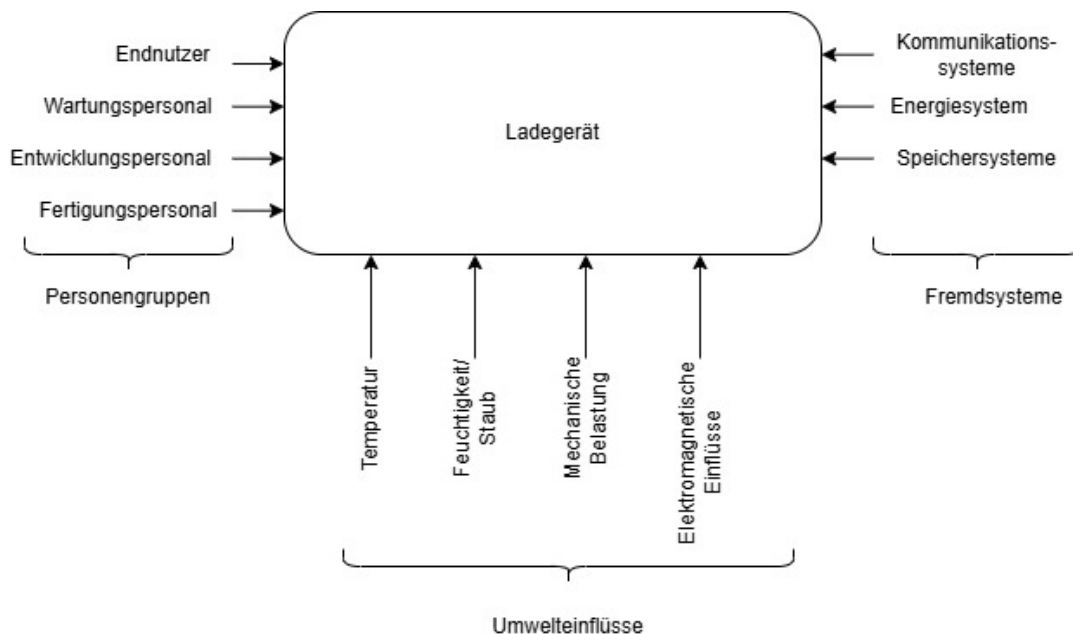


Abbildung 2: Systemumfeld des Ladesystems

1.4 Rahmenbedingungen für die Systemauslegung

Zur Festlegung der zu berücksichtigenden Rahmenbedingungen, werden oben genannte Einflussgruppen auf deren Bedürfnisse und Anforderungen geprüft. Dies dient der genaueren Analyse der Systemeigenschaften.

1.4.1 Personen

- **Endnutzerinnen und Endnutzer:** Sie bedienen das Gerät im Alltag. Für diese Zielgruppe sind insbesondere Aspekte wie einfache Handhabung, selbsterklärende Benutzerführung, visuelles Feedback über Ladezustände und ein sicherer Betrieb von zentraler Bedeutung. Auch die potenzielle Fehlbedienung muss berücksichtigt werden.
- **Wartungspersonal:** Für diese Gruppe ist ein einfacher Zugang zu technischen Komponenten essenziell, etwa zur Prüfung, Kalibrierung oder zum Austausch defekter Bauteile. Das System sollte eine Diagnosemöglichkeit sowie dokumentierte Schnittstellen bieten.
- **Entwicklungs- und Fertigungspersonal:** Diese Gruppe benötigt ein modulares und nachvollziehbares Systemdesign, um Herstellung, Montage, Inbetriebnahme und Weiterentwicklung zu erleichtern.

1.4.2 Umwelt

- **Temperatur:** Schwankungen in der Umgebungstemperatur können sich auf die Ladeeffizienz und die Sicherheit des Systems auswirken. Es muss ein geeigneter Temperaturbereich spezifiziert und durch konstruktive Maßnahmen (z. B. Kühlung, Schutzschaltungen) abgesichert werden.
- **Feuchtigkeit und Staub:** Bei Einsatz in Außenbereichen oder Werkstätten muss das Gerät gegen Feuchtigkeit und Staub geschützt sein. Eine entsprechende IP-Schutzklasse (z. B. IP54 oder höher) ist anzustreben.
- **Mechanische Belastungen:** Vibrationen, Erschütterungen oder Stöße – insbesondere bei mobilen oder industriellen Anwendungen – erfordern eine robuste Bauweise und die sichere Befestigung empfindlicher Komponenten.
- **Elektromagnetische Einflüsse:** Das Gerät muss sowohl störungsarm arbeiten als auch unempfindlich gegenüber elektromagnetischen Störungen sein. Entsprechende EMV-Richtlinien sind einzuhalten.

1.4.3 Fremdsysteme

- **Kommunikationssysteme:** Das Ladegerät muss nahtlos in bestehende Kommunikationsinfrastrukturen integriert werden können, um Statusinformationen, Diagnosedaten oder Steuerbefehle auszutauschen. Dabei sind standardisierte Schnittstellen (z. B. CAN, UART, Ethernet) und Protokolle essenziell. Kompatibilität, Datenintegrität und Echtzeitfähigkeit spielen eine zentrale Rolle.
- **Energiesystem:** Das Ladegerät ist Bestandteil eines übergeordneten Energiesystems und muss daher mit unterschiedlichen Energiequellen (Netzspannung, Generatoren, Solaranlagen) kompatibel sein. Schutzmechanismen gegen Spannungsschwankungen, Rückspeisung und Netzstörungen sind erforderlich.
- **Speichersysteme:** Datenspeichersysteme ermöglichen die Erfassung, Ablage und Analyse von Betriebs- und Diagnosedaten des Ladegeräts. Eine zuverlässige Anbindung über geeignete Schnittstellen sowie ein sicherer und strukturierter Datenzugriff sind entscheidend. Datenschutz, Datensicherheit und langfristige Verfügbarkeit der gespeicherten Informationen müssen gewährleistet sein.

2 Systembeschreibung

Das Ladegerät besteht aus mehreren funktionalen Einheiten, die gemeinsam das Laden und Regenerieren von Batterien oder Akkumulatoren ermöglichen und dabei verschiedene Anforderungen erfüllen. Die zentrale Komponente ist die Steuerungseinheit, welche den gesamten Ladevorgang überwacht und regelt. Sie ist mit einem Energiemodul verbunden, das entweder aus einer netzgebundenen Stromversorgung oder einer autarken Quelle wie einem Solarpanel besteht.

Für die Überwachung relevanter physikalischer Größen wie Strom, Spannung und Temperatur ist ein Messsystem integriert. Es liefert kontinuierlich Daten an die Steuerung, um eine bedarfsgerechte Regelung des Ladeprozesses zu ermöglichen. Zusätzlich existiert eine Benutzerschnittstelle, über die Statusinformationen abgerufen und Einstellungen vorgenommen werden können.

Ein weiteres Modul dient der externen Kommunikation, beispielsweise zur Datenübertragung an ein zentrales System oder zur Fernkonfiguration. Die einzelnen Systemteile sind so konzipiert, dass sie modular und austauschbar aufgebaut sind, was die Wartung und Weiterentwicklung erleichtert.

Die Auslegung erfolgt unter Berücksichtigung robuster Umweltbedingungen, einer effizienten Energieausnutzung sowie einfacher Bedienbarkeit durch unterschiedliche Benutzergruppen.

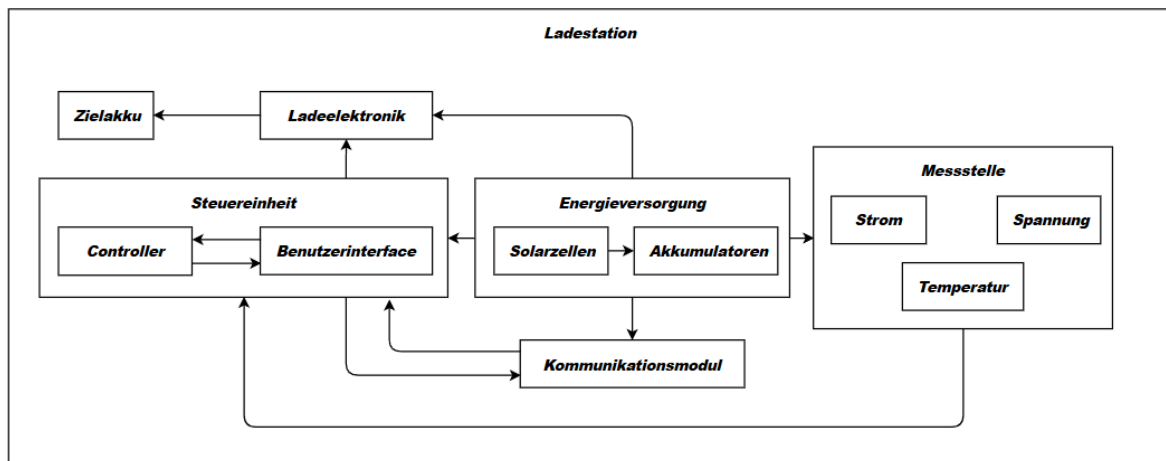


Abbildung 3: Block-Definition-Diagramm

2.1 Konzept des idealen Systems

Das Modell des idealen Systems beschreibt einen theoretisch optimalen Lade- und Regenerationsprozess für Akkumulatoren und Batterien, der sich vollständig an den physikalischen, ökologischen und nutzerspezifischen Anforderungen orientiert – ohne dabei durch technische oder wirtschaftliche Einschränkungen begrenzt zu sein.

Ein ideales Ladesystem zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- **Automatische Anpassung:** Das System erkennt automatisch den Typ, den Zustand und die Ladung der angeschlossenen Batterie und wählt den optimalen Ladealgorithmus entsprechend aus – unabhängig vom Hersteller oder der Technologie (z. B. Li-Ion, NiMH, Blei).
- **Effizienz:** Der Ladevorgang erfolgt mit maximal möglichem Wirkungsgrad, d. h. es wird so wenig Energie wie möglich in Form von Wärme oder Verlustleistung verschwendet.
- **Langlebigkeit:** Das System verlängert durch eine schonende Ladekurve aktiv die Lebensdauer der Batterie. Überladung, Tiefentladung oder Zellungleichgewichte werden zuverlässig vermieden.
- **Regeneration:** Das System ist in der Lage, bereits geschädigte oder gealterte Batterien zu analysieren und – sofern möglich – durch geeignete Ladeimpulse oder Regenerationszyklen wieder zu reaktivieren.
- **Autarke Energieversorgung:** Idealerweise benötigt das System keine externe Stromversorgung, sondern arbeitet vollständig energieautark (z. B. über Solarenergie), ohne Einbußen bei Ladeleistung oder -geschwindigkeit.
- **Benutzerfreundlichkeit:** Der Ladeprozess erfolgt für die Nutzerin oder den Nutzer vollständig automatisch. Eine Anzeige informiert über den Ladefortschritt, ohne dass technisches Wissen notwendig ist.
- **Nachhaltigkeit:** Das System ist ressourcenschonend konstruiert, reparierbar und auf eine lange Lebensdauer ausgelegt. Es erfüllt aktuelle Umweltstandards und kann sicher recycelt werden.

Dieses Idealmodell dient als Referenz zur späteren Bewertung realer Lösungsansätze. Abweichungen von diesem Modell deuten auf notwendige technische Kompromisse hin, deren Ursachen analysiert und deren Auswirkungen minimiert werden sollen.

2.2 Modellierung der Anforderungen

Das unten gezeigte Anforderungsdiagramm stellt die funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen an die Ladestation strukturiert dar. Die Anforderungen gliedern sich in mehrere Hauptkategorien:

- **Energieversorgung:** Die Ladestation soll eine autarke Energieversorgung ermöglichen, beispielsweise durch den Einsatz erneuerbarer Energien wie Photovoltaik. Zudem ist eine hohe Energieeffizienz gefordert, um den Energieverbrauch zu minimieren und einen nachhaltigen Betrieb sicherzustellen.
- **Bedien- und Kommunikationsanforderungen:** Diese Kategorie umfasst alle grundsätzlichen Interaktionseigenschaften der Ladestation. Dazu gehören z. B. die Fähigkeit zur Zustandsanzeige, um Nutzer über den Ladefortschritt zu informieren, sowie die Kommunikationsfähigkeit mit externen Systemen. Zusätzlich wird gefordert, dass die Ladestation verschiedene Ladeprofile unterstützt, um sich flexibel an unterschiedliche Anwendungsfälle und Bedienerwünsche anzupassen.
- **Sicherheits- und Diversitätsanforderungen:** Diese Gruppe umfasst alle Anforderungen, die sich auf das sichere und anpassbare Laden unterschiedlicher Akkutypen beziehen. Die Ladestation muss verschiedene Akkutypen erkennen und unterstützen, indem sie Ladeströme und -spannungen entsprechend anpasst. Um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten, sind Schutzmechanismen wie Überladeschutz und eine kontinuierliche Temperaturüberwachung zwingend erforderlich.
- **Betriebs- und Umgebungsanforderungen:** Für einen zuverlässigen und wartungsarmen Betrieb sind Anforderungen hinsichtlich einfacher Wartung und robuster Bauweise entscheidend. Die Ladestation muss unter verschiedenen Umwelteinflüssen (z. B. Feuchtigkeit, Staub, Temperatur) zuverlässig funktionieren, was durch eine entsprechend widerstandsfähige Konstruktion zu gewährleisten ist.

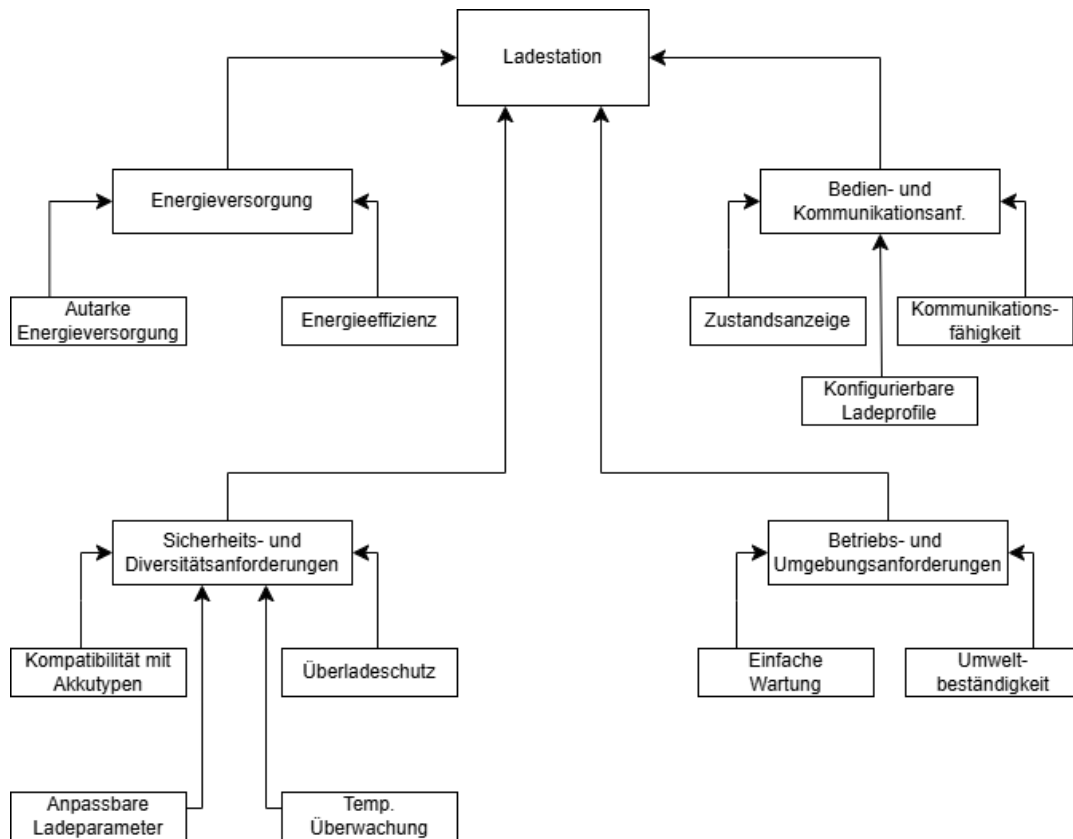


Abbildung 4: Requirements-Diagramm des Ladesystems

2.3 Technische und Physikalische Widersprüche

2.3.1 Technische Widersprüche

Technische Widersprüche treten auf, wenn durch die Verbesserung einer Eigenschaft des Systems eine andere Eigenschaft gleichzeitig verschlechtert wird.

Beispiele für technische Widersprüche:

- **Schnellladung vs. Akkulebensdauer**

Verbesserung: Die Ladezeit wird durch höheren Strom deutlich verkürzt.

Verschlechterung: Die thermische und chemische Belastung verringert die Lebensdauer des Akkus.

- **Hohe Effizienz vs. Baugröße der Schaltung**

Verbesserung: Durch größere Kühlkörper und leistungsfähige Bauteile wird der Wirkungsgrad verbessert.

Verschlechterung: Das System wird schwerer und weniger mobil.

- **Energieeinsparung vs. Datenüberwachung**

Verbesserung: Durch Sleep-Modus wird der Stromverbrauch reduziert.

Verschlechterung: Die zeitliche Auflösung der Messdaten sinkt, wichtige Informationen können verloren gehen.

- **Hohe Kompatibilität vs. Komplexität der Steuerung**

Verbesserung: Das Ladegerät kann verschiedene Akku-Typen verarbeiten.

Verschlechterung: Die Software- und Hardwaresteuerung wird deutlich komplexer.

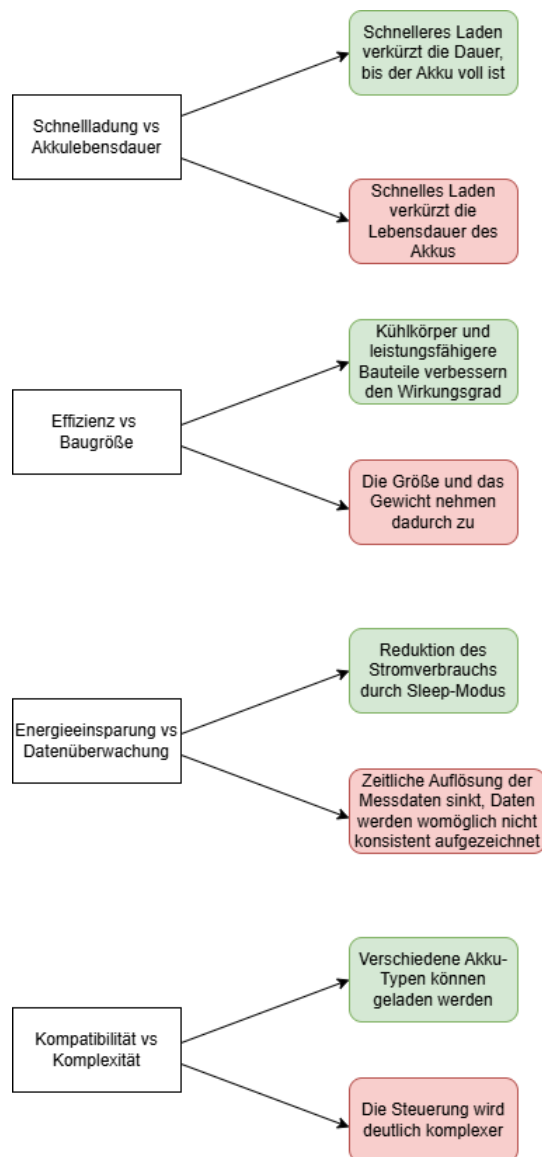


Abbildung 5: Technische Widersprüche

2.3.2 Physikalische Widersprüche

Physikalische Widersprüche liegen vor, wenn eine Eigenschaft eines Systems zwei entgegengesetzte Anforderungen gleichzeitig erfüllen soll.

Beispiele für physikalische Widersprüche:[3]

- **Die Temperatur der Schaltung soll niedrig und hoch sein**
Begründung: Sie soll niedrig sein, um Bauteile zu schützen, aber hoch genug, um die chemischen Prozesse beim Laden effizient zu gestalten.
- **Die Bauform soll kompakt und gleichzeitig groß sein**
Begründung: Kompakt für Mobilität, aber groß genug, um ausreichend Kühlung und Bauraum für leistungsfähige Komponenten zu bieten.
- **Der Ladeprozess soll automatisiert und gleichzeitig individuell steuerbar sein**
Begründung: Vollautomatisch für einfachen Betrieb, aber auch flexibel für unterschiedliche Batterieparameter.
- **Die Ladezeit soll kurz und lang sein**
Begründung: Kurz, um Zeit zu sparen, aber lang, um den Akku besonders schonend zu laden.

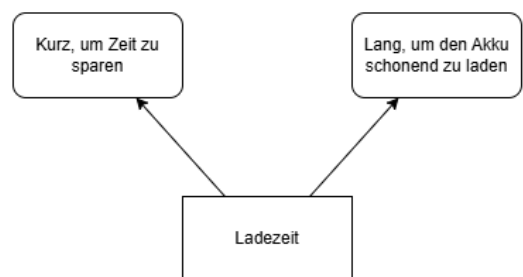
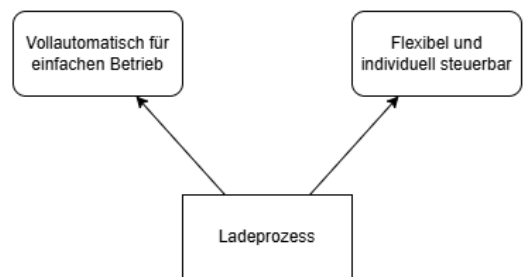
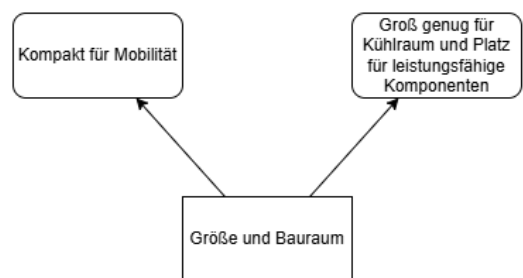
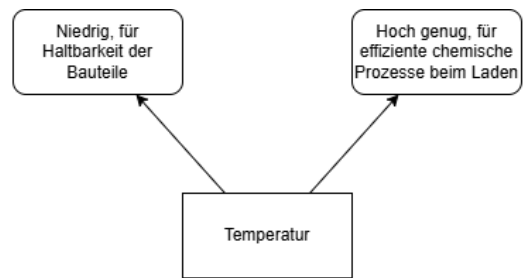


Abbildung 6: Physikalische Widersprüche

3 Systementwurf

Im Rahmen dieser Arbeit wurden verschiedene technische und physikalische Widersprüche im Zusammenhang mit dem Aufbau eines Ladesystems für Akkus und Batterien identifiziert. Zur strukturierten Lösung dieser Konflikte wird die TRIZ-Methode (Theorie des erfinderischen Problemlösens) herangezogen.

3.1 Auflösung der technischen Widersprüche

Widerspruch 1: Eine hohe Ladespannung führt zu schnellerem Laden, erhöht aber auch die Gefahr der Überhitzung und Schädigung der Batterie.

TRIZ-Lösung: Prinzip 19 – Periodische Wirkung: Statt konstanter hoher Spannung wird mit gepulster Spannung geladen, was die Batterie schont und gleichzeitig schnelles Laden erlaubt.[9]

Widerspruch 2: Mehr Kühlung bedeutet besserer Wirkungsgrad, aber größere Bauform.

TRIZ-Lösung: Prinzip 6 – Universelle Nutzung: Das Gehäuse der Ladestation übernimmt zusätzlich die Funktion eines Kühlkörpers.[9]

Widerspruch 3: Ein Sleep-Modus reduziert den Energieverbrauch, verringert jedoch die zeitliche Auflösung der Datenüberwachung, wodurch wichtige Informationen verloren gehen können.

TRIZ-Lösung: Prinzip 23 – Rückkopplung: Das System verbleibt im Energiesparmodus und wird nur bei relevanten Ereignissen durch Sensorsignale oder definierte Schwellenwerte aktiviert.[9]

Widerspruch 4: Ein Ladegerät, das viele Akku-Typen unterstützt, bietet hohe Kompatibilität, erfordert jedoch eine komplexe Steuerung, was Entwicklung und Wartung erschwert.

TRIZ-Lösung: Prinzip 25 – Selbstbedienung: Der angeschlossene Akku identifiziert sich selbst über eine digitale Schnittstelle (z. B. SMBus oder I2C) und übermittelt die notwendigen Ladeparameter direkt an das System.[9]

3.2 Auflösung der physikalischen Widersprüche

Widerspruch 1: Die Temperatur des Akkus soll hoch sein, um chemische Prozesse zu begünstigen, aber gleichzeitig niedrig, um Schäden zu vermeiden.

TRIZ-Lösung: Trennung in der Zeit: Der Akku wird nur in kontrollierten Ladephasen leicht erwärmt, anschließend wieder gekühlt.

Widerspruch 2: Die Bauform soll gleichzeitig kompakt (platzsparend) und groß (für Kühlung und Bauraum) sein.

TRIZ-Lösung: Trennung im Raum und Funktion: Kompakte, modulare Bauweise mit ausgelagerten, belüfteten Bereichen für wärmeintensive Komponenten, sodass das Hauptgerät mobil und platzsparend bleibt, während Kühlung und Bauraum gewährleistet sind.

Widerspruch 3: Der Ladeprozess soll automatisiert und gleichzeitig individuell steuerbar sein.

TRIZ-Lösung: Trennung der Bedingung: Automatischer Ladeprozess läuft unter Standardbedingungen, individuelle Steuerung wird nur bei speziellen Batterietypen oder Anforderungen aktiviert.

Widerspruch 4: Die Ladezeit soll kurz (schnellladen) und lang (vollgeladener und gut regenerierter Akku) sein.

TRIZ-Lösung: Trennung nach Zustand: Ladegeschwindigkeit wird abhängig vom Ladezustand des Akkus geregelt – zu Beginn schnell, bei hohem Ladezustand langsamer und schonender.

3.3 Interaktion zwischen Systemkomponenten

Das folgende Sequenzdiagramm stellt den allgemeinsten Ablauf eines Ladevorgangs aus Sicht der beteiligten Systemkomponenten dar. Die Interaktion beginnt mit dem Anschließen eines Akkus durch den Endnutzer. Über das Benutzerinterface wird die Steuerungseinheit aktiviert, welche die Sensorik abfragt und auf Basis der erhaltenen Messwerte den Ladevorgang initialisiert.

Während der Ladephase erfolgt die kontinuierliche Überwachung durch die Sensorik. Nach erfolgreichem Abschluss gibt die Steuerung eine Fertigmeldung an das Interface weiter, woraufhin der Endnutzer den Akku wieder entfernen kann.

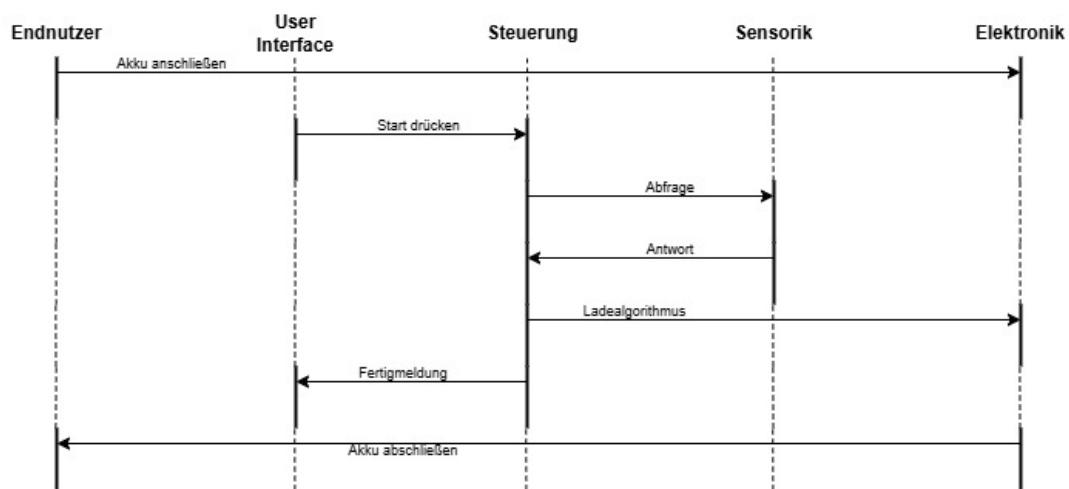


Abbildung 7: Sequenzdiagramm

3.4 Überblick Ladealgorithmus

Der Ladealgorithmus ist verantwortlich für eine sichere, effiziente und akkuspezifische Durchführung des Ladevorgangs. Nach der Initialisierung prüft die Steuerung kontinuierlich die Systemwerte, um den Ladevorgang an den Zustand des Akkus anzupassen.[10] [2]

Der algorithmische Ablauf für eine Re-EMF-Ladestation soll in folgendem Programmblaufdiagramm veranschaulicht werden:

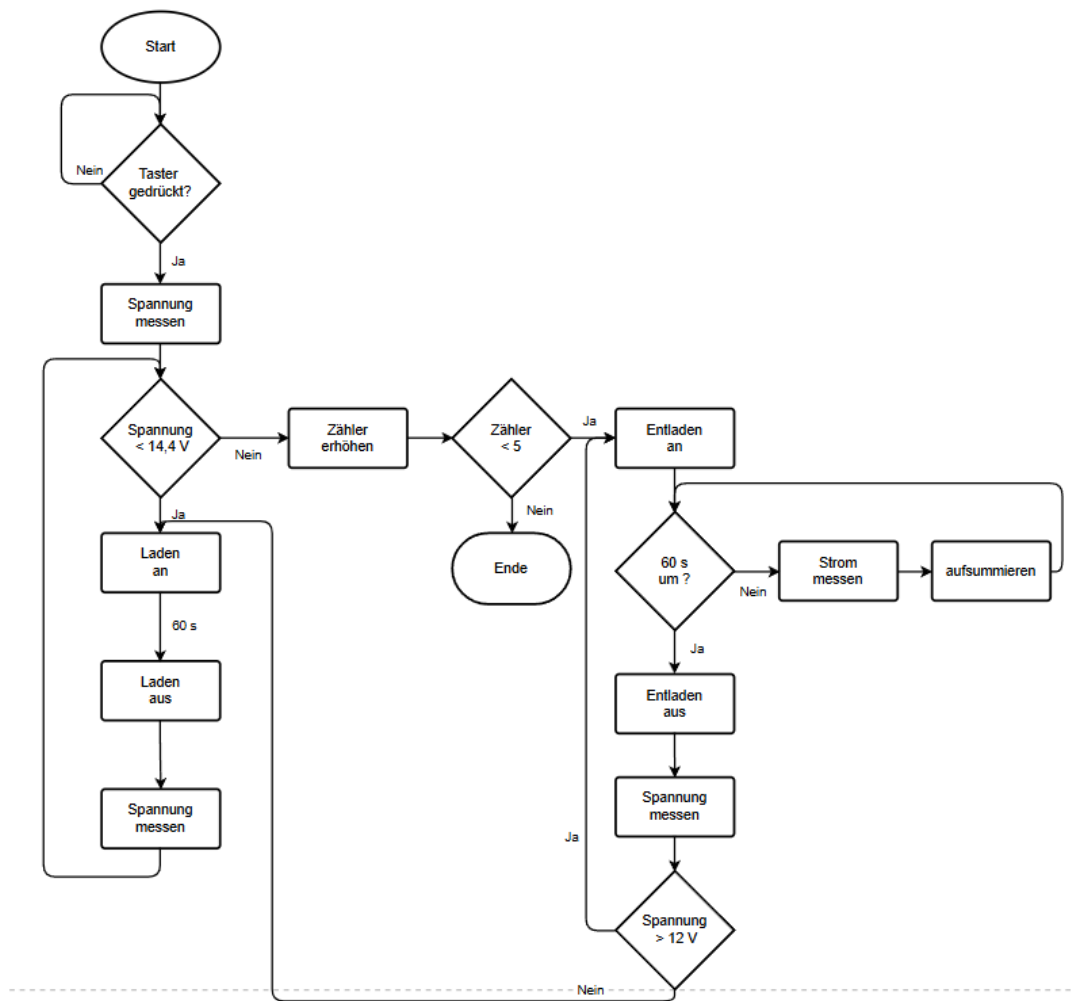


Abbildung 8: Programmablaufdiagramm

3.5 Technologieauswahl

Zur Realisierung eines intelligenten und sicheren Ladesystems für Akkus und Batterien ist es notwendig, eine geeignete Kombination aus Hard- und Softwaretechnologien zusammenzustellen. Die Auswahl der eingesetzten Komponenten und Verfahren orientiert sich an den zuvor identifizierten Anforderungen und Funktionen des Systems.

3.5.1 Zentrale Steuerungseinheit

Im Zentrum des Systems steht das STM32MP135-Board, das mit zwei Ethernet-Schnittstellen eine zuverlässige kabelgebundene Kommunikation ermöglicht. Es übernimmt folgende Aufgaben:

- Steuerung des gesamten Ladeprozesses mittels Linux-basierter Softwarelogik,
- Verarbeitung sensorischer Eingaben in Echtzeit zur dynamischen Anpassung der Ladeparameter,
- Verwaltung von Kommunikationsprotokollen und Datenübertragung über Ethernet.

3.5.2 Ladeelektronik

Die Ladeeinheit wird so ausgelegt, dass sie den Anforderungen an gepulste Hochstromladung und Wärmevermeidung gerecht wird. Dabei werden folgende Prinzipien berücksichtigt:

- Einsatz effizienter DC/DC-Wandler mit PWM-Steuerung,
- thermische Entkopplung der Leistungsmodule durch gezielte Anordnung (Prinzip: Trennung im Raum),
- Verwendung temperaturstabiler und modularer Leistungsbauteile.[5][7][1][8]

3.5.3 Sensorik

Zur Sicherstellung eines schonenden Ladeprozesses und zum frühzeitigen Erkennen von Abweichungen werden verschiedene Sensoren integriert:

- Temperaturfühler zur Überwachung des Batteriegehäuses und der Ladeelektronik,
- Spannungssensoren zur präzisen Ermittlung des Ladezustands,
- Stromsensoren zur Erfassung des Ladeflusses in Echtzeit.[4]

3.5.4 Kommunikation und Steuerlogik

Das STM32MP135 ermöglicht durch sein Linux-Betriebssystem den Einsatz flexibler Steueralgorithmen und Netzwerkprotokolle:[6]

- Kommunikation mit einem zentralen Server über Ethernet für Überwachung und Logging,
- Echtzeitsteuerung durch Multi-Threading und deterministische Prozessführung,
- adaptive Regelstrategien zur Verlängerung der Batterielebensdauer.

3.5.5 Mechanik und Kühlung

Das Gehäusekonzept unterstützt die Langlebigkeit und Funktionssicherheit der elektronischen Komponenten:

- gerichteter Luftstrom durch aktive Lüfter oder passive Aluminiumkühlkörper,
- robuste Bauweise zur Umgebungstauglichkeit im Außeneinsatz,
- mechanisch entkoppelte Halterung sensibler Messsysteme.

3.5.6 Energieversorgung

Für stationäre oder autarke Anwendungen ist die Energieversorgung des Systems flexibel gestaltbar:

- Einspeisung über Netzteil oder Solarmodul mit Laderegler,
- Pufferung durch eigene Akkuzelle zur Überbrückung instabiler Spannungsquellen,
- hocheffiziente Stromversorgungsmodule mit Energiesparfunktionen.

3.6 Ausgeschlossene Technologien

Im Verlauf der Systemanalyse und Widerspruchsauflösung wurden verschiedene Technologien bewusst ausgeschlossen, da sie entweder bestehende Widersprüche nicht hinreichend auflösen konnten oder neue Nachteile mit sich gebracht hätten.

So wurde auf den Einsatz eines Mikrocontrollers mit integrierter WLAN-Schnittstelle (wie z. B. ESP32) verzichtet, da dieser zwar eine einfache drahtlose Kommunikation ermöglicht, diese jedoch bei gleichzeitiger Hochstromanwendungen häufig Instabilitäten zeigt. Dies steht im Widerspruch zur Anforderung einer stabilen und gekapselten Lade-technologie.

Ebenso wurde die Nutzung rein analoger Ladeschaltungen verworfen. Zwar bieten sie in einfachen Anwendungen hohe Robustheit, lassen sich jedoch kaum dynamisch regeln oder mit intelligenten Steuermechanismen kombinieren – ein klarer Nachteil im Hinblick auf die notwendige Flexibilität zur regenerativen Akkupflege (aufgelöster technischer Widerspruch: hohe Ladegeschwindigkeit vs. Akkuschonung).

Ursprünglich war außerdem im Entwurfsprozess vorgesehen, Optokoppler zur galvanischen Trennung und Signalübertragung einzusetzen. Sie bieten neben einem geringen Platzbedarf auch Vorteile hinsichtlich der Störfestigkeit und Sicherheit. Allerdings stellte sich heraus, dass die verfügbaren Optokoppler in der geplanten Schaltung den benötigten Strom nicht effizient bzw. kostengünstig schalten konnten. Aufgrund der damit verbundenen hohen Kosten wurde letztlich entschieden, auf den Einsatz von Optokopplern zu verzichten und alternative Schaltungskonzepte zu verfolgen.

4 Zusammenfassung und Fazit

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein innovatives Ladesystem zur energieeffizienten und akkuschonenden Aufladung von Batterien und Akkumulatoren konzipiert. Ziel war es, eine Lösung zu entwickeln, die sowohl leistungsfähig als auch nachhaltig und sicher ist. Dabei wurde ein systematischer Entwicklungsansatz verfolgt, der sich auf die strukturierte Analyse der Anforderungen, des Systemumfelds sowie auf die Auflösung technischer und physikalischer Widersprüche mittels der TRIZ-Methode stützte.

Auf Grundlage dieser Analyse wurde ein technologisches Gesamtkonzept erarbeitet, das auf dem STM32MP135 Mikrocontroller mit dualer Ethernet-Kommunikation basiert. Dieses System erlaubt die präzise Steuerung des Ladevorgangs, eine flexible Erweiterung durch Sensorik sowie die Integration moderner Regelalgorithmen zur Akkupflege. Weiterhin wurde eine geeignete Ladeelektronik entworfen, die sowohl hohe Ströme verarbeiten kann als auch eine thermisch entkoppelte Bauweise aufweist.

Besondere Aufmerksamkeit galt der Auswahl geeigneter Technologien: Während leistungsfähige Mikrocontroller und modulare Elektronik zum Einsatz kamen, wurden andere Technologien wie WLAN-basierte Systeme, rein analoge Laderegler oder drahtlose Energieübertragung aufgrund identifizierter Nachteile bewusst ausgeschlossen.

Die Anwendung der TRIZ-Methode erwies sich dabei als wertvolles Werkzeug zur strukturierten Lösung komplexer Entwicklungsprobleme. Sie ermöglichte es, scheinbare Zielkonflikte – etwa zwischen hoher Ladeleistung und thermischer Stabilität – zu überwinden und so ein ausgereiftes Systemdesign zu formulieren.

Abschließend lässt sich festhalten, dass das entwickelte Ladesystem nicht nur die funktionalen Anforderungen erfüllt, sondern auch zukunftsfähig und anpassbar gestaltet ist. Es bietet die Grundlage für eine breite Palette an Anwendungen, insbesondere in energieautarken Umgebungen oder für die Revitalisierung gebrauchter Akkus. Zukünftige Weiterentwicklungen könnten die Einbindung intelligenter Analysefunktionen oder die Optimierung der Energieversorgung weiter vorantreiben.

5 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erklären wir, dass wir die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst haben, dass wir sie zuvor an keiner anderen Hochschule und in keinem anderen Studiengang als Prüfungsleistung eingereicht haben und dass wir keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt haben. Alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen oder aus anderweitigen fremden Äußerungen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift

Unterschrift

Abbildungsverzeichnis

1	Use-Case-Diagramm	4
2	Systemumfeld des Ladesystems	5
3	Block-Definition-Diagramm	7
4	Requirements-Diagramm des Ladesystems	10
5	Technische Widersprüche	11
6	Physikalische Widersprüche	13
7	Sequenzdiagramm	16
8	Programmablaufdiagramm	17

Literatur

- [1] Caddock Electronics. *MP900 and MP9000 Series Kool-Pak® Power Film Resistors*. Accessed on 2025-06-04. 2015. URL: https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/B300/MP900-SERIES_ENG_TDS.pdf.
- [2] Die echte Wiki. *RE-EMF-Lader*. Zugegriffen am: 3. Juni 2025. n.d. URL: <https://dieechtewiki.de/index.php/RE-EMF-Lader>.
- [3] Sven Häwel. *Akkus richtig laden – Langlebigkeit*. Zugegriffen am: 3. Juni 2025. März 2025. URL: <https://www.homeandsmart.de/akkus-richtig-laden-langlebigkeit>.
- [4] iDuino. *ME066 Stromsensor – Bedienungs- und Sicherheitshinweise*. Accessed on 2025-06-04. 2020. URL: <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001616235ML01/bedienungs-und-sicherheitshinweise-1616235-iduino-me066-stromsensor-1-st.pdf>.
- [5] Infineon Technologies. *IRLZ44NPbF – HEXFET Power MOSFET*. Datasheet accessed on 2025-06-04. 2020. URL: <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/000162877DS01/datenblatt-162877-infineon-technologies-irlz44npbf-mosfet-1-hexfet-110-w-to-220.pdf>.
- [6] STMicroelectronics. *STM32MP135F-DK Discovery Kit for STM32MP135 Line*. Accessed on 2025-06-04. 2024. URL: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/stm32mp135f-dk.html>.
- [7] TDK Electronics. *B82721K2202N001 – SMD Ring Core Choke*. Datasheet accessed on 2025-06-04. 2020. URL: <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001719073DS01/datenblatt-1719073-tdk-b82721k2202n001-b82721k2202n001-drossel-ringkern-smd-b82721-1-mh-80-m-2-a-1-st.pdf>.
- [8] Tianbo Electronics. *HJR1-2C-L-24VDC Printrelais – Technisches Datenblatt*. Zugriff am 2025-06-04. 2020. URL: <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/de/000629501DS01/datenblatt-629501-tianbo-electronics-hjr1-2c-l-24vdc-printrelais-24-vdc-2-a-2-wechsler-1-st.pdf>.
- [9] TRIZ40.com. *Die 40 Innovationsprinzipien der TRIZ-Methode*. Zugriff am 2025-06-04. 2025. URL: https://www.triz40.com/aff_Prinzipien_TRIZ.php.
- [10] Wohnen und Heimwerken. *Re-EMF Charger Ladegerät selber bauen – Akkus laden und regenerieren*. Zugegriffen am: 3. Juni 2025. n.d. URL: <https://wohnen-heimwerken.de/re-emf-charger-ladegeraet-selber-bauen-akkus-laden-und-regenerieren.html>.