

Systemanalyse: Ladeinfrastruktur E-Mobilität

Gruppe: Max, Musterman, Kollegen

Datum: 05.02.2026 **Präsentation:** 19.02.2026

Inhaltsverzeichnis

Systemanalyse: Ladeinfrastruktur E-Mobilität	1
Gruppe: Max, Musterman, Kollegen	1
1. Systemauswahl und fachliche Begründung	2
1.1 Gewähltes System	2
1.2 Eignung für die Systemanalyse nach Bader/Pahl	2
1.3 Begründung der Unterrichtsrelevanz anhand des Rahmenlehrplans	3
1.4 Didaktische Begründung	4
2. Systemanalyse nach Bader/Pahl	5
2.1 Ermittlung des Systemzwecks	5
2.2 Festlegung der Systemgrenzen	6
2.3 Ermittlung der Eingangs-, Ausgangs- und Zustandsgrößen	7
2.4 Beschreibung der Systemfunktionen	8
2.5 Konkretisierung der Systembestandteile (Subsysteme)	9
2.6 Analyse der Systemstruktur (Anordnungs- und Beziehungsgefüge)	12
2.7 Analyseergebnisse reflektieren	16
3. Arbeitsplan	18
Präsentationsgliederung (max. 45 Minuten)	19
4. Quellen	19

1. Systemauswahl und fachliche Begründung

1.1 Gewähltes System

Wallbox-Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge im privaten und halböffentlichen Bereich, bestehend aus AC-Wallbox (11/22 kW), Zuleitung mit Schutzkonzept, Lastmanagement, Abrechnungssystem (RFID/App) und Integration in das Gebäudeenergiemanagement.

Die Ladeinfrastruktur wurde gewählt, weil sie als System an der Schnittstelle zwischen Energieverteilung und Kommunikationstechnik liegt. Anders als rein energietechnische Systeme erfordert eine Wallbox zwingend eine Kommunikationsschicht zwischen Ladestation und Fahrzeug (Signalisierung über CP/PP nach IEC 61851), um den Ladevorgang sicher zu steuern. Diese enge Verzahnung von Energiefluss und Informationsfluss macht die Ladeinfrastruktur zu einem besonders reichhaltigen Gegenstand für die Systemanalyse, da die drei Kategorien nach Bader – Stoff, Energie und Information – in ihrer Wechselwirkung sichtbar werden (vgl. Bader, 1991, S. 445f.).

1.2 Eignung für die Systemanalyse nach Bader/Pahl

Die Ladeinfrastruktur erfüllt die methodischen Voraussetzungen, die Bader und Pahl an ein analysierbares technisches System stellen:

Kriterium nach Bader/Pahl	Ausprägung an der Ladeinfrastruktur
Abgrenzung von der Umwelt	Die Systemgrenze lässt sich klar definieren: Das Elektrofahrzeug und das vorgelagerte Gebäudenetz gehören zur Systemumwelt. Das System beginnt am Abzweig in der Unterverteilung und endet an der Ladekupplung (Typ 2). Die Fahrzeugbatterie selbst liegt außerhalb der Systemgrenze.
Ein- und Ausgangsgrößen in den Kategorien Stoff, Energie, Information	Energie: Wechselstrom (230V/400V) als Eingang, kontrollierte Ladeleistung als Ausgang. Information: CP-Signal ($\pm 12V/\pm 9V/\pm 6V$ nach IEC 61851) als Kommunikation mit dem Fahrzeug, RFID-Daten zur Authentifizierung, OCPP-Nachrichten zum Backend. Stoff: keine relevanten Stoffströme – das System ist ein reines Energie-Informationssystem.
Rekursive Zerlegung in Subsysteme	Bader beschreibt die Systemzerlegung als rekursiven Prozess beliebiger Tiefe: Hauptfunktion → Teilfunktionen → Grundfunktionen → Funktionselemente, wobei „praktisch beliebig viele hierarchische Untergliederungen“ möglich sind (Bader, 1991, S. 455). Die Ladeinfrastruktur lässt sich entsprechend mehrstufig zerlegen: Gesamtsystem → Funktionseinheiten (Energieverteilung, Ladesteuerung, Kommunikation, Schutz-einrichtungen) → Teilfunktionen (z. B. innerhalb der Ladesteuerung: CP-Signalerzeugung, Zustandserkennung, Leistungsfreigabe) → Funktionselemente (z. B. Schütz, RCD Typ B/A-EV, Steuerplatine, RFID-Leser). Bei Bedarf ist eine weitere Zerlegung möglich – etwa die Steuerplatine in Mikrocontroller, Signalaufbereitung und Leistungstreiber. Für die vorliegende Analyse wird die Zerlegungstiefe so begrenzt, dass sie die für den Elektroniker typischen Aufgaben (Installation, Konfiguration, Fehlerdiagnose) abdeckt, ohne in die Firmware-Entwicklung oder Leiterplattenkonstruktion einzusteigen. Diese Entscheidung folgt Pahls Empfehlung, die Analysentiefe an den „adressierten Arbeitstätigkeiten“ und den „Lern- und Leistungsvoraussetzungen der Lernenden“ auszurichten (Pahl, 2016a, S. 37).
Bestimmbare Hauptfunktion mit Teilfunktionen	Hauptfunktion (Energieumsatz): Kontrollierte Übertragung elektrischer Energie an das Fahrzeug. Teilfunktionen: Au-

Kriterium nach Bader/Pahl	Ausprägung an der Ladeinfrastruktur
Zugänglichkeit für Lernende	Identifizierung, Kommunikation mit Fahrzeug (CP-Signal), Leistungsfreigabe, Schutzüberwachung, Verbrauchserfassung. Hohe Anschaulichkeit: Das CP-Signal kann mit einem Oszilloskop visualisiert werden, Ladeleistung und -strom sind direkt messbar, die Zustandsübergänge (A→B→C nach IEC 61851) sind logisch nachvollziehbar.

1.3 Begründung der Unterrichtsrelevanz anhand des Rahmenlehrplans

Die Ladeinfrastruktur weist Bezüge zu mehreren Lernfeldern des Rahmenlehrplans für Elektroniker/in FR Energie- und Gebäudetechnik auf. Im Folgenden werden die zentralen Anknüpfungspunkte anhand der ISB-Lernfeldmatrizen (ISB, 2022) konkretisiert.

Der stärkste curriculare Bezug besteht zu **Lernfeld 5 – Elektroenergieversorgung und Sicherheit von Anlagen und Geräten konzipieren** (84 Std., davon 24 Std. fachpraktisch). Die Installation einer Wallbox ist ein paradigmatischer Anwendungsfall für die Planung einer Energieverteilung: LF 5-1 nennt als Sachwissen Verteilernetz, Leitungsdimensionierung und Schalt- und Verteilungsanlagen – die Wallbox-Zuleitung muss als dedizierter Stromkreis dimensioniert werden (typisch 5×2,5 mm² bei 11 kW oder 5×6 mm² bei 22 kW). LF 5-2 fordert die Dimensionierung unter Berücksichtigung von Netzsystemen und Schutzmaßnahmen (ISB, 2022, S. 44–45); die Wallbox erfordert hier besondere Aufmerksamkeit, da neben dem Standard-RCD Typ A eine DC-Fehlerstromerkennung (Typ B oder integriertes DC-Schutzmodul) vorgeschrieben ist. LF 5-3 adressiert Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag einschließlich Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen und Überspannungsschutz – beides zentrale Aspekte des Wallbox-Schutzkonzepts.

Einen zweiten zentralen Bezug bietet **Lernfeld 9 – Kommunikation von Systemen in Wohn- und Zweckbauten planen und realisieren** (98 Std., davon 28 Std. fachpraktisch). Die Wallbox ist ein vernetztes Gerät: Sie kommuniziert mit dem Fahrzeug (CP/PP-Signal nach IEC 61851), mit einem Backend-System (OCPP über WLAN/LAN/Mobilfunk) und ggf. mit einem Energiemanagementsystem (Modbus, EEBUS). Die Lernfeldmatrix LF 9-1 listet als Sachwissen Kommunikationssysteme und Gebäudesystemtechnik einschließlich Bussysteme (ISB, 2022, S. 62). Als Reflexionswissen wird explizit die „Effizienzsteigerung durch Smart-Metering und Smart-Grid“ genannt – ein Aspekt, den die Wallbox durch PV-geführtes Laden direkt adressiert. LF 9-2 thematisiert Datenschutz- und Datensicherungskonzepte, die bei Abrechnungssystemen im halböffentlichen Bereich zwingend erforderlich sind.

Lernfeld 2 – Elektrische Systeme planen und installieren (84 Std.) ist für die physische Installation relevant. LF 2-4 nennt als Sachwissen Installationstechnik, Richtlinien für elektrische Anlagen in Wohngebäuden (RAL-RG 678) und die Technikzentrale (ISB, 2022, S. 28). LF 2-5 konkretisiert die Leitungsdimensionierung und die Auswahl von Überstrom- und Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit dem Reflexionswissen „Installationskonzept mit RCD- und LS-Schaltern“ – exakt die Kernaufgabe bei der Wallbox-Installation. LF 2-9 fordert die Prüfung nach DIN-VDE und die Erstellung eines Prüfberichts – bei einer Wallbox-Installation obligatorisch vor der Inbetriebnahme.

Lernfeld 6 – Elektrotechnische Systeme analysieren und prüfen (60 Std.) ergänzt den Prüfaspekt: LF 6-3 nennt Fehlersuchstrategien und die Analyse von Fehlerursachen in Energie- und Informationsflüssen (ISB, 2022, S. 50). Bei der Ladeinfrastruktur können Fehler sowohl im Energiepfad (Schützfehler, Isolationsfehler) als auch im Informationspfad (CP-Signal gestört, Backend nicht erreichbar) auftreten – die systematische Unterscheidung dieser Fehlerdomänen ist eine anspruchsvolle diagnostische Kompetenz.

1.4 Didaktische Begründung

Aktualität und berufliche Relevanz

Die Verkehrswende und das Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz (GEIG) schaffen eine gesetzliche Pflicht zur Ladeinfrastruktur bei Neubauten und größeren Renovierungen. Die Installation von Wallboxen gehört zunehmend zum Tagesgeschäft von Elektroniker/innen der Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik. Der prognostizierte Bedarf von mehreren Millionen privaten und halböffentlichen Ladepunkten bis 2030 macht diese Kompetenz zu einer Kernqualifikation des Berufsbildes.

Exemplarität nach Bader

Bader fordert, dass technische Systeme im Unterricht „die Grundstrukturen des jeweiligen Fachgebiets“ repräsentieren und „exemplarisch für eine Klasse von Systemen“ stehen (Bader, 1991, S. 452). Die Wallbox-Ladeinfrastruktur steht exemplarisch für die wachsende Klasse vernetzter Energiesysteme, bei denen Energieverteilung und Kommunikation untrennbar verbunden sind. Die am AC-Ladesystem erworbenen Analyse-Kompetenzen sind auf DC-Schnelllader, bidirektionales Laden (V2G/V2H) und allgemein auf vernetzte Gebäudeenergiesysteme übertragbar. Zudem repräsentiert das System die Sektorenkopplung (Verkehr–Gebäude–Energie), die das Berufsbild zunehmend prägt.

Handlungsorientierung

Die Ladeinfrastruktur ermöglicht eine vollständige berufliche Handlung im Sinne der KMK-Handreichung: Von der Kundenberatung (Standortwahl, Leistungsstufe, Abrechnungsmodell) über die Planung (Leitungsdimensionierung, Schutzkonzept, Anmeldung beim Netzbetreiber), Installation, Konfiguration (WLAN, App, Lastmanagement) bis zur Inbetriebnahme mit Prüfung nach DIN-VDE 0100-600 und Kundeneinweisung. Die ISB-Umsetzungshilfe betont, dass berufliche Handlungskompetenz als „Aggregat aus einer beruflichen Handlung und dem damit korrespondierenden Wissen“ zu verstehen ist (ISB, 2022, S. 13). An der Wallbox wird diese Verbindung besonders deutlich: Das Prüfen des CP-Signals mit dem Oszilloskop (Prozesswissen) setzt das Verständnis der IEC-61851-Zustandsmaschine (Sachwissen) voraus und erfordert die Einordnung in Sicherheitsnormen (Reflexionswissen).

Gesellschaftliche Relevanz

Die Elektromobilität ist ein zentraler Baustein der Klimaschutzpolitik (EU-Verbrenner-Aus ab 2035). Intelligentes Laden (PV-Überschussladen, dynamische Tarife, netzdienliches Laden) trägt zur Netzstabilität bei und verbindet die Verkehrswende mit der Energiewende. Lernende werden durch die Systemanalyse befähigt, diese Zusammenhänge technisch fundiert zu reflektieren – ein Aspekt, den Bader als wesentlich für die Entwicklung beruflicher Handlungskompetenz ansieht (vgl. ISB, 2022, S. 13).

Die folgende Systemanalyse orientiert sich am *Analyseschema für technische Systeme* nach Bader (1991, S. 452), das die Schritte Systemgrenze festlegen, Zweck beschreiben, Ein-/Ausgangsgrößen ermitteln, Funktionen identifizieren, Subsysteme konkretisieren und Systemstruktur analysieren als methodische Leitlinie vorgibt. Jenewein und Pahl (2016b, S. 140f.) konkretisieren dieses Schema durch Verlaufsphasen, die den Analyseprozess von der Systemidentifikation über die Funktionsanalyse bis zur Reflexion der Ergebnisse strukturieren. Die Zerlegungstiefe wird dabei – wie in Abschnitt 1.2 begründet – an den beruflichen Handlungsanforderungen und den Lernvoraussetzungen der Zielgruppe ausgerichtet (vgl. Pahl, 2016a, S. 37).

2. Systemanalyse nach Bader/Pahl

2.1 Ermittlung des Systemzwecks

Der erste Schritt der Systemanalyse nach Bader (1991, S. 452) ist die Bestimmung des Systemzwecks. Der Zweck beschreibt, welche Leistung das System für seinen Nutzer oder Betreiber erbringt.

Die Ladeinfrastruktur hat den Zweck, elektrische Energie aus dem Gebäudenetz sicher, kontrolliert und normgerecht an ein Elektrofahrzeug zu übertragen. Dabei muss das System drei Anforderungen gleichzeitig erfüllen: Es muss den Ladevorgang **sicher** gestalten (Fehlerstromschutz, Überlastschutz, Temperaturüberwachung), es muss mit dem Fahrzeug **kommunizieren** (CP/PP-Signal nach IEC 61851 zur Ladestromvorgabe und Zustandserkennung), und es muss den Energiefluss **intelligent steuern** (Lastmanagement, PV-Überschussladen, Tarifoptimierung).

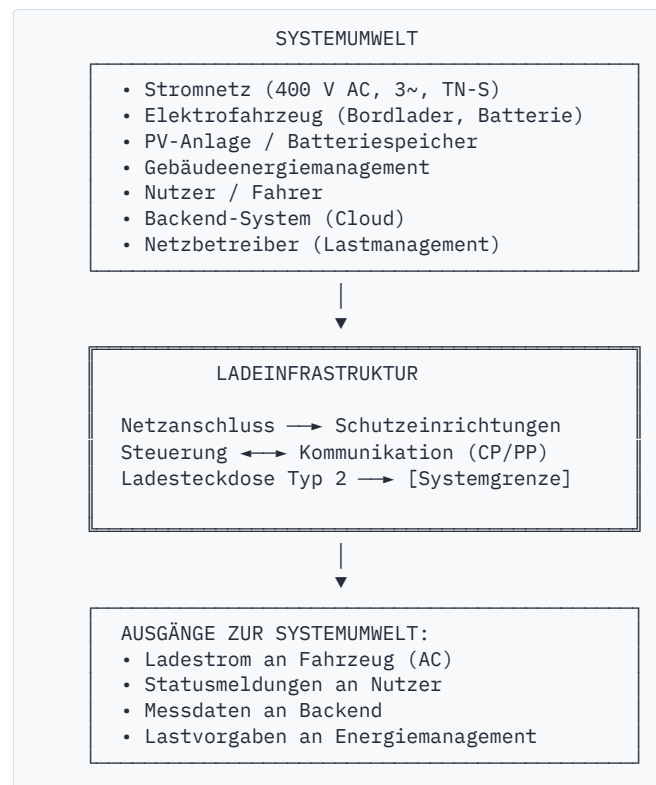
Aus diesem Zweck leitet sich die **Hauptfunktion** des Systems ab: Die kontrollierte Bereitstellung von Wechselstrom für den Bordlader des Elektrofahrzeugs mit bidirektionaler Kommunikation zur Steuerung des Ladevorgangs. Das System ist ein **Energie-Informationen-System** — es überträgt Energie und steuert diese Übertragung durch Informationsaustausch. Stoffströme spielen keine Rolle.

Die konkreten Zielstellungen, die der Systemzweck im Betrieb adressiert:

Zielstellung	Umsetzung durch das System
Sicherheit	Mehrstufiges Schutzkonzept (RCD Typ A + DC 6 mA, LS, Überspannungsschutz, Temperaturüberwachung); Ladestromfreigabe nur bei korrektem CP-Zustand
Netzintegration	Dynamisches Lastmanagement begrenzt Ladeleistung auf verfügbare Kapazität; PV-Überschussladen priorisiert Eigenenerzeugung
Komfort	Authentifizierung per RFID/App, Fernsteuerung, Ladezeitplanung, Energiekostenübersicht

2.2 Festlegung der Systemgrenzen

Systemgrenzen der Ladeinfrastruktur



Begründete Grenzenscheidungen

Jede Systemgrenze muss nach Bader (1991, S. 445f.) begründet werden — das Kriterium ist die **funktionale Zugehörigkeit**: Gehört ein Element zur Hauptfunktion des Systems, oder ist es eine externe Größe, mit der das System interagiert?

Element	Entscheidung	Begründung
Stromnetz (400V AC)	Systemumwelt	Das Netz liefert Energie, gehört aber nicht zur Wallbox-Funktion. Die Systemgrenze liegt am Abzweig in der Unterverteilung.
Elektrofahrzeug (Bordlader, Batterie)	Systemumwelt	Der Bordlader wandelt AC→DC — diese Wandlung ist nicht Funktion der Ladeinfrastruktur. Die Systemgrenze liegt an der Ladekupplung (Typ 2). Das CP/PP-Signal überquert die Systemgrenze als Informationsaustausch.
PV-Anlage / Speicher	Systemumwelt	Liefert ggf. Überschussleistung, die das Lastmanagement als Eingangsinformation verarbeitet. Die PV-Anlage selbst ist kein Bestandteil der Ladeinfrastruktur.
Gebäude und Zuleitung	Systemumwelt	Die bauliche Infrastruktur (Kabelweg, Montageort) ist Randbedingung, nicht Systembestandteil. Die Zuleitung bis zum Wallbox-Anschluss gehört zur Gebäudeinstallation.
Backend-System (Cloud)	Systemumwelt	Stellt Abrechnungs- und Fernsteuerungsdienste bereit. Der OCPP-Client in der Wallbox gehört zum System, der Backend-Server nicht.
Nutzer / Fahrer	Systemumwelt	Gibt Steuerbefehle (RFID, App) und empfängt Statusrückmeldungen. Entscheidungen über Ladezeitpunkt und -leistung liegen beim Nutzer, nicht im System.

Element	Entscheidung	Begründung
Netzbetreiber	Systemumwelt	Gibt Lastbegrenzungssignale vor (§14a EnWG). Die Wallbox reagiert darauf, aber der Netzbetreiber kontrolliert nicht das System.

2.3 Ermittlung der Eingangs-, Ausgangs- und Zustandsgrößen

Bader (1991, S. 445f.) ordnet alle Größen, die die Systemgrenze überqueren, den drei Kategorien **Stoff**, **Energie** und **Information** zu. Nicht jedes System weist alle drei Kategorien gleichermaßen auf – die Ladeinfrastruktur ist ein reines Energie-Informationssystem ohne relevante Stoffströme.

Eingangsgrößen

Kategorie	Eingangsgröße	Beschreibung
Stoff	—	Keine relevanten Stoffströme. Das System überträgt und steuert ausschließlich elektrische Energie und Informationen.
Energie	Netzspannung (230V/400V AC)	Wechselstrom aus dem Gebäudenetz als Energiequelle für den Ladevorgang
Energie	Netzstrom (max. 16A/32A)	Verfügbare Stromtragfähigkeit der Zuleitung
Information	Control Pilot (CP) — Fahrzeugrückmeldung	Fahrzeug signalisiert Zustand durch Widerstandsänderung am CP-Pin (Status A–F nach IEC 61851)
Information	Proximity Pilot (PP)	Widerstandswert codiert die maximale Strombelastbarkeit des Kabels (13/20/32/63 A)
Information	Nutzereingabe (RFID/ App)	Authentifizierung, Start/Stop, Ladezeitplanung
Information	PV-Überschuss / Lastmanagement-Signal	Steuervorgabe des Energiemanagements für die verfügbare Ladeleistung

Ausgangsgrößen

Kategorie	Ausgangsgröße	Beschreibung
Stoff	—	Keine Stoffausgänge
Energie	Ladestrom (0–32 A AC)	Kontrollierter Wechselstrom an der Ladekupplung für den Bordlader des Fahrzeugs
Information	Control Pilot (CP) — PWM-Signal	Wallbox gibt maximalen Ladestrom über Tastverhältnis vor (1 kHz PWM)
Information	Statusmeldung (Display/ LED/App)	Betriebszustand: Bereit, Lädt, Fehler, Wartet
Information	Messdaten (OCPP an Backend)	Spannung, Strom, Leistung, Energiemenge, Ladehistorie

Zustandsgrößen

Die Zustandsgrößen beschreiben den internen Betriebszustand des Systems. Die Ladeinfrastruktur arbeitet als Zustandsautomat nach IEC 61851-1:

Zustand	Beschreibung	CP-Spannung
Status A	Fahrzeug nicht angeschlossen	+12V DC
Status B	Fahrzeug angeschlossen, nicht ladebereit	+9V / -12V PWM
Status C	Fahrzeug lädt (ohne Belüftung)	+6V / -12V PWM
Status D	Fahrzeug lädt (mit Belüftung)	+3V / -12V PWM
Status E	Kurzschluss (Fehler)	0V
Status F	Wallbox nicht verfügbar	-12V DC
Parametriertes Ausfallverhalten	Verhalten bei Kommunikations- oder Backend-Ausfall, z. B. lokale Freigabe ohne Cloud, Fail-safe Abschaltung bei CP-Fehler, Ladeleistungs-Fallback bei Lastmanagement-Ausfall	—

2.4 Beschreibung der Systemfunktionen

Hauptfunktion

Kontrollierte Bereitstellung von Wechselstrom (AC) für den Bordlader des Elektrofahrzeugs mit bidirektionaler Kommunikation zur Steuerung des Ladevorgangs (Energieumsatz).

Teilfunktionen

Teilfunktion	Beschreibung	Kategorientransformation (nach Bader)
Verbinden	Steckverbindung herstellen, PP-Widerstand auswerten	Information → Information
Kommunizieren	CP-Signalaustausch Wallbox ↔ Fahrzeug (Zustandserkennung, Ladestromvorgabe)	Information → Information
Freigeben	Schütz schaltet Ladestrom bei korrektem CP-Zustand frei	Information → Energie
Begrenzen	PWM-Tastverhältnis codiert maximalen Ladestrom	Information → Information
Schützen	Fehlerstrom-, Überstrom-, Überspannungsschutz; Temperaturüberwachung	Energie → Information (Abschaltung)
Messen	Erfassung von Spannung, Strom, Leistung, Energiemenge	Energie → Information
Steuern	Lastmanagement (statisch/dynamisch), PV-Überschussladen, Tarifoptimierung	Information → Information
Abrechnen	Verbrauchserfassung (MID), Nutzerzuordnung (RFID), Datenweitergabe (OCPP)	Information → Information

Grundfunktionen nach Bader

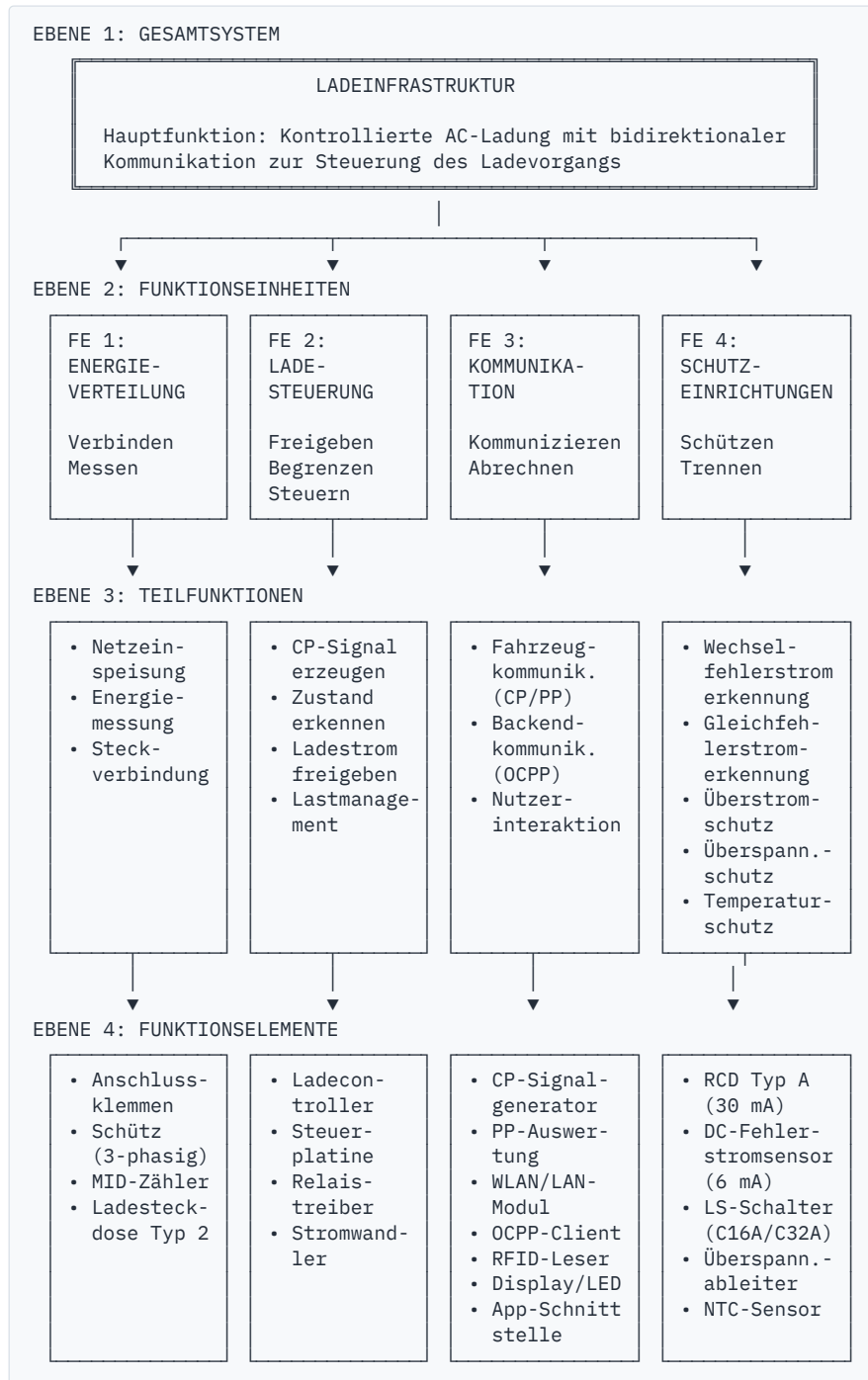
Bader (1991, S. 452) identifiziert universelle Grundfunktionen technischer Systeme: **Wandeln**, **Koppeln**, **Verknüpfen**, **Speichern** und **Trennen**. Diese treten in der Ladeinfrastruktur wie folgt auf:

Grundfunktion	Ausprägung in der Ladeinfrastruktur
Wandeln	Die Wallbox selbst wandelt keine Energieform — die AC/DC-Wandlung erfolgt im Bordlader (Systemumwelt). Innerhalb des Systems findet jedoch Informationswandlung statt: Der CP-Signalgenerator wandelt einen digitalen Sollwert (Ladestrom in A) in ein analoges PWM-Signal (1 kHz, Tastverhältnis proportional zum Strom). Der MID-Zähler wandelt physikalische Messgrößen (Strom, Spannung) in digitale Messwerte.
Koppeln	Zentrale Grundfunktion: Das Schütz koppelt den Energiepfad (Netz → Fahrzeug) an den Informationspfad (CP-Zustand → Freigabe). Ohne korrekten CP-Zustand C fließt kein Ladestrom — Energie und Information sind untrennbar gekoppelt.
Verknüpfen	Der Ladecontroller verknüpft mehrere Informationsquellen zu einer Entscheidung: CP-Zustand UND PP-Erkennung UND RFID-Authentifizierung UND Lastmanagement-Freigabe müssen alle erfüllt sein, bevor das Schütz schaltet. Dies ist eine logische UND-Verknüpfung mehrerer Informationsströme.
Speichern	Die Wallbox speichert Konfigurationsdaten (Ladestromgrenzen, WLAN-Einstellungen), Abrechnungsdaten (kWh pro Nutzer) und Fehlerprotokolle. Im Gegensatz zum Batteriespeicher wird hier Information gespeichert, nicht Energie.
Trennen	Die Schutzeinrichtungen trennen den Energiepfad bei Fehlerzuständen: RCD trennt bei Fehlerstrom >30 mA (AC) bzw. >6 mA (DC), LS trennt bei Überstrom. Die Zustandsmaschine trennt den Ladestrom bei Übergang von Status C → Status A/B/E/F.

2.5 Konkretisierung der Systembestandteile (Subsysteme)

Bader beschreibt die Systemzerlegung als rekursiven Prozess mit „praktisch beliebig vielen hierarchischen Untergliederungen“ (1991, S. 455). Die folgende Zerlegung verwendet vier Ebenen: Gesamtsystem → Funktionseinheiten → Teilfunktionen → Funktionselemente. Die Tiefe orientiert sich an den Handlungsanforderungen des Elektrikers (Installation, Konfiguration, Fehlerdiagnose).

Hierarchischer Aufbau (4 Ebenen)



Funktionseinheit 1: Energieverteilung

Die Energieverteilung bildet den Leistungspfad vom Netzanschluss bis zur Ladekupplung. Sie überträgt die elektrische Energie, ohne sie zu wandeln – die AC/DC-Wandlung erfolgt im Bordlader des Fahrzeugs (Systemumwelt).

Funktionselement	Teilfunktion	Eingang (Kategorie)	Ausgang (Kategorie)
Anschlussklemmen	Netzeinspeisung	400V 3~ AC (Energie)	Interne Verteilung (Energie)
Schütz (3-phasig)	Ladestromfreigabe	Steuersignal vom Controller (Information)	Ladestrom an Steckdose (Energie)
MID-Zähler	Energiemessung	Strom und Spannung (Energie)	kWh-Wert, Momentanleistung (Information)
Ladesteckdose Typ 2	Steckverbindung	Ladestrom + CP/PP (Energie + Information)	Ladekupplung zum Fahrzeug (Energie + Information)

Funktionseinheit 2: Ladesteuerung

Die Ladesteuerung ist das informationsverarbeitende Zentrum der Wallbox. Sie verknüpft alle Eingangsinformationen (CP-Zustand, PP-Erkennung, RFID, Lastmanagement) und steuert den Energiepfad über das Schütz.

Funktionselement	Teilfunktion	Eingang (Kategorie)	Ausgang (Kategorie)
Ladecontroller (µC)	Gesamtsteuerung, Zustandsautomat	CP-Zustand, PP, RFID, Sensoren (Information)	Schütz-Steuerung, PWM, Statusausgabe (Information)
Steuerplatine	Signalaufbereitung, Pegelwandlung	Analogsignale (Information)	Digitalsignale für µC (Information)
Relaistreiber	Leistungsverstärkung für Schütz	Steuersignal 3,3V (Information)	Spulenansteuerung 24V (Energie)
Stromwandler	Strommessung für Lastmanagement	Phasenstrom (Energie)	Messwert für Controller (Information)

Funktionseinheit 3: Kommunikation

Die Kommunikation umfasst alle Schnittstellen der Wallbox nach außen: zum Fahrzeug (CP/PP), zum Backend (OCPP), zum Nutzer (App/Display). Sie überquert die Systemgrenze in beiden Richtungen.

Funktionselement	Teilfunktion	Eingang (Kategorie)	Ausgang (Kategorie)
CP-Signalgenerator	PWM-Erzeugung (1 kHz)	Sollstrom vom Controller (Information)	PWM-Signal an Fahrzeug (Information)
PP-Auswertung	Kabelerkennung	PP-Widerstand (Information)	Max. Kabelstrom an Controller (Information)
WLAN/LAN-Modul	Netzwerkanbindung	IP-Pakete (Information)	IP-Pakete (Information)
OCPP-Client	Backend-Kommunikation	OCPP-Befehle (Information)	Status, Messdaten (Information)
RFID-Leser	Nutzeridentifikation	RFID-Tag (Information)	User-ID an Controller (Information)
Display/LED	Statusanzeige	Systemstatus (Information)	Optische Anzeige an Nutzer (Information)

Funktionseinheit 4: Schutzeinrichtungen

Die Schutzeinrichtungen überwachen den Energiepfad und trennen ihn bei Fehlerzuständen. Sie sind die physische Realisierung der Grundfunktion „Trennen“ und arbeiten unabhängig vom Ladecontroller – dies ist sicherheitstechnisch zwingend (Redundanzprinzip).

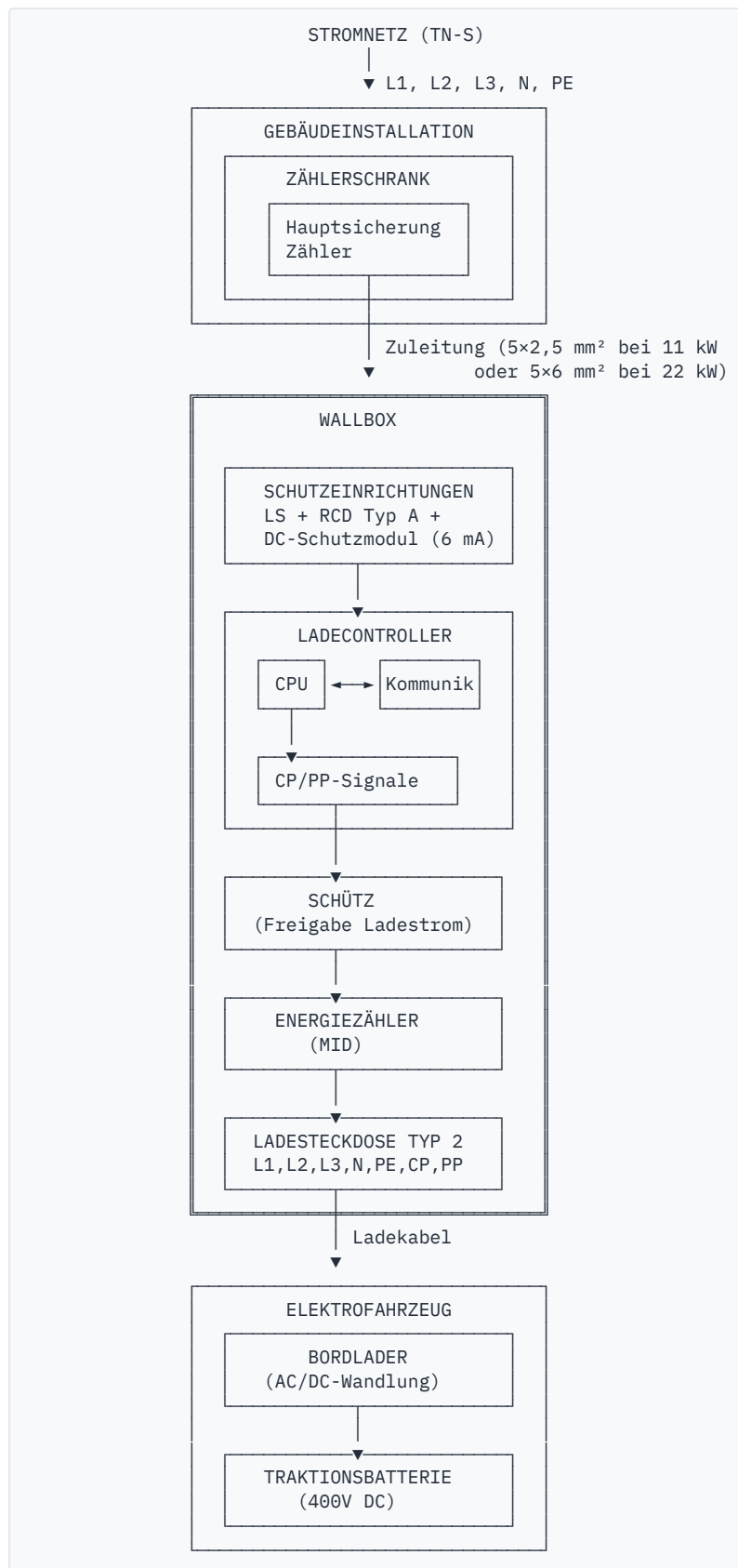
Funktionselement	Teilfunktion	Eingang (Kategorie)	Ausgang (Kategorie)
RCD Typ A (30 mA)	Wechselfehlerstromschutz	Differenzstrom (Energie)	Abschaltung (Information → Energie)
DC-Fehlerstromsensor (6 mA)	Gleichfehlerstromschutz	DC-Fehlerstrom (Energie)	Abschaltung (Information → Energie)
LS-Schalter (C16A/C32A)	Überstromschutz	Überstrom (Energie)	Abschaltung (Energie)
Überspannungsableiter	Transientenschutz	Überspannung (Energie)	Ableitung gegen PE (Energie)
NTC-Sensor	Temperaturüberwachung	Temperatur an Steckdose (Energie)	Messwert → Leistungsreduktion (Information)

2.6 Analyse der Systemstruktur (Anordnungs- und Beziehungsgefüge)

Die Systemstruktur beschreibt, wie die vier Funktionseinheiten räumlich angeordnet und funktional verbunden sind. Das Besondere an der Ladeinfrastruktur ist die **zentrale Stellung des Ladecontrollers**: Er verbindet den Energiepfad (Netz → Schütz → Steckdose) mit dem Informationspfad (CP/PP ↔ Fahrzeug, OCPP ↔ Backend, RFID/App ↔ Nutzer). Ohne den Controller kann kein Ladestrom fließen – die Kopplung von Energie und Information ist architektonisch zwingend. Die Schutzeinrichtungen hingegen arbeiten parallel und unabhängig vom Controller, um im Fehlerfall auch bei Controller-Ausfall abschalten zu können.

Als zentrale **Konfigurationsschnittstelle** dient die Inbetriebnahme- und Parametrierung über Hersteller-App/Webportal bzw. lokales Service-Interface der Wallbox. Hier werden u. a. maximaler Ladestrom, Lastmanagement-Modus, Backend-/OCPP-Verbindung, RFID-Rechte und Zeitprogramme eingestellt.

Systemarchitektur



Control Pilot (CP) Signaldiagramm

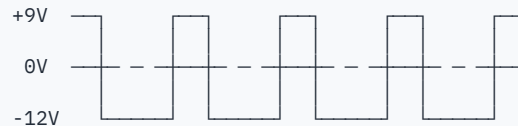
STATUS A: Fahrzeug nicht angeschlossen (DC-Pegel)



STATUS B: Angeschlossen, nicht ladebereit (PWM)

High-Pegel bei +9V, Low-Pegel bei -12V

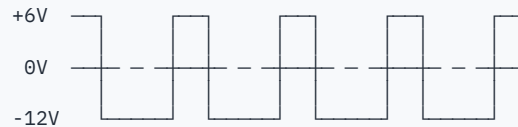
Fahrzeug zieht CP über Widerstand herunter



STATUS C: Lädt (PWM)

High-Pegel bei +6V, Low-Pegel bei -12V

Fahrzeug signalisiert Ladeanforderung



T = 1ms (1 kHz)

Tastverhältnis codiert maximalen Ladestrom:

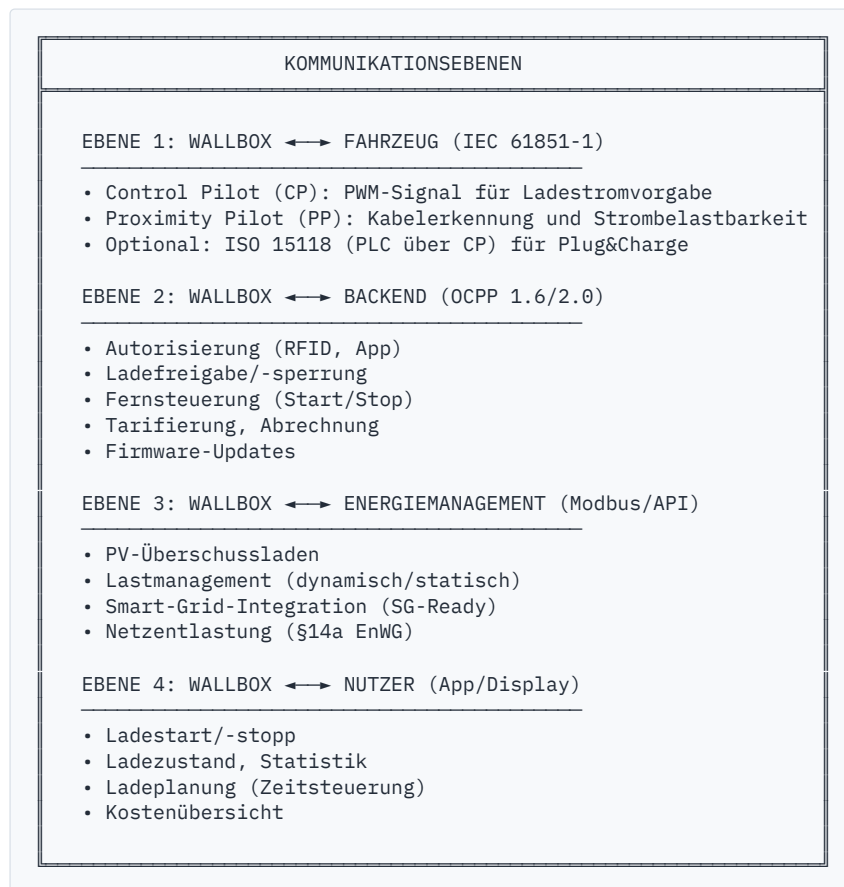
Ladestrom = (Duty-Cycle [%] - 10) × 0,6 A

Gültig für Duty 10-85%:

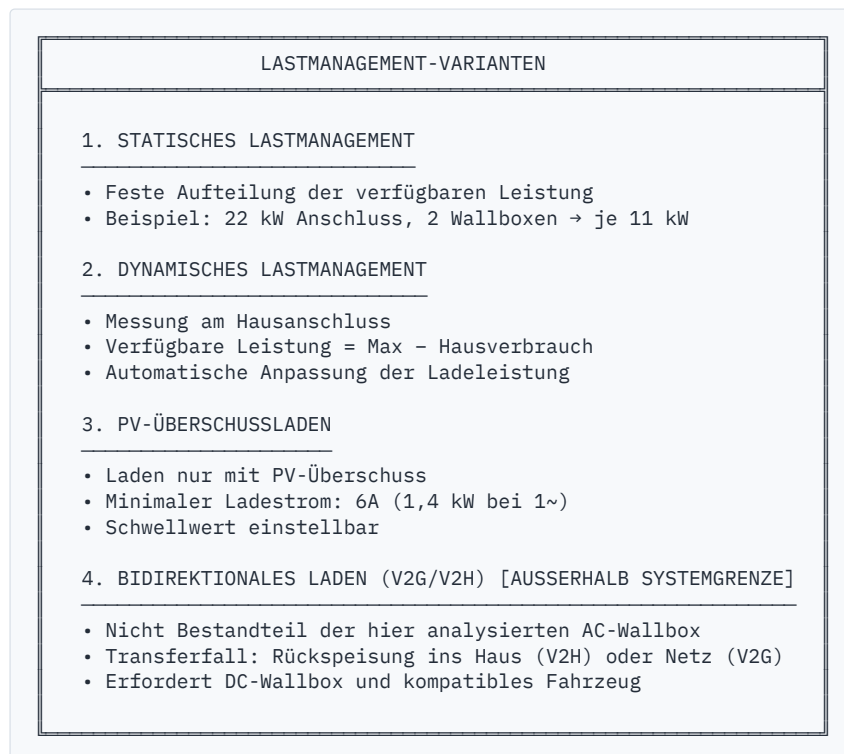
- 10% Duty = 6 A (Mindeststrom)
- 85% Duty = 51 A (Maximalstrom)

Beispiel: 50% Duty → (50 - 10) × 0,6 = 24 A

Kommunikationsarchitektur



Lastmanagement-Konzepte



2.7 Analyseergebnisse reflektieren

Pahl (2016a, S. 37) beschreibt die Reflexion als abschließende Phase der Systemanalyse, in der die Ergebnisse zusammengefasst, ihre Bedeutung für das berufliche Handeln bewertet und die Angemessenheit der gewählten Analysetiefe beurteilt werden.

Zusammenfassung der Analyseergebnisse

Die Systemanalyse hat die Ladeinfrastruktur als **Energie-Informationssystem** erschlossen, in dem der Energiefluss (Netz → Wallbox → Fahrzeug) untrennbar an den Informationsfluss (CP/PP-Signale, OCPP, Lastmanagement) gekoppelt ist. Die Zerlegung in vier Funktionseinheiten — Energieverteilung, Ladesteuerung, Kommunikation und Schutzeinrichtungen — zeigt, dass der Ladecontroller als zentrales Verknüpfungselement alle Informationsquellen zusammenführt und den Energiepfad steuert. Die Grundfunktionen nach Bader treten systemspezifisch auf: Koppeln (Energie ↔ Information über Schütz), Verknüpfen (logische UND-Bedingung für Ladefreigabe), Trennen (Schutzabschaltung) und Speichern (Konfigurations- und Abrechnungsdaten). Eine Energiewandlung findet innerhalb des Systems nicht statt — die AC/DC-Wandlung liegt im Bordlader und damit in der Systemumwelt.

Bedeutung für berufliches Handeln

Die Systemanalyse strukturiert zentrale Handlungsfelder des Elektronikers:

- **Fehlerdiagnose:** Die Unterscheidung von Energiepfad und Informationspfad ermöglicht eine systematische Fehlersuche. Lädt das Fahrzeug nicht, prüft der Facharbeiter zunächst den CP-Zustand mit dem Oszilloskop (Informationspfad). Ist dieser korrekt (Status C), liegt der Fehler im Energiepfad (Schütz, Sicherung, Zuleitung). Diese Vorgehensweise entspricht der Analyse von Fehlerursachen in Energie- und Informationsflüssen (LF 6-3, ISB, 2022, S. 50).
- **Planung und Installation:** Die Kenntnis der Funktionseinheiten strukturiert die Installationsplanung: Zuleitung dimensionieren (Energieverteilung), Schutzkonzept festlegen (FI Typ A + DC 6 mA, LS), Kommunikationsanbindung planen (WLAN/LAN, Backend-Konfiguration), Lastmanagement konfigurieren. Die Systemanalyse macht sichtbar, dass die Installation nicht nur „Kabel ziehen“ ist, sondern ein Zusammenspiel aus Energietechnik, Schutzkonzept und Kommunikation erfordert (LF 5, ISB, 2022, S. 44–45).
- **Inbetriebnahme und Prüfung:** Die Zustandsmaschine (Status A–F) gibt eine klare Prüfreihefolge vor: Stecker einstecken (A→B), Ladefreigabe beobachten (B→C), Ladestrom messen. Bei fehlerhaften Übergängen lokalisiert die Systemanalyse den betroffenen Subsystembereich. Die Prüfung nach DIN-VDE 0100-600 umfasst beide Pfade: Isolationswiderstand und Schleifenimpedanz (Energiepfad), CP-Signalpegel und Zustandsübergänge (Informationspfad).
- **Ausfallverhalten als Prüfaspekt:** Für das berufliche Handeln ist das parametrisierte Verhalten bei Kommunikations- und Backend-Ausfall zentral: lokale Notfallfreigabe, Ladeleistungs-Fallback oder sichere Abschaltung müssen bei Inbetriebnahme gezielt getestet und dokumentiert werden.
- **IT-Sicherheit als Betreiberpflicht:** Durch OCPP-, App- und RFID-Anbindung entstehen Angriffsflächen (unsichere Zugänge, offene Fernwartung, veraltete Firmware). Relevante Maßnahmen sind starke individuelle Zugangsdaten, rollenbasierte Rechte, abgesicherte Backend-Kommunikation (TLS), regelmäßige Updates und Protokollierung sicherheitsrelevanter Ereignisse.

Angemessenheit der Analysetiefe

Die Zerlegung in vier Ebenen (Gesamtsystem → Funktionseinheiten → Teilfunktionen → Funktionselemente) erfasst alle Komponenten, die der Elektroniker bei Installation, Konfiguration und Fehlerdiagnose handhaben muss. Die Firmware des Ladecontrollers und die interne Schaltungstechnik der Steuerplatine wurden bewusst nicht weiter zerlegt – diese Ebene ist für den Elektroniker im Feld nicht relevant (Austausch statt Reparatur). Die Schutzeinrichtungen sind hingegen bis auf Einzelgeräteebene spezifiziert (FI Typ A, DC 6 mA, LS C16A/C32A), weil deren Auswahl und Prüfung eine zentrale Fachkompetenz darstellt. Die Tiefe folgt damit Pahls Empfehlung, die Analyse an den „adressierten Arbeitstätigkeiten“ auszurichten (Pahl, 2016a, S. 37).

Übertragbarkeit der Analysemethodik

Die am AC-Ladesystem erprobte Analysemethodik lässt sich auf verwandte Systeme übertragen: DC-Schnelllader (HPC) erweitern das System um eine interne AC/DC-Wandlung (die Grundfunktion „Wandeln“ rückt ins System), bidirektionales Laden (V2G/V2H) kehrt die Energieflussrichtung um und erfordert zusätzliche Schutzkonzepte. Flottenladeparks skalieren die Kommunikationsarchitektur (OCPP für n Ladepunkte, übergeordnetes Lastmanagement). In allen Fällen bleibt die Kopplung von Energie und Information das strukturgebende Prinzip – die Analyse kategorien nach Bader erweisen sich als tragfähig für die gesamte Systemklasse der vernetzten Energiesysteme.

3. Arbeitsplan

Der Arbeitsplan orientiert sich an den Schritten des Analyseschemas nach Bader (1991, S. 452) und den Verlaufsphasen nach Jenewein/Pahl (2016b, S. 140f.). Jedes Arbeitspaket (AP) benennt ein konkretes Handlungsprodukt, das als Ergebnis vorliegen muss.

AP	Arbeitsschritt (Bader-Schritt)	Handlungsprodukt	Termin	Status
1	Literaturstudium: Bader (1991), Pahl (2016a), Jenewein/Pahl (2016b)	Literatursynthese-Matrix mit Kernaussagen und daraus abgeleiteter allgemeingültiger Systemanalyse-Vorgehensweise	05.02.	✓
2	Literaturstudium: Rahmenlehrplan (KMK, 2021) und ISB-Umsetzungshilfe (2022)	Curriculum-Mapping mit Zuordnung der Analyse-Schritte zu Lernfeldern und Kompetenzbereichen	05.02.	✓
3	Systemauswahl: Ladeinfrastruktur E-Mobilität auswählen und begründen	Entscheidungsvorlage mit Kriterienraster (Systemzweck, Sicherheitsrelevanz, Unterrichtsbezug, Transfer)	05.02.	✓
4	Systemzweck ermitteln (Bader Schritt 1)	Methodisch begründete Zweckbeschreibung mit Hauptfunktion, Zielstellungen und Erfolgskriterien	08.02.	✓
5	Systemgrenzen festlegen (Bader Schritt 2)	Zweck-/Grenzen-Set mit dokumentierten Ein- und Ausschlüssen sowie begründeten Grenzzentscheidungen	08.02.	✓
6	Ein-/Ausgangsgrößen ermitteln (Bader Schritt 3)	Größenkatalog mit konsistenter Zuordnung zu Stoff/Energie/Information als Analysegrundlage	09.02.	✓
7	Systemfunktionen beschreiben (Bader Schritt 4)	Funktionshierarchie mit Teil- und Grundfunktionen als nachvollziehbare Transformationslogik	09.02.	✓
8	Systembestandteile konkretisieren (Bader Schritt 5)	Rekursive Zerlegungsdocumentation mit begründeter Ebenenbildung und Funktionseinheiten	10.02.	✓
9	Systemstruktur analysieren (Bader Schritt 6)	Strukturmodell mit Energie-/Informationspfaden, CP-Logik und Kommunikationsebenen entlang der Vorgehensschritte	11.02.	✓
10	Analyseergebnisse reflektieren (Bader Schritt 7)	Reflexionsprotokoll mit Bewertung der Vorgehensqualität, Berufsbezug, Grenzen und Transfer	12.02.	✓
11	Gesamtdokument gegengelesen und konsistenzprüfen	QS-Checkliste mit Nachweis der vollständigen Schrittfolge und konsistenter Begriffs- und Quellenarbeit	14.02.	□

AP	Arbeitsschritt (Bader-Schritt)	Handlungsprodukt	Termin	Status
12	Präsentation erstellen und Probelauf	Präsentationsstoryboard entlang der methodischen Vorgehenslogik + Abnahmeprotokoll des Probelaufs	17.02.	<input type="checkbox"/>
13	Präsentation im Seminar	Finales Seminar-Ergebnis: mündliche Vorstellung mit klarem Bezug auf Vorgehensmodell und Handout	19.02.	<input type="checkbox"/>

Präsentationsgliederung (max. 45 Minuten)

Block	Inhalt	Dauer
1	Systemvorstellung: Was ist eine Wallbox-Ladeinfrastruktur? (Foto, Alltagsbezug)	3 Min.
2	Begründung der Systemauswahl: Unterrichtsrelevanz anhand LF 5, LF 9, LF 2, LF 6	5 Min.
3	Systemzweck und Systemgrenzen: Wozu dient das System, wo endet es?	5 Min.
4	Ein-/Ausgangsgrößen und Kategorien: Energie-Informationssystem ohne Stoffströme	5 Min.
5	Systemfunktionen und Grundfunktionen: Koppeln, Verknüpfen, Trennen als Kernprinzipien	7 Min.
6	Subsysteme und Funktionselemente: 4-Ebenen-Zerlegung mit Fokus auf Schutzkonzept und CP/PP	8 Min.
7	Systemstruktur: Architektur, CP-Zustandsmaschine, Kommunikationsebenen	7 Min.
8	Reflexion und Diskussion: Berufsbezug, Analysetiefe, Übertragbarkeit, Fragen	5 Min.

4. Quellen

- Bader, R. (1991): Didaktik der Technik – Beitrag zu einer Theorie technischer Bildung in der Berufsschule durch Verstehen und Gestalten von Systemen. In: Die berufsbildende Schule (BbSch), 43. Jg., Heft 7/8, S. 441–458.
- ISB Bayern (2022): Umsetzungshilfe Elektroniker/in FR Energie- und Gebäudetechnik. München.
- Jenewein, K./Pahl, J.-P. (2016b): Analyse technischer Systeme. In: lernen & lehren, Heft 124, S. 138–145.
- KMK (2021): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Elektroniker/in FR Energie- und Gebäudetechnik. Bonn.
- Pahl, J.-P. (2016a): Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren. 5. Auflage. Bielefeld.