

Systemanalyse: Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher

Gruppe: Max, Musterman, Kollegen

Datum: 05.02.2026 **Präsentation:** 19.02.2026

Inhaltsverzeichnis

Systemanalyse: Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher	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	4
1.4 Didaktische Begründung	5
2. Systemanalyse nach Bader/Pahl	6
2.1 Ermittlung des Systemzwecks	6
2.2 Festlegung der Systemgrenzen	7
2.3 Ermittlung der Eingangs-, Ausgangs- und Zustandsgrößen	8
2.4 Beschreibung der Systemfunktionen	9
2.5 Konkretisierung der Systembestandteile (Subsysteme)	11
2.6 Analyse der Systemstruktur (Anordnungs- und Beziehungsgefüge)	13
2.7 Analyseergebnisse reflektieren	16
3. Arbeitsplan	17
3.1 Arbeitspakete	17
3.2 Gliederung der Präsentation (max. 45 Minuten)	19
4. Quellen	19

1. Systemauswahl und fachliche Begründung

1.1 Gewähltes System

Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher für ein Einfamilienhaus, bestehend aus PV-Modulen, Wechselrichter, Batteriespeicher und Energiemanagementsystem.

Die PV-Anlage mit Speicher wurde gewählt, weil sie ein **Energiewandlungssystem** mit besonderer Komplexität darstellt: Sie vereint Gleichstrom- und Wechselstromtechnik, Leistungselektronik und Regelungstechnik in einem zusammenhängenden System. Für Elektroniker/innen FR Energie- und Gebäudetechnik ist die Planung und Installation von PV-Anlagen ein wachsendes Kerngeschäft, das im Rahmenlehrplan insbesondere über LF 5 (Elektroenergieversorgung) und LF 8 (Energiewandlungssysteme) adressiert wird.

1.2 Eignung für die Systemanalyse nach Bader/Pahl

Ein System wird nach Bader (1991, S. 445f.) bestimmt durch seine Abgrenzung von der Umwelt, seine Eingangs- und Ausgangsgrößen, die Funktionen zwischen diesen Größen, seine Subsysteme und deren Struktur als Beziehungsgefüge. Die PV-Anlage mit Batteriespeicher eignet sich besonders gut für eine solche Analyse:

Kriterium nach Bader/Pahl	Eignung der PV-Anlage mit Speicher
Systemgrenze definierbar	Das System lässt sich physisch klar abgrenzen: Es beginnt am PV-Modul (Energieeintritt durch Solarstrahlung) und endet am Netzanschlusspunkt bzw. an den Verbraucherstromkreisen. Die Sonne, das öffentliche Stromnetz und die Gebäudelast gehören zur Systemumwelt.
Ein-/Ausgangsgrößen identifizierbar	Die Eingangsgrößen lassen sich den Kategorien nach Bader zuordnen: Energie dominiert (Solarstrahlung, Netzspannung, Umgebungstemperatur), ergänzt durch Information (Steuersignale Netzbetreiber, Benutzervorgaben). Stoff spielt keine Rolle – das System verarbeitet ausschließlich Energie und Information, was es von verbrennungstechnischen Energiewandlern unterscheidet und bei der Analyse bewusst festzuhalten ist. Ausgangsgrößen sind Energie (Netzeinspeisung, Verbraucherversorgung, Wärmeverluste) und Information (Ertragsdaten, Statusmeldungen). Auch Zustandsgrößen (Ladestatus Batterie, Betriebsmodus, Modultemperatur) sind physikalisch messbar.
Rekursive Zerlegung in Subsysteme	Bader beschreibt die Systemzerlegung als rekursiven Prozess beliebiger Tiefe: Hauptfunktion → Teilfunktionen → Grundfunktionen → Funktionselemente, wobei „praktisch beliebig viele hierarchische Untergliederungen der Systemfunktionen und der Subsysteme“ möglich sind (Bader, 1991, S. 455). Die PV-Anlage eignet sich hierfür besonders, da die Subsysteme (PV-Generator, Hybrid-Wechselrichter, Batteriespeicher, Schutz/Monitoring) jeweils eigene Teilfunktionen erfüllen, die sich weiter zerlegen lassen: z. B. PV-Generator → Strings → Module → Zellen, oder Wechselrichter → DC-Eingangsseite → MPP-Tracker → Brückenschaltung → AC-Ausgangsfilter. Für die vorliegende Analyse wird die Zerlegungstiefe so gewählt, dass sie bis zur Ebene der für den Elektroniker relevanten Funktionselemente reicht (z. B. Modul, MPP-Tracker, Batteriemodul, Energiezähler), nicht jedoch bis zur Halbleiterphysik der Solarzelle. Diese Begrenzung orientiert sich an den im Rahmenlehrplan adressierten Kompetenzen und der erforder-

Kriterium nach Bader/Pahl	Eignung der PV-Anlage mit Speicher
Hauptfunktion und Teilfunktionen trennbar	<p>derlichen Analysetiefe für Installations- und Wartungsaufgaben (vgl. Pahl, 2016a, S. 37).</p> <p>Die Hauptfunktion (Wandlung von Solarenergie in nutzbare elektrische Energie) lässt sich systematisch in die Teilfunktionen Erzeugen, Anpassen (MPP), Wandeln, Speichern, Verteilen, Messen, Schützen und Überwachen zerlegen. Die Zuordnung zu Baders Kategorien zeigt ein für elektrotechnische Systeme typisches Profil: Energie dominiert (Solarstrahlung → Gleichstrom → Wechselstrom), Information steuert den Energiefluss (Wechselrichter-Regelung, Lademanagement), und das bewusste Fehlen relevanter Stoffströme grenzt die PV-Anlage von verbrennungs- oder verfahrenstechnischen Systemen ab.</p>
Für Lernende zugänglich	<p>PV-Anlagen sind alltäglich sichtbar, messbare Größen (Spannung, Strom, Leistung, Ertrag) sind mit vorhandenem Schulequipment erfassbar. Die Umsetzungshilfe (ISB 2022) nennt in LF 5 explizit die „Dimensionierung einer PV-Anlage“ als Lernsituation. Das System verbindet Abstraktes (Energieflussdiagramm) mit konkret Erfahrbarem (Ertragsmessung bei Sonnenschein).</p>

1.3 Begründung der Unterrichtsrelevanz anhand des Rahmenlehrplans

Die PV-Anlage mit Batteriespeicher adressiert Kompetenzen aus mehreren Lernfeldern des Rahmenlehrplans für Elektroniker/in FR Energie- und Gebäudetechnik. Im Folgenden werden die Bezüge anhand konkreter beruflicher Handlungen und Wissensbereiche aus den Lernfeldmatrizen (ISB 2022) begründet:

LF 5 – Elektroenergieversorgung und Sicherheit von Anlagen und Geräten konzipieren (84 Std.)

Die Lernfeldmatrix fordert als Sachwissen u.a. die Kenntnis von Verteilernetz, Erzeugern, Leitungen und Verbrauchern sowie Wechsel- und Drehstromsystemen (LF 5-1). Das Prozesswissen umfasst die „softwaregestützte Planung der Energieverteilung“ und die „Dimensionierung von Leitungen für Wechsel- und Drehstromsysteme“. Die PV-Anlage erfordert genau diese Kompetenzen: Die DC-Leitungsdimensionierung der Strings, die AC-seitige Anbindung an die Verteilung und das Schutzkonzept (RCD, Überspannungsschutz, DC-Freischalter) nach DIN-VDE bilden den Kern von LF 5. Die Umsetzungshilfe nennt explizit die „Dimensionierung einer PV-Anlage“ als Lernsituation 3 in diesem Lernfeld (ISB 2022, S. 47).

LF 8 – Energiewandlungssysteme auswählen und integrieren (72 Std.) LF 8 ist das zentrale Lernfeld für die PV-Anlage. Die Zielformulierung fordert die Kompetenz, „Energiewandlungssysteme auszuwählen und zu integrieren“. Die Lernfeldmatrix verlangt als Sachwissen die Kenntnis von Sicherheitsaspekten (Motorschutz, Anlass- und Bremsverfahren) sowie als Prozesswissen die „Installation und Bemessung von Schutzeinrichtungen“ und die „Parametrierung von Antriebssystemen“ (LF 8-1 bis 8-4). Obwohl die Matrix primär auf Antriebstechnik ausgerichtet ist, betont die Zielformulierung explizit die Auswahl und Integration von Energiewandlungssystemen im weiteren Sinne. Der Wechselrichter als leistungselektronischer Energiewandler (DC→AC) und der Batteriespeicher als Energiespeichersystem erweitern hier das Spektrum über die klassische Antriebstechnik hinaus.

LF 6 – Elektrotechnische Systeme analysieren und prüfen (60 Std.) Die Inbetriebnahme einer PV-Anlage erfordert systematische Prüfungen, wie sie in LF 6 gefordert werden: Sichtprüfung, Isolationswiderstandsmessung, Schleifenimpedanzmessung, Funktionsprüfung und Erstellung eines Prüfprotokolls (LF 6-1). Die Fehlersuche an PV-Strings (Stringmessung, Kennlinienanalyse, Thermografie) vertieft die in LF 6-3 geforderte Kompetenz zur Fehlerquellensuche an Sensoren und Aktoren. Das Reflexionswissen zu „Fehlerarten, Fehlerursachen und Fehlern in Energie- und Informationsflüssen“ (LF 6-3) lässt sich am Beispiel einer PV-Anlage besonders anschaulich vermitteln.

LF 1 – Elektrotechnische Systeme analysieren, Funktionen prüfen und Fehler beheben (84 Std.) Bereits im ersten Lernfeld wird die Fähigkeit gefordert, „elektrotechnische Systeme auf der Anlagen-, Geräte-, Baugruppen- und Bauelementebene zu analysieren“ und „Wirkungszusammenhänge zwischen den einzelnen Ebenen“ zu verstehen (Zielformulierung LF 1). Die Lernfeldmatrix konkretisiert dies u.a. durch die „Zerlegung elektrischer Systeme in ihre Komponenten“ und die „Benennung von Hauptfunktion von elektrischen Systemen“ (LF 1-2). Die PV-Anlage ist ein idealer Gegenstand für diese Grundkompetenz, da sich an ihr die Systematik der Systemanalyse nach Bader/Pahl erstmals exemplarisch einüben lässt.

1.4 Didaktische Begründung

Aktualität und berufliche Relevanz

Die Photovoltaik ist eine Schlüsseltechnologie der Energiewende. Das Gebäudeenergiegesetz (GEG) und das EEG schaffen einen regulatorischen Rahmen, der die Nachfrage nach PV-Anlagen mit Speicher kontinuierlich steigert. Für Elektroniker/innen FR Energie- und Gebäudetechnik bedeutet dies: Die Planung, Installation und Inbetriebnahme von PV-Anlagen entwickelt sich vom Spezialgebiet zum regulären Bestandteil des Berufsalltags. Die Umsetzungshilfe (ISB 2022, S. 6) betont, dass die Energiewende zu den zentralen Faktoren gehört, die das Elektrohandwerk verändern, und fordert entsprechende Qualifikationen der Fachkräfte.

Exemplarität im Sinne der Systemdidaktik

Die PV-Anlage mit Speicher eignet sich als exemplarisches System im Sinne Baders, weil an ihr die Kategorien der Systemanalyse – Stoff, Energie, Information – besonders klar unterscheidbar sind. Bader (1991, S. 446) beschreibt, dass sich Eingangs- und Ausgangsgrößen technischer Systeme in diesen Kategorien beschreiben lassen. Bei der PV-Anlage tritt Energie als dominante Kategorie auf (Solarstrahlung → Gleichstrom → Wechselstrom), wird aber durch Information gesteuert (Wechselrichter-Regelung, Lademanagement, Einspeisesteuerung). Die erworbenen Analysefähigkeiten sind auf andere Energiewandlungssysteme (Wärmepumpe, Brennstoffzelle, Windenergie) übertragbar.

Handlungsorientierung

Am System PV-Anlage lässt sich die vollständige Handlungskette des Elektrohandwerks abbilden: Kundenberatung und Bedarfsermittlung → Anlagendimensionierung → Komponentenauswahl → Installation und Verdrahtung → Inbetriebnahme mit Prüfprotokoll → Netzanmeldung → Kundeneinweisung. Dies entspricht der in der Umsetzungshilfe (ISB 2022, S. 15ff.) geforderten Handlungssystematik. Die Ergebnisse der Systemanalyse – insbesondere das Verständnis der Energieflüsse und Funktionszusammenhänge – bilden dabei die Grundlage für kompetentes berufliches Handeln (vgl. Bader 1991, S. 452).

Gesellschaftliche Relevanz

Über die fachliche Dimension hinaus ermöglicht die PV-Anlage die Auseinandersetzung mit gesellschaftlichen Fragestellungen: Klimaschutz, Energieautarkie, Wirtschaftlichkeit und Förderpolitik. Dies adressiert die in der Umsetzungshilfe (ISB 2022, S. 9) geforderte Entwicklung beruflicher Handlungskompetenz in den Dimensionen Fach-, Selbst- und Sozialkompetenz. Die Lernfeldmatrix LF 5-1 nennt als Reflexionswissen explizit die „umweltverträgliche Planung“ und die „Wirtschaftlichkeit der Investition“.

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 PV-Anlage mit Batteriespeicher hat den Zweck, Strahlungsenergie der Sonne in nutzbare elektrische Energie umzuwandeln und diese bedarfsgerecht für den Eigenverbrauch, die Zwischenspeicherung oder die Netzeinspeisung bereitzustellen. Damit ersetzt oder ergänzt sie den konventionellen Strombezug aus dem öffentlichen Netz und ermöglicht dem Anlagenbetreiber eine teilweise bis weitgehende Energieautarkie.

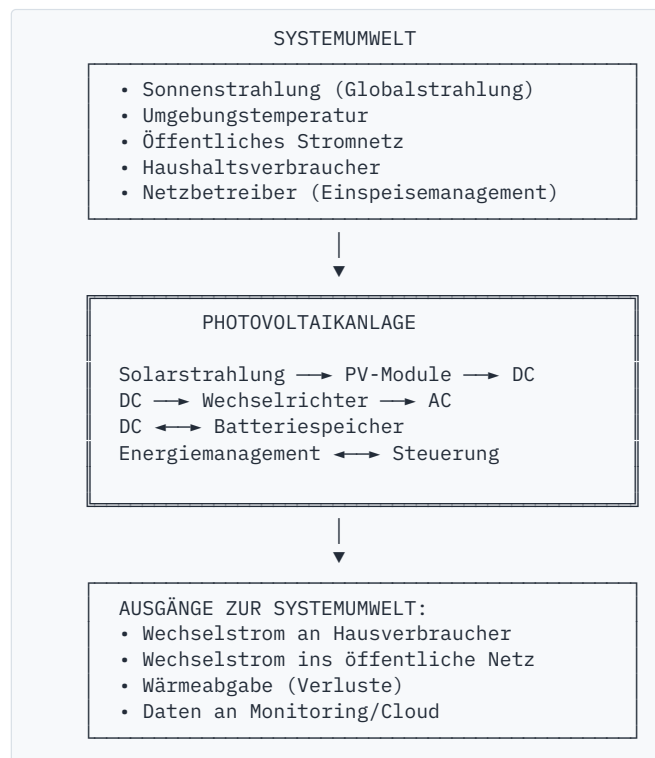
Aus diesem Zweck leitet sich die **Hauptfunktion** des Systems ab: Die Wandlung von Solarstrahlung in elektrische Wechselstromenergie mit Zwischenspeicherung in einem elektrochemischen Speicher. Das System ist damit primär ein **Energiewandlungssystem** — es wandelt Strahlungsenergie über den Umweg Gleichstrom in netzkonformen Wechselstrom und puffert Erzeugungsüberschüsse chemisch. Die Informationsverarbeitung (Wechselrichterregelung, Energiemanagement) dient der Steuerung dieses Energieflusses, ist aber nicht der Systemzweck selbst.

Die konkreten Zielstellungen, die der Systemzweck im Betrieb adressiert:

Zielstellung	Umsetzung durch das System
Energieautarkie	Eigenverbrauchsoptimierung durch Batteriespeicher und Lastverschiebung; Reduktion des Netzbezugs auf Zeiten ohne Erzeugung und leeren Speicher
Wirtschaftlichkeit	Vermiedener Strombezug (ca. 30 ct/kWh) übersteigt langfristig die Investitionskosten; Einspeisevergütung als zusätzliche Einnahme
Versorgungssicherheit	Notstromfähigkeit (Inselbetrieb) bei Netzausfall durch Batteriespeicher und PV-Erzeugung

2.2 Festlegung der Systemgrenzen

Systemgrenzen der Photovoltaikanlage



Begründung der Grenzziehung

Die Festlegung der Systemgrenze ist nach Bader (1991, S. 452) eine bewusste Entscheidung, die den Analysegegenstand definiert. Für die PV-Anlage mit Batteriespeicher wurden folgende Abgrenzungen getroffen:

Grenzentscheidung	Begründung
Sonne (Globalstrahlung) → Systemumwelt	Die Solarstrahlung ist die Energiequelle, aber nicht Teil des Systems. Sie ist eine Eingangsgröße der Kategorie Energie, vergleichbar mit dem Brennstoff bei einer thermischen Anlage.
Öffentliches Stromnetz → Systemumwelt	Das Netz ist die externe Infrastruktur, in die eingespeist oder aus der bezogen wird. Das System endet am Einspeisepunkt (Zähler). Der Netzanschluss bildet die bidirektionale Schnittstelle zur Systemumwelt.
Haushaltsverbraucher → Systemumwelt	Die Verbraucher sind austauschbar und funktionieren unabhängig von der PV-Anlage — sie können ebenso aus dem Netz versorgt werden. Sie sind Empfänger der Ausgangsgröße Energie.
Gebäude/Dachfläche → Systemumwelt	Das Gebäude stellt die Montagefläche und die mechanische Tragstruktur bereit, ist aber kein funktionaler Bestandteil der Energiewandlung.
Netzbetreiber → Systemumwelt	Der Netzbetreiber sendet Steuersignale (Einspeisebegrenzung nach §9 EEG) und empfängt Messdaten — er ist damit Sender und Empfänger von Informationsgrößen.

Diese Grenzziehung folgt dem Kriterium der **funktionalen Zugehörigkeit**: Zum System gehört, was an der Wandlung von Solarstrahlung in nutzbare elektrische Energie und deren Speicherung beteiligt

ist. Alles, was vor dem PV-Modul (Strahlung) oder nach dem Einspeisepunkt/Verbraucheranschluss liegt, ist Systemumwelt.

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. Die PV-Anlage ist ein **Energiewandlungssystem**, bei dem die Kategorie Energie dominiert. Stoffströme spielen im Normalbetrieb keine Rolle — das System transportiert weder Material noch setzt es Stoffe chemisch um (vgl. Abschnitt 1.2).

Eingangsgrößen

Kategorie (Bader)	Eingangsgröße	Physikalische Größe
Stoff	—	Keine Stoffströme. Das System verarbeitet ausschließlich Energie und Information.
Energie	Globalstrahlung	0–1.000 W/m ²
Energie	Netzspannung (bei Netzbezug)	230/400 V AC, 50 Hz
Energie	Umgebungstemperatur	–20 bis +40 °C (beeinflusst Modulleistung über Temperaturkoeffizient)
Information	Steuersignal Netzbetreiber	Einspeisebegrenzung (§9 EEG)
Information	Benutzervorgaben	Lademodi, Schwellwerte, Zeitprogramme

Die Zuordnung der **Umgebungstemperatur** ist fachlich diskutierbar: Als physikalische Randbedingung wird sie hier der Kategorie **Energie** zugeordnet, weil sie direkt auf die Modultemperatur und damit auf den Energieertrag wirkt. Sobald die Temperatur über Sensorik erfasst und zur Betriebsoptimierung verwendet wird, liegt zusätzlich ein Informationsfluss vor (Messwert an Regler/EMS).

Ausgangsgrößen

Kategorie (Bader)	Ausgangsgröße	Physikalische Größe
Stoff	—	Keine Stoffströme
Energie	AC-Leistung Eigenverbrauch	0–10 kW
Energie	AC-Leistung Netzeinspeisung	0–10 kW
Energie	Wärmeverluste (Wandlung, Speicherung)	ca. 5–10 % der Nennleistung
Information	Ertragsdaten	kWh (momentan, kumuliert)
Information	Statusmeldungen	Betrieb / Störung / Wartung
Information	Messwerte (Monitoring)	Spannung, Strom, Leistung, Frequenz

Zustandsgrößen

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

Zustandsgröße	Beschreibung
Betriebsmodus	Einspeisen / Laden / Entladen / Standby / Inselbetrieb
MPP-Arbeitspunkt	Aktuelle Spannung und Strom am optimalen Betriebspunkt (250–800 V DC)
Modultemperatur	Aktuelle Temperatur der PV-Module (–20 bis +80 °C), bestimmt über Temperaturkoeffizient die Modulleistung
Batterieladestand (SOC)	State of Charge (0–100 %)
Wechselrichter-Temperatur	Interne Temperatur, relevant für Leistungsreduktion (Derating)
Netzstatus	Verbunden / Getrennt / Inselbetrieb
Parametriertes Ausfallverhalten	Verhalten bei Netzausfall/Kommunikationsverlust, z. B. Ersatzstrom aktivieren, auf 0 %-Einspeisung begrenzen, batterieerhaltender Notbetrieb

2.4 Beschreibung der Systemfunktionen

Hauptfunktion

Aus dem Systemzweck (Abschnitt 2.1) ergibt sich die Hauptfunktion: **Wandlung von Solarstrahlung in netzkonformen Wechselstrom** mit Zwischenspeicherung in einem elektrochemischen Speicher und bedarfsgerechter Verteilung an Eigenverbrauch oder Netzeinspeisung.

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

Teilfunktionen

Teilfunktion	Beschreibung	Kategorientransformation (nach Bader)
Erzeugen (PV)	PV-Module wandeln Solarstrahlung über den photovoltaischen Effekt in Gleichstrom	Energie (Strahlung) → Energie (DC)
Anpassen (MPP)	MPP-Tracker optimiert den Arbeitspunkt der Module für maximale Leistungsausbeute	Energie (DC variabel) → Energie (DC optimal)
Wandeln (DC→AC)	Wechselrichter formt Gleichstrom in netzkonformen Wechselstrom um	Energie (DC) → Energie (AC)
Speichern	Batteriespeicher puffert Erzeugungsüberschüsse elektrochemisch	Energie (elektr.) ↔ Energie (chem.)
Verteilen	Energiemanagement steuert Energieflüsse zu Eigenverbrauch, Speicher oder Netz	Energie → Energie (priorisiert)
Messen	Erfassung von Spannungen, Strömen, Leistungen und Erträgen	Energie → Information
Schützen	Überspannungs-, Überstrom- und Fehlerstromschutz; DC-Freischaltung; NA-Schutz	Energie → Unterbrechung des Energieflusses (Trennen)
Überwachen	Monitoring, Statusmeldungen, Datenaustausch mit Cloud/App	Information → Information

Grundfunktionen nach Bader

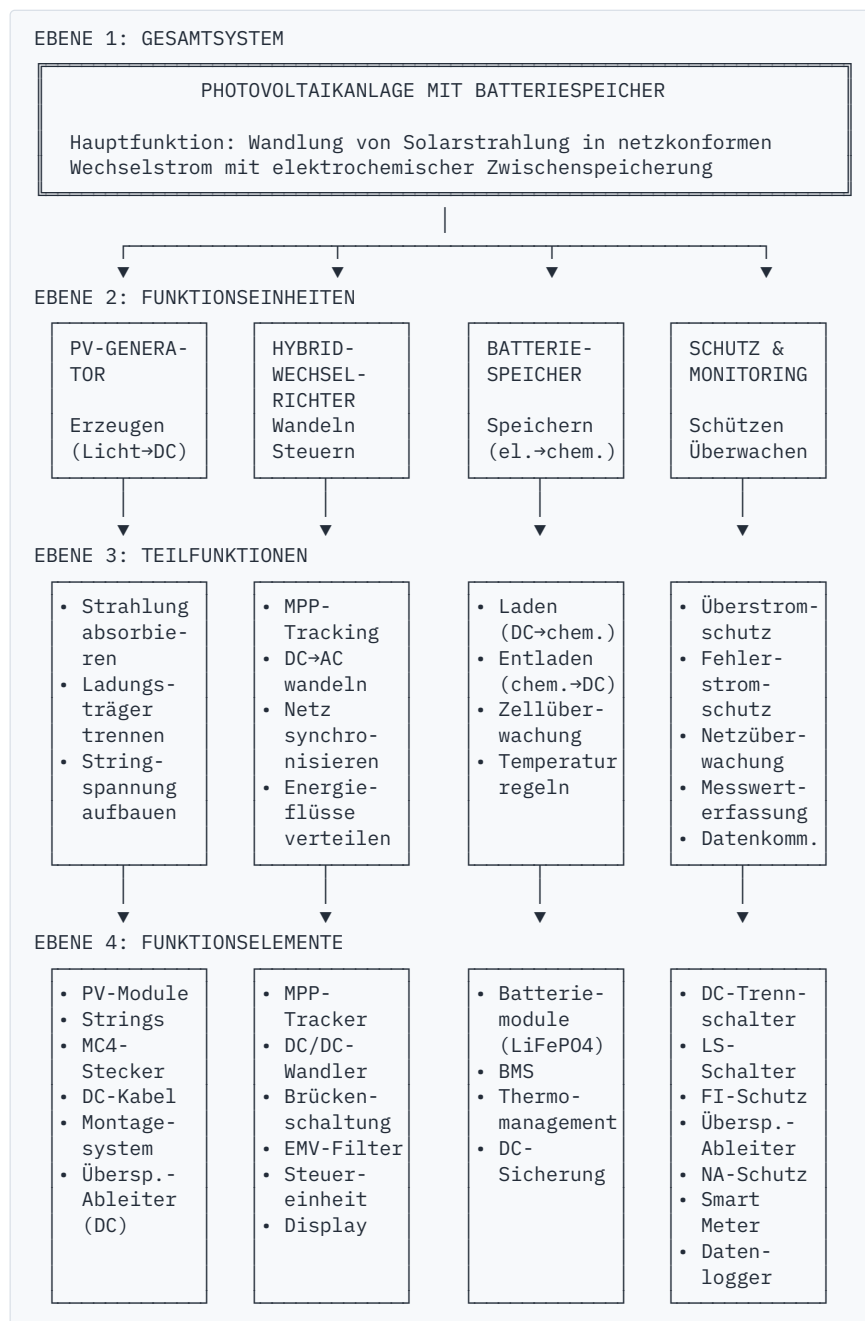
Bader (1991, S. 452) fordert die Rückführung der Teilfunktionen auf **Grundfunktionen**. Bei einem Energiewandlungssystem dominiert die Grundfunktion Wandeln:

Teilfunktion	Grundfunktion	Erläuterung
Erzeugen	Wandeln	Strahlungsenergie → elektrische Energie (DC). Die PV-Zelle wandelt Photonen in Ladungsträger (innerer Photoeffekt).
Anpassen	Wandeln	Elektrische Energie bei variablem Arbeitspunkt → elektrische Energie am optimalen Arbeitspunkt (Impedanzanpassung).
Wandeln (DC→AC)	Wandeln	Gleichstrom → Wechselstrom. Die Brückenschaltung im Wechselrichter formt die Energieform um.
Speichern	Speichern	Elektrische Energie wird elektrochemisch zeitüberdauernd gespeichert und bei Bedarf wieder als elektrische Energie bereitgestellt.
Verteilen	Koppeln	Die Energieflüsse zwischen Erzeugung, Speicher, Eigenverbrauch und Netz werden über Leistungselektronik gekoppelt. Der Hybrid-Wechselrichter ist der zentrale Koppel-punkt.
Verteilen	Verknüpfen	Das Energiemanagement verknüpft mehrere Eingangsgrößen (PV-Leistung, Verbrauch, SOC, Netzstatus, Benutzervorgaben) logisch zu Steuerungsentscheidungen (Priorisierung der Energieflüsse).
Messen	Wandeln	Physikalische Größen (Spannung, Strom) werden in digitale Messwerte gewandelt (Energie → Information).
Schützen	Trennen	Bei Fehler wird der Energiefluss unterbrochen — die Schutzfunktion trennt das System oder Teile davon von der Energieversorgung.
Überwachen	Verknüpfen	Messdaten werden aggregiert, bewertet und zu Zustands-/ Alarmmeldungen verarbeitet; die Kommunikation zur App/ Cloud ist die nachgelagerte Kopplung dieser Information.

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 die PV-Anlage wird die Zerlegung auf vier Ebenen begrenzt: Gesamtsystem → Funktionseinheiten → Teilfunktionen → Funktionselemente. Eine tiefere Zerlegung – etwa in die Halbleiterphysik der Solarzelle oder die Schaltungstechnik des Brückenwechselrichters – 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: PV-Generator

Der PV-Generator wandelt Strahlungsenergie in elektrische Gleichstromenergie. Seine Grundfunktion ist das **Wandeln**: Photonen → Ladungsträger → Gleichstrom.

Funktionselement	Teilfunktion	Eingang (Kategorie)	Ausgang (Kategorie)
PV-Modul	Photovoltaische Wandlung	Globalstrahlung (Energie)	DC-Spannung/-Strom (Energie)
String (Reihenschaltung)	Spannungserhöhung auf WR-Eingangsniveau	Modulspannung (Energie)	Stringspeisung 250–800 V DC (Energie)
DC-Verkabelung (MC4)	Energietransport zum Wechselrichter	DC-Leistung (Energie)	DC-Leistung (Energie)
Montagesystem	Mechanische Befestigung, optimale Ausrichtung	—	— (passive Komponente)
Überspannungsableiter (DC)	Schutz vor atmosphärischen Überspannungen	Überspannung (Energie)	Ableitung zur Erde (Energie)

Funktionseinheit 2: Hybrid-Wechselrichter

Der Hybrid-Wechselrichter ist der zentrale Knotenpunkt des Systems. Er vereint die Funktionen **Wandeln** (DC→AC), **Koppeln** (Energieflüsse zwischen PV, Batterie, Netz und Verbraucher) und **Verknüpfen** (Energiemanagement-Logik).

Funktionselement	Teilfunktion	Eingang (Kategorie)	Ausgang (Kategorie)
MPP-Tracker	Arbeitspunktoptimierung der PV-Module	DC variabel (Energie)	DC am MPP (Energie)
DC/DC-Wandler (Batterie)	Spannungsanpassung Batterie ↔ Zwischenkreis	Batterie-DC 48 V (Energie)	Zwischenkreis-DC (Energie)
Brückenschaltung (DC/AC)	Wechselrichtung	Zwischenkreis-DC (Energie)	AC 230/400 V (Energie)
EMV-Filter	Oberschwingungsfilterung	AC unfiltert (Energie)	AC netzkonform (Energie)
Steuereinheit	Energiemanagement, Priorisierung der Flüsse	Messwerte + Vorgaben (Information)	Steuerbefehle (Information)
Netzüberwachung (NA-Schutz)	Frequenz-/Spannungsüberwachung nach VDE-AR-N 4105	Netz-AC (Energie)	Freigabe-/Abschaltsignal (Information)

Funktionseinheit 3: Batteriespeicher

Der Batteriespeicher puffert Erzeugungsüberschüsse elektrochemisch. Seine Grundfunktion ist das **Speichern**: elektrische Energie ↔ chemische Energie.

Funktionselement	Teilfunktion	Eingang (Kategorie)	Ausgang (Kategorie)
Batteriemodule (LiFePO4)	Elektrochemische Speicherung	DC-Ladestrom (Energie)	DC-Entladestrom (Energie)
BMS (Batterie-Management-System)	Zellüberwachung, Balancing, Schutz	Zellspannungen/-temperaturen (Energie)	Steuerbefehle, Statusmeldungen (Information)
Thermomanagement	Temperaturregelung der Zellen	Zelltemperatur (Energie) + Umgebungswärme (Energie)	Kühlung/Heizung (Energie)

Funktionselement	Teilfunktion	Eingang (Kategorie)	Ausgang (Kategorie)
DC-Sicherung	Kurzschlusschutz	Überstrom (Energie)	Energiefluss unterbrochen (Trennen)

Funktionseinheit 4: Schutz und Monitoring

Diese Funktionseinheit gewährleistet den sicheren Betrieb und die Überwachung des Gesamtsystems. Ihre Grundfunktionen sind **Trennen** (Schutz) und **Wandeln** (Messwerterfassung: Energie → Information).

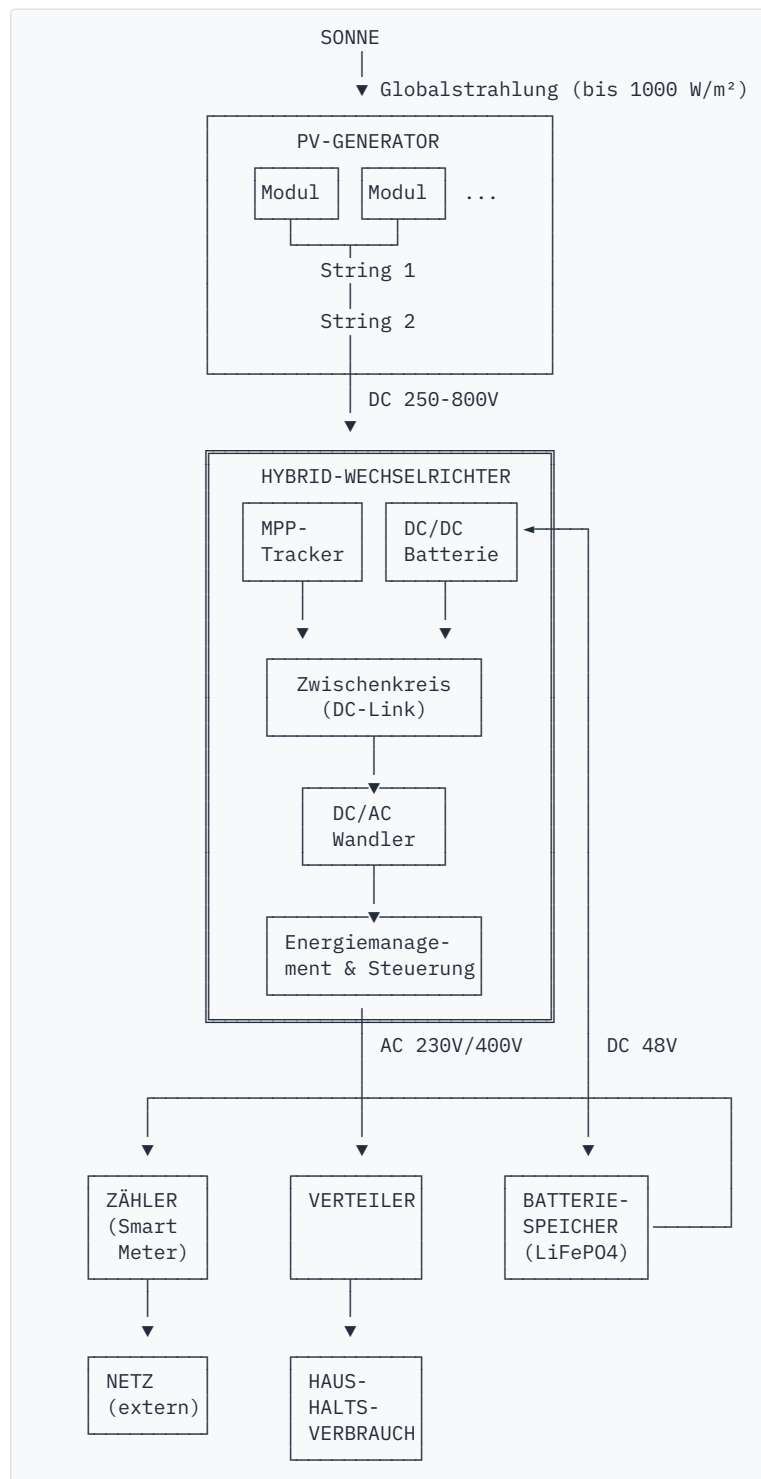
Funktionselement	Teilfunktion	Eingang (Kategorie)	Ausgang (Kategorie)
DC-Trennschalter	Freisaltung PV-Generator	DC-Leistung (Energie)	Energiefluss unterbrochen (Trennen)
Leitungsschutzschalter (AC)	Überstromschutz	Überstrom (Energie)	Energiefluss unterbrochen (Trennen)
RCD (Fehlerstrom-Schutzeinrichtung)	Fehlerstromschutz (Personenschutz)	Fehlerstrom > 30 mA (Energie)	Energiefluss unterbrochen (Trennen)
Überspannungsableiter (AC)	Schutz vor Überspannungen	Überspannung (Energie)	Ableitung (Energie)
Smart Meter / Energiezähler	Verbrauchsmessung, Einspeisemessung	Strom, Spannung (Energie)	kWh, Messdaten (Information)
Datenlogger / WLAN-Modul	Monitoring, Cloud-Anbindung	Betriebsdaten (Information)	Monitoring-Daten an App/Portal (Information)

2.6 Analyse der Systemstruktur (Anordnungs- und Beziehungsgefüge)

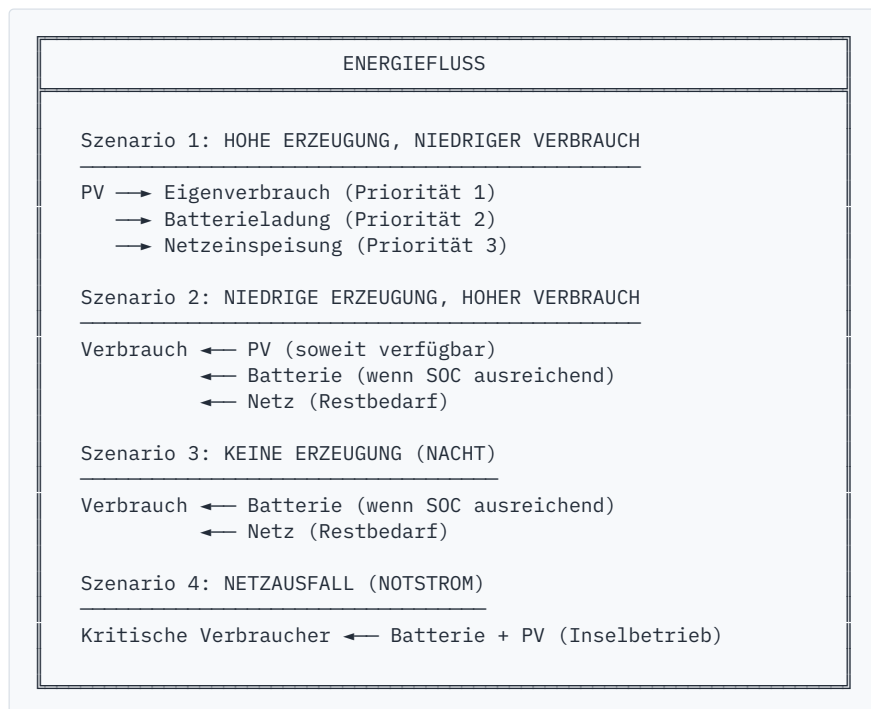
Die Systemstruktur der PV-Anlage ist durch die zentrale Stellung des Hybrid-Wechselrichters geprägt: Er bildet den Knotenpunkt, an dem alle Energieflüsse zusammenlaufen und verteilt werden. Die physische Anordnung folgt dem Energiefluss von der Erzeugung (Dach) über die Wandlung (Wechselrichter, meist Keller/Technikraum) zur Verteilung (Zählerplatz).

Als zentrale **Konfigurationsschnittstelle** dient die Parametrierung über die Wechselrichter-Bedieneinheit bzw. Hersteller-App/Webportal (lokal oder remote). Hier werden u. a. Netzanschlussparameter, Lade-/Entladestrategien, Ersatzstrommodus und Kommunikationsparameter eingestellt.

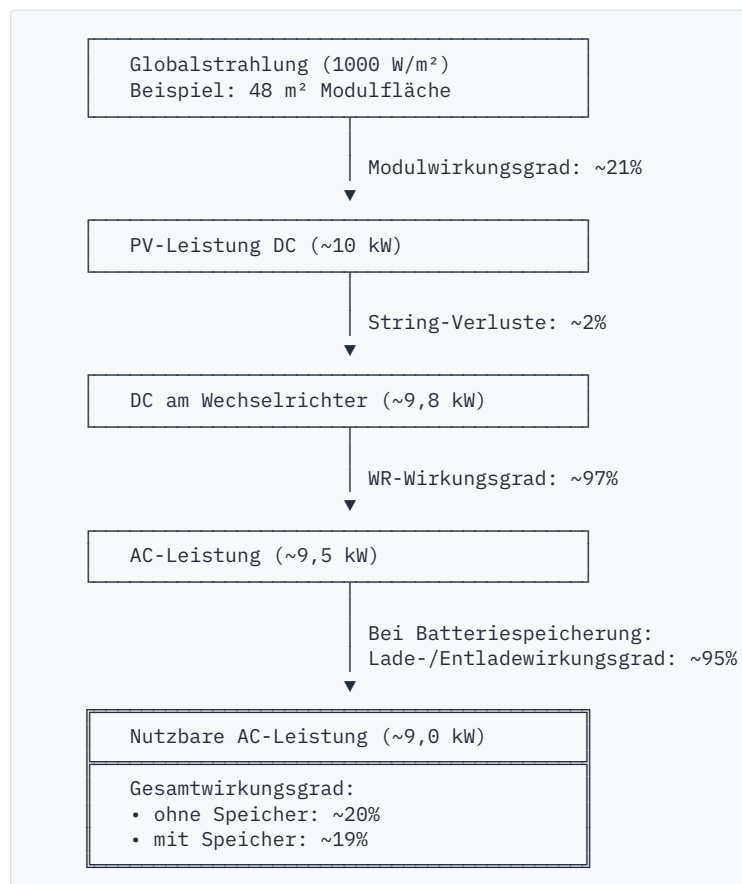
Systemarchitektur



Energieflussdiagramm



Wirkungsgradkette



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 die PV-Anlage mit Batteriespeicher ein **Energiewandlungssystem** ist, das sich in vier Funktionseinheiten gliedern lässt: PV-Generator (Erzeugen), Hybrid-Wechselrichter (Wandeln, Koppeln und Verknüpfen), Batteriespeicher (Speichern) und Schutz/Monitoring (Schützen und Überwachen). Die dominierende Bader-Kategorie ist **Energie** – das System wandelt Strahlungsenergie über mehrere Stufen in netzkonformen Wechselstrom. Stoffströme sind nicht vorhanden. Die Informationsverarbeitung (Energiemanagement, MPP-Tracking, Netzüberwachung) dient ausschließlich der Steuerung des Energieflusses.

Die zentrale Stellung des Hybrid-Wechselrichters als Koppelpunkt aller Energieflüsse (PV → Verbraucher, PV → Batterie, Batterie → Verbraucher, Netz ↔ System) ist ein wesentliches Strukturmerkmal. Es zeigt Lernenden, dass ein einzelnes Funktionselement mehrere Grundfunktionen (Wandeln, Koppeln, Verknüpfen) gleichzeitig erfüllen kann.

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 entlang des Energieflusses: Erzeugt der PV-Generator Spannung? (Stringmessung) → Arbeitet der MPP-Tracker korrekt? (Arbeitspunktvergleich) → Speist der Wechselrichter ein? (AC-Messung) → Lädt/entlädt die Batterie? (SOC-Verlauf). Diese Vorgehensweise entspricht dem in LF 6 geforderten systematischen Analysieren und Prüfen.

Planung und Dimensionierung: Die Kenntnis der Systemstruktur ist Voraussetzung für die Planung neuer PV-Anlagen. Die Zuordnung von Teilfunktionen zu Funktionselementen (z. B. „Überspannungsschutz DC-Seite“ → Überspannungsableiter Typ 2 am Generatoranschlusskasten) bildet die Grundlage für die Komponentenauswahl und das Schutzkonzept.

Inbetriebnahme und Dokumentation: Die Wirkungsgradkette (Modul → String → Wechselrichter → Netz) macht transparent, wo Verluste auftreten und welche Messwerte bei der Inbetriebnahme zu erwarten sind. Die Abweichung gemessener Werte von den Erwartungswerten ermöglicht die frühzeitige Fehlererkennung.

Ausfallverhalten als Planungs- und Prüfaufgabe: Das parametrisierte Verhalten bei Netzausfall oder Kommunikationsverlust (z. B. Ersatzstromfreigabe, sichere Trennung nach NA-Schutz, Fallback-Strategie des EMS) ist eine zentrale Zustandsgröße. Für das berufliche Handeln bedeutet dies, dass Inbetriebnahme und Wartung immer auch die Prüfung der Fail-Safe-Parameter und der dokumentierten Fallback-Betriebsarten umfassen.

IT-Sicherheit als Bestandteil der Anlagenverantwortung: Durch WLAN/LAN- und Cloud-Anbindung entstehen Angriffsflächen (unsichere Passwörter, offene Remote-Zugriffe, veraltete Firmware). Relevante Schutzmaßnahmen sind u. a. starke individuelle Zugangsdaten, Rollen-/Rechtekonzepte, getrennte Netzsegmente für Energieanlagen, regelmäßige Firmware-Updates sowie 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 Wartung handhaben muss (PV-Modul, Wechselrichter, BMS, Schutzgeräte). Eine tiefere Zerlegung – etwa in die Zellchemie des LiFePO₄-Speichers oder die Regelungstechnik des MPP-Algorithmus – wäre technisch möglich, verschiebt den Fokus jedoch von der Systemebene auf die Spezialistenebene (vgl. Pahl, 2016a, S. 37).

Übertragbarkeit der Analysemethodik

Die an der PV-Anlage durchgeführte Analysemethodik nach Bader ist auf strukturell ähnliche Energiewandlungssysteme übertragbar. Die Schritte – Systemzweck bestimmen, Grenze festlegen, Ein-/Ausgangsgrößen nach Stoff/Energie/Information kategorisieren, Funktionen identifizieren, rekursiv zerlegen – lassen sich auf andere dezentrale Erzeugungsanlagen (Kleinwindkraft, Brennstoffzelle), auf Speichersysteme (Großbatterien, Power-to-Gas) und auf Energiemanagementsysteme 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. Jedes Arbeitspaket benennt das erwartete Handlungsprodukt, damit der Arbeitsfortschritt überprüfbar ist.

3.1 Arbeitspakete

AP	Arbeitsschritt	Handlungsprodukt	Termin	Status
1	Literaturstudium: Bader (1991), Pahl (2016a), Jenein/Pahl (2016b, Heft 124) lesen und Analyseschema 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 (Sachwissen, Prozesswissen, Reflexionswissen)	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, Grenzüntscheidungen treffen und begründen	Abschnitte 2.1 und 2.2 mit Systemgrenzdiagramm und Begründungstabelle	09.02.2026	✓

AP	Arbeitsschritt	Handlungsprodukt	Termin	Status
5	Ein-/Ausgangsgrößen ermitteln (Bader-Schritt 3): Größen nach Stoff/Energie/Information kategorisieren, Zustandsgrößen definieren	Abschnitt 2.3 mit Ein-/Ausgangs- und Zustandsgrößentabellen	09.02.2026	✓
6	Systemfunktionen beschreiben (Bader-Schritte 4–5): Hauptfunktion → Teilfunktionen → Grundfunktionen (Wandeln, Speichern, Koppeln, Verknüpfen, Trennen) zuordnen	Abschnitt 2.4 mit Teilfunktions- und Grundfunktionstabelle	10.02.2026	✓
7	Subsysteme konkretisieren (Bader-Schritt 6): Rekursive Zerlegung in vier Ebenen durchführen, Funktionseinheiten mit Funktionselementen beschreiben	Abschnitt 2.5 mit Zerlegungsdiagramm und vier Funktionseinheitstabellen	11.02.2026	✓
8	Systemstruktur analysieren (Bader-Schritt 7): Energiefluss visualisieren, Wirkungsgradkette darstellen	Abschnitt 2.6 mit Architekturdiagramm, Energieflussszenarien und Wirkungsgradkette	12.02.2026	✓
9	Analyseergebnisse reflektieren (Bader-Schritt 8): Rückbezug auf berufliches Handeln, Analysetiefe bewerten, Übertragbarkeit prüfen	Abschnitt 2.7 als Reflexionstext nach Pahl (2016a, S. 37)	12.02.2026	✓
10	Qualitätssicherung: Gesamtdokument gegen Analyseschema und Literatur prüfen, Konsistenz zwischen Kapiteln sicherstellen, Quellen abgleichen	Überarbeitetes Gesamtdokument, bereinigtes Quellenverzeichnis	14.02.2026	✓
11	Präsentation erstellen: Kernaussagen je Analyseschritt auf Folien verdichten, Diagramme für Beamer aufbereiten, Zeitplanung für 45 Minuten festlegen	Foliensatz (max. 45 Minuten) mit Gliederung nach Baders Analyseschritten	17.02.2026	□
12	Probelauf und Überarbeitung: Präsentation im Team durchsprechen, Zeitbedarf prüfen, ggf. kürzen	Überarbeiteter Foliensatz, Moderationsnotizen	18.02.2026	□
13	Präsentation im Seminar	Vorstellung der Systemanalyse (max. 45 Min.)	19.02.2026	□

3.2 Gliederung der Präsentation (max. 45 Minuten)

Block	Inhalt	Dauer
1	Systemvorstellung und Begründung der Systemauswahl: Warum PV mit Speicher? Unterrichtsrelevanz (Lernfelder), Eignung nach Bader/Pahl	ca. 8 Min.
2	Systemzweck und Systemgrenzen: Was leistet das System? Wo endet es? Begründung der Grenzzentscheidungen	ca. 5 Min.
3	Ein-/Ausgangsgrößen nach Stoff/Energie/Information: Kategorisierung, Dominanz der Energie-Kategorie	ca. 5 Min.
4	Systemfunktionen: Hauptfunktion → Teilfunktionen → Grundfunktionen (Wandeln, Speichern, Koppeln, Verknüpfen, Trennen)	ca. 7 Min.
5	Rekursive Zerlegung: Vier-Ebenen-Diagramm, Funktionseinheiten (PV-Generator, Wechselrichter, Batterie, Schutz/Monitoring)	ca. 8 Min.
6	Systemstruktur: Architektur, Energieflussszenarien, Wirkungsgradkette	ca. 5 Min.
7	Reflexion: Bedeutung für berufliches Handeln, Übertragbarkeit, Angemessenheit der Analysetiefe	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.