

Systemanalyse: Wärmepumpensystem (Luft-Wasser)

Gruppe: Max, Musterman, Kollegen

Datum: 05.02.2026 **Präsentation:** 19.02.2026

Inhaltsverzeichnis

Systemanalyse: Wärmepumpensystem (Luft-Wasser)	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)	10
2.6 Analyse der Systemstruktur (Anordnungs- und Beziehungsgefüge)	12
2.7 Analyseergebnisse reflektieren	15
3. Arbeitsplan	16
3.1 Arbeitspakete	17
3.2 Gliederung der Präsentation (max. 45 Minuten)	18
4. Quellen	18

1. Systemauswahl und fachliche Begründung

1.1 Gewähltes System

Luft-Wasser-Wärmepumpe für Heizung und Warmwasserbereitung in einem Einfamilienhaus, bestehend aus Außeneinheit (Verdampfer, Ventilator), Inneneinheit (Verdichter, Kondensator, Expansionsventil), Pufferspeicher und Regelungstechnik.

Die Wärmepumpe wurde gewählt, weil sie als Energiewandlungssystem den Kern des elektrotechnischen Berufsfeldes trifft: Sie vereint elektrische Antriebstechnik (Verdichtermotor), thermodynamische Prozesse (Kältekreislauf) und regelungstechnische Anforderungen (Vorlauftemperaturregelung, witterungsgeführte Heizkurve) in einem einzigen System. Diese Verbindung von Energie-, Steuerungs- und Messtechnik macht die Wärmepumpe zu einem besonders ergiebigen Gegenstand für eine Systemanalyse, da alle drei Kategorien nach Bader – Stoff, Energie und Information – in hoher Komplexität zusammenwirken (vgl. Bader, 1991, S. 445f.).

1.2 Eignung für die Systemanalyse nach Bader/Pahl

Die Wärmepumpe erfüllt die methodischen Voraussetzungen, die Bader und Pahl an ein analysierbares technisches System stellen, in besonderem Maße:

Kriterium nach Bader/Pahl	Ausprägung am Wärmepumpensystem
Abgrenzung von der Umwelt (Bader, 1991, S. 445f.)	Die Systemgrenze lässt sich physisch klar definieren: Außenluft und Heizkreis gehören zur Systemumwelt, das eigentliche System umfasst die Komponenten zwischen Luftansaugung und Vorlauf-/Rücklaufanschluss.
Ein- und Ausgangsgrößen in den Kategorien Stoff, Energie, Information (Bader, 1991, S. 445f.)	Alle drei Kategorien sind ausgeprägt vorhanden: Stoff (Kältemittel im geschlossenen Kreislauf, Heizwasser, Trinkwasser), Energie (elektrische Antriebsenergie → Wärmeenergie), Information (Temperatursensoren, Druckwächter, Heizkurvenparameter).
Rekursive Zerlegung in Subsysteme (Bader, 1991, S. 452 u. 455)	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 Wärmepumpe bietet hierfür eine natürliche Mehrstufigkeit: Gesamtsystem → Funktionseinheiten (Kältekreis, Hydraulik, Regelung) → Teilfunktionen (z. B. innerhalb des Kältekreises: Wärmeaufnahme, Verdichtung, Wärmeabgabe, Entspannung) → Grundfunktionen (z. B. Wandeln: elektrisch → mechanisch im Verdichtermotor) → Funktionselemente (z. B. Scrollverdichter, Expansionsventil, NTC-Fühler). Die Zerlegungstiefe wird in dieser Analyse so gewählt, dass sie die für den Elektroniker relevanten Installations-, Parametrierungs- und Diagnoseaufgaben abdeckt. Eine tiefere Zerlegung – etwa in die kältetechnische Thermodynamik des Verdichtungsprozesses – ist möglich, liegt jedoch außerhalb des Kompetenzprofils des Elektronikers FR EGT und damit außerhalb der didaktisch sinnvollen Analysetiefe (vgl. Pahl, 2016a, S. 37).
Bestimmbare Hauptfunktion mit Teilfunktionen (Bader, 1991, S. 452)	Hauptfunktion (Energieumsatz): Anhebung von Umweltwärme auf Nutztemperatur. Teilfunktionen: Wärmeaufnahme (Verdampfer), Druckerhöhung (Verdichter), Wärmeabgabe (Kondensator), Druckabsenkung (Expansionsventil).

Kriterium nach Bader/Pahl	Ausprägung am Wärmepumpensystem
Zugänglichkeit für Lernende (Pahl, 2016a, S. 5)	Hohe Anschaulichkeit durch physisch greifbare Komponenten; Messwerte (Temperaturen, Drücke, Ströme) direkt erfassbar; Regelverhalten am realen System beobachtbar.

1.3 Begründung der Unterrichtsrelevanz anhand des Rahmenlehrplans

Die Wärmepumpe 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 8 – Energiewandlungssysteme auswählen und integrieren** (72 Std., davon 24 Std. fachpraktisch). Die Wärmepumpe ist ein Energiewandlungssystem im engeren Sinne: Sie wandelt elektrische Energie in Antriebsenergie für den Verdichtermotor und nutzt den thermodynamischen Kreisprozess zur Wärmebereitstellung. Die Lernfeldmatrix LF 8-1 nennt als Sachwissen unter anderem Sicherheit, Motorschutz sowie Anlass- und Bremsverfahren – sämtlich relevant für den Verdichterantrieb. LF 8-4 konkretisiert die Inbetriebnahme und Parametereinstellung von Energiewandlungssystemen, was unmittelbar der Parametrierung einer Wärmepumpe (Heizkurve, Warmwassertemperatur, Sperrzeiten) entspricht. LF 8-5 adressiert die systematische Fehlersuche an solchen Systemen, einschließlich der Auswirkungen und Folgen von Fehlern – ein Kernaspekt der Wärmepumpen-Instandhaltung (z. B. Kältemittelverlust, Sensordefekte).

Einen zweiten zentralen Bezug bietet **Lernfeld 3 – Steuerungen und Regelungen analysieren und realisieren** (72 Std.). Die Wärmepumpe ist ein regelungstechnisch anspruchsvolles System: Vorlauftemperaturregelung, Verdichtersteuerung und Abtaulogik bilden mehrere ineinander verschachtelte Regelkreise. In der ISB-Lernfeldmatrix ist LS 2 explizit mit „Einen Temperaturfühler für die Wassertemperatur der Heizung einstellen“ überschrieben (ISB, 2022, S. 36) – ein Szenario, das direkt auf die Wärmepumpenregelung übertragbar ist. LF 3-5 nennt als Sachwissen SPS-Programmierung und Programmiersprachen, als Prozesswissen die Parametrierung analoger und digitaler Bausteine – beides praxisrelevant für die Regelung moderner Wärmepumpen.

Lernfeld 7 – Steuerungen und Regelungen für Systeme programmieren und realisieren (84 Std.) ergänzt LF 3 auf höherem Niveau. LF 7-2 nennt als Sachwissen Komponenten der Steuerungs- und Regelungstechnik (Sensoren und Aktoren: induktiv, kapazitiv, optisch, magnetisch) sowie Kleinststeuerungen und Schütze (ISB, 2022, S. 54). Die Wärmepumpe enthält eine Vielzahl dieser Komponenten: Temperaturfühler (NTC/PTC), Druckschalter, Schütze für den Verdichtermotor und Umschaltventile. LF 7-4 ergänzt die Simulation der Steuerung als digitalen Zwilling – ein zukunftsweisender Aspekt auch für die Wärmepumpentechnik.

Lernfeld 6 – Elektrotechnische Systeme analysieren und prüfen (60 Std.) ist methodisch relevant: Die Zielformulierung fordert explizit, dass Schülerinnen und Schüler „Fehlersymptome in elektrischen Anlagen und Geräten“ analysieren und „Fehlersuchstrategien an Sensoren, Aktoren“ anwenden (ISB, 2022, S. 48). LF 6-4 listet als Sachwissen die Temperaturmessung und als Prozesswissen die Analyse und Interpretation von Messergebnissen – beides unmittelbar auf die Wärmepumpendiagnose anwendbar (z. B. Vergleich Vor-/Rücklauftemperatur, COP-Berechnung aus Messwerten).

1.4 Didaktische Begründung

Aktualität und berufliche Relevanz

Die Wärmepumpe ist durch das Gebäudeenergiegesetz (GEG 2024) und die 65-%-Erneuerbare-Energien-Vorgabe für neue Heizungsanlagen zur Schlüsseltechnologie der Wärmewende geworden. Für Elektroniker/innen der Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik gehören Planung, Installation und Inbetriebnahme von Wärmepumpen zunehmend zum Kerngeschäft. Die Analyse dieses Systems bereitet Lernende auf eine Technologie vor, die ihre berufliche Praxis in den kommenden Jahrzehnten maßgeblich prägen wird.

Exemplarität nach Bader

Bader fordert, dass technische Systeme im Unterricht so gewählt werden, dass sie „die Grundstrukturen des jeweiligen Fachgebiets“ repräsentieren und „exemplarisch für eine Klasse von Systemen“ stehen (Bader, 1991, S. 452). Die Luft-Wasser-Wärmepumpe erfüllt dieses Kriterium in mehrfacher Hinsicht: Sie steht exemplarisch für alle Kompressionswärmepumpen (Sole-Wasser, Wasser-Wasser), da der thermodynamische Grundprozess identisch ist. Gleichzeitig repräsentiert sie die Klasse der Energiewandlungssysteme mit geschlossenen Kreisprozessen. Die am Wärmepumpensystem erworbenen Analyse-Kompetenzen sind damit auf verwandte Systeme (Klimaanlagen, Kältemaschinen) direkt übertragbar.

Handlungsorientierung

Das Wärmepumpensystem ermöglicht eine vollständige berufliche Handlung im Sinne der KMK-Handreichung: Von der Kundenberatung über die Anlagenplanung, elektrische Installation und Inbetriebnahme bis zur Übergabe mit 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). Das Wärmepumpensystem bietet für jede Phase dieser Handlungskette messbare Ergebnisse: Leistungsaufnahme, Vorlauftemperatur, COP und Jahresarbeitszahl machen den Lernfortschritt objektiv bewertbar.

Gesellschaftliche Relevanz

Die energetische Transformation des Gebäudesektors ist eine zentrale gesellschaftliche Aufgabe. Wärmepumpen tragen zur CO₂-Reduktion bei, reduzieren die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern und senken langfristig die Heizkosten. Lernende werden durch die Systemanalyse befähigt, diese technisch-gesellschaftlichen Zusammenhänge zu reflektieren – ein Aspekt, den Bader als „Reflexionswissen“ zur beruflichen Handlungskompetenz zählt (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.

Das Wärmepumpensystem hat den Zweck, ein Gebäude bedarfsgerecht mit Heizwärme und Warmwasser zu versorgen, indem es Umweltwärme aus der Außenluft auf ein nutzbares Temperaturniveau anhebt. Dabei nutzt es den thermodynamischen Kaldampf-Kompressionsprozess: Unter Einsatz elektrischer Antriebsenergie wird Wärme von einem niedrigen Temperaturniveau (Außenluft, z. B. $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) auf ein höheres Temperaturniveau (Heizwasser, z. B. $35\text{ }^{\circ}\text{C}$) transportiert.

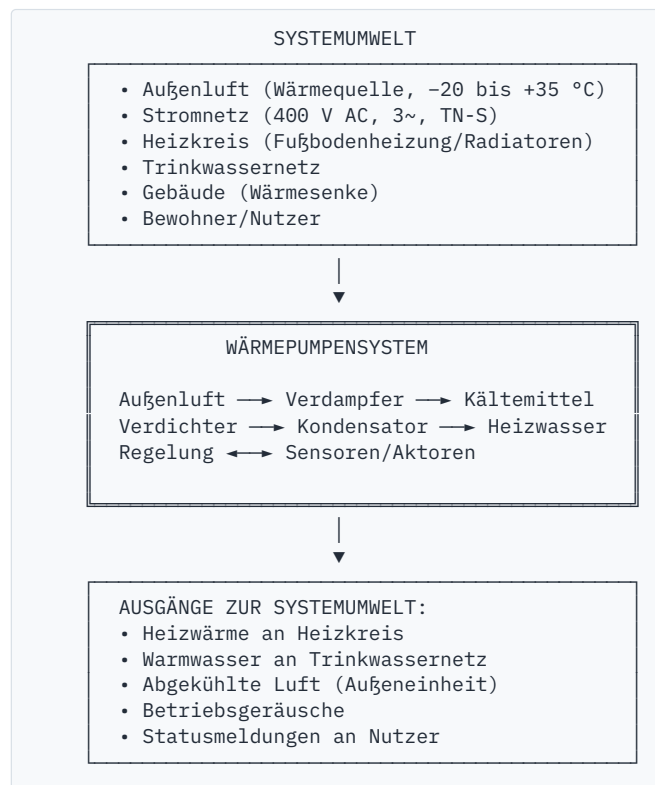
Aus diesem Zweck leitet sich die **Hauptfunktion** des Systems ab: Die Aufnahme von Umweltwärme und deren Anhebung auf Nutztemperatur durch einen thermodynamischen Kreisprozess. Das System ist damit primär ein **Energiewandlungssystem** mit Stoff als Hilfskategorie (Kältemittel als Arbeitsmedium im geschlossenen Kreislauf, Trinkwasser als Ein-/Ausgang). Die Informationsverarbeitung (Regelung, Sensorik) dient der bedarfsgerechten Steuerung des Energieflusses.

Die konkreten Zielstellungen, die der Systemzweck im Betrieb adressiert:

Zielstellung	Umsetzung durch das System
Wärmeversorgung	Bedarfsgerechte Beheizung über witterungsgeführte Vorlauf-temperaturregelung; Umschaltung zwischen Heiz- und Warmwasserbetrieb
Energieeffizienz	Maximierung der Jahresarbeitszahl ($\text{JAZ} > 3$) durch Inverter-Verdichter und niedrige Vorlauftemperaturen (Flächenheizung)
Nachhaltigkeit	60–80 % der Heizenergie stammen aus kostenloser Umweltwärme; CO ₂ -Emissionen abhängig vom Strommix, bei PV-Kombination nahezu klimaneutral

2.2 Festlegung der Systemgrenzen

Systemgrenzen des Wärmepumpensystems



Begründung der Grenzziehung

Die Festlegung der Systemgrenze ist nach Bader (1991, S. 452) eine bewusste Entscheidung, die den Analysegegenstand definiert. Für das Wärmepumpensystem wurden folgende Abgrenzungen getroffen:

Grenzentscheidung	Begründung
Außenluft (Wärmequelle) → Systemumwelt	Die Außenluft liefert die Umweltwärme, ist aber nicht Teil des Systems. Sie ist eine Eingangsgröße der Kategorie Energie, vergleichbar mit der Solarstrahlung bei einer PV-Anlage.
Stromnetz (400 V AC) → Systemumwelt	Das Stromnetz liefert die elektrische Antriebsenergie für den Verdichter. Es ist eine externe Versorgungsvoraussetzung, nicht Systembestandteil.
Heizkreis (Fußbodenheizung/Radiatoren) → Systemumwelt	Das Wärmeverteilsystem im Gebäude ist austauschbar (Fußbodenheizung, Radiatoren, Gebläsekonvektoren) und funktioniert unabhängig von der Wärmequelle. Das System endet am Vorlauf-/Rücklaufanschluss.
Trinkwassernetz → Systemumwelt	Das Kaltwasser kommt als Eingangsgröße (Stoff) in den Warmwasserspeicher und verlässt ihn als Warmwasser (Stoff). Das Trinkwassernetz selbst ist externe Infrastruktur.
Gebäude (Wärmesenke) → Systemumwelt	Das Gebäude ist der Empfänger der Ausgangsgröße Heizwärme. Es definiert durch seine Heizlast den Bedarf, ist aber kein funktionaler Bestandteil des Wärmepumpensystems.
Bewohner/Nutzer → Systemumwelt	Der Nutzer gibt Sollwerte vor (Information) und empfängt Statusmeldungen (Information) — er ist damit Sender und Empfänger, nicht Systembestandteil.

Diese Grenzziehung folgt dem Kriterium der **funktionalen Zugehörigkeit**: Zum System gehört, was am thermodynamischen Kreisprozess und dessen Regelung beteiligt ist – vom Verdampfer (Wärmeaufnahme) über den Verdichter und Kondensator bis zum Puffer-/Warmwasserspeicher (Wärmeabgabe).

2.3 Ermittlung der Eingangs-, Ausgangs- und Zustandsgrößen

Bader (1991, S. 445f.) ordnet die Ein- und Ausgangsgrößen eines technischen Systems den drei Kategorien **Stoff**, **Energie** und **Information** zu. Das Wärmepumpensystem zeichnet sich dadurch aus, dass alle drei Kategorien nach Bader eine wesentliche Rolle spielen: Energie dominiert (thermischer Kreisprozess), Stoff tritt als Trinkwasser (Ein-/Ausgang) und als Kältemittel (internes Arbeitsmedium im geschlossenen Kreislauf) auf, und Information steuert den Prozess.

Eingangsgrößen

Kategorie (Bader)	Eingangsgröße	Physikalische Größe
Stoff	Kaltwasser (Trinkwasser)	10–15 °C, variabel l/min
Energie	Elektrische Antriebsenergie	400 V AC, 1–5 kW
Energie	Umweltwärme (Außenluft)	3–15 kW (temperaturabhängig)
Energie	Rücklauftemperatur (Heizkreis)	25–40 °C
Information	Außentemperatur	–20 bis +35 °C
Information	Raumtemperatur-Sollwert	18–24 °C
Information	Warmwasser-Sollwert	45–60 °C
Information	Zeitprogramm / Benutzervorgaben	Heizzeiten, Betriebsmodi

Ausgangsgrößen

Kategorie (Bader)	Ausgangsgröße	Physikalische Größe
Stoff	Warmwasser (Trinkwasser)	45–60 °C
Energie	Heizleistung (Vorlauf)	4–20 kW, 30–55 °C
Energie	Abgekühlte Außenluft	Temperaturabsenkung um 3–5 K
Energie	Abwärme (Verdichter, Regelung)	Verlustleistung
Information	Betriebsdaten	COP, Laufzeit, Energieverbrauch
Information	Statusmeldungen	Betrieb / Störung / Abtauen

Das Kältemittel (z. B. R290 Propan) zirkuliert als internes Arbeitsmedium im geschlossenen Kreislauf und ist damit weder Eingangs- noch Ausgangsgröße, sondern Systembestandteil. Es transportiert die Wärme innerhalb des Systems vom Verdampfer zum Kondensator.

Zustandsgrößen

Zustandsgrößen beschreiben den inneren Zustand des Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt:

Zustandsgröße	Beschreibung
Betriebsmodus	Heizen / Warmwasser / Abtauen / Aus
Verdichterfrequenz	Drehzahl des Inverter-Verdichters (20–120 Hz)
Kältemitteldruck (HD/ND)	Hochdruck (HD) 15–30 bar, Niederdruck (ND) 3–8 bar
Überhitzung / Unterkühlung	Verdichtereingang 5–10 K / Kondensatorausgang 3–8 K
Pufferspeichertemperatur	30–50 °C
COP (aktuell)	Leistungszahl 2,5–5,0
Parametriertes Ausfallverhalten	Verhalten bei Netzausfall/Kommunikationsverlust, z. B. Verdichter-Sperre, Frostschutzbetrieb mit Heizstab, Alarmmeldung und Fallback auf lokale Sollwerte

2.4 Beschreibung der Systemfunktionen

Hauptfunktion

Aus dem Systemzweck (Abschnitt 2.1) ergibt sich die Hauptfunktion: **Aufnahme von Umweltwärme aus der Außenluft und Anhebung auf Nutztemperatur** durch einen thermodynamischen Kaldampf-Kompressionsprozess unter Einsatz elektrischer Antriebsenergie.

Die Hauptfunktion lässt sich in folgende Teilfunktionen zerlegen, die jeweils eine spezifische Transformation der Bader-Kategorien beschreiben:

Teilfunktionen

Teilfunktion	Beschreibung	Kategorientransformation (nach Bader)
Verdampfen	Kältemittel nimmt Umweltwärme auf und geht vom flüssigen in den gasförmigen Zustand über	Energie (Wärme, niedrig) → Energie (Kältemittel, gasförmig)
Verdichten	Inverter-Verdichter erhöht Druck und Temperatur des Kältemittelgases	Energie (elektrisch) + Energie (Gas, ND) → Energie (Gas, HD, heiß)
Kondensieren	Heißes Kältemittelgas gibt Wärme an Heizwasser ab und verflüssigt sich	Energie (Kältemittel, HD) → Energie (Heizwärme)
Entspannen	Expansionsventil senkt Druck und Temperatur des Kältemittels	Energie (HD, flüssig) → Energie (ND, kalt)
Regeln	Wärmepumpenregler passt Verdichterfrequenz und Ventilstellung an Bedarf an	Information → Information
Speichern	Puffer- und Warmwasserspeicher entkoppeln Erzeugung und Verbrauch	Energie (Wärme) → Energie (Wärme, zeitversetzt)
Abtauen	Kreislaufumkehr entfernt Eisbildung am Verdampfer bei niedrigen Außentemperaturen	Energie (Heizwärme) → Energie (Schmelzwärme)
Erwärmen (Trinkwasser)	Kaltwasser wird im Warmwasserspeicher auf Solltemperatur erwärmt	Stoff (kalt) + Energie (Wärme) → Stoff (warm)

Bei der Teilfunktion **Regeln** ist die Rückführung explizit als geschlossener Regelkreis ausgeführt: Istwert (Vorlauf- bzw. Speicherfühler) → Regler (WP-Regler in der Inneneinheit) → Stellgröße (Verdichterfrequenz, Ventilstellung, Pumpenfreigabe) → Strecke (Kältekreis/Hydraulik) → neuer Istwert. Die **Abtauung** wird dagegen als ereignisgesteuerte Steuerung (Schwellwertlogik mit Zeit-/

Temperaturkriterien) behandelt und damit bewusst von der kontinuierlichen Regelung unterschieden.

Grundfunktionen nach Bader

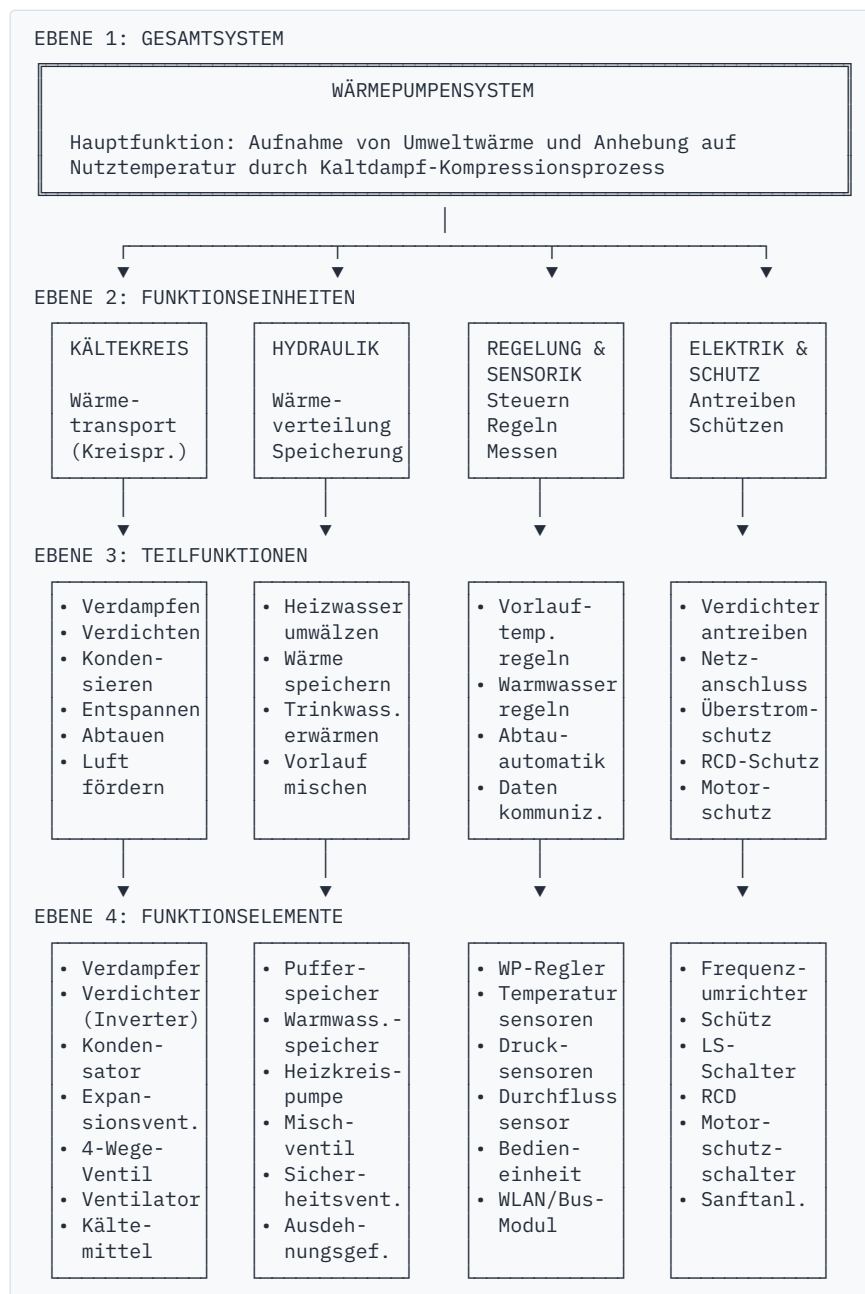
Bader (1991, S. 452) fordert die Rückführung der Teilfunktionen auf **Grundfunktionen**. Bei der Wärmepumpe dominiert die Grundfunktion Wandeln, ergänzt durch Speichern und Koppeln:

Teilfunktion	Grundfunktion	Erläuterung
Verdampfen	Wandeln	Wärmeenergie (Luft) wird in innere Energie des Kältemittels gewandelt (Phasenübergang flüssig → gasförmig).
Verdichten	Wandeln	Elektrische Energie wird in mechanische Arbeit (Kolbenbewegung) und weiter in thermische Energie (Druck- und Temperaturerhöhung) gewandelt.
Kondensieren	Wandeln	Innere Energie des Kältemittels wird in Heizwärme gewandelt (Phasenübergang gasförmig → flüssig).
Entspannen	Wandeln	Druckenergie wird in Kälte gewandelt (isenthalpe Expansion, Joule-Thomson-Effekt).
Regeln	Verknüpfen	Messwerte (Temperaturen, Drücke) werden mit Sollwerten verglichen und in Steuerbefehle verknüpft (Regelkreis).
Speichern	Speichern	Thermische Energie wird zeitüberdauernd im Puffer-/Warmwasserspeicher abgelegt und bei Bedarf abgerufen.
Abtauen	Wandeln	Heizwärme wird in Schmelzwärme gewandelt (Eis am Verdampfer → Wasser).
Erwärmen	Koppeln	Wärmeenergie wird über den Wärmetauscher an den Stoffstrom (Trinkwasser) gekoppelt.

2.5 Konkretisierung der Systembestandteile (Subsysteme)

Rekursive Zerlegung in vier Ebenen

Bader (1991, S. 455) beschreibt die Systemzerlegung als rekursiven Prozess mit „praktisch beliebig vielen hierarchischen Untergliederungen“. Für das Wärmepumpensystem wird die Zerlegung auf vier Ebenen begrenzt: Gesamtsystem → Funktionseinheiten → Teilfunktionen → Funktionselemente. Eine tiefere Zerlegung – etwa in die Thermodynamik des Kältemittels auf molekularer Ebene oder die Regelungstechnik des Frequenzumrichters – ist möglich, übersteigt jedoch die im Rahmenlehrplan adressierten Kompetenzen (vgl. Pahl, 2016a, S. 37).



Die folgenden Tabellen konkretisieren die vier Funktionseinheiten über Teilfunktionen sowie Ein- und Ausgangsgrößen.

Funktionseinheit 1: Kältekreis

Der Kältekreis realisiert den thermodynamischen Kreisprozess. Seine Grundfunktion ist das **Wandeln**: Wärmeenergie auf niedrigem Temperaturniveau wird unter Einsatz elektrischer Antriebsenergie auf ein höheres Temperaturniveau gehoben.

Funktionselement	Teilfunktion	Eingang (Kategorie)	Ausgang (Kategorie)
Verdampfer	Wärmeaufnahme aus Außenluft	Außenluft + Kältemittel flüssig (Energie)	Kältemittel gasförmig (Energie)
Ventilator	Luftförderung über Verdampfer	Elektrische Energie (Energie)	Luftstrom (Energie)
Verdichter (Inverter)	Druckerhöhung, Temperaturanhebung	Kältemittel ND + el. Energie (Energie)	Kältemittel HD, heiß (Energie)
Kondensator	Wärmeabgabe an Heizwasser	Kältemittel HD gasförmig (Energie)	Heizwärme + Kältemittel flüssig (Energie)
Expansionsventil (EEV)	Druckabsenkung, Temperaturabsenkung	Kältemittel HD flüssig (Energie)	Kältemittel ND kalt (Energie)
4-Wege-Ventil	Kreislaufumkehr für Abtauung/Kühlung	Steuersignal (Information)	Strömungsrichtung (Energie)

Funktionseinheit 2: Hydraulik

Die Hydraulik verteilt und speichert die erzeugte Wärme. Ihre Grundfunktionen sind **Koppeln** (Wärme vom Kältekreis an Heizkreis und Trinkwasser koppeln) und **Speichern** (Wärme zeitversetzt bereitstellen).

Funktionselement	Teilfunktion	Eingang (Kategorie)	Ausgang (Kategorie)
Pufferspeicher	Wärmespeicherung, Laufzeitoptimierung	Heizwasser warm (Energie)	Heizwasser temperiert (Energie)
Warmwasserspeicher	Trinkwassererwärmung	Heizwasser (Energie) + Kaltwasser (Stoff)	Warmwasser (Stoff + Energie)
Heizkreispumpe	Umwälzung des Heizwassers	Elektrische Energie (Energie)	Volumenstrom (Energie)
Mischventil	Vorlauftemperaturanpassung	Heißwasser + Rücklauf (Energie)	Vorlauf gemischt (Energie)
Sicherheitsventil	Überdruckschutz	Überdruck (Energie)	Druckentlastung (Energie)
Ausdehnungsgefäß	Volumenausgleich bei Temperaturänderung	Druckänderung (Energie)	Druckstabilisierung (Energie)

Funktionseinheit 3: Regelung und Sensorik

Die Regelung bildet die informationsverarbeitende Schicht des Systems. Ihre Grundfunktionen sind **Wandeln** (physikalische Größen → Messwerte) und **Verknüpfen** (Messwerte mit Sollwerten vergleichen → Steuerbefehle).

Funktionselement	Teilfunktion	Eingang (Kategorie)	Ausgang (Kategorie)
Wärmepumpenregler	Gesamtsteuerung, Optimierung	Sensorsignale + Sollwerte (Information)	Steuerbefehle (Information)
Temperatursensoren (NTC/PT1000)	Temperaturerfassung (Vorlauf, Rücklauf, Außen, Speicher)	Temperatur (Energie)	Messsignal (Information)
Drucksensoren	Kältemitteldrucküberwachung (HD, ND)	Druck (Energie)	Messsignal (Information)
Durchflusssensor	Volumenstromerfassung Heizkreis	Volumenstrom (Energie)	Messsignal (Information)
Bedieneinheit	Benutzerinterface, Sollwerteingabe	Benutzereingabe (Information)	Anzeige + Sollwerte (Information)
Kommunikationsmodul	Fernüberwachung, Smart-Grid-Anbindung	Netzwerkdaten (Information)	Betriebsdaten (Information)

Funktionseinheit 4: Elektrik und Schutz

Die Elektrik stellt die Antriebsenergie bereit und schützt das System. Ihre Grundfunktionen sind **Wandeln** (Netzspannung → variable Motorspannung über Frequenzumrichter) und **Trennen** (Schutzfunktion bei Fehler).

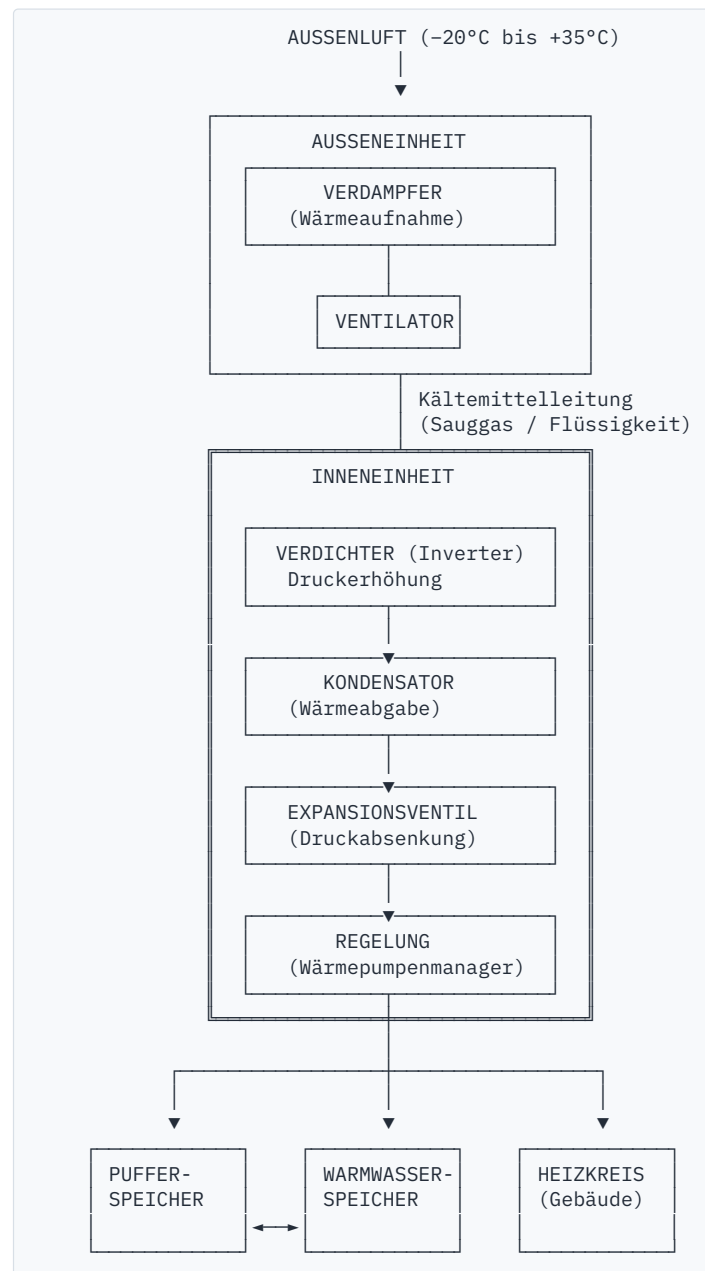
Funktionselement	Teilfunktion	Eingang (Kategorie)	Ausgang (Kategorie)
Frequenzumrichter	Verdichterdrehzahlregelung	Steuersignal (Information) + 400 V AC (Energie)	Variable Motorspannung (Energie)
Schütz	Freigabe Verdichter	Steuersignal (Information)	Motorversorgung (Energie, aktiv geschaltet); potenzialfreier Hilfskontakt für Rückmeldung (Information)
Leitungsschutzschalter	Überstromschutz	Überstrom (Energie)	Energiefluss unterbrochen (Trennen)
RCD (Fehlerstrom-Schutzeinrichtung)	Fehlerstromschutz	Fehlerstrom > 30 mA (Energie)	Energiefluss unterbrochen (Trennen)
Motorschutzschalter	Überlastschutz Verdichtermotor	Überlast (Energie)	Energiefluss unterbrochen (Trennen)

2.6 Analyse der Systemstruktur (Anordnungs- und Beziehungsgefüge)

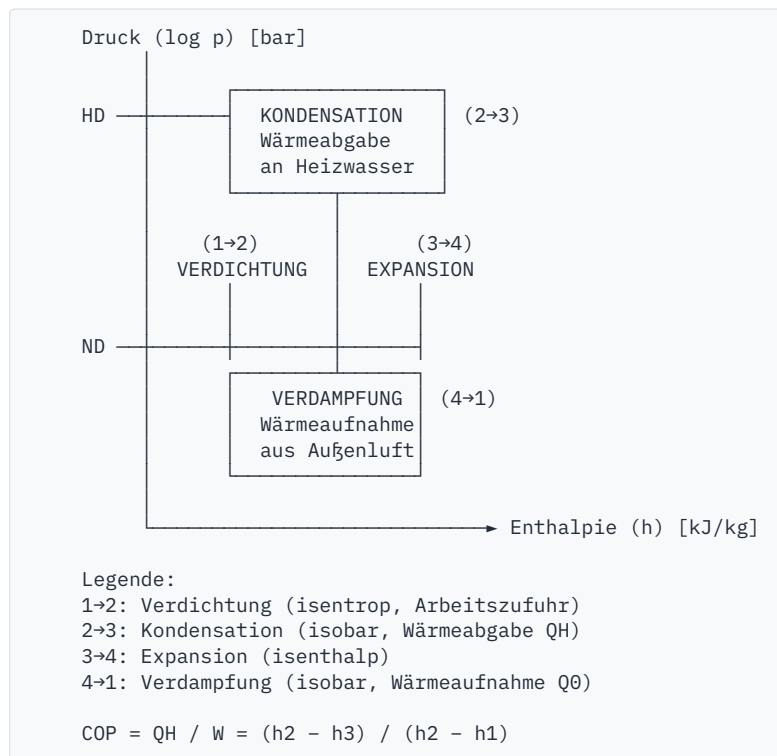
Die Systemstruktur der Wärmepumpe ist durch die physische Trennung in Außen- und Inneneinheit geprägt. Der Kältekreis verbindet beide Einheiten über Kältemittelleitungen. In der Inneneinheit laufen der Kältekreis (Kondensator), die Hydraulik (Speicher, Pumpen) und die Regelung zusammen.

Als zentrale **Konfigurationsschnittstelle** dient die Regler-Bedieneinheit bzw. das Hersteller-Service-Interface (lokal und je nach Gerät remote über App/Webportal). Hier werden u. a. Heizkurve, Warmwasser-Sollwerte, Sperrzeiten, Abtauparameter und Kommunikationsparameter eingestellt.

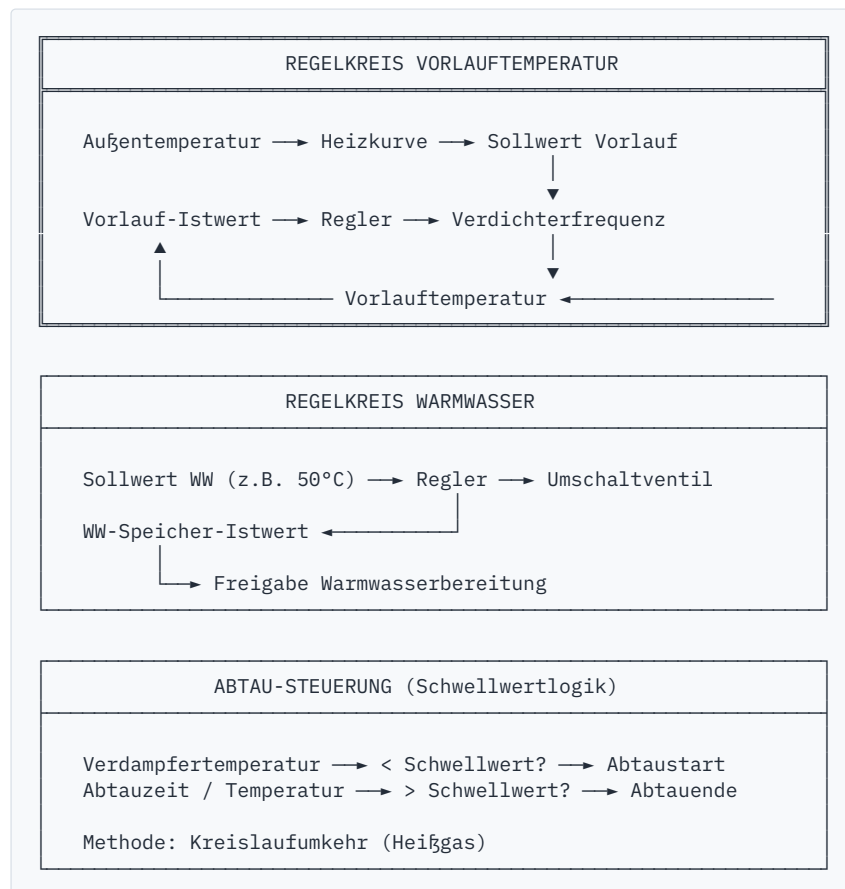
Systemarchitektur



Thermodynamischer Kreisprozess (log p-h-Diagramm)



Regelkreise



Die ersten beiden Darstellungen sind geschlossene Regelkreise mit expliziter Rückführung (Istwert zurück zum Regler). Die Abtaulogik ist demgegenüber eine Schwellwert-/Zeitsteuerung ohne kontinuierliche Istwertregelung und wird deshalb als Steuerfunktion eingeordnet.

2.7 Analyseergebnisse reflektieren

Die Reflexion der Analyseergebnisse folgt den Leitfragen, die Pahl (2016a, S. 37) für die abschließende Phase der Systemanalyse formuliert: Was hat die Analyse ergeben? Welche Erkenntnisse sind für berufliches Handeln relevant? War die gewählte Analysetiefe angemessen?

Zusammenfassung der Analyseergebnisse

Die Systemanalyse zeigt, dass das Wärmepumpensystem ein **Energiewandlungssystem** ist, das sich in vier Funktionseinheiten gliedern lässt: Kältekreis (thermodynamischer Kreisprozess), Hydraulik (Wärmeverteilung und -speicherung), Regelung/Sensorik (Steuerung und Messwerterfassung) und Elektrik/Schutz (Antrieb und Absicherung). Die dominierende Bader-Kategorie ist **Energie** – das System hebt Wärme von einem niedrigen auf ein höheres Temperaturniveau. Im Wärmepumpensystem sind alle drei Bader-Kategorien relevant: Energie dominiert, Stoff tritt als Trinkwasser auf, und Information steuert den Prozess.

Die vier Teilfunktionen des Kältekreises (Verdampfen, Verdichten, Kondensieren, Entspannen) bilden einen geschlossenen thermodynamischen Kreisprozess, bei dem das Kältemittel als internes Arbeitsmedium zirkuliert. Dieses zyklische Prinzip unterscheidet die Wärmepumpe strukturell von linearen Energiewandlungssystemen und ist didaktisch besonders wertvoll.

Bedeutung für berufliches Handeln

Die Systemanalyse liefert Erkenntnisse, die unmittelbar für das berufliche Handeln von Elektronikern FR Energie- und Gebäudetechnik relevant sind:

Systematische Fehlersuche: Die Zerlegung in Funktionseinheiten ermöglicht eine strukturierte Fehlereingrenzung. Heizt die Wärmepumpe nicht, lässt sich der Fehler systematisch eingrenzen: Läuft der Verdichter? (Elektrik) → Baut sich Druck auf? (Kältekreis: HD-/ND-Messung) → Wird Wärme ans Heizwasser abgegeben? (Hydraulik: Vorlauftemperatur) → Stimmen die Sollwerte? (Regelung: Heizkurve). Diese Vorgehensweise entspricht dem in LF 6 geforderten systematischen Analysieren und Prüfen.

Regelungstechnik: Die drei Regelkreise (Vorlauftemperatur, Warmwasser, Abtauung) zeigen exemplarisch, wie Regelungstechnik in realen Systemen zusammenwirkt. Der witterungsgeführte Vorlauftemperaturregler mit Heizkurve ist ein Anwendungsfall, der direkt im Rahmenlehrplan (LF 3, LF 7) verankert ist.

Sensorik und Messtechnik: Die Zuordnung von Sensoren zu Messgrößen (Temperatur → NTC/PT1000, Druck → piezoresistiv, Durchfluss → Flügelrad) verdeutlicht die in LF 3 LS 2 (ISB 2022, S. 36) geforderte Kompetenz, Sensoren auszuwählen und einzustellen.

Ausfallverhalten als Prüfgegenstand: Das parametrisierte Verhalten bei Netzausfall, Kommunikationsverlust oder Sensorfehler (z. B. Verdichtersperre, Fallback-Sollwerte, Frostschutzbetrieb) ist eine zentrale Zustandsgröße. Für das berufliche Handeln bedeutet das, dass Inbetriebnahme und Wartung immer auch die Prüfung der Fail-Safe-Parameter und der dokumentierten Alarm-/Fallback-Strategien umfassen.

IT-Sicherheit als Anlagenaufgabe: Durch Bus-/IP- und Cloud-Anbindung entstehen Angriffsflächen (schwache Passwörter, offene Fernzugriffe, veraltete Firmware). Relevante Maßnahmen sind starke individuelle Zugangsdaten, rollenbasierte Rechte, getrennte Netzsegmente für TGA-Anlagen, regelmäßige Firmware-Updates und Protokollierung sicherheitsrelevanter Ereignisse.

Angemessenheit der Analysetiefe

Die Zerlegung auf vier Ebenen erweist sich als angemessen für die Zielgruppe. Sie reicht bis zu den Funktionselementen, die der Elektroniker bei Installation, Inbetriebnahme und Fehlersuche handhaben muss (Verdichter, Sensoren, Frequenzumrichter, Schutzgeräte). Eine tiefere Zerlegung – etwa in die Thermodynamik des Kältemittels auf molekularer Ebene oder die Regelungstechnik des PID-Reglers im Detail – wäre für Kälteanlagenbauer relevant, übersteigt jedoch die Kompetenzen des Elektronikers FR EGT (vgl. Pahl, 2016a, S. 37).

Übertragbarkeit der Analysemethodik

Die an der Luft-Wasser-Wärmepumpe durchgeführte Analysemethodik nach Bader ist auf strukturell ähnliche Systeme übertragbar. Die vier Teilfunktionen des Kältekreis (Verdampfen, Verdichten, Kondensieren, Entspannen) sind identisch bei Sole-Wasser- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen – es ändert sich lediglich die Wärmequelle. Ebenso lässt sich die Methodik auf Klimaanlage (umgekehrter Kreisprozess) und Kälteanlagen anwenden. Bader (1991, S. 452) betont gerade diese Übertragbarkeit als zentralen didaktischen Wert der Systemanalyse.

3. Arbeitsplan

Der Arbeitsauftrag fordert als Handlungsergebnis einen „vollständigen und ausdefinierten Arbeitsplan“ (Arbeitsauftrag, Abschnitt 1). Der folgende Plan gliedert die Erarbeitung der Systemanalyse in Arbeitspakete, die sich am Analyseschema nach Bader (1991, S. 452) orientieren.

3.1 Arbeitspakete

AP	Arbeitsschritt	Handlungsprodukt	Termin	Status
1	Literaturstudium: Bader (1991), Pahl (2016a), Jennewein/Pahl (2016b, Heft 124) lesen und Analyse-schema herausarbeiten	Exzerpt mit den Schritten des Analyseschemas und den Kategorien Stoff/Energie/Information	05.02.2026	✓
2	Rahmenlehrplan sichten: Lernfelder identifizieren, die das gewählte System adressiert; Lernfeldmatrizen (ISB 2022) auswerten	Liste der relevanten Lernfelder mit konkreten Bezügen	05.02.2026	✓
3	Systemauswahl treffen und begründen: System festlegen, Eignung für Bader/Pahl prüfen, Unterrichtsrelevanz und didaktische Begründung ausformulieren	Kapitel 1 (Abschnitte 1.1–1.4) als Fließtext mit Literaturbelegen	07.02.2026	✓
4	Systemzweck und Systemgrenzen festlegen (Bader-Schritte 1–2): Zweck formulieren, Hauptfunktion ableiten, Grenzentscheidungen begründen	Abschnitte 2.1 und 2.2 mit Systemgrenzdiagramm und Begründungstabelle	09.02.2026	✓
5	Ein-/Ausgangsgrößen ermitteln (Bader-Schritt 3): Größen nach Stoff/Energie/Information kategorisieren	Abschnitt 2.3 mit Ein-/Ausgangs- und Zustandsgrößentabellen	09.02.2026	✓
6	Systemfunktionen beschreiben (Bader-Schritte 4–5): Hauptfunktion → Teilfunktionen → Grundfunktionen zuordnen	Abschnitt 2.4 mit Teilfunktions- und Grundfunktionstabelle	10.02.2026	✓
7	Subsysteme konkretisieren (Bader-Schritt 6): Rekursive Zerlegung in vier Ebenen, Funktionseinheiten beschreiben	Abschnitt 2.5 mit Zerlegungsdiagramm und vier Funktionseinheit-Tabellen	11.02.2026	✓
8	Systemstruktur analysieren (Bader-Schritt 7): Architektur, Kreisprozess, Regelkreise visualisieren	Abschnitt 2.6 mit Architekturdiagramm, log p-h-Diagramm und Regelkreisen	12.02.2026	✓
9	Analyseergebnisse reflektieren (Bader-Schritt 8): Rückbezug auf berufliches Handeln, Analysetiefe bewerten	Abschnitt 2.7 als Reflexionstext nach Pahl (2016a, S. 37)	12.02.2026	✓
10	Qualitätssicherung: Gesamtdokument prüfen, Konsistenz sicherstellen, Quellen abgleichen	Überarbeitetes Gesamtdokument	14.02.2026	✓

AP	Arbeitsschritt	Handlungsprodukt	Termin	Status
11	Präsentation erstellen: Kernaussagen auf Folien verdichten, Zeitplanung für 45 Minuten	Foliensatz mit Gliederung nach Baders Analyseschritten	17.02.2026	<input type="checkbox"/>
12	Probelauf und Überarbeitung: Präsentation durchsprechen, Zeitbedarf prüfen	Überarbeiteter Foliensatz, Moderationsnotizen	18.02.2026	<input type="checkbox"/>
13	Präsentation im Seminar	Vorstellung der Systemanalyse (max. 45 Min.)	19.02.2026	<input type="checkbox"/>

3.2 Gliederung der Präsentation (max. 45 Minuten)

Block	Inhalt	Dauer
1	Systemvorstellung und Begründung: Warum Luft-Wasser-Wärmepumpe? Unterrichtsrelevanz, Eignung nach Bader/Pahl	ca. 8 Min.
2	Systemzweck und Systemgrenzen: Kaltdampf-Kompressionsprozess, begründete Grenzzentscheidungen	ca. 5 Min.
3	Ein-/Ausgangsgrößen: Alle drei Bader-Kategorien (Stoff, Energie, Information), Kältemittel als Sonderfall	ca. 5 Min.
4	Systemfunktionen: Verdampfen → Verdichten → Kondensieren → Entspannen, Grundfunktionen	ca. 7 Min.
5	Rekursive Zerlegung: Vier-Ebenen-Diagramm, Funktionseinheiten (Kältekreis, Hydraulik, Regelung, Elektrik)	ca. 8 Min.
6	Systemstruktur: Architektur Außen-/Inneneinheit, log p-h-Diagramm, Regelkreise	ca. 5 Min.
7	Reflexion: Bedeutung für berufliches Handeln, Übertragbarkeit auf andere WP-Typen	ca. 5 Min.
8	Rückfragen und Diskussion	ca. 2 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.
- Jenewein, K./Pahl, J.-P. (2016b): Analyse technischer Systeme. In: lernen & lehren, Heft 124, S. 138–145.
- KMK (2021): Rahmenlehrplan Elektroniker/in FR Energie- und Gebäudetechnik.
- ISB Bayern (2022): Umsetzungshilfe für den Ausbildungsberuf Elektroniker/in FR Energie- und Gebäudetechnik.
- Pahl, J.-P. (2016a): Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren. 5. Auflage. Bielefeld.