

Zusatzmaterialien OnlinePLUS

Methodik zur Fabriksystemmodellierung im Kontext von Energie- und Ressourceneffizienz

Hendrik Hopf

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2016

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Abgrenzung des Betrachtungsbereichs.....	1
Abbildung 2:	Angewandte Wissenschaft im Theorie- und Praxisbezug nach (Ulrich 1984, S. 193) sowie verwendete Forschungsinstrumente	1
Abbildung 3:	Aufbau der Arbeit	2
Abbildung 4:	Übersicht Energieumwandlung und -anwendung nach (Konstantin 2009, S. 2)	3
Abbildung 5:	Phasenmodell des Fabrikplanungsprozesses nach (VDI 5200 Blatt 1, S. 23)	4
Abbildung 6:	Bezug zwischen Original und Modell nach (Dangelmaier 2009, S. 6), (Kastens & Büning 2008, S. 22)	5
Abbildung 7:	Phasen eines modellbasierten Erkenntnisprozesses nach (Nyhuis 2008, S. 8)	6
Abbildung 8:	Hierarchie der technischen Systeme nach (Ropohl 2009, S. 122)	7
Abbildung 9:	Blockschema eines technischen Systems nach (Ropohl 2009, S. 120), (Patzak 1982, S. 34)	8
Abbildung 10:	Struktur eines technischen Systems nach (Ropohl 2009, S. 104)	9
Abbildung 11:	Charakteristik energie-/ressourceneffizienter Fabriken	10
Abbildung 12:	Überblick zum Stand der Forschung	11
Abbildung 13:	Aufbau der Methodik FSMER	13
Abbildung 14:	Metamodell des Fabriksystems	14
Abbildung 15:	Verallgemeinertes Hierarchiemodell des Fabriksystems	15
Abbildung 16:	Verallgemeinertes Funktionsmodell des Fabriksystems	16
Abbildung 17:	Funktionstypen des Fabriksystems	17
Abbildung 18:	Mengenverhältnis zwischen Ein- und Ausgabe (Beispiel)	18
Abbildung 19:	Profil mit gemittelten Werten (Beispiel Hallenbeleuchtung)	18
Abbildung 20:	Profil aus Messwerten mit angenäherter Funktion (Beispiel Hochregallager)	19
Abbildung 21:	Systemtypen des Fabriksystems	20
Abbildung 22:	Zustandsmodell des Fabriksystems	20
Abbildung 23:	Zyklus von Zuständen (Beispiel)	21
Abbildung 24:	Profil mit Zuständen (Beispiel Transfersystem)	21
Abbildung 25:	Beschreibung mittels Zustandsdiagramm (Beispiel)	21
Abbildung 26:	Verallgemeinertes Strukturmodell des Fabriksystems	22
Abbildung 27:	Bestimmung der quantitativen Relationen (Beispiel)	23
Abbildung 28:	Energieflusssystem (Beispiel)	24
Abbildung 29:	Periphere Fabrikstruktur nach (Müller et al. 2009, S. 44), (Schenk, Wirth & Müller 2014, S. 137)	25
Abbildung 30:	Funktionale Fabrikstruktur	26
Abbildung 31:	Verallgemeinertes Prozessmodell des Fabriksystems	27

Abbildung 32:	Prozesskette mit stofflichen Relationen (Beispiel).....	28
Abbildung 33:	Nutzungsdauer nach Hierarchie- und Peripherieebenen des Fabriksystems	29
Abbildung 34:	Lebenszyklen nach Funktionsbereichen des Fabriksystems	29
Abbildung 35:	Herleitung und Anwendung des Referenzmodells	30
Abbildung 36:	Überblick Referenzmodell.....	31
Abbildung 37:	Partialmodell Funktion Fabrikssystem.....	32
Abbildung 38:	Partialmodell Struktur Fabrikssystem	33
Abbildung 39:	Partialmodell Funktion Produktionssystem.....	34
Abbildung 40:	Partialmodell Struktur Produktionssystem	35
Abbildung 41:	Partialmodell Funktion Gebäudesystem	36
Abbildung 42:	Partialmodell Struktur Gebäudesystem	37
Abbildung 43:	Partialmodell Funktion Ver- und Entsorgungssystem – Prozesstechnik	38
Abbildung 44:	Partialmodell Struktur Ver- und Entsorgungssystem – Prozesstechnik	39
Abbildung 45:	Partialmodell Funktion Ver- und Entsorgungssystem – Haustechnik.....	40
Abbildung 46:	Partialmodell Struktur Ver- und Entsorgungssystem – Haustechnik.....	41
Abbildung 47:	Vorgehensmodell zur Modellierung des Fabriksystems	42
Abbildung 48:	Zielgrößen für die Energie- und Ressourceneffizienz von Fabrikssystemen	43
Abbildung 49:	Quantitatives Funktionsmodell (Beispiel Transfersystem).....	43
Abbildung 50:	Zusammenhang von Funktionen und Gegenständen eines Systems (Beispiel).....	44
Abbildung 51:	Diagrammarten zur Auswertung	46
Abbildung 52:	Stoff- und Energieportfolio nach (Thiede 2012, S. 137)	47
Abbildung 53:	Darstellung der Wirkbeziehungen auf Basis strukturaler Relationen (Beispiel)	47
Abbildung 54:	Übersicht der Gegenstände	49
Abbildung 55:	Qualitative Aufbaustruktur der Wärmeversorgung Haustechnik	50
Abbildung 56:	Qualitative Ablaufstruktur des Fertigungsprozesses	51
Abbildung 57:	Leistungs- und mengenbezogene Funktionsmodelle einer Fertigungsanlage	52
Abbildung 58:	Analysierte und bewertete Fertigungslinie (Ausschnitt).....	53
Abbildung 59:	Gegenüberstellung von Systemen und Gegenständen einer Fertigungslinie	54
Abbildung 60:	Pareto-Diagramm für die Elektroenergie einer Fertigungslinie	54
Abbildung 61:	Energiekreisläufe mit Energierückgewinnung im Kältesystem Prozesstechnik	55
Abbildung 62:	Prototypische Umsetzung in einem Programm für die Visualisierung.....	56
Abbildung 63:	Prototypische Umsetzung in einem Programm für die Bilanzierung	57
Abbildung 64:	Prototypische Umsetzung in einem Programm für die Simulation	58

Abbildung A1: Notation.....	A1
Abbildung A2: Überblick	A2
Abbildung A3: Funktionsmodelle Fabriksystem (HI5 - HI3)	A3
Abbildung A4: Strukturmodell FS (HI5)	A4
Abbildung A5: Strukturmodell PS (HI3).....	A5
Abbildung A6: Funktions- u. Strukturmodell Fertigungssystem (Ausschnitt 1 einer Fertigungslinie) (HI2)	A6
Abbildung A7: Strukturmodell Fertigungssystem (Ausschnitt 2 einer Fertigungslinie) (HI2)	A7
Abbildung A8: Strukturmodell Fertigungssystem (Ausschnitt 3 einer Fertigungslinie) (HI2)	A8
Abbildung A9: Strukturmodell GS (HI4)	A9
Abbildung A10: Funktionsmodelle VES-PT (HI2).....	A10
Abbildung A11: Strukturmodell VES-PT (HI3).....	A11
Abbildung A12: Strukturmodell Chemikaliensystem PT (HI2).....	A12
Abbildung A13: Strukturmodell Druckluftsystem PT (HI2)	A13
Abbildung A14: Strukturmodell Reinstwassersystem PT (HI2).....	A14
Abbildung A15: Strukturmodell Abluftsystem PT (HI2)	A15
Abbildung A16: Strukturmodell Abwassersystem PT (HI2).....	A16
Abbildung A17: Strukturmodell Kältesystem PT (HI2)	A17
Abbildung A18: Funktionsmodelle VES-HT (HI2)	A18
Abbildung A19: Strukturmodell VES-HT (HI3)	A19
Abbildung A20: Strukturmodell Luftsystem HT (HI2)	A20
Abbildung A21: Strukturmodell Wassersystem HT (HI2)	A21
Abbildung A22: Strukturmodell Elektroenergiesystem HT (HI2)	A22
Abbildung A23: Strukturmodell Kältesystem HT (HI2)	A23
Abbildung A24: Strukturmodell Wärmesystem HT (HI2).....	A24
Abbildung A25: Modell zur Evaluation anhand der Prototypen.....	A25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Aspekte der ökologischen Nachhaltigkeit nach (Dyckhoff & Souren 2008, S. 49)	3
Tabelle 2:	Typische Wirkungsgrade ausgewählter Systeme nach (Pehnt 2010, S. 26)	4
Tabelle 3:	Klassifikation verschiedener Modelle nach (Klein & Scholl 2004, S. 33), (Schmigalla 1995, S. 244-245)	5
Tabelle 4:	Zusammenfassung relevanter Systembegriffe	6
Tabelle 5:	Klassifikationskriterien für Systeme nach (Krallmann, Bobrik & Levina 2013, S. 51), (Weigand et al. 2013, S. 3-4)	7
Tabelle 6:	Funktionsklassen technischer Systeme nach (Ropohl 2009, S. 125)	8
Tabelle 7:	Zusammenfassung Herausforderungen, Stand der Forschung, Handlungsbedarf	12
Tabelle 8:	Stoffliche und energetische Gegenstände (Beispiele) nach (Müller et al. 2009, S. 39), (VDI 4075 Blatt 1, S. 5-6)	17
Tabelle 9:	Kriterien zur Analyse der Modelle	44
Tabelle 10:	Kennzahlenkatalog	45
Tabelle 11:	Gestaltungsansätze für die Modelle	48
Tabelle 12:	Verwendete Methoden zur Evaluation	49

1 Einleitung

Bereich	Fabrikbetrieb			Fabrikplanung	
Fabrik-lebenszyklus	Entwicklung	Aufbau	Anlauf	Betrieb	Abbau
Planungs-phase	Zielplanung		Konzeptplanung		Ausführungsplanung
Planungs-instrument	Methoden		Modelle	Theorien	Werkzeuge
Planungs-dimension	Mensch		Organisation		Technik
Planungs-gegenstand	Produkt		Prozess		System
Planungs-zielgröße (I)	Geschwindigkeit	Nachhaltigkeit	Qualität	Wandlungs-fähigkeit	Wirtschaftlichkeit
Planungs-zielgröße (II)	Energieeffizienz		Materialeffizienz		Ressourceneffizienz

Abbildung 1: Abgrenzung des Betrachtungsbereichs

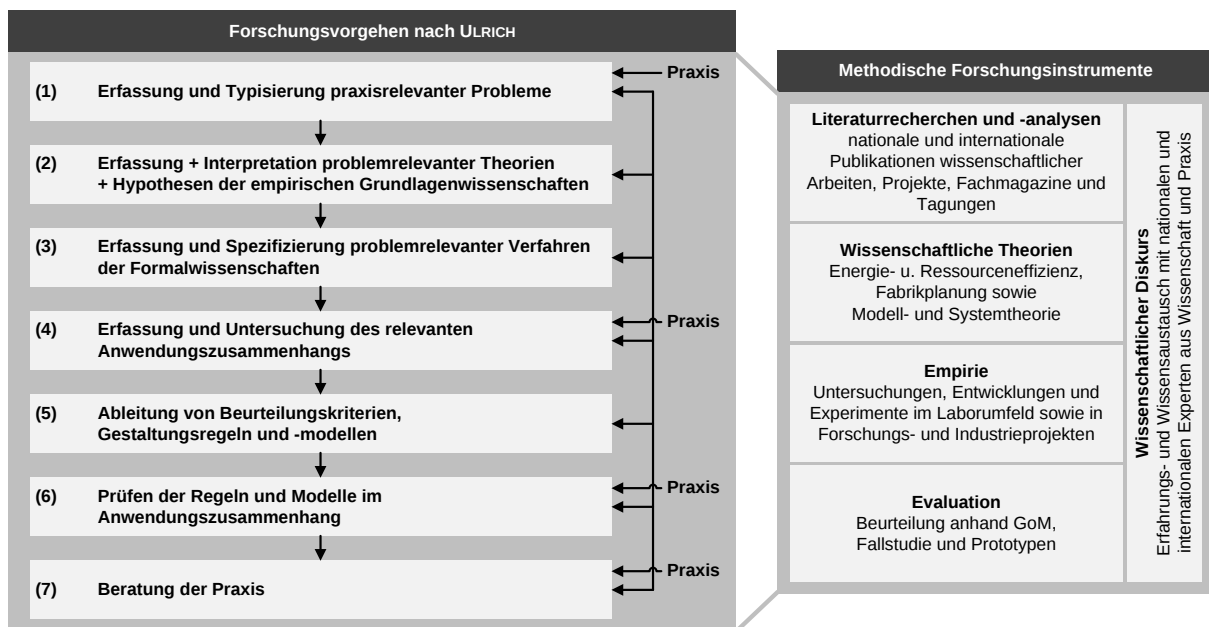


Abbildung 2: Angewandte Wissenschaft im Theorie- und Praxisbezug nach (Ulrich 1984, S. 193) sowie verwendete Forschungsinstrumente

1	Einleitung	
	Formulierung von Problem- und Zielstellung sowie Forschungskonzept	
2	Grundlagen	3 Stand der Forschung
	Analyse von Energie- u. Ressourceneffizienz, Fabrikplanung sowie Modellierung von Systemen	Analyse relevanter Forschungsansätze
4	Methodik zur Fabriksystemmodellierung im Kontext von Energie- und Ressourceneffizienz	
	Entwicklung der Methodik	
5	Evaluation	
	Beurteilung der Methodik	
6	Schlussbetrachtung	
	Zusammenfassung und Ausblick	

Abbildung 3: Aufbau der Arbeit

2 Grundlagen

Tabelle 1: Aspekte der ökologischen Nachhaltigkeit nach (Dyckhoff & Souren 2008, S. 49)

Handlungsregeln	Gesunderhaltung ökologischer Systeme, Beachtung der Aufnahmefähigkeit ökologischer Systeme, Ausgewogene Nutzung regenerierbarer Ressourcen, Ausgewogene Nutzung nicht-regenerierbarer Ressourcen
Grundstrategien	Suffizienz, Effizienz, Konsistenz
Grundprinzipien	Verantwortungsprinzip, Kooperationsprinzip, Kreislaufprinzip, Prinzip der Funktionsorientierung
Konzepte	Entstofflichung, Energieeffizienzsteigerung, Entflechtung, Entschleunigung

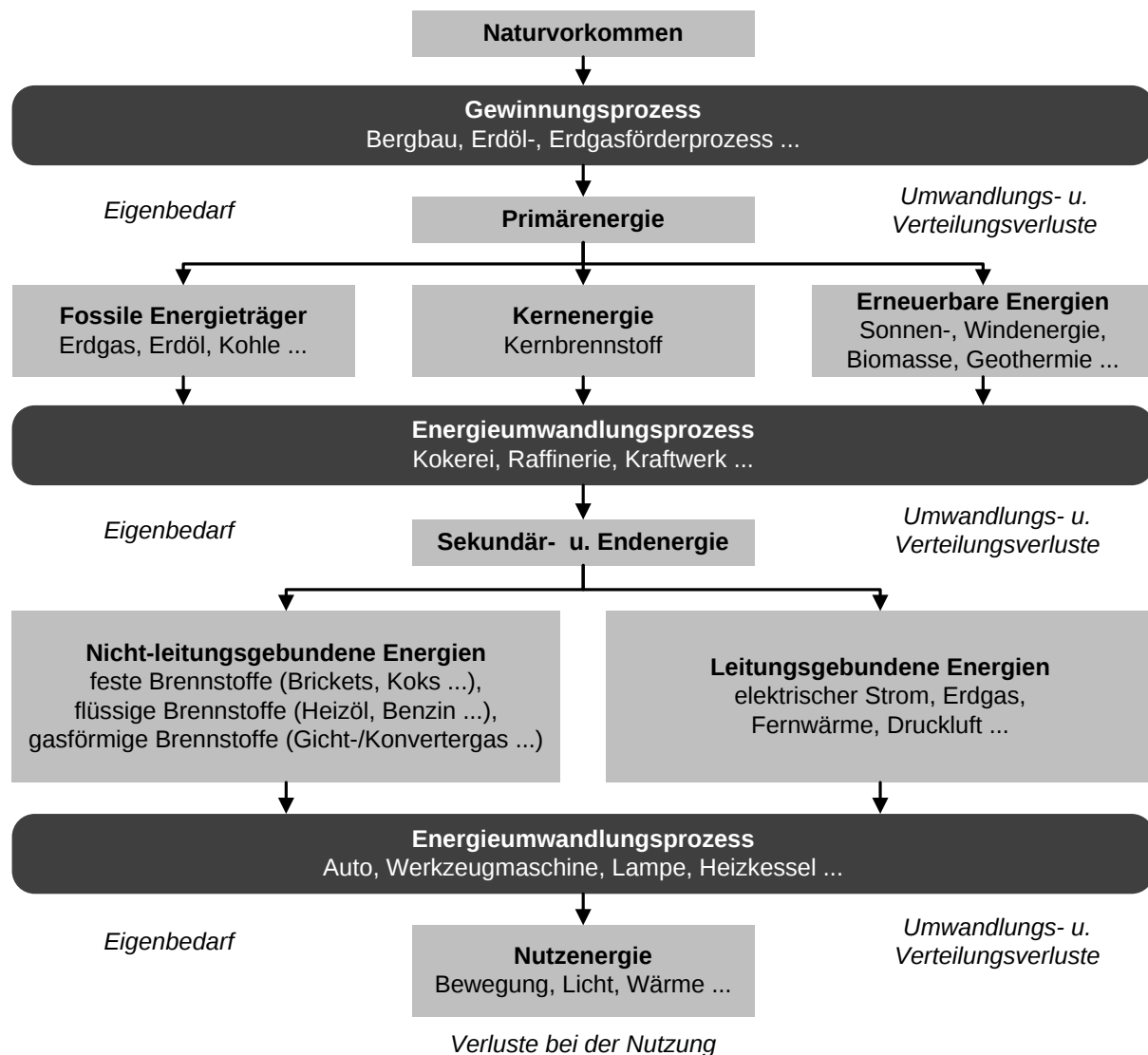


Abbildung 4: Übersicht Energieumwandlung und -anwendung nach (Konstantin 2009, S. 2)

Tabelle 2: Typische Wirkungsgrade ausgewählter Systeme nach (Pehnt 2010, S. 26)

Energiewandler	Energieformen	Wirkungsgrad [%]
Generator	m --> e	98-99
Dampfzeuger	c --> t	92-97
großer Elektromotor	e --> m	90-96
Heizungskessel	c --> t	90-94
kleiner Elektromotor	e --> m	60-75
Dampfturbine	t --> m	45-50
Windturbine	m --> m	40-50
Gasturbine	t --> m	30-35

Legende:

c ... chemische Energie

e ... elektrische Energie

m ... mechanische Energie

t ... thermische Energie

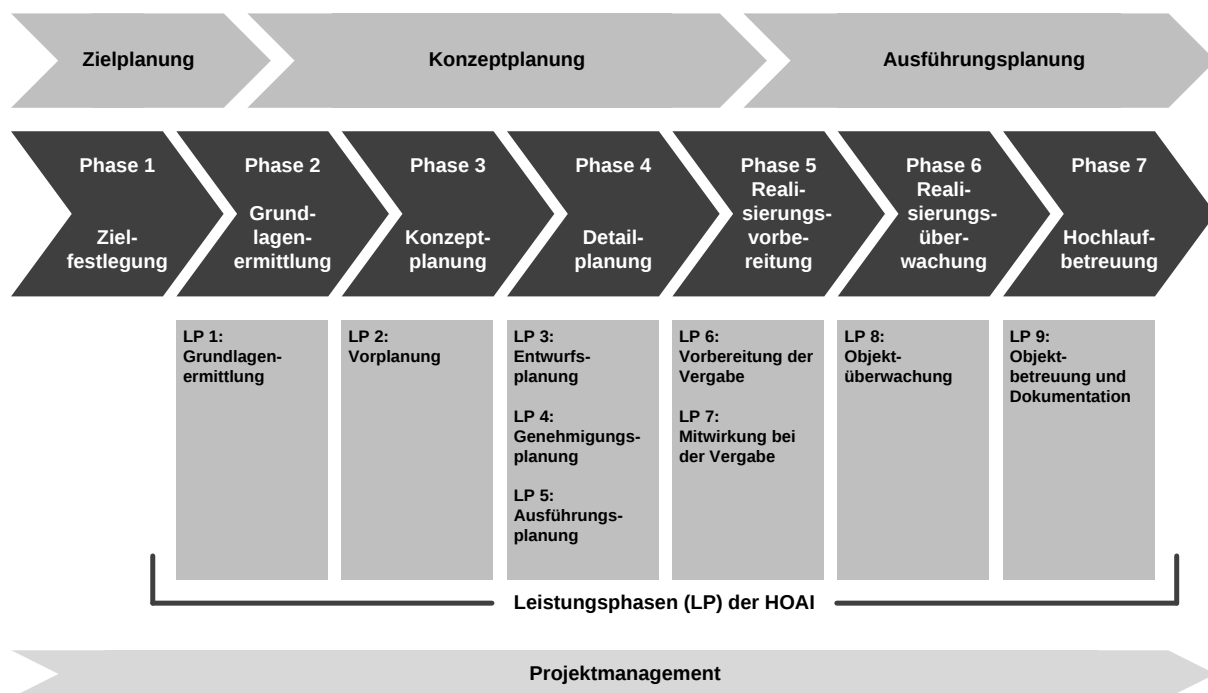


Abbildung 5: Phasenmodell des Fabrikplanungsprozesses nach (VDI 5200 Blatt 1, S. 23)

Tabelle 3: Klassifikation verschiedener Modelle nach (Klein & Scholl 2004, S. 33), (Schmigalla 1995, S. 244-245)

Merkmal	Ausprägung
Einsatzzweck	Beschreibungs-, Erklärungs-, Prognose-, Simulations-, Entscheidungsmodelle
Messniveau	qualitative, quantitative Modelle
Darstellungsform	physische, formale, grafische, verbale Modelle
Informationssicherheit	deterministische, stochastische Modelle
Zeitbezug	statische, dynamische Modelle
Raumbezug	raumbezogene, nicht raumbezogene Modelle
Umfang der Abbildung	Total-, Partialmodelle

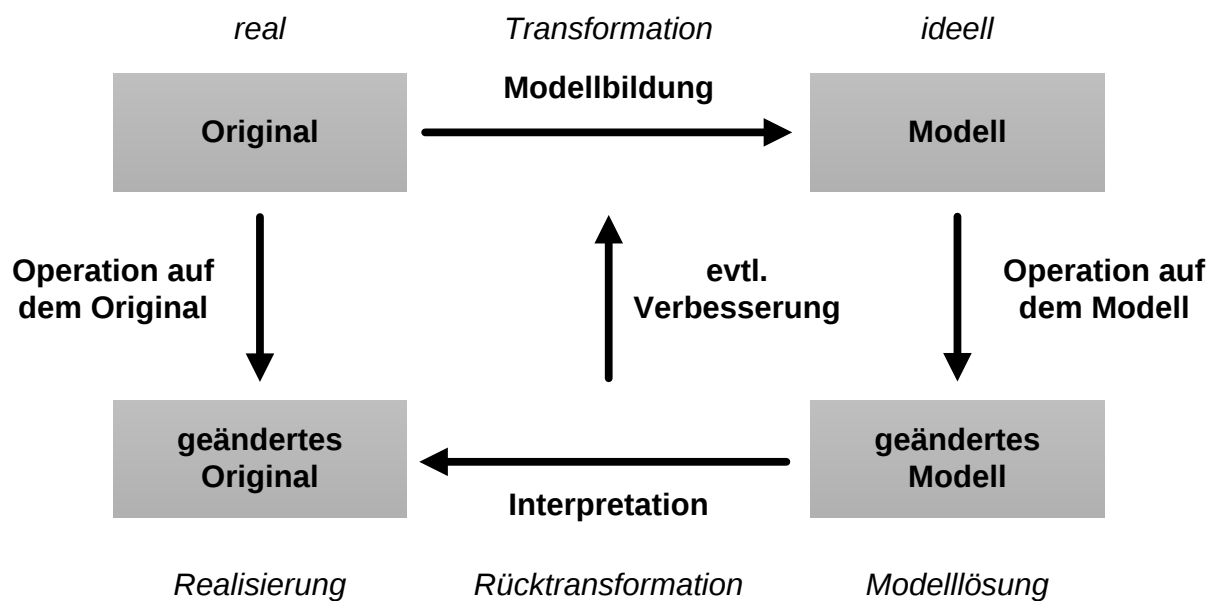


Abbildung 6: Bezug zwischen Original und Modell nach (Dangelmaier 2009, S. 6), (Kastens & Büning 2008, S. 22)

Tabelle 5: Klassifikationskriterien für Systeme nach (Krallmann, Bobrik & Levina 2013, S. 51), (Weigand et al. 2013, S. 3-4)

Merkmal	Ausprägung
Anwendungsgebiet	natürlich, sozial, technisch
Entstehungsart/Ursprung	natürlich, künstlich
Seinsbereich	real, ideell
Bestimmbarkeit	deterministisch, stochastisch
Parameterabhängigkeit der Eigenschaften	statisch, dynamisch
Beziehungen zur Umwelt	(ab-) geschlossen, offen

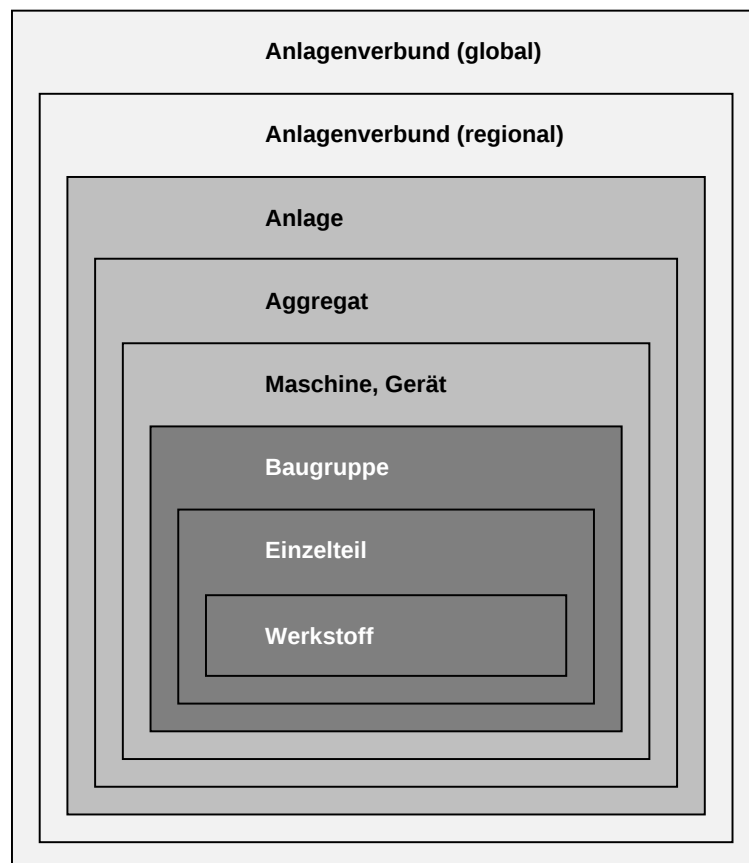


Abbildung 8: Hierarchie der technischen Systeme nach (Ropohl 2009, S. 122)

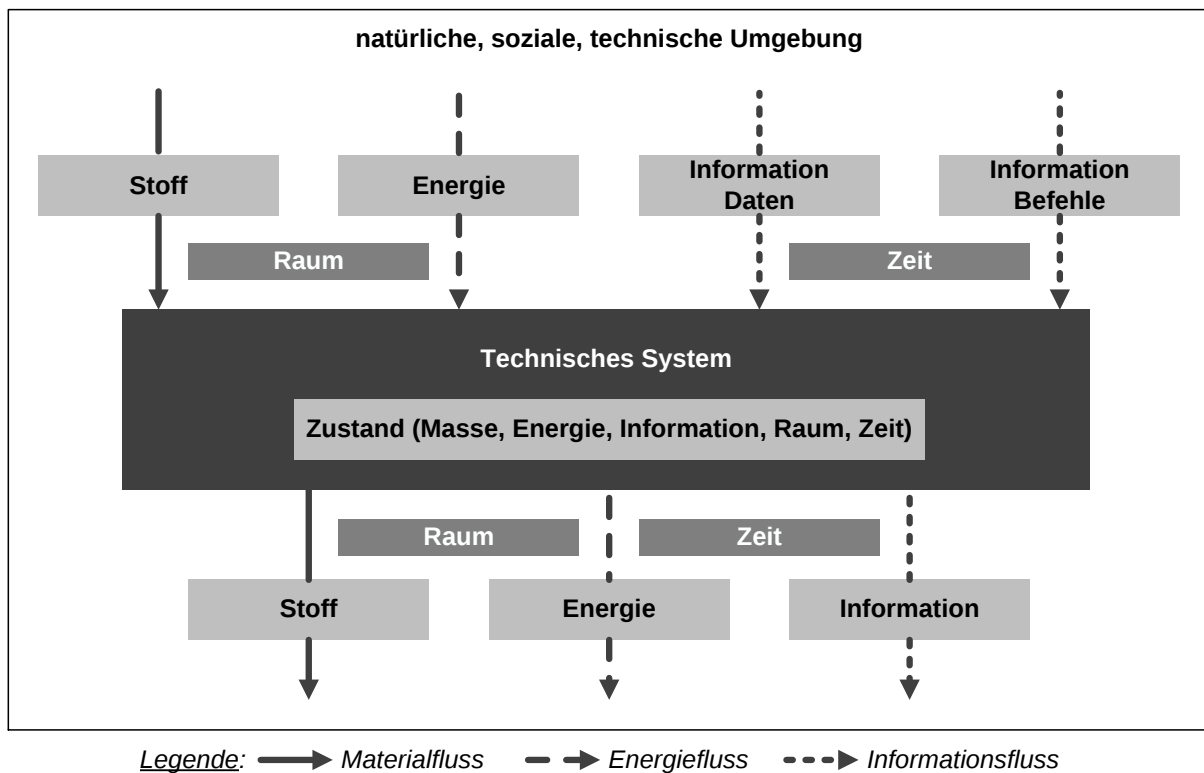


Abbildung 9: Blockschema eines technischen Systems nach (Ropohl 2009, S. 120), (Patzak 1982, S. 34)

Tabelle 6: Funktionsklassen technischer Systeme nach (Ropohl 2009, S. 125)

	natürliche, soziale, technische Umgebung	
	Stoff	Energie
	Information Daten	Information Befehle
	Raum	Zeit
Technisches System	Zustand (Masse, Energie, Information, Raum, Zeit)	
	Raum	Zeit
	Stoff	Energie
	Information	
Legende:	—→	- - ->
	Materialfluss	Energiefluss
		- - ->
		Informationsfluss

	Output-Attribut Y, RY, TY	Zustands-Attribut Z
	Transformieren $Y \neq X$ (qualitativ/quantitativ)	Zustandsveränderung $X \neq \text{const}$ $Z \neq \text{const}$
	Transport $Y = X$ $RY \neq RX$ $TY \neq TX$	Zustandserhaltung $X \neq \text{const}$ $Z = \text{const}$
	Speichern $Y = X$ $RY = RX$ $TY \neq TX$	X ...Inputs Y ...Outputs Z ...Zustände RX, RY ...Raumkoordinaten TX, TY ...Zeitkoordinaten const ...unverändert

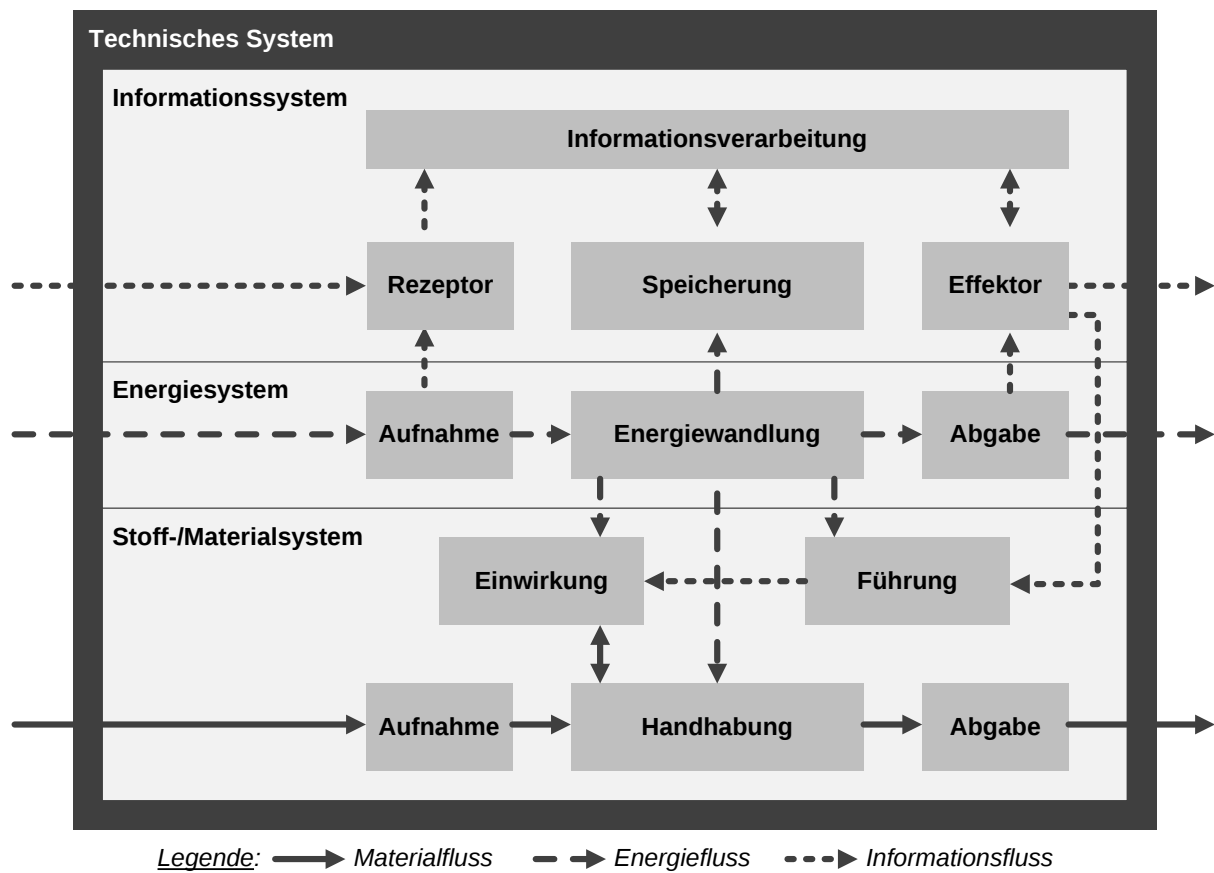


Abbildung 10: Struktur eines technischen Systems nach (Ropohl 2009, S. 104)

3 Stand der Forschung

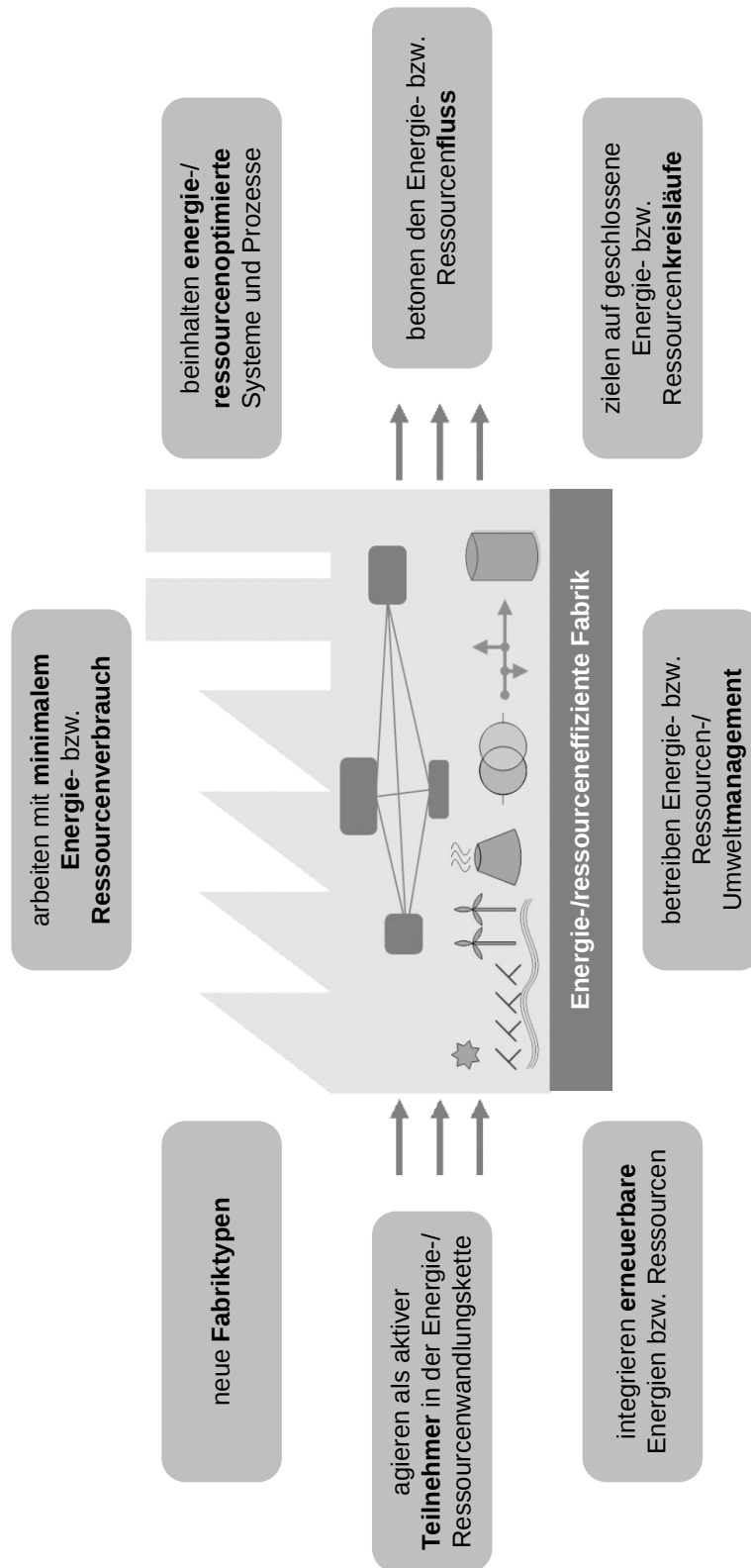


Abbildung 11: Charakteristik energie-/ressourceneffizienter Fabriken

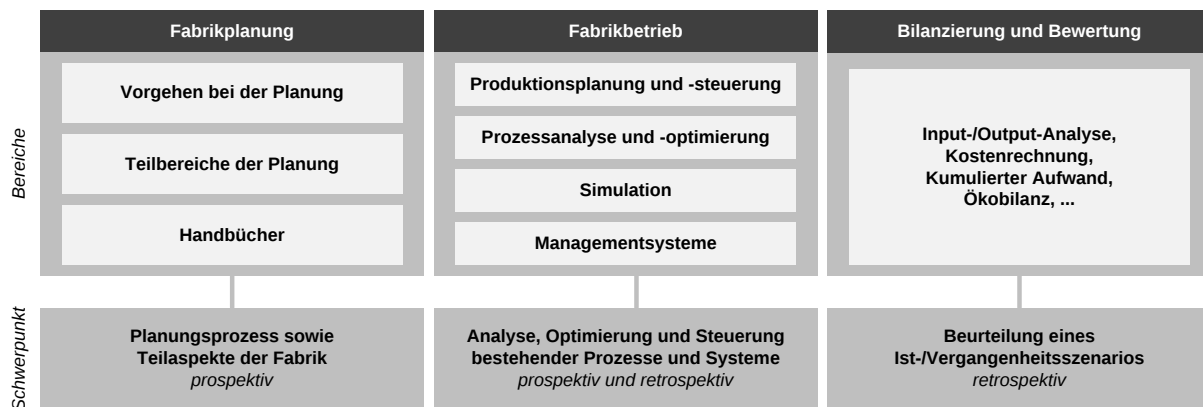


Abbildung 12: Überblick zum Stand der Forschung

Tabelle 7: Zusammenfassung Herausforderungen, Stand der Forschung, Handlungsbedarf

	Herausforderung	Stand der Forschung	Handlungsbedarf
Energie- und Ressourceneffizienz	sparsamer, schonender Umgang mit Ressourcen	zunehmende Beachtung von Materialien, Energien und z. T. weiteren Ressourcen	Fokus auf Energie bzw. Ressourcen
	minimale Auswirkungen auf die natürliche Umwelt	zunehmende Beachtung der Abfälle, Emissionen etc.	Beachtung von Umweltauswirkungen
	Bewertung erfordert quantitative Aspekte	verschiedene Instrumente zur Bilanzierung und Bewertung	Berücksichtigung quantitativer Aspekte
Fabrikplanung	Fabrikplanung mit großem Einfluss auf Planungslösungen	vorwiegend Ansätze für Fabrikbetrieb, Bilanzierung und Bewertung, aber weniger Fabrikplanung	Fokus auf Fabrikplanung
	Planungsprozess aus verschiedenen Planungsphasen, -schritten, -aufgaben; in frühen Phasen größte Handlungsspielräume	wenige Ansätze orientieren sich am Planungsprozess und unterstützen verschiedene Planungsphasen, -schritte und -aufgaben	Orientierung am Planungsprozess
	Planungsobjekt ist Fabrik	einige Ansätze für Planungsvorgehen, viele Ansätze für Teilaspekte der Fabrik	Fokus auf Fabrik
	Fabrik ist als System modellhaft zu beschreiben, um Planungskomplexität gering zu halten	nur wenige Ansätze basieren auf Systemsichtweise, Modelle für Teilaspekte vorhanden	System- und Modellbeschreibung
	anpassbare Instrumente zur Planungsunterstützung notwendig, da komplexes Themengebiet	z. T. verallgemeinerte und/oder modulare Ansätze	generische, modulare Konzeption
	ganzheitliche Sichtweise auf Fabrikssystem notwendig, da verschiedenste Planungsinhalte und -beteiligte	nur wenige Ansätze fokussieren ganzheitliche Sicht auf Fabrik	ganzheitliche Betrachtung des Fabriksystems
	keine alleinige Betrachtung des Produktionsbereichs und des Produkt-/Materialflusses	zunehmende Beachtung der peripheren Bereiche sowie Energie- und Medienflüsse	integrative Betrachtung von Stoff- und Energieflüssen
	qualitative Beschreibung notwendig, da in frühen Planungsphasen nur wenige quantitative Informationen vorliegen	viele Ansätze benötigen Ist-/Vergangenheitsdaten	Berücksichtigung qualitativer Aspekte
	vorausschauende Abschätzung bzw. Beurteilung der Planungslösung notwendig	Ansätze der Bilanzierung und Bewertung haben vorwiegend Ist- und Vergangenheitsbezug; Simulationen erlauben Prognosen	prospektive Betrachtung und Bewertungssystem
	Gestaltungsansätze für Planungslösungen notwendig	verschiedene Gestaltungsansätze verfügbar	Gestaltungsempfehlungen für das Fabrikssystem

4 Methodik zur Fabrikssystemmodellierung im Kontext von Energie- und Ressourceneffizienz

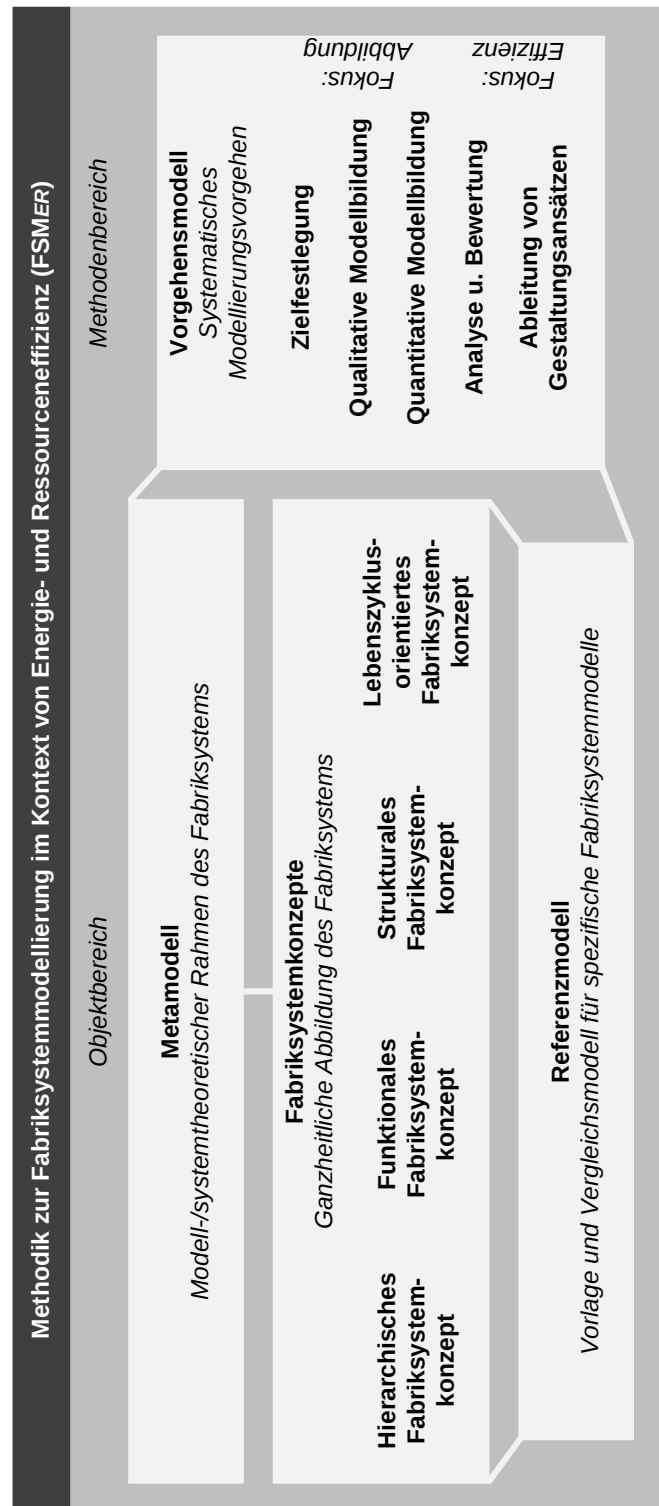


Abbildung 13: Aufbau der Methodik FSMER

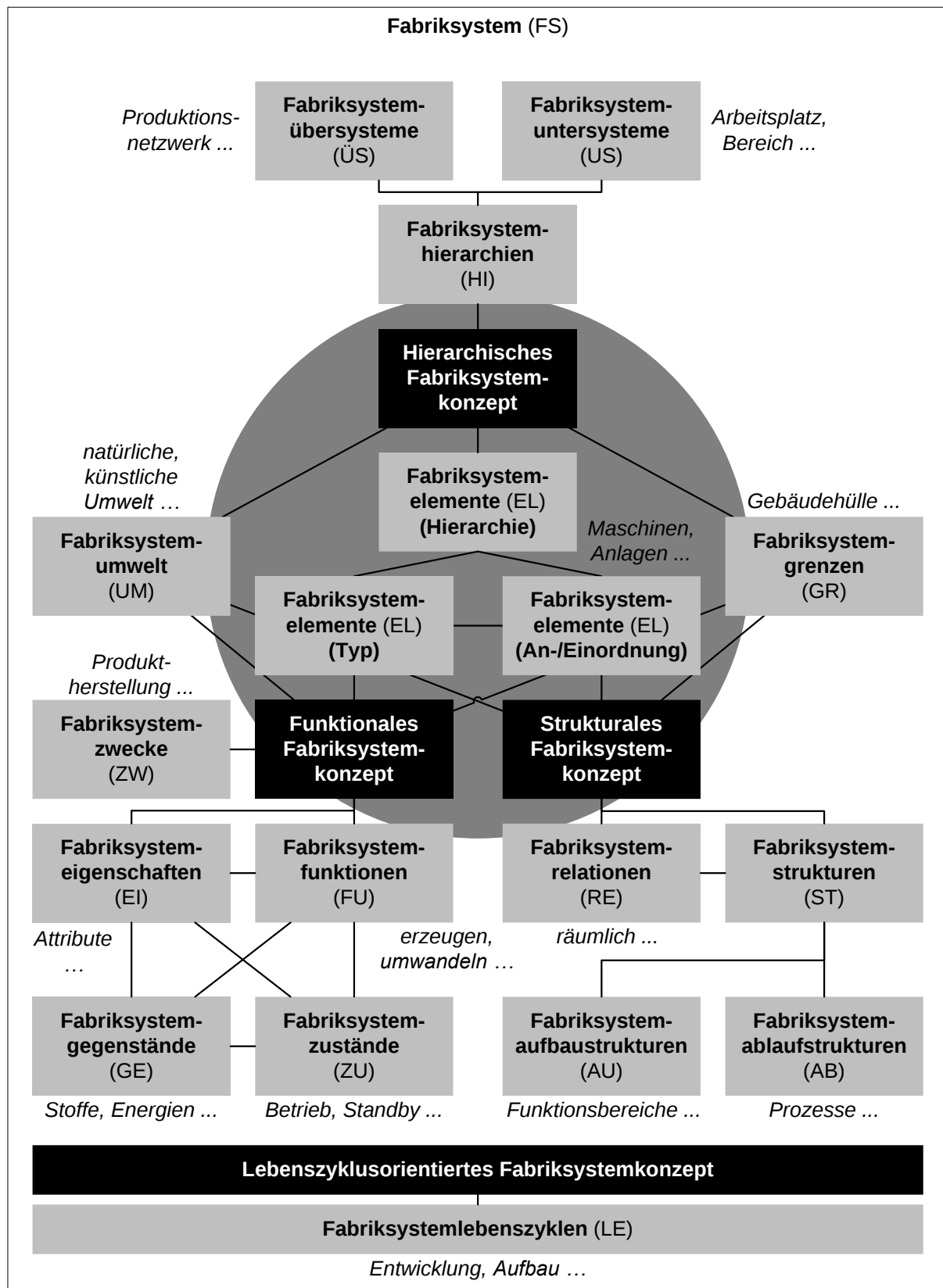


Abbildung 14: Metamodell des Fabriksystems



Legende: E/RB ... Energie-/Ressourcenbedarf
 HI ... Hierarchie

Abbildung 15: Verallgemeinertes Hierarchiemodell des Fabriksystems

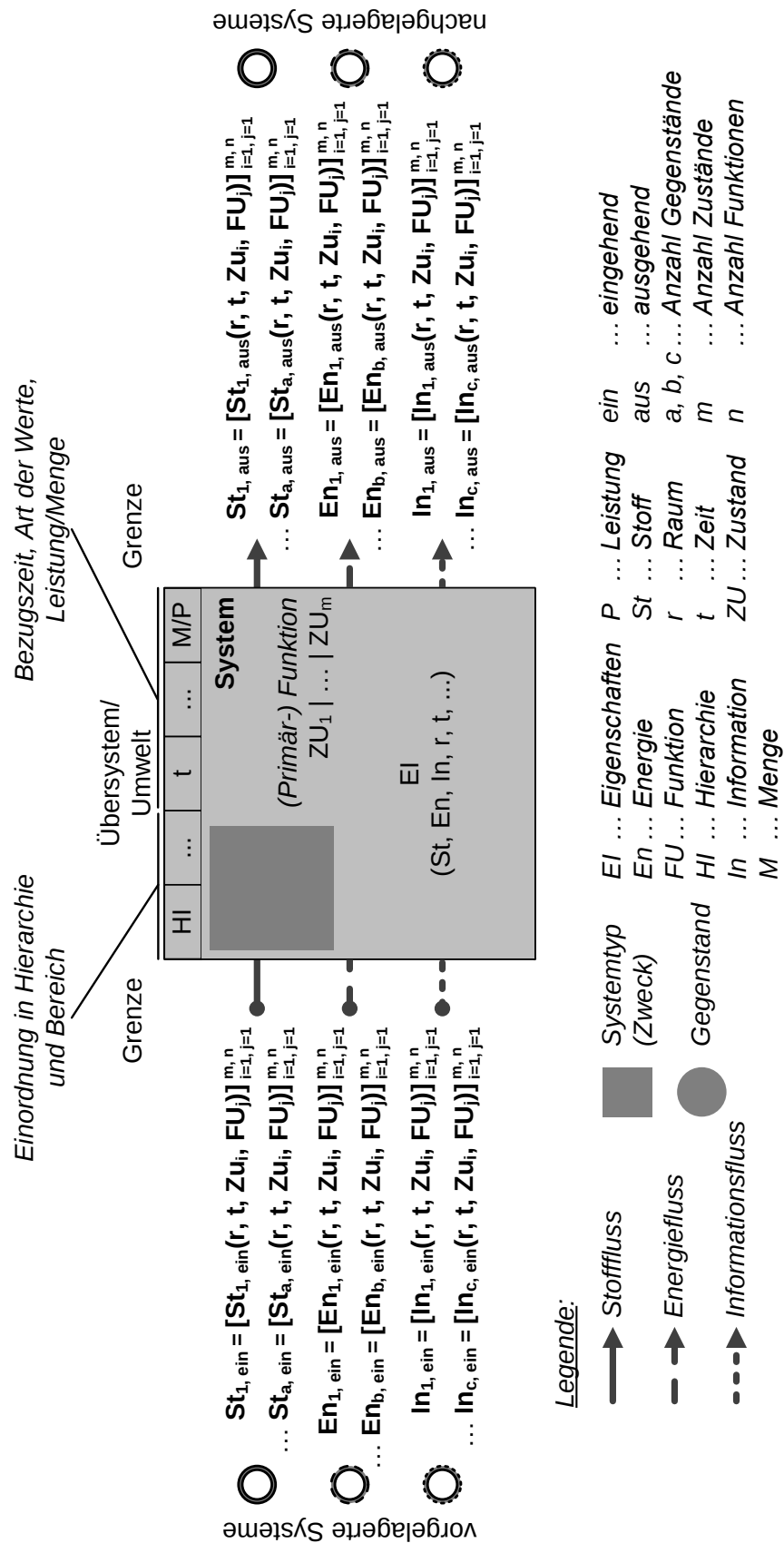


Abbildung 16: Verallgemeinertes Funktionsmodell des Fabriksystems

Tabelle 8: Stoffliche und energetische Gegenstände (Beispiele) nach (Müller et al. 2009, S. 39), (VDI 4075 Blatt 1, S. 5-6)

	als Eingabe	als Ausgabe
 Stoffe	Teile, Baugruppen, Halbfertigprodukte, ... Roh-/Werkstoffe Hilfsstoffe (Chemikalien, Kleber, Lote, Schweißdraht ...) Betriebsstoffe (Dampf, Gas, Kohle, Kühlschmierstoffe, Luft, Öl, Reiniger, Schmierstoffe, Wasser ...) Logistische Hilfsmittel (Werkstückträger, Verpackung ...) ...	Produkte (Erzeugnisse) Abfälle (Späne, Schrott, Altöle/Emulsionen ...), Abluft/Abgase, Abwasser Emissionen (Partikel in Form von Staub, Rauch, Gas, Aerosole ...) ...
 Energien	Elektroenergie Kälte (thermische Energie) Wärme (thermische Energie) ...	Abwärme (thermische Energie) innere Energie Lärm, Licht, Schall, Schwingungen ...

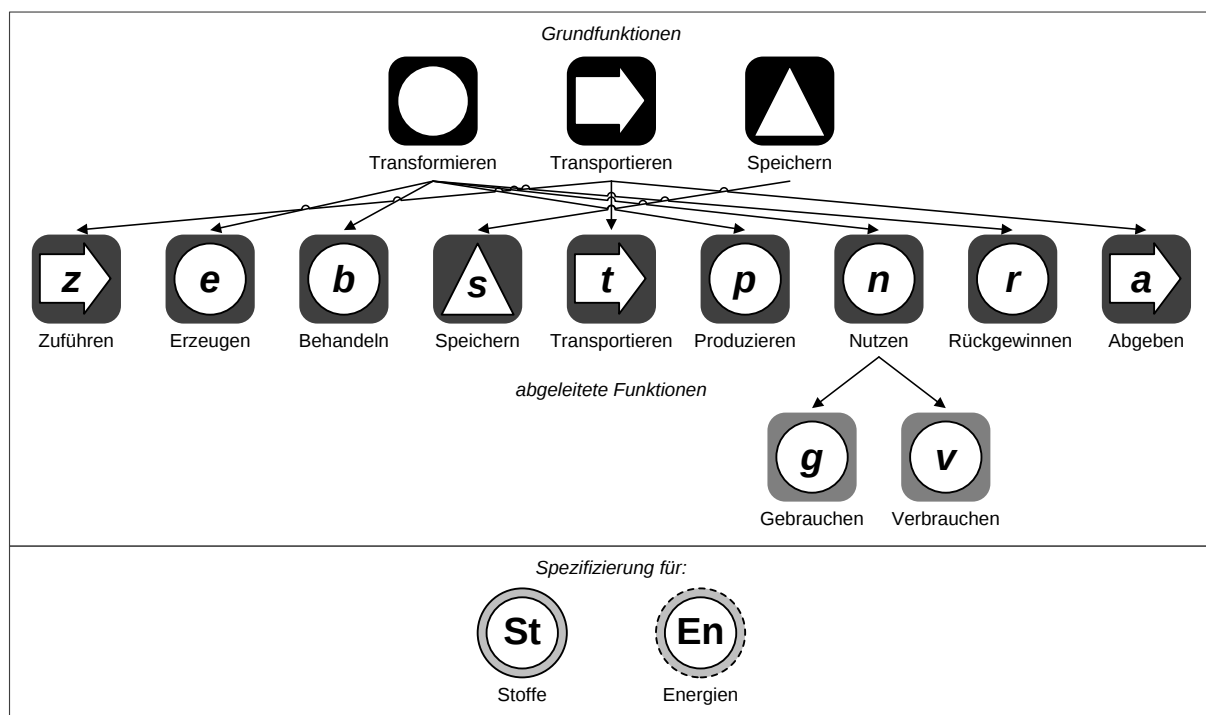


Abbildung 17: Funktionstypen des Fabriksystems

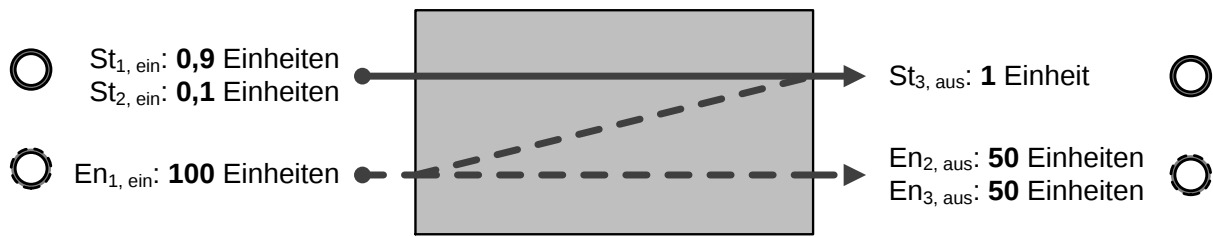


Abbildung 18: Mengenverhältnis zwischen Ein- und Ausgabe (Beispiel)

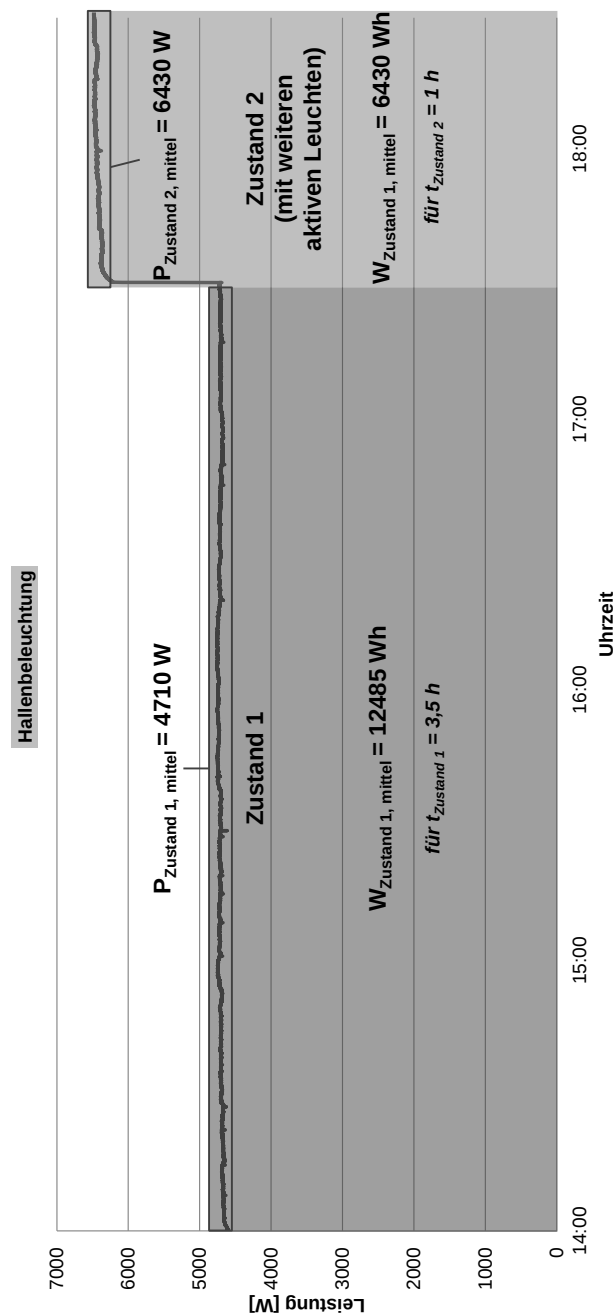


Abbildung 19: Profil mit gemittelten Werten (Beispiel Hallenbeleuchtung)

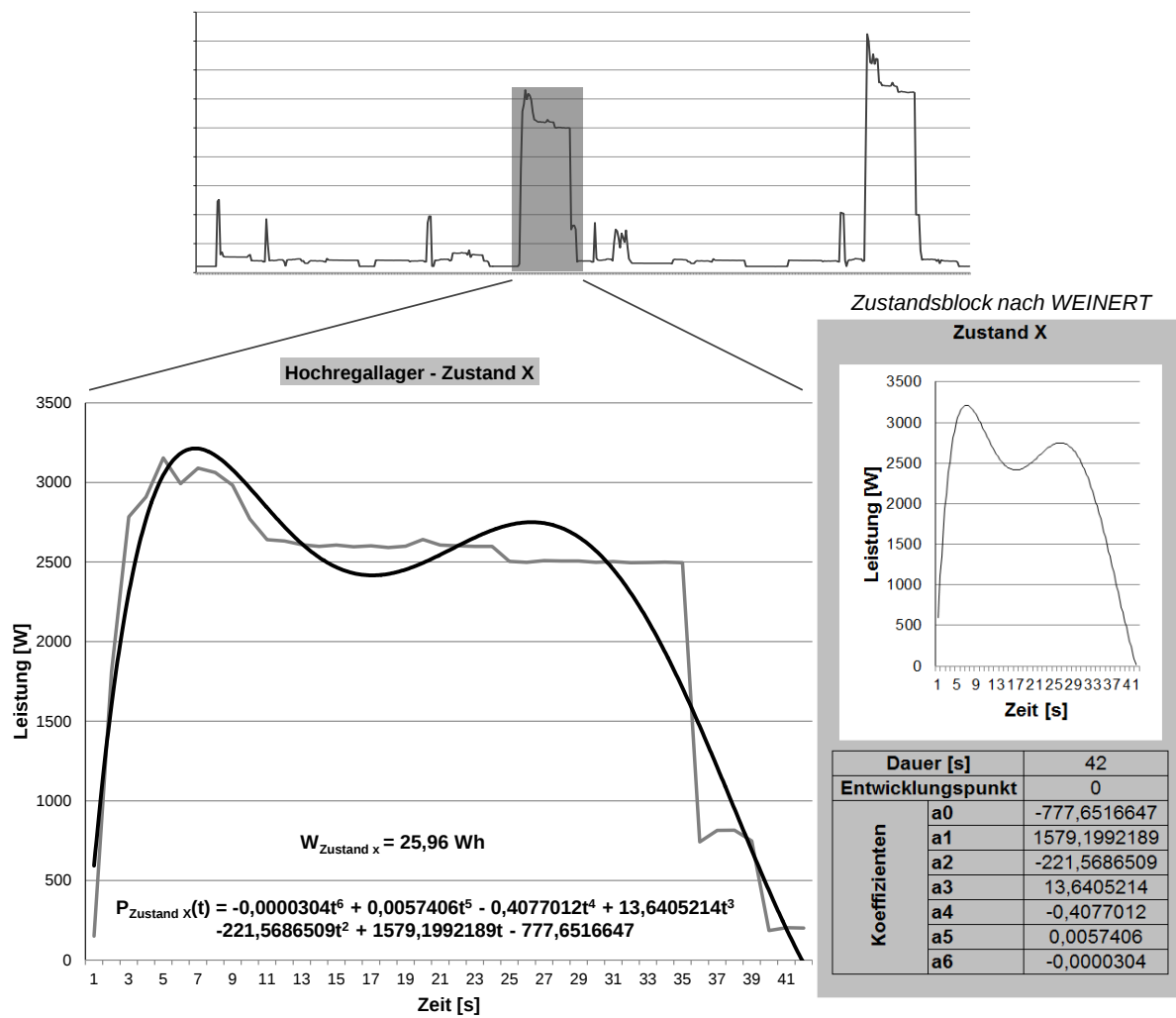


Abbildung 20: Profil aus Messwerten mit angenäherter Funktion (Beispiel Hochregallager)

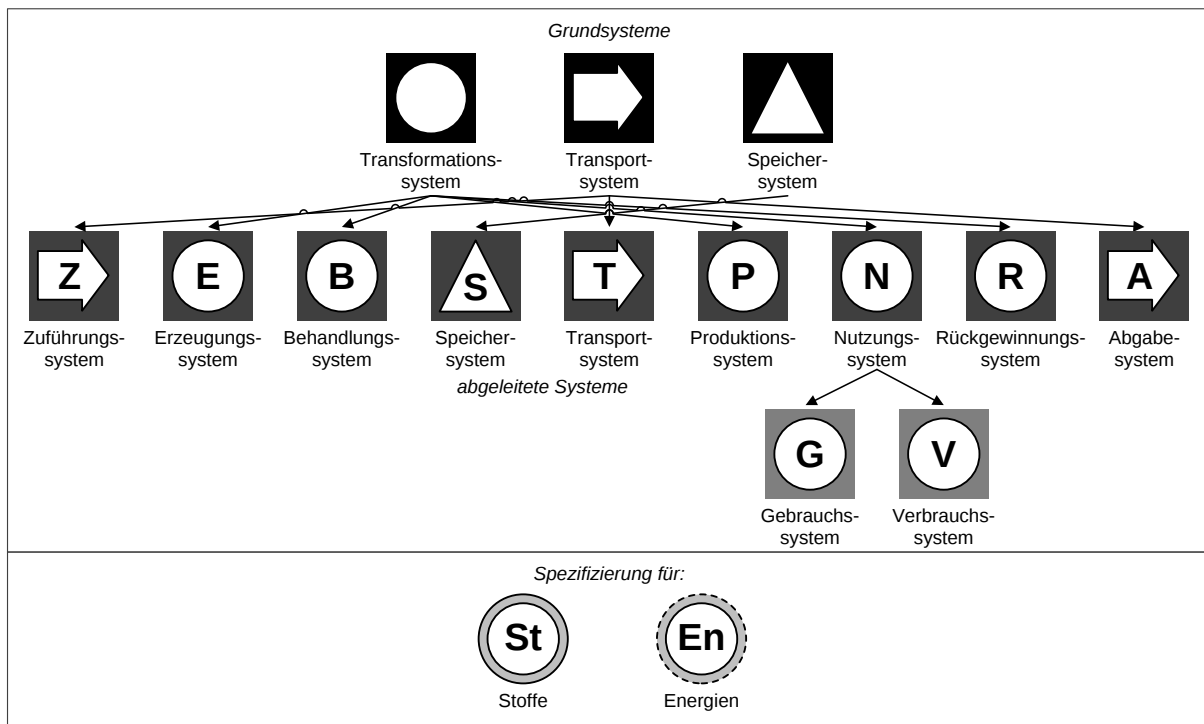


Abbildung 21: Systemtypen des Fabriksystems

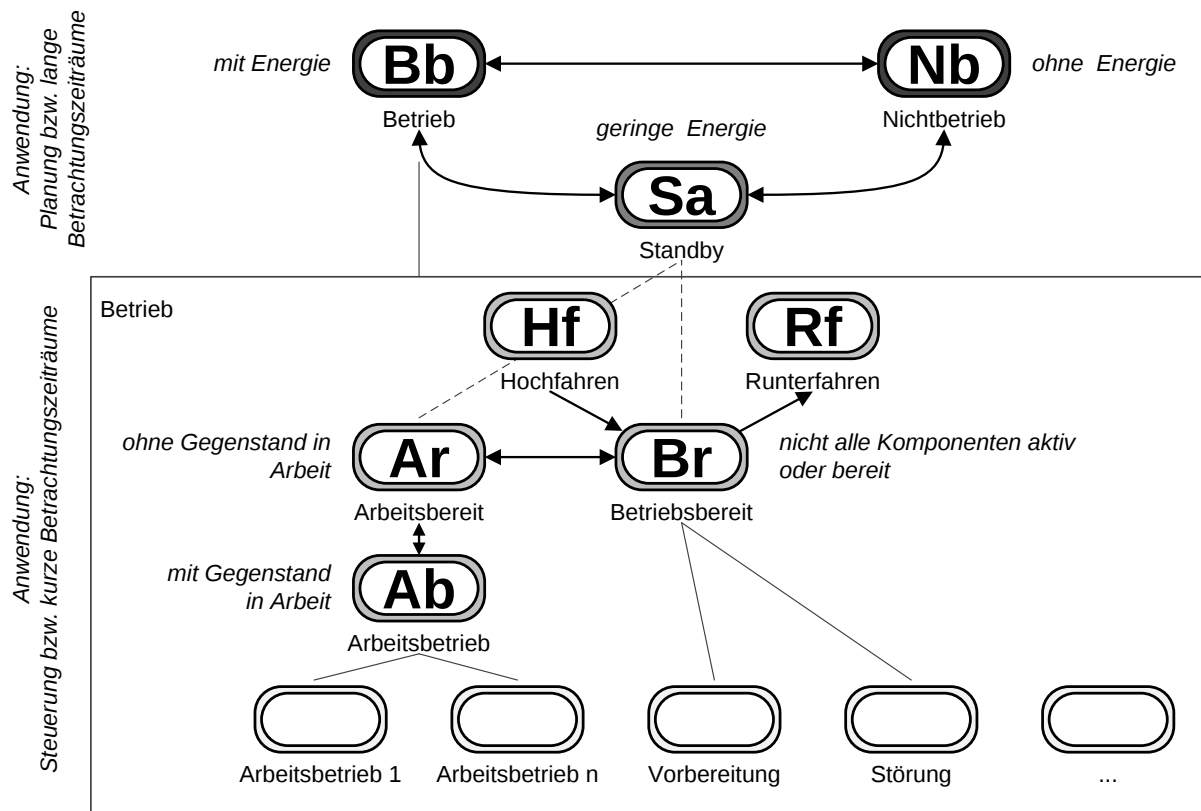


Abbildung 22: Zustandsmodell des Fabriksystems

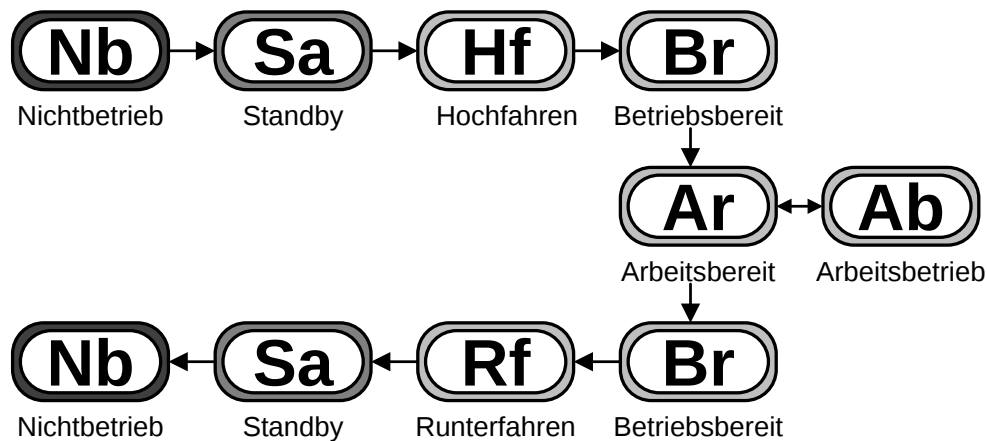


Abbildung 23: Zyklus von Zuständen (Beispiel)

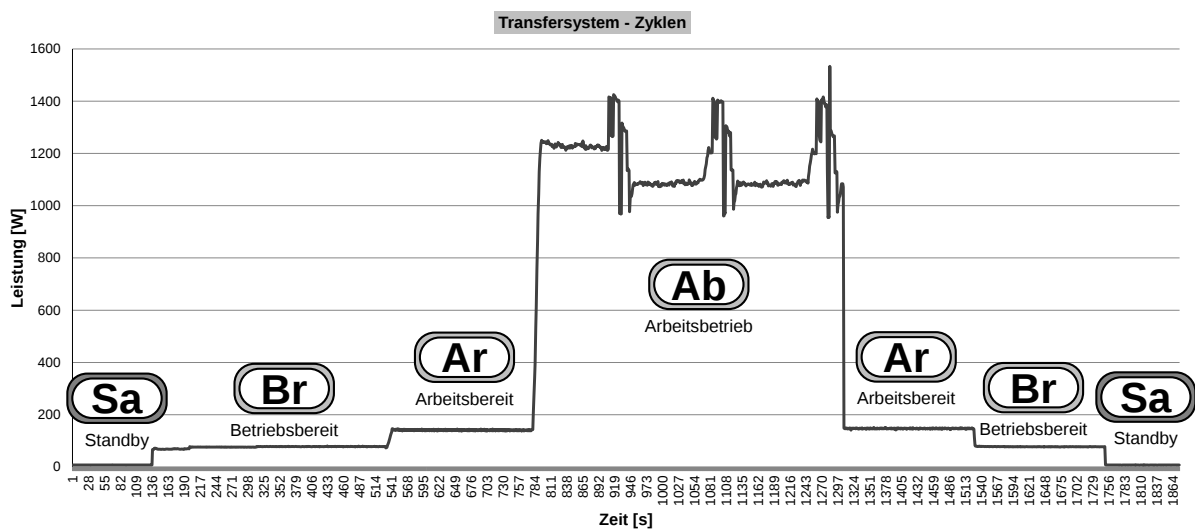


Abbildung 24: Profil mit Zuständen (Beispiel Transfersystem)

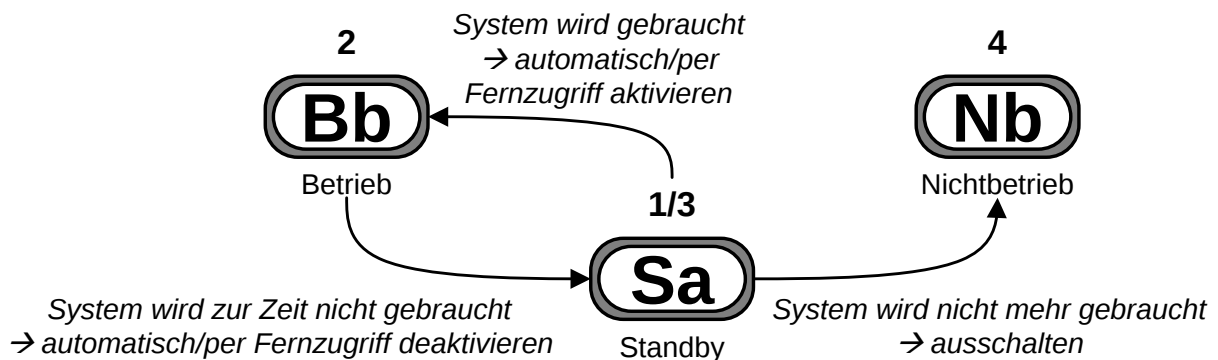


Abbildung 25: Beschreibung mittels Zustandsdiagramm (Beispiel)

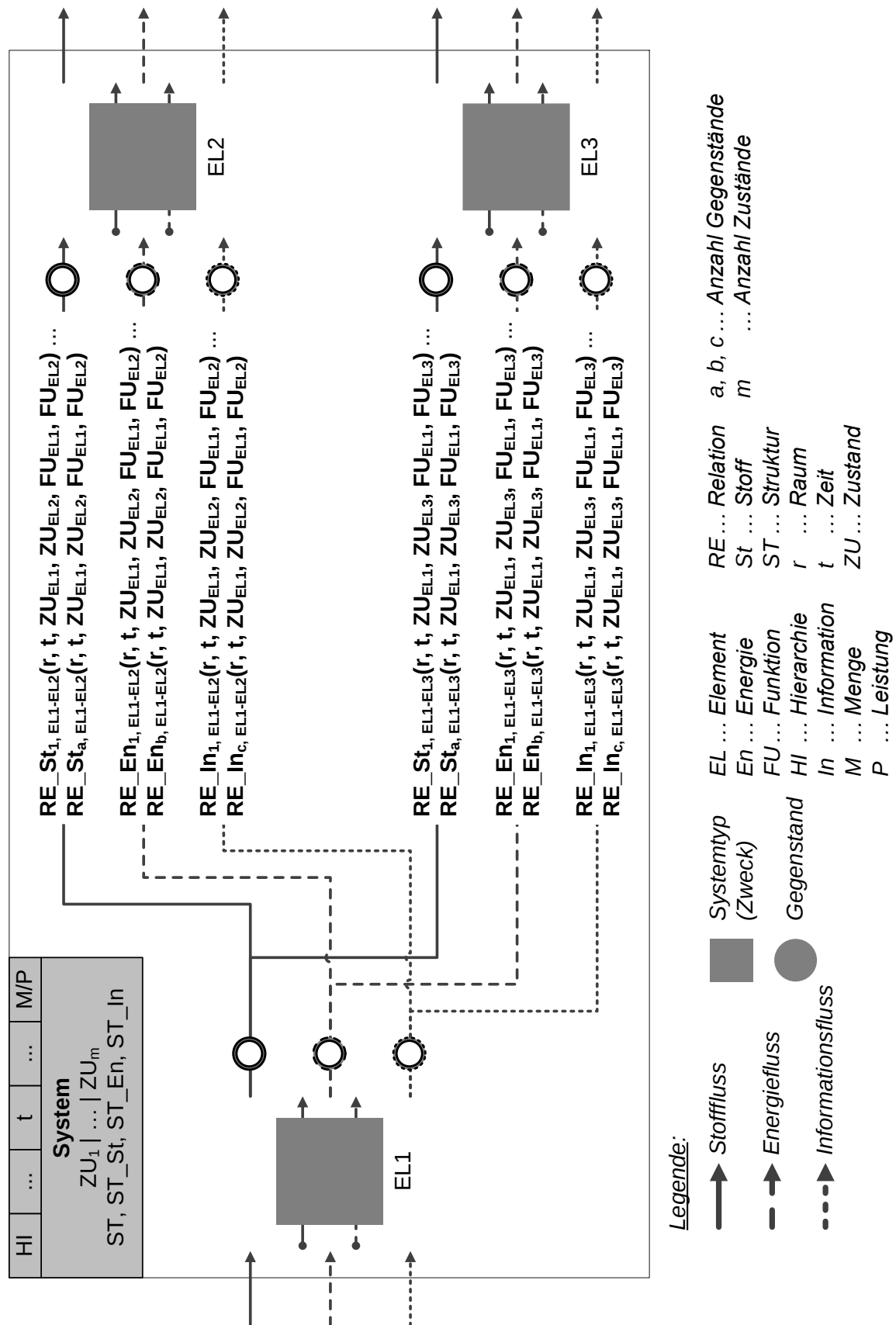


Abbildung 26: Verallgemeinertes Strukturmodell des Fabriksystems

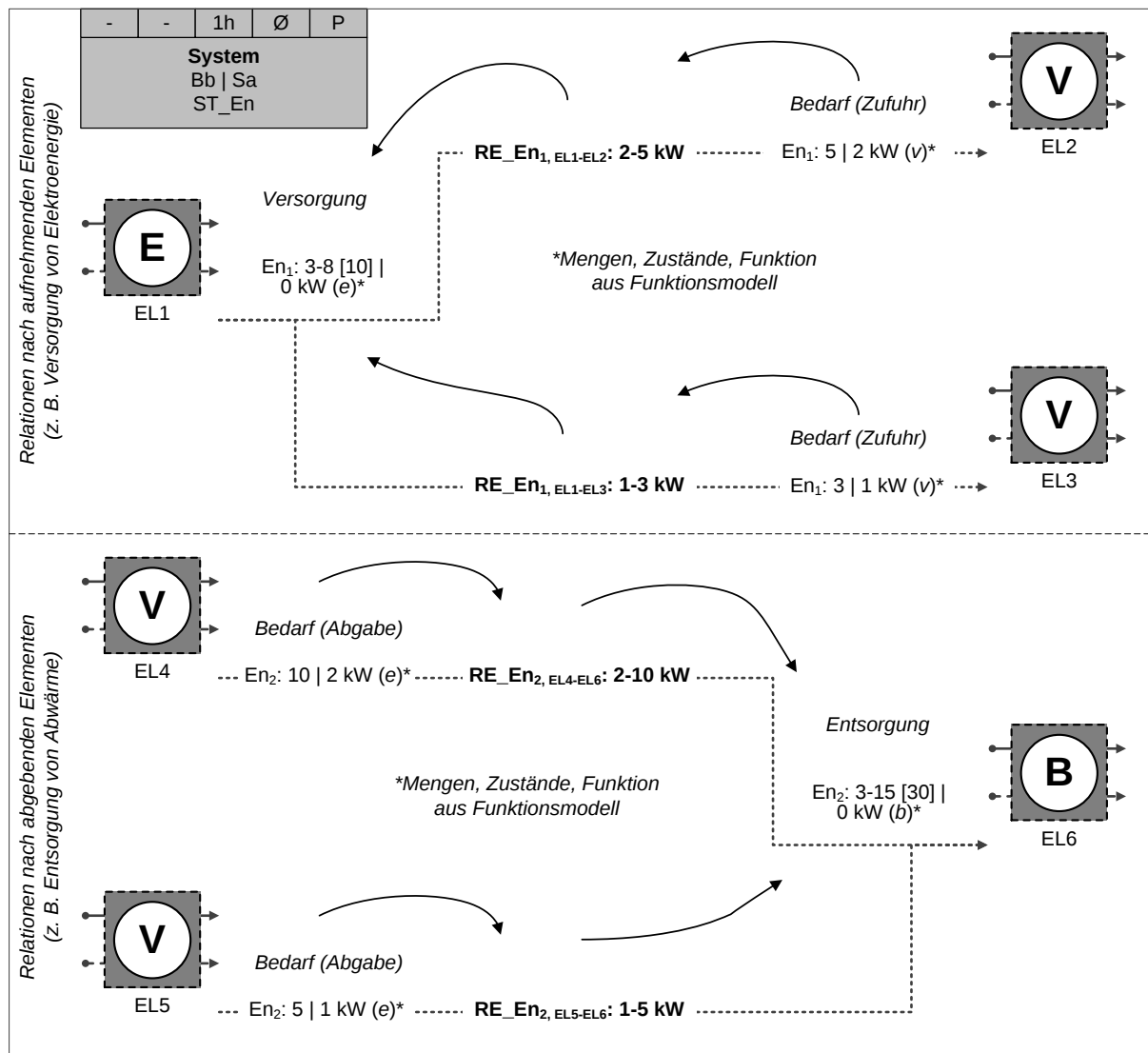


Abbildung 27: Bestimmung der quantitativen Relationen (Beispiel)

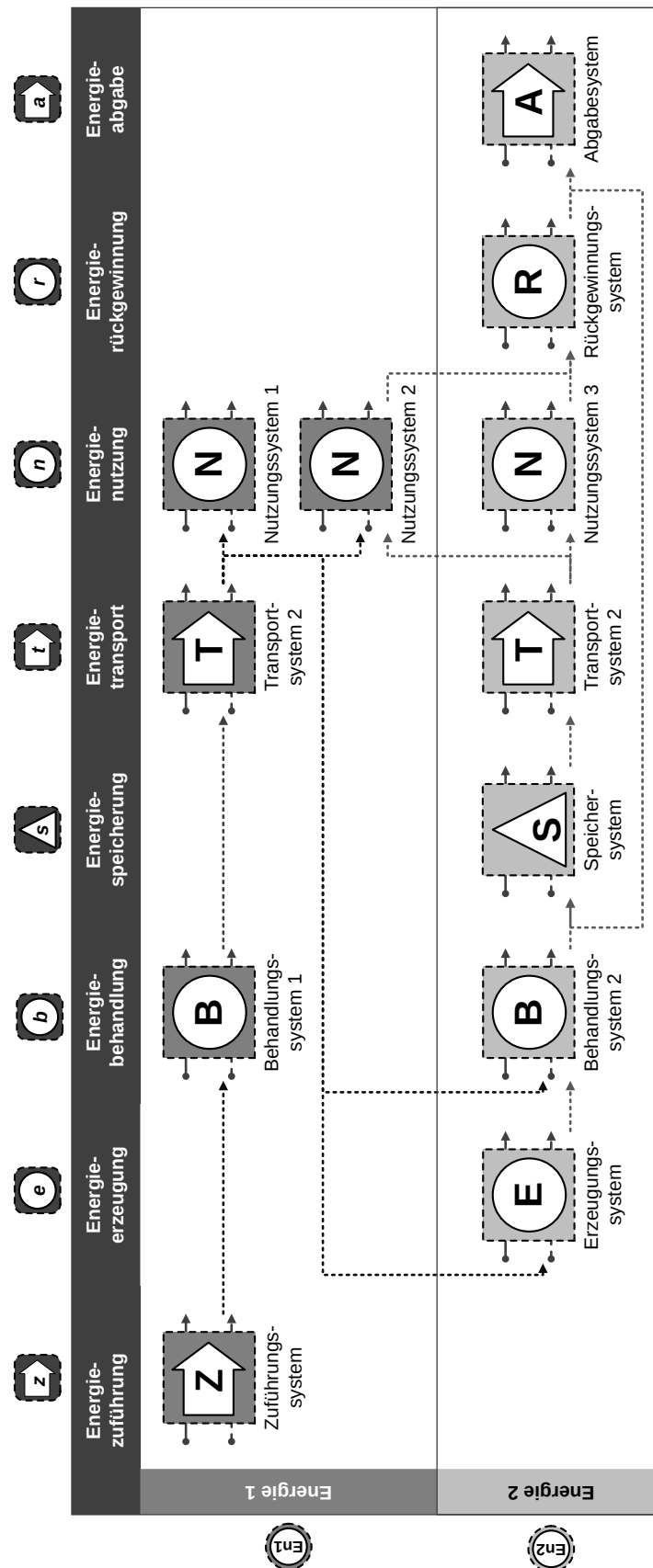


Abbildung 28: Energieflusssystem (Beispiel)

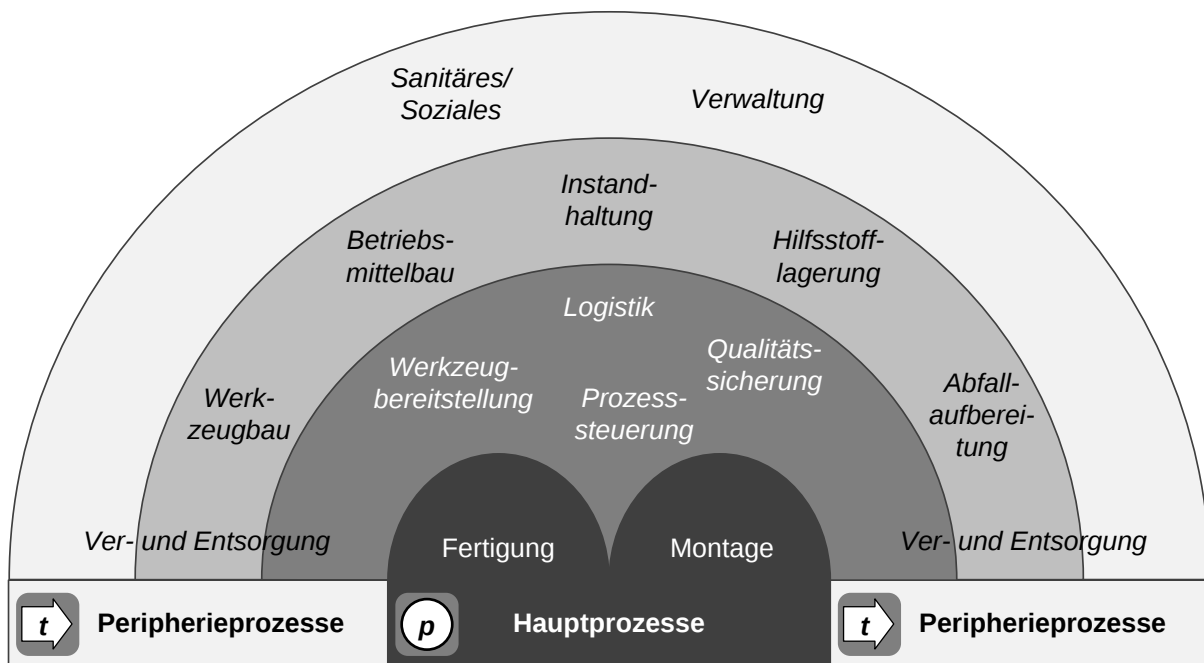


Abbildung 29: Periphere Fabriksystemstruktur nach (Müller et al. 2009, S. 44), (Schenk, Wirth & Müller 2014, S. 137)

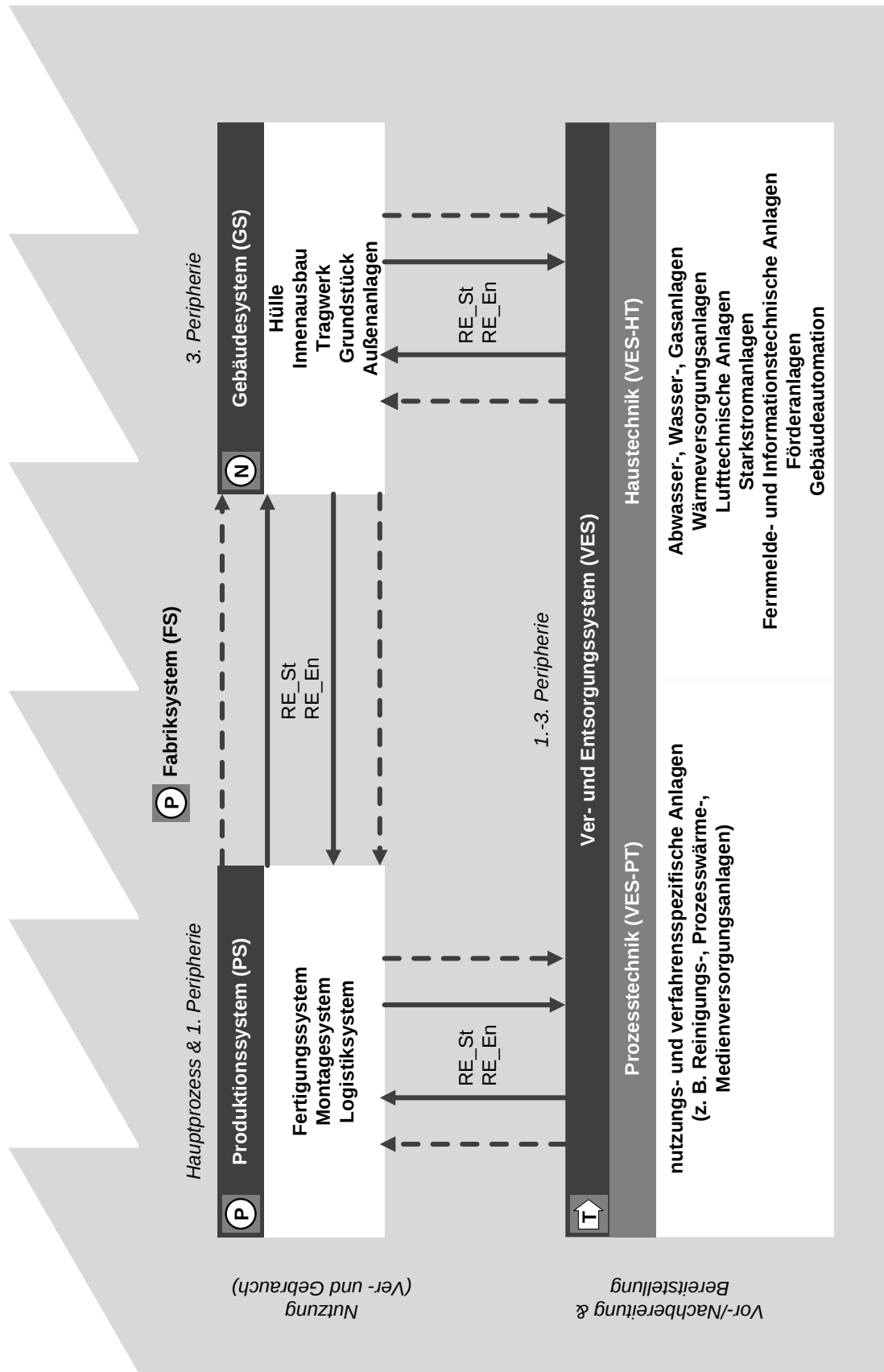


Abbildung 30: Funktionale Fabrikstruktur

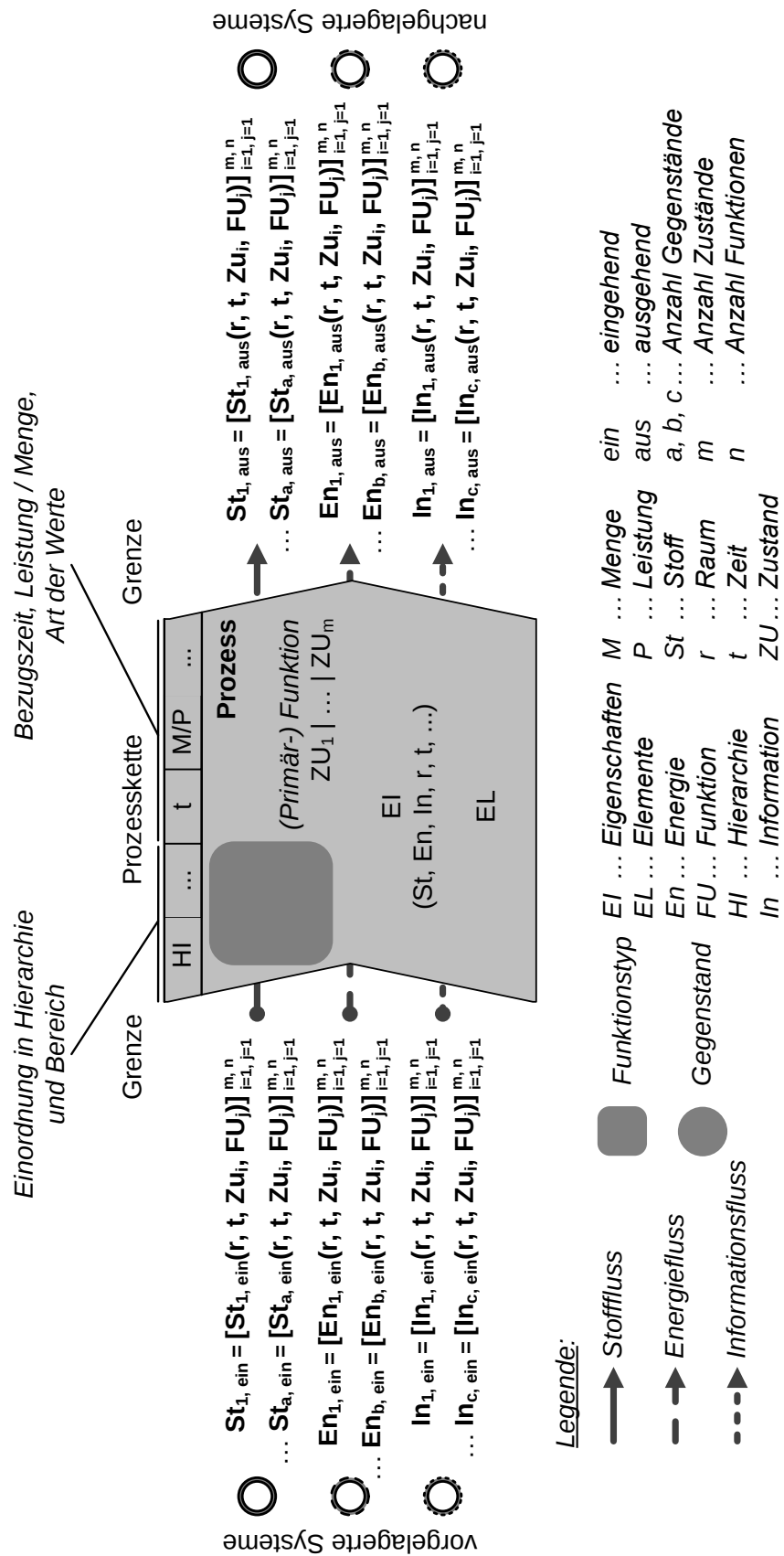


Abbildung 31: Verallgemeinertes Prozessmodell des Fabriksystems

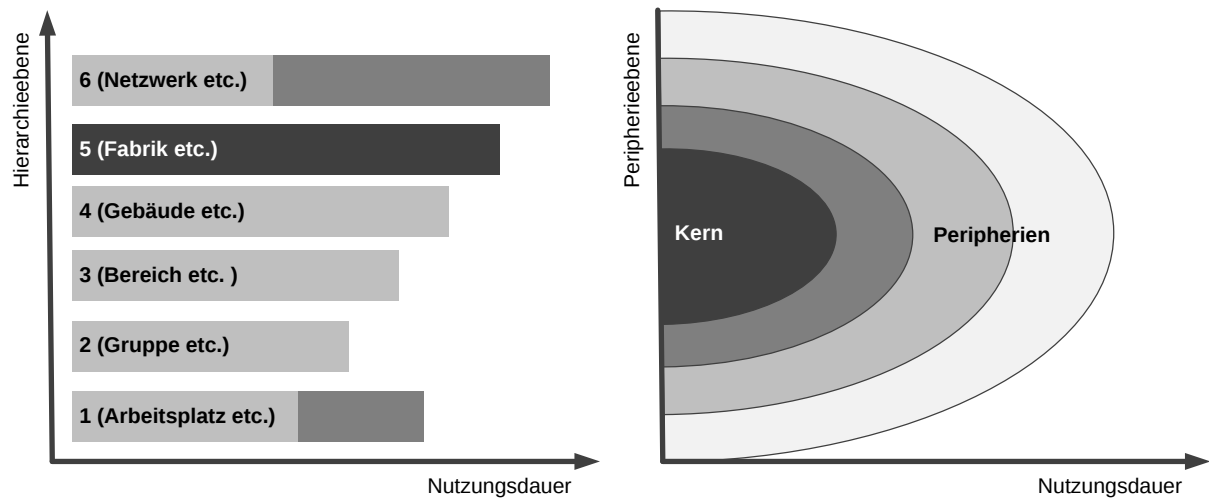


Abbildung 33: Nutzungsdauer nach Hierarchie- und Peripherieebenen des Fabriksystems

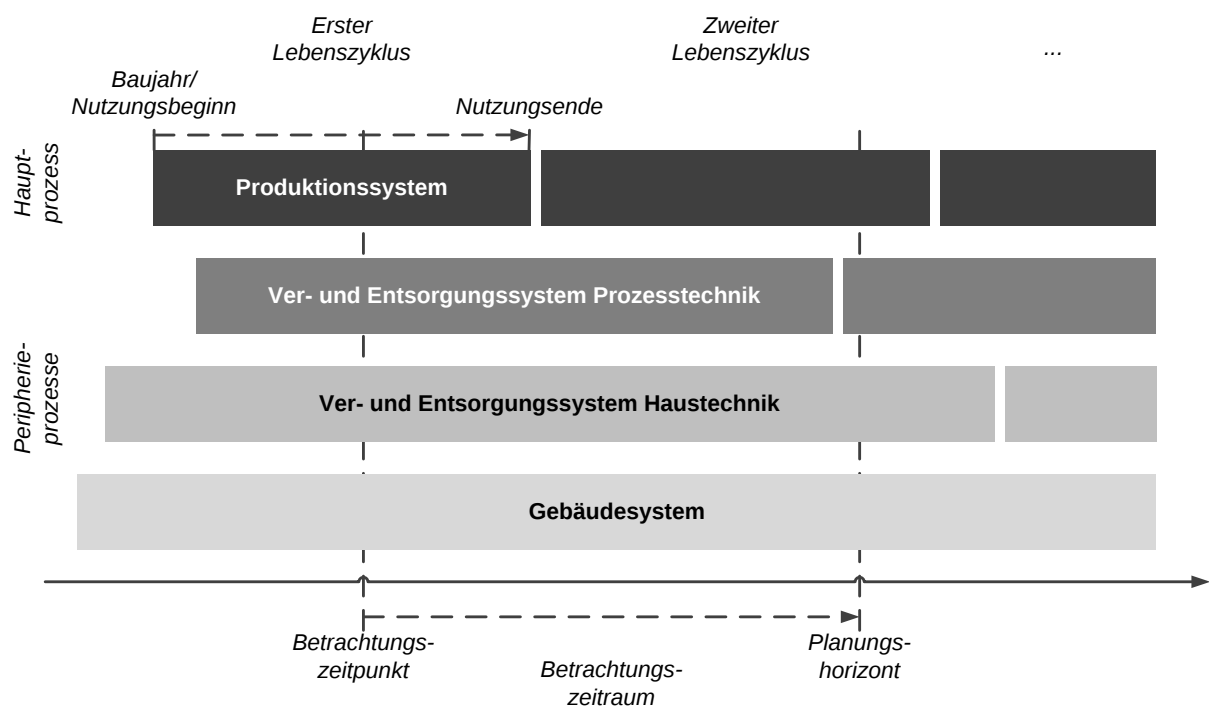


Abbildung 34: Lebenszyklen nach Funktionsbereichen des Fabriksystems

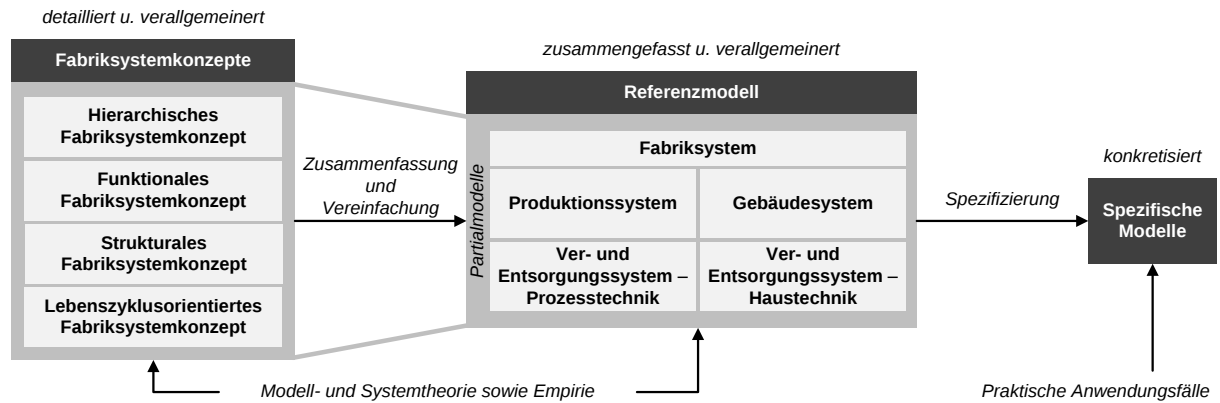


Abbildung 35: Herleitung und Anwendung des Referenzmodells

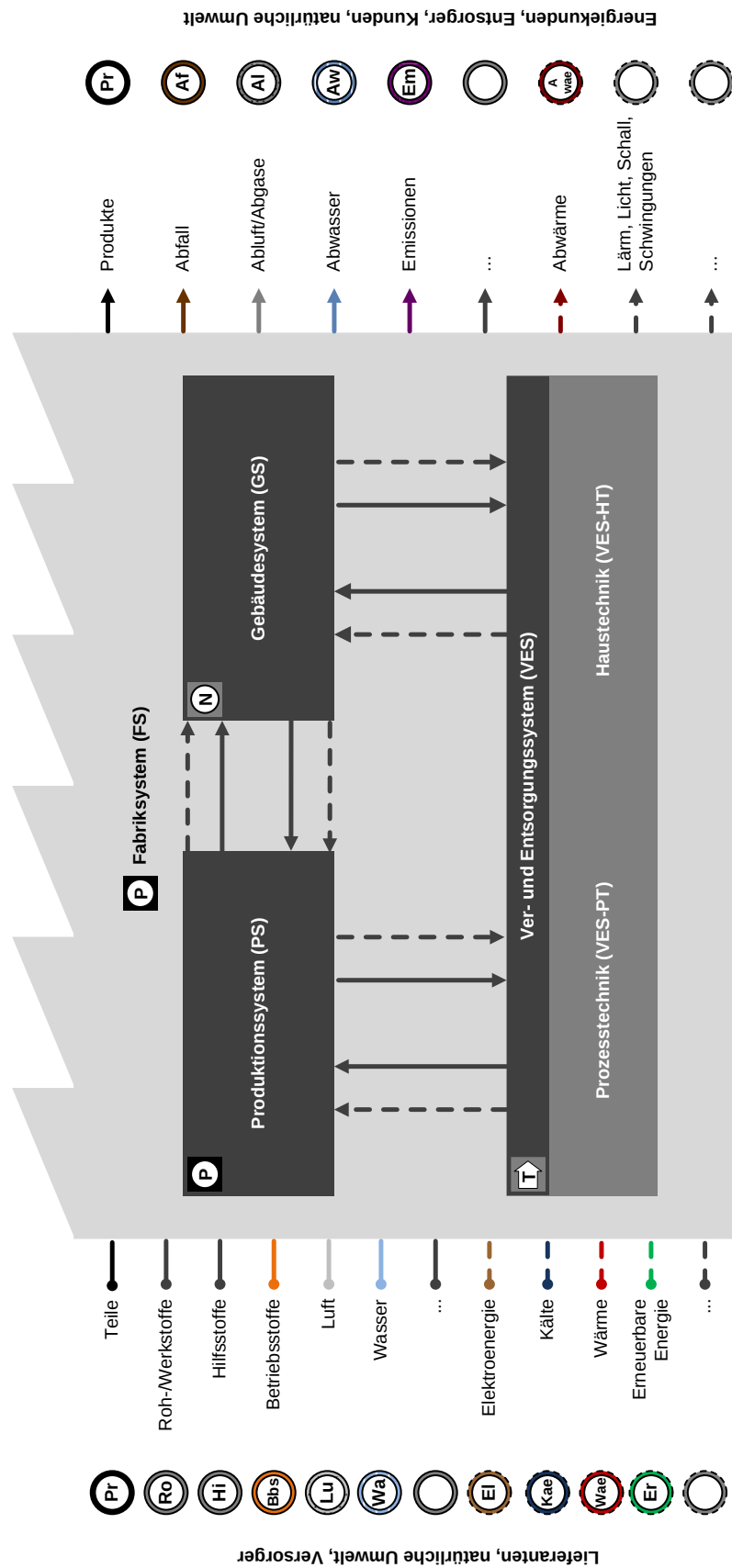


Abbildung 36: Überblick Referenzmodell

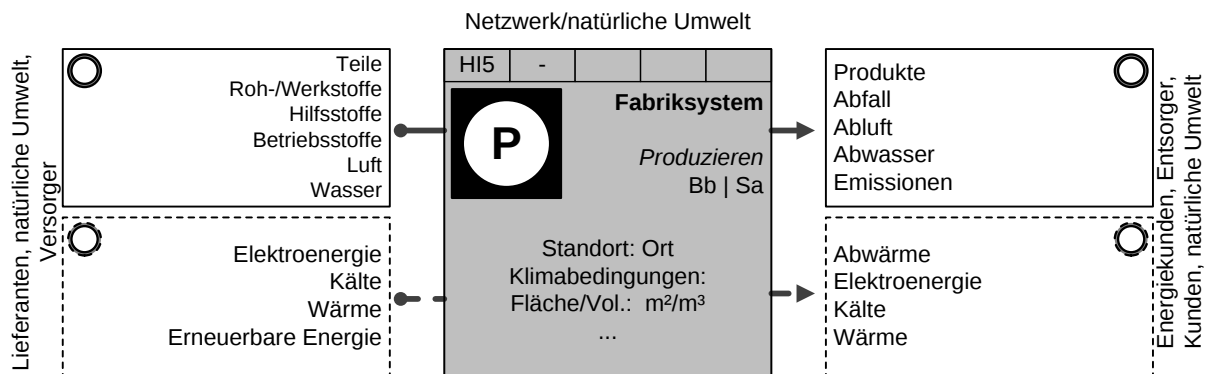


Abbildung 37: Partialmodell Funktion Fabriksystem

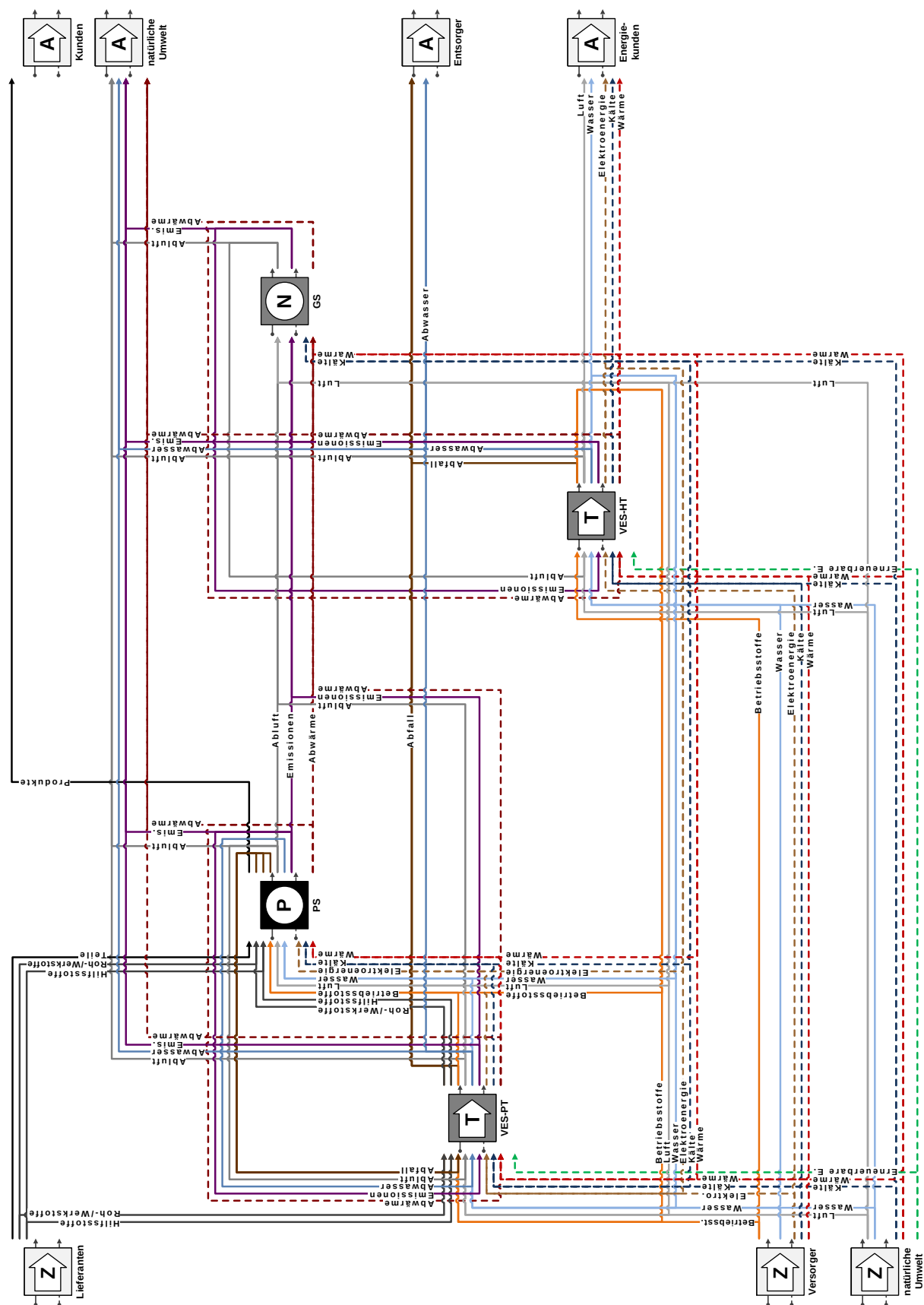


Abbildung 38: Partialmodell Struktur Fabrikssystem

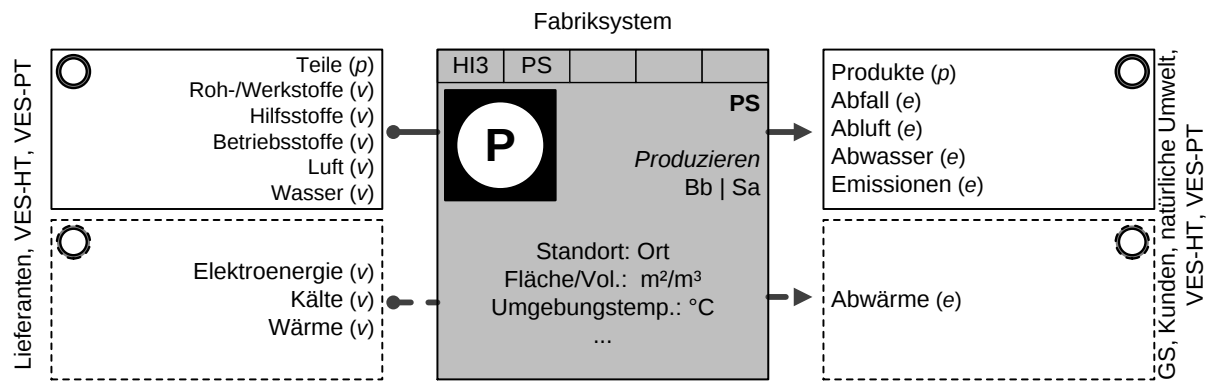


Abbildung 39: Partialmodell Funktion Produktionssystem

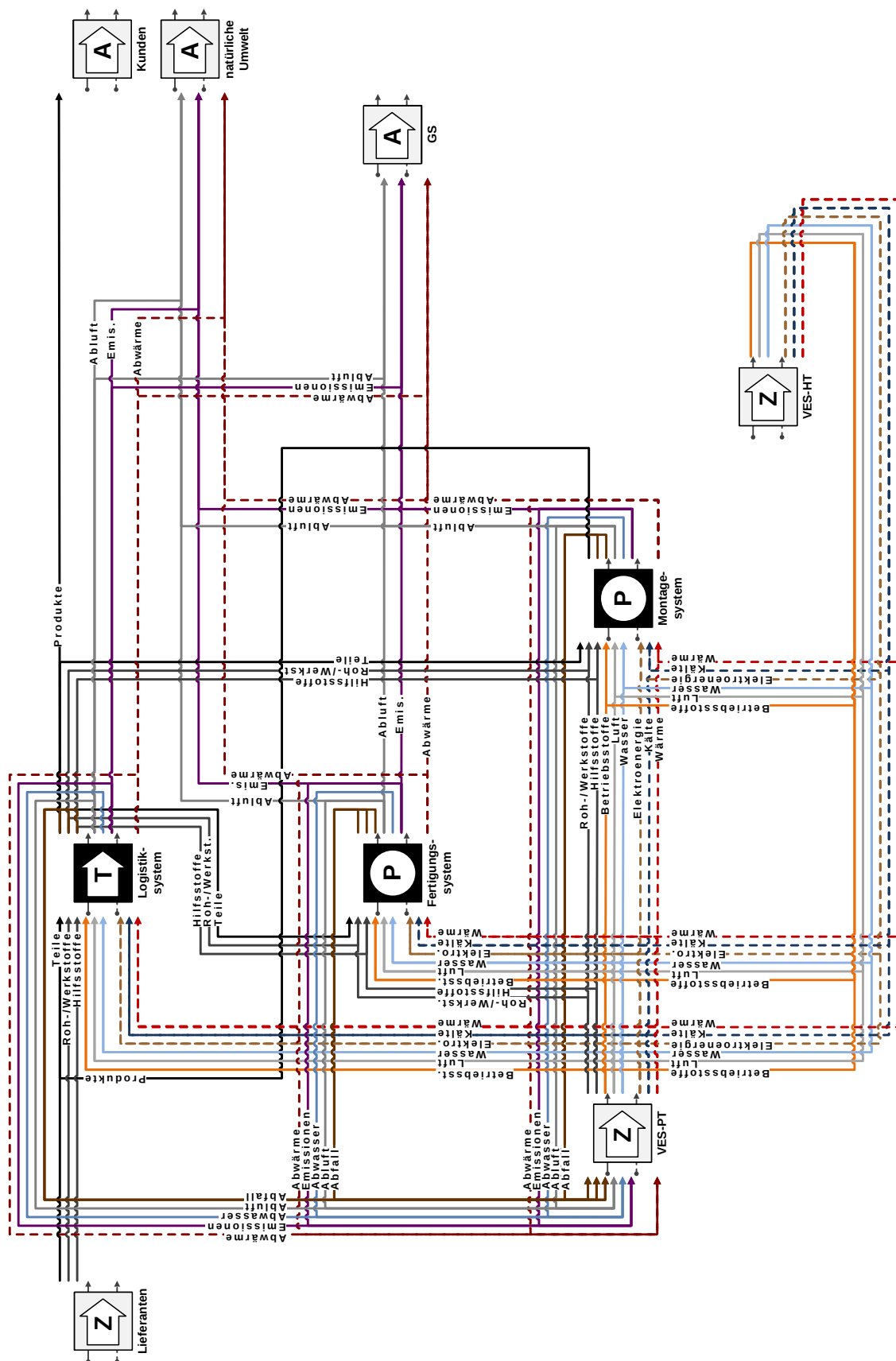


Abbildung 40: Partialmodell Struktur Produktionssystem

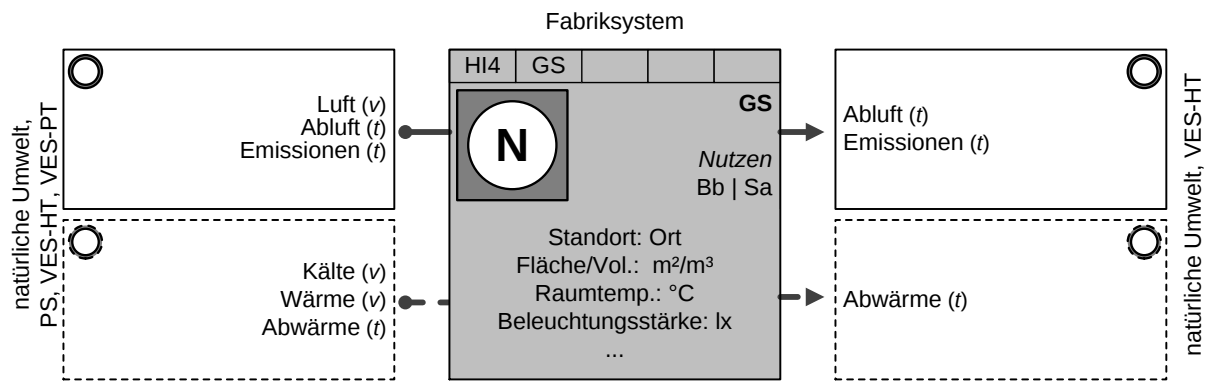


Abbildung 41: Partialmodell Funktion Gebäudesystem

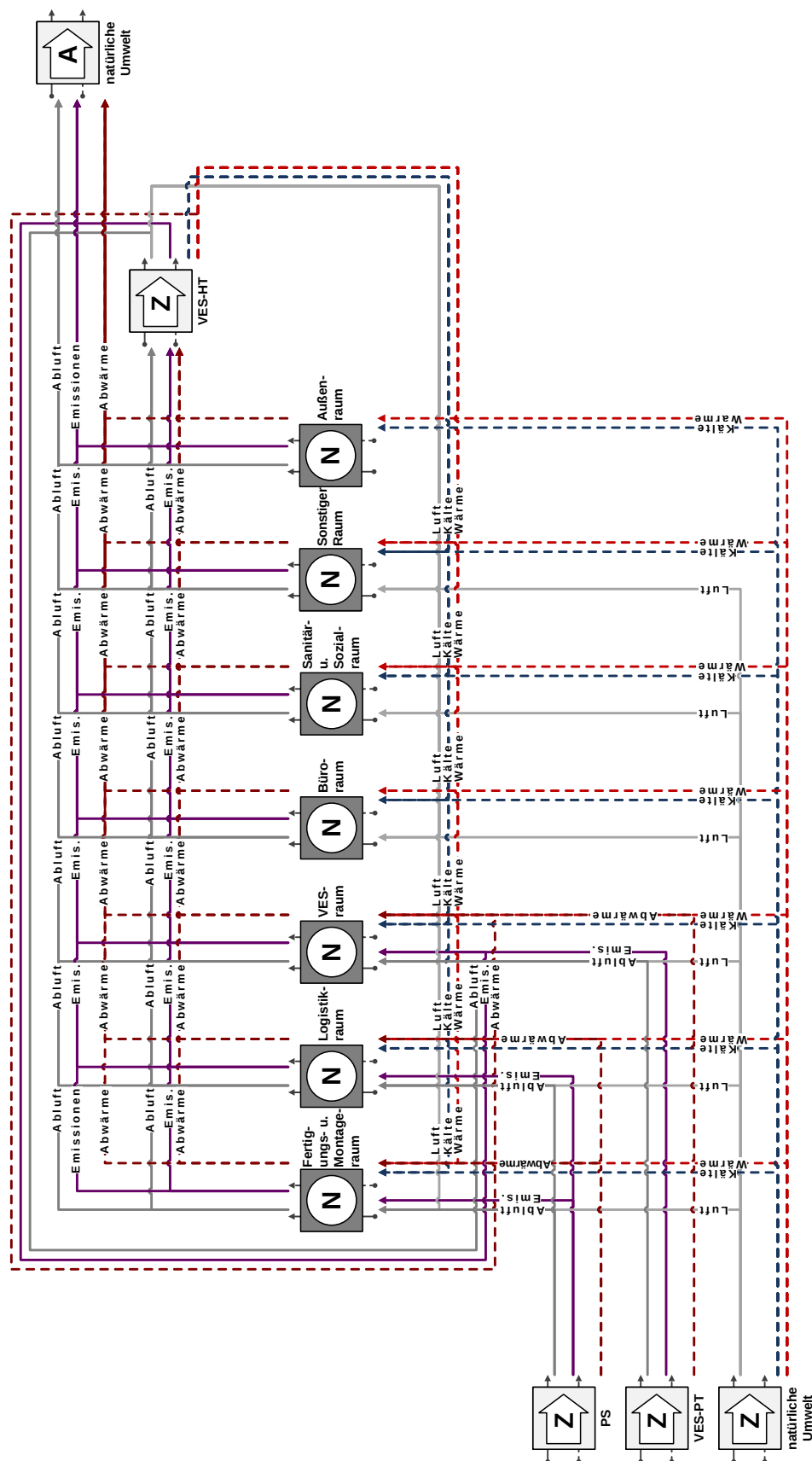


Abbildung 42: Partialmodell Struktur Gebäudesystem

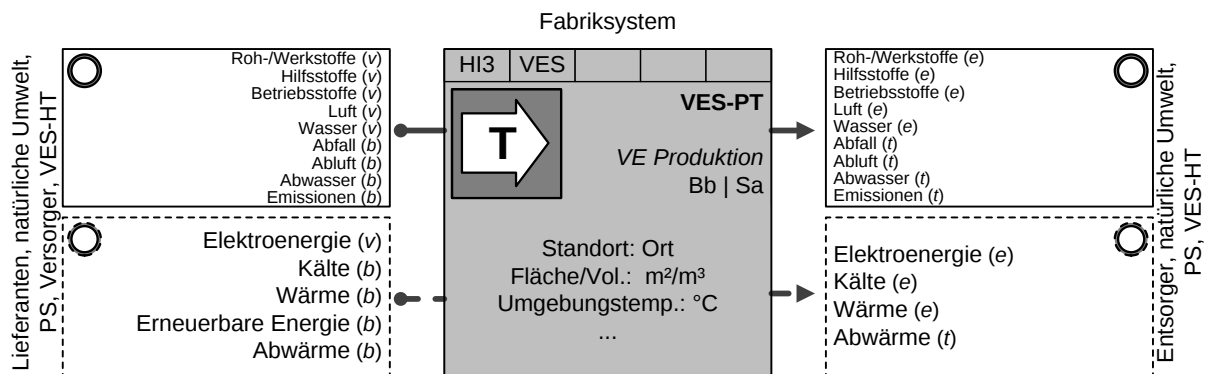


Abbildung 43: Partialmodell Funktion Ver- und Entsorgungssystem – Prozesstechnik

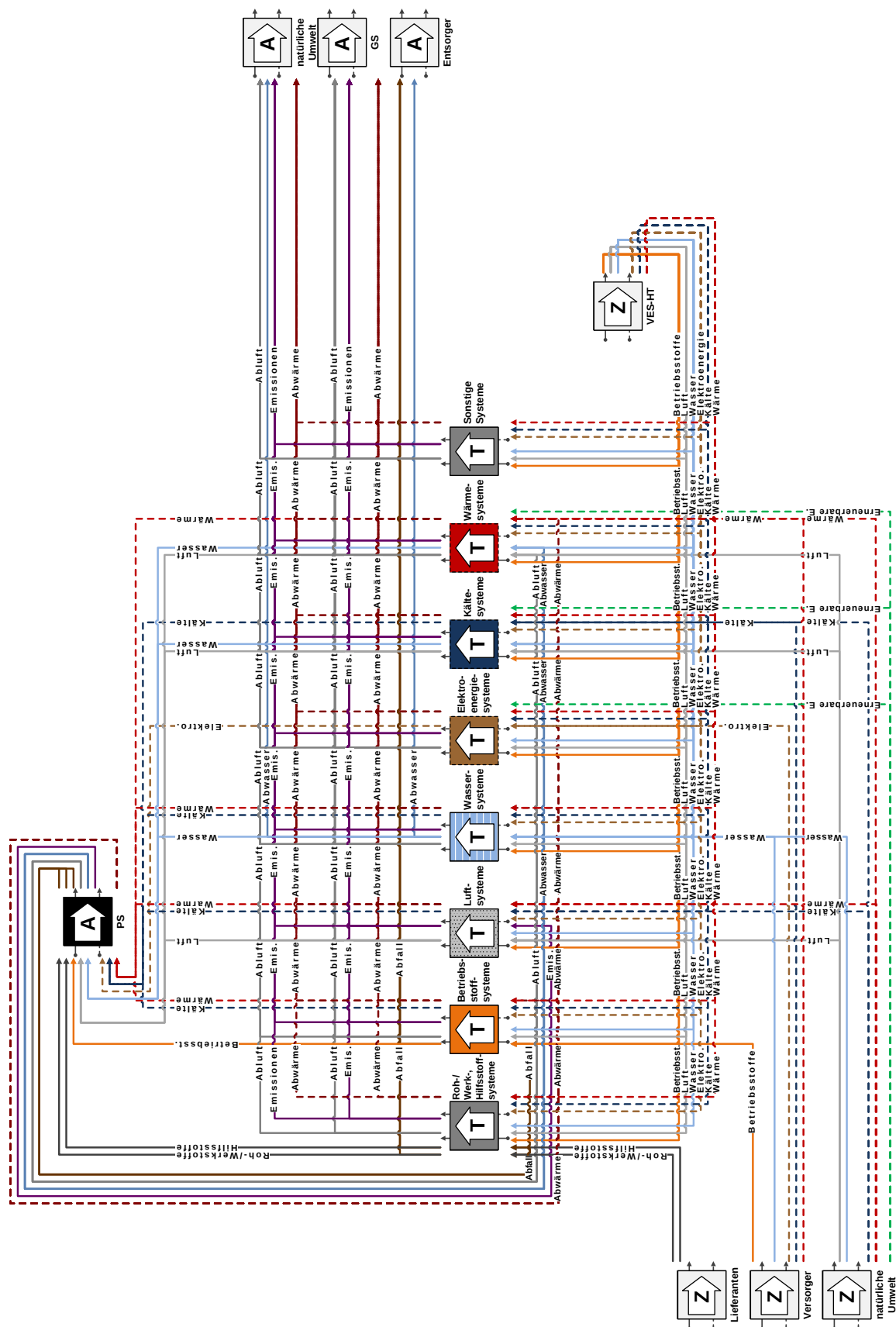


Abbildung 44: Partialmodell Struktur Ver- und Entsorgungssystem – Prozesstechnik

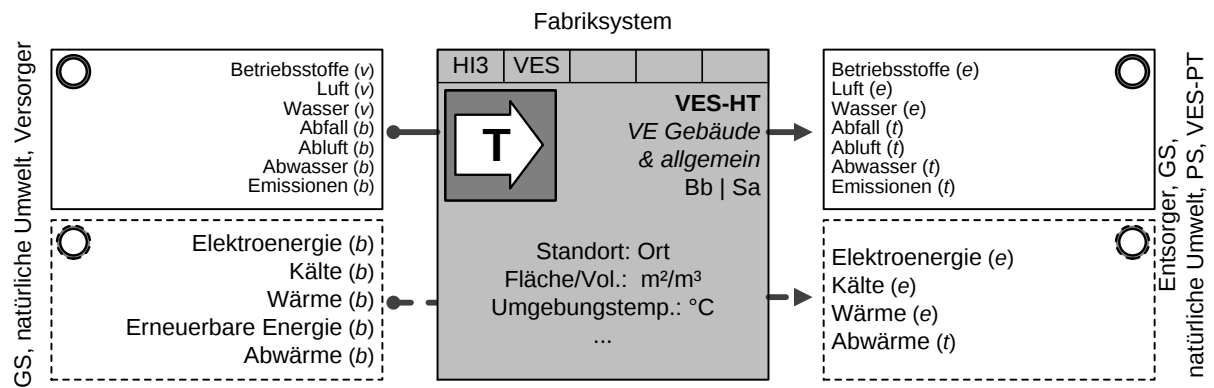


Abbildung 45: Partialmodell Funktion Ver- und Entsorgungssystem – Haustechnik

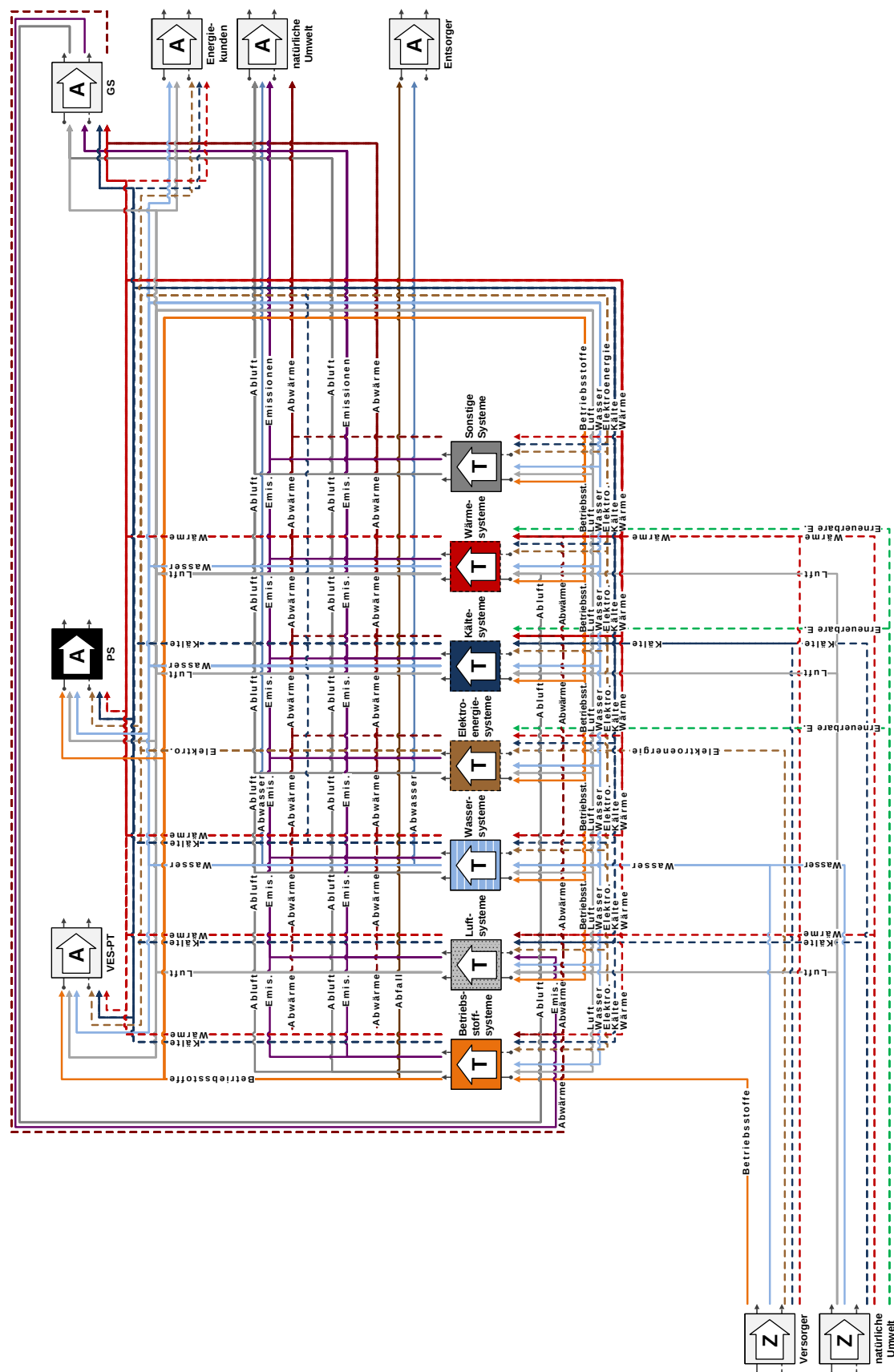


Abbildung 46: Partialmodell Struktur Ver- und Entsorgungssystem – Haustechnik

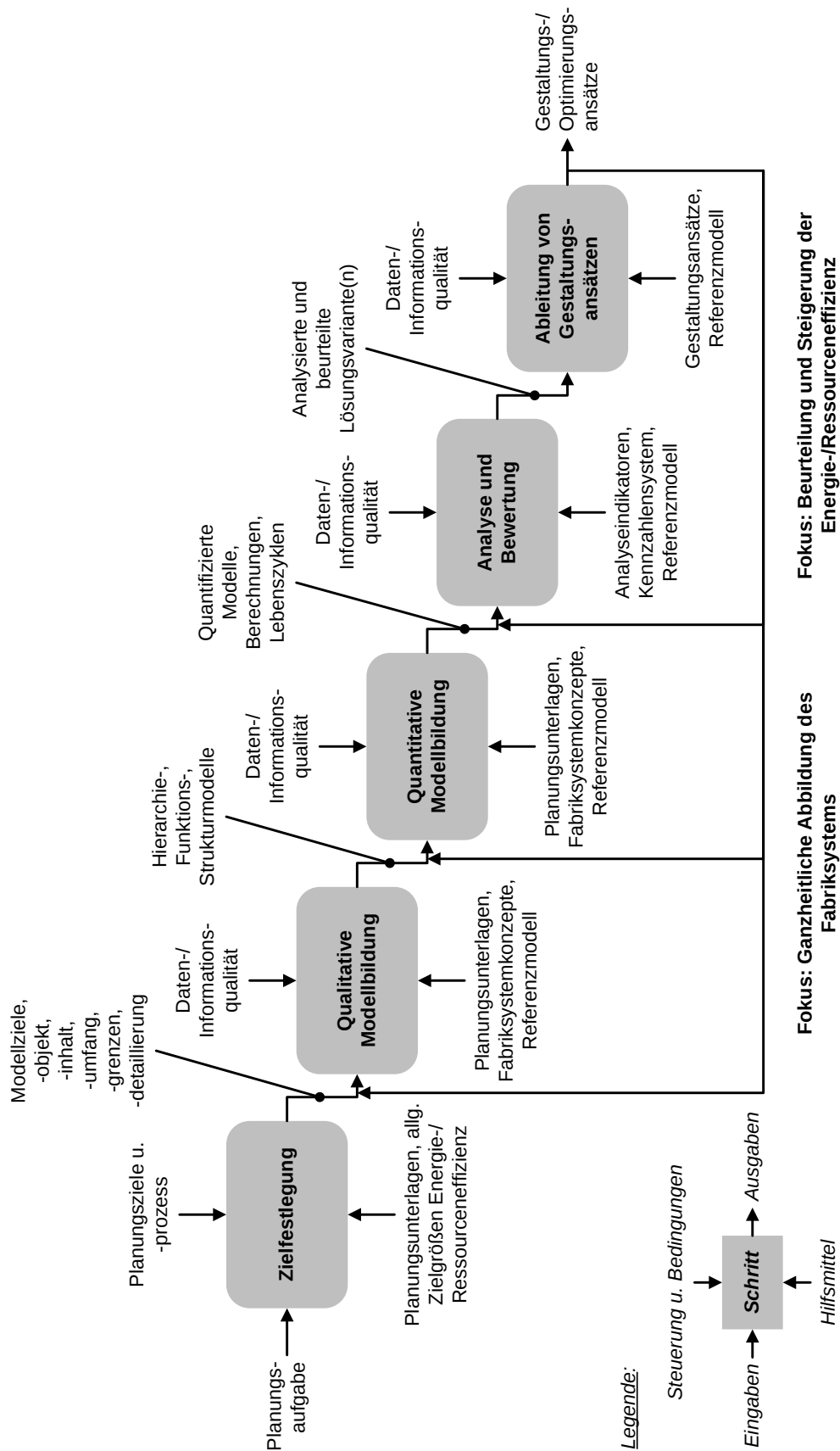


Abbildung 47: Vorgehensmodell zur Modellierung des Fabrik-systems

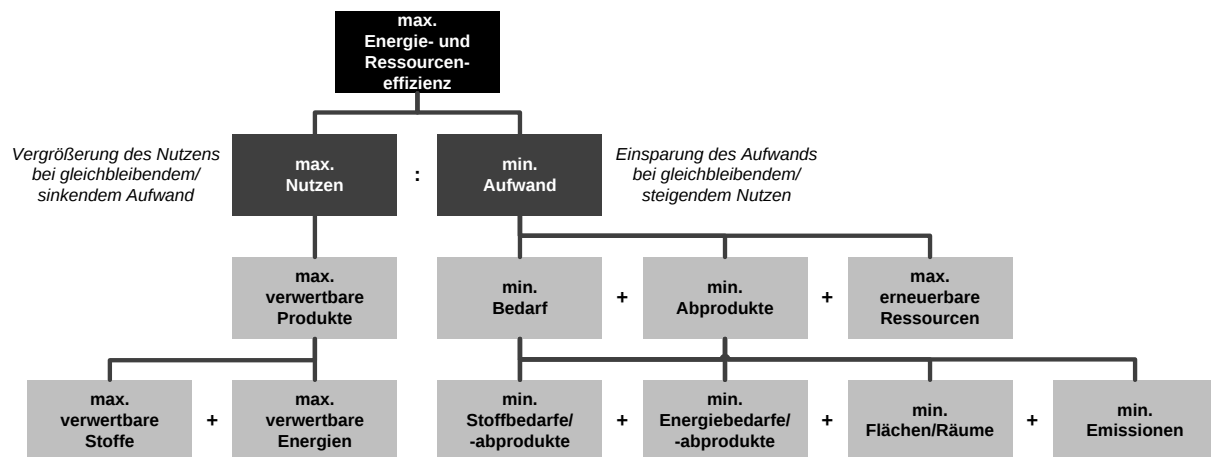


Abbildung 48: Zielgrößen für die Energie- und Ressourceneffizienz von Fabrikssystemen

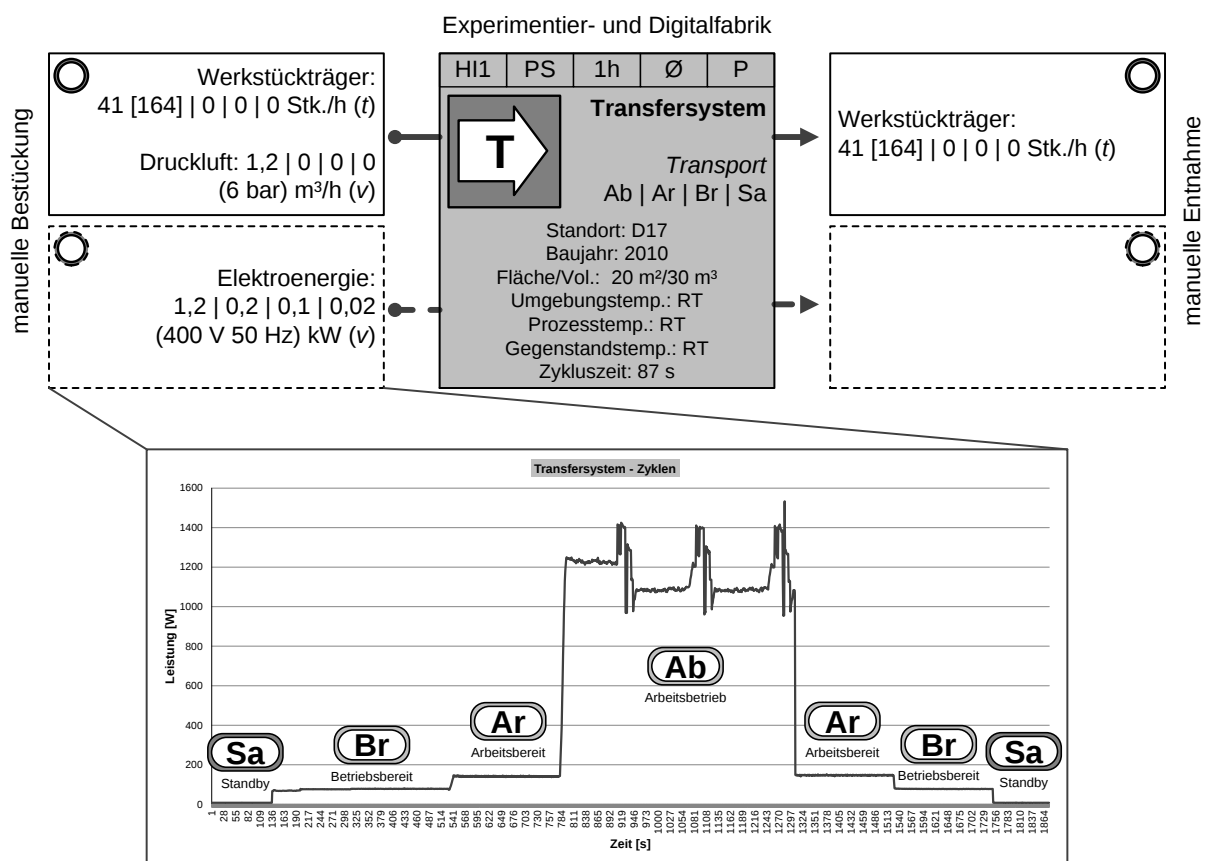


Abbildung 49: Quantitatives Funktionsmodell (Beispiel Transfersystem)

Tabelle 9: Kriterien zur Analyse der Modelle

Beschreibung	Beispiele
Art, Menge u. Ort zugeführter, erzeugter, ..., abgegebener Stoffe u. Energien	Rohstoffe, Energieträger, Abprodukte
Art, Menge u. Ort stofflicher u. energetischer Erzeuger, Speicher, Nutzer etc.	Erzeugungs-, Rückgewinnungssysteme
Aufbau der Stoff- u. Energiestrukturen	Energienetzstruktur, Energieflüsse
Verhältnis von stofflichen Ein- u. Ausgaben (Stoffbilanz)	Roh- u. Hilfsstoffe zu Produkt u. Abfall
Verhältnis von energetischen Ein- u. Ausgaben (Energiebilanz)	Elektroenergie zu mech. Energie u. Abwärme
Art, Menge u. Ort der Bedarfe u. Kapazitäten	Energiebedarf u. Energiezuführung/-erzeugung
Temperaturen	Gegenstands-, Prozess-, Umgebungstemperaturen
Leistungsprofile/Lastgänge	minimale, mittlere, maximale Lasten
Lebenszyklen	Lebenszyklen PS, GS und VES

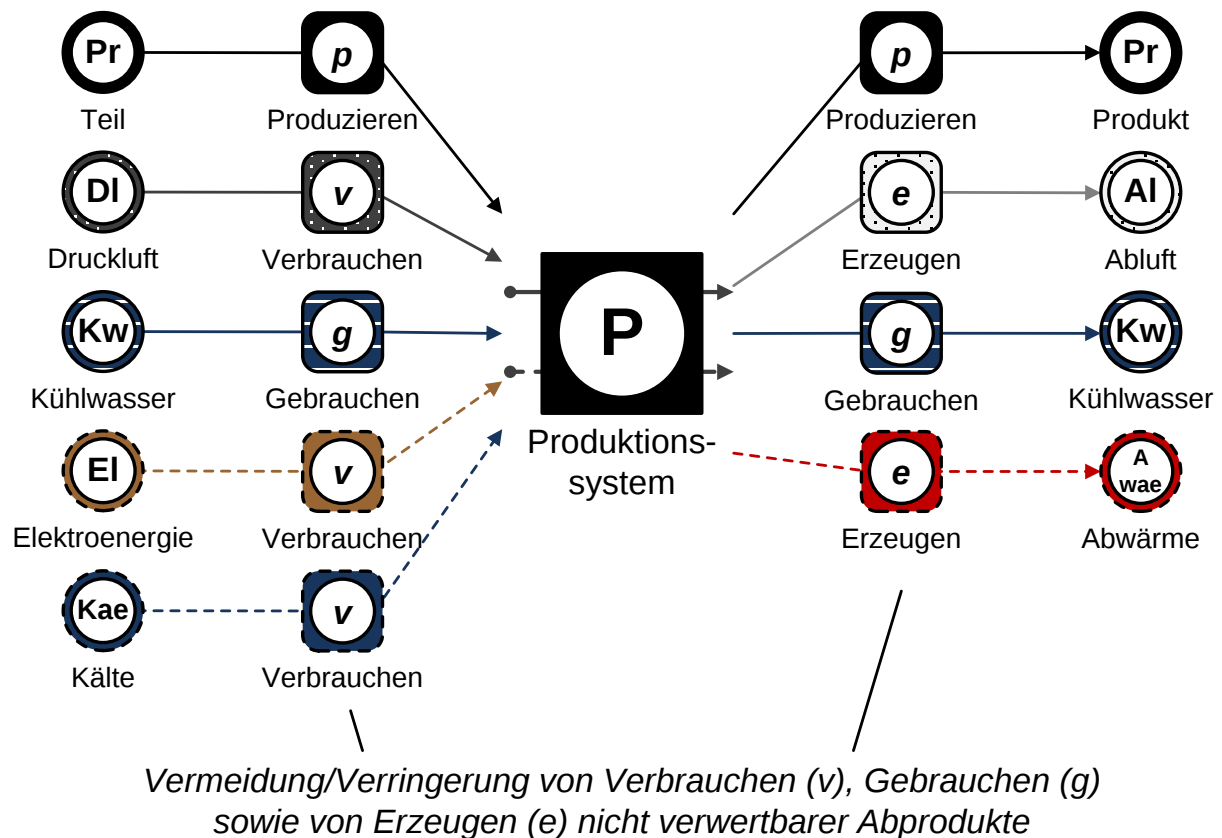


Abbildung 50: Zusammenhang von Funktionen und Gegenständen eines Systems (Beispiel)

Tabelle 10: Kennzahlenkatalog

Klasse	Kennzahl	Menge (M)/ Leistung (P)	maximieren/ minimieren	Eingabe (E)/ Ausgabe (A)	Berechnung	geeignete Bezugsgrößen	Beispiel- kennzahlen
Stoff	Stoffbedarf	M	min.	E	Summe aller eingesetzten Stoffe/ Bezugsgröße	Energiemenge; Produkte; Zeitraum	Rohstoff-, Wasserbedarf
	verwertbare Stoffprodukte	M	max.	A	Summe aller abgegebenen, nutzbaren Stoffe/ Bezugsgröße	Produkte; Zeitraum	Produkte, Teile
	nicht-verwertbare Stoffprodukte	M	min.	A	Summe aller abgegebenen, nicht-nutzbaren Stoffe/ Bezugsgröße	Produkte; Zeitraum	Abfall, Abwasser
	Stoffstrom	P	max./min.*	E/A	Stoffstrom/ Bezugsgröße	Energiestrom	Druckluftdurchfluss
Energie	Energiebedarf	M	min.	E	Summe aller eingesetzten Energien/ Bezugsgröße	Fläche; Produkte; Zeitraum	Elektroenergie-, Wärmebedarf
	Energiebedarf an erneuerbaren Energien	M	max.	E	Summe aller erneuerbaren Energien/ Energiebedarf	Zeitraum	Anteil Elektroenergie aus Photovoltaik
	Eigenerzeugung an erneuerbaren Energien	M	max.	A	Summe aller selbst erzeugten erneuerbaren Energien/ Bezugsgröße	Zeitraum	Elektroenergie aus Photovoltaik
	verwertbare Energieprodukte	M	max.	A	Summe aller abgegebenen, nutzbaren Energien/ Bezugsgröße	Zeitraum	verkaufbare Elektroenergie
	nicht-verwertbare Energieprodukte	M	min.	A	Summe aller abgegebenen, nicht-nutzbaren Energien/ Bezugsgröße	Zeitraum	Abwärme
	Energiestrom	P	max./min.*	E/A	Energiestrom/ Bezugsgröße	Stoffstrom	Wärmestrom
Fläche / Raum	Flächenbedarf	M	min.	E	Summe bebauter bzw. versiegelter Fläche/ Bezugsgröße	Gesamtfläche	Grundfläche
	Raumbedarf	M	min.	E	Summe bebauter Raum/ Bezugsgröße	Gesamtvolumen	Raumvolumen
Emission	Emissionen	M	min.	A	Summe aller Emissionen/ Bezugsgröße	Zeitraum; Stoff-/ Energiemenge	CO ₂ -Emissionen
Weitere	...						

* Strom steht hier sowohl für Bedarf/Eingabe als auch für Kapazität/Ausgabe. Deshalb ist diese Größe je nach Anwendungsfall zu maximieren oder zu minimieren.

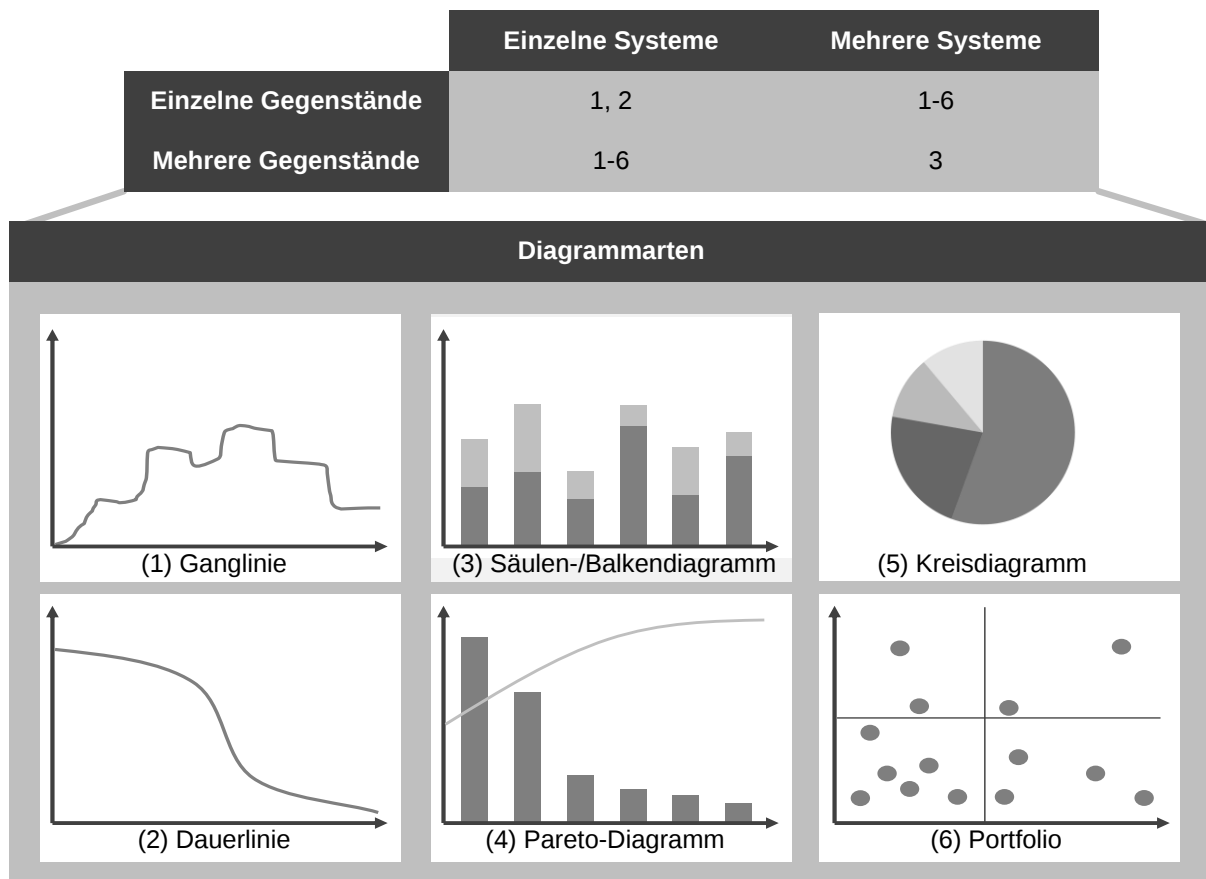


Abbildung 51: Diagrammarten zur Auswertung

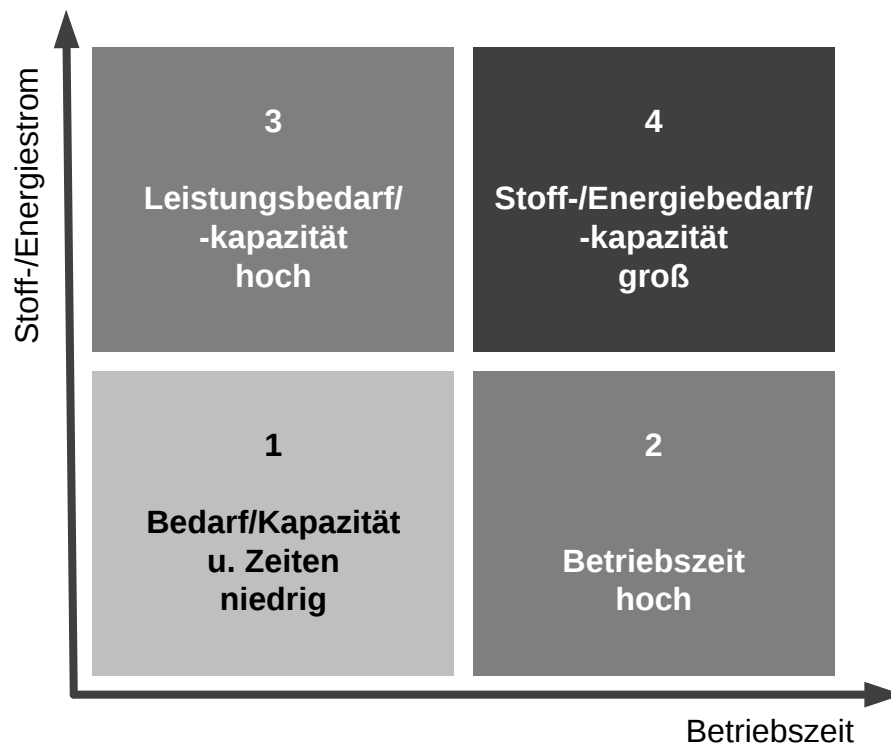


Abbildung 52: Stoff- und Energieportfolio nach (Thiede 2012, S. 137)

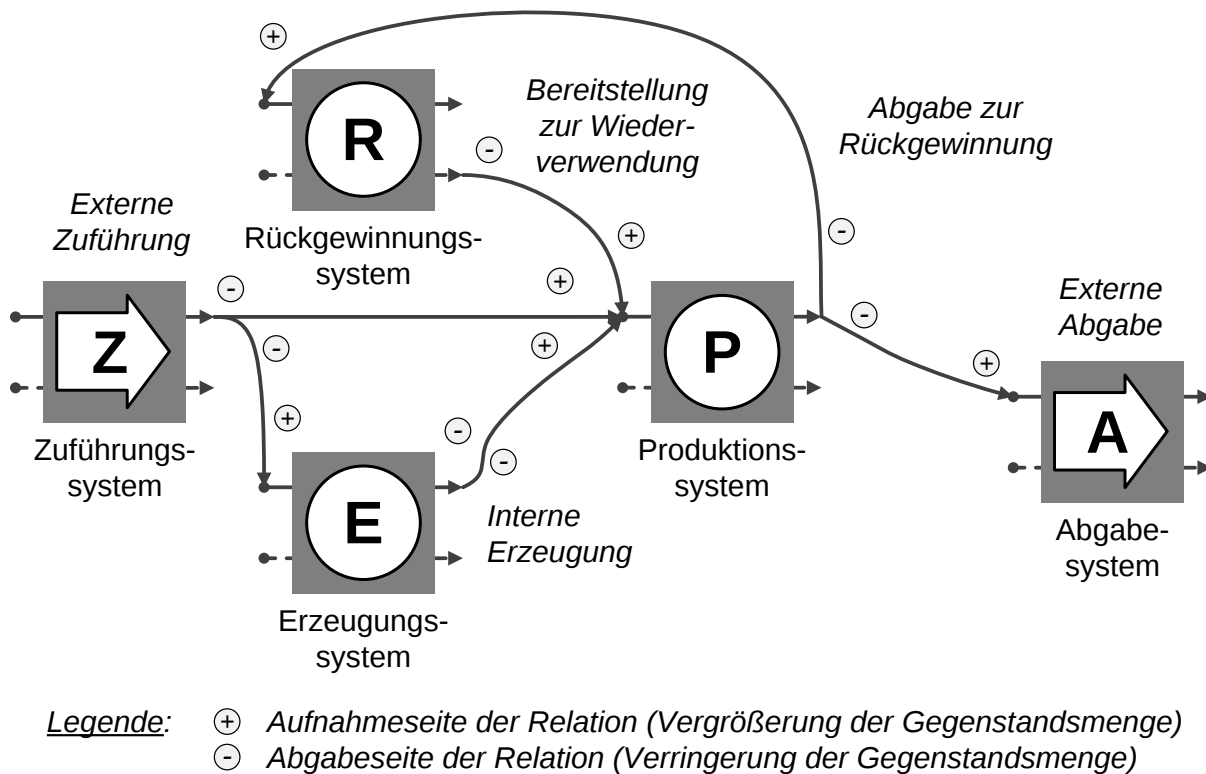


Abbildung 53: Darstellung der Wirkbeziehungen auf Basis strukturaler Relationen (Beispiel)

Tabelle 11: Gestaltungsansätze für die Modelle

Beschreibung	Beispiele
Substitution von Stoffen u. Energien	Ersetzung umweltschädigender (z. B. Säure) oder energieintensiver Stoffe (z. B. Druckluft)
Nutzung erneuerbarer Stoffe u. Energien	Verwendung nachwachsender Stoffe oder erneuerbarer Energien (z. B. Photovoltaik)
Nutzung natürlicher Stoffe u. Energien	Verwendung von Luft zur Trocknung/Kühlung oder Wasser zur Heizungsunterstützung/Kühlung
Substitution von Systemen u. Prozessen	Ersetzung energie- bzw. ressourcenintensiver Anlagen, Maschinen oder Produktionsprozesse
Flächen-/Raumoptimierung einschließlich Zonierung	Reduzierung bebauter bzw. versiegelter Fläche oder Raumzonierung
Weg-/Leitungsminimierung	Reduzierung von Transportweglängen oder Verkleinerung von Leitungsnetzen
Gegenüberstellung von installierter Kapazität des VES u. des Bedarfes von PS u. GS	Bedarfsgerechte Dimensionierung der Energiezuführung und -erzeugung
Auslegung zentraler u. dezentraler VES	Zentralisierung viel genutzter VES u. Dezentralisierung wenig genutzter VES
Aufteilung/Zusammenfassung von Relationen	Aufteilung von Trink- u. Brauchwasser oder Druckluft mit niedrigem u. hohem Druck
Entwurf von Stoff- u. Energiekreisläufen	Verbindung der Ausgaben (inkl. Abprodukte) mit den Eingaben von Systemen ohne Abgabe nach außen
Nutzung der Abprodukte	Rückgewinnung u. Wiederverwendung von Abfall, Abwasser, Abluft u. Abwärme (lokal oder vernetzt)

5 Evaluation

Tabelle 12: Verwendete Methoden zur Evaluation

Methode	Kriterium	Fragestellung	Indikatoren
GoM	Praktikabilität durch Qualität	Wie ist die Methodik konzipiert?	Aufbau, Klarheit, Relevanz, Richtigkeit, Vergleichbarkeit, Wirtschaftlichkeit
Fallstudie	Praktikabilität durch Wirksamkeit	Wie ist ein Fabrikkonzept mit der Methodik abbildbar?	Abstraktion, Handhabung, Vollständigkeit des modellierten Fabrikkonzepts
Prototyp	Praktikabilität durch Übertragbarkeit	Wie ist die Methodik programmtechnisch umsetzbar?	Funktionalitäten zur Unterstützung der Methodik

	Stoffe						Energien	
allgemein PS, VES-PT GS, VES-HT								
	Abluft	Abluft belastet	Abwasser	Abwasser belastet	(Trink-) Wasser		Abwärme	Elektroenergie
								
	Produkt (Wafer/Zelle)	Chemikalien	Druckluft	Kühlwasser	Reinstwasser	Schlamm	Kälte	Wärme
								
	Diesel	Erdgas	(Frisch-/Raum-) Luft	Heizwasser	Kaltwasser		(Raum-) Kälte	(Raum-) Wärme

Abbildung 54: Übersicht der Gegenstände

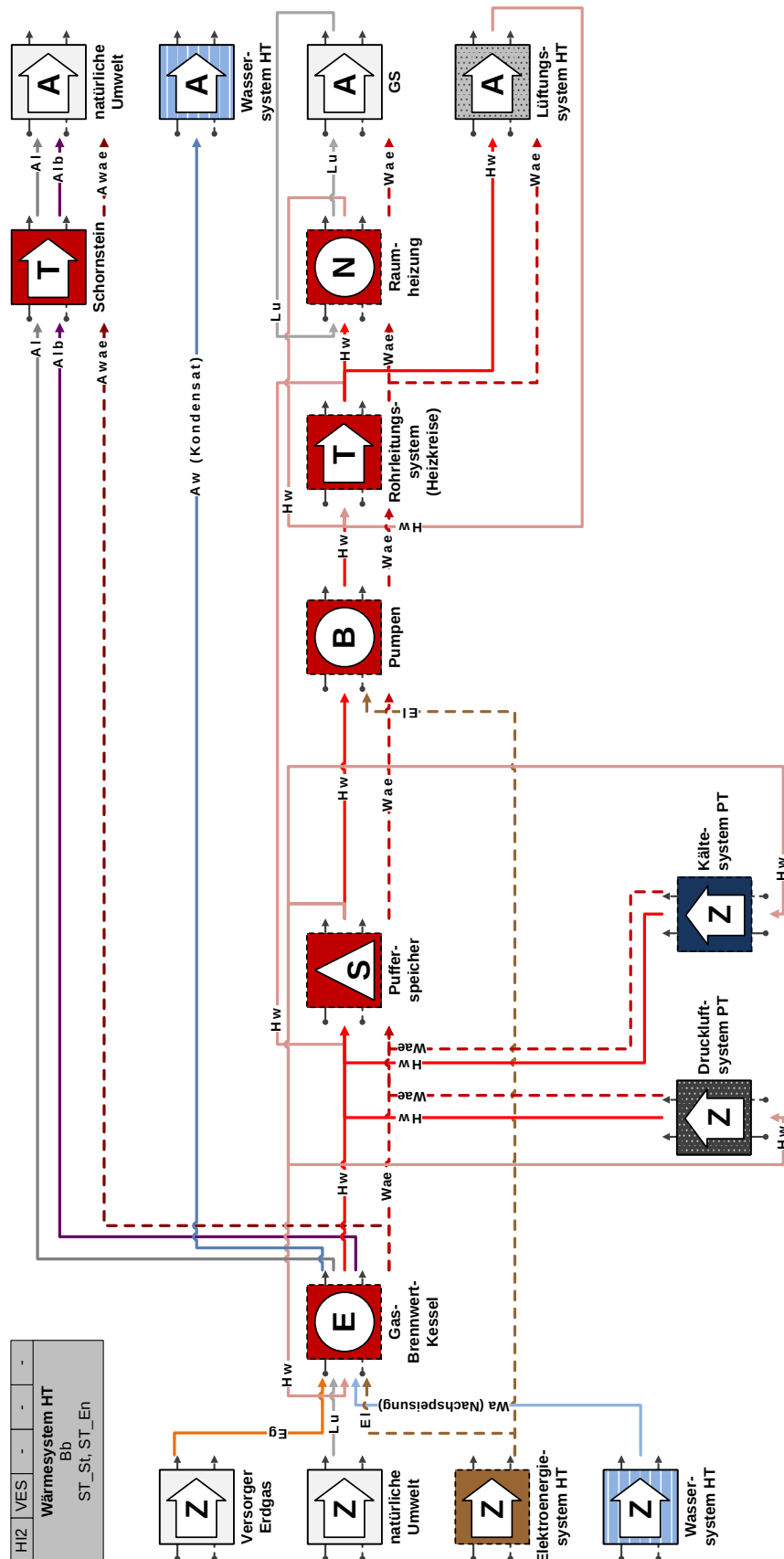


Abbildung 55: Qualitative Aufbaustruktur der Wärmeversorgung Haustechnik

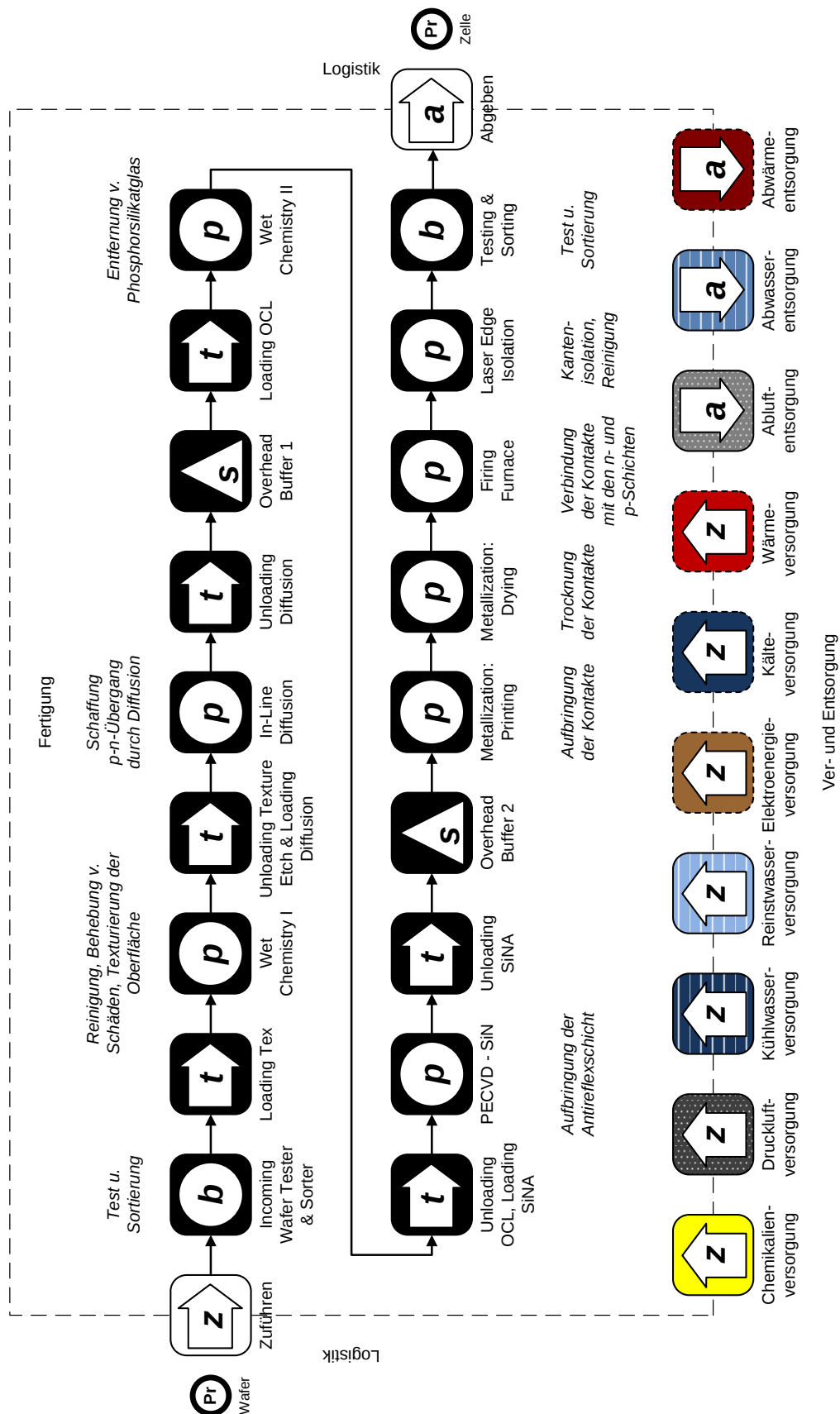


Abbildung 56: Qualitative Ablaufstruktur des Fertigungsprozesses

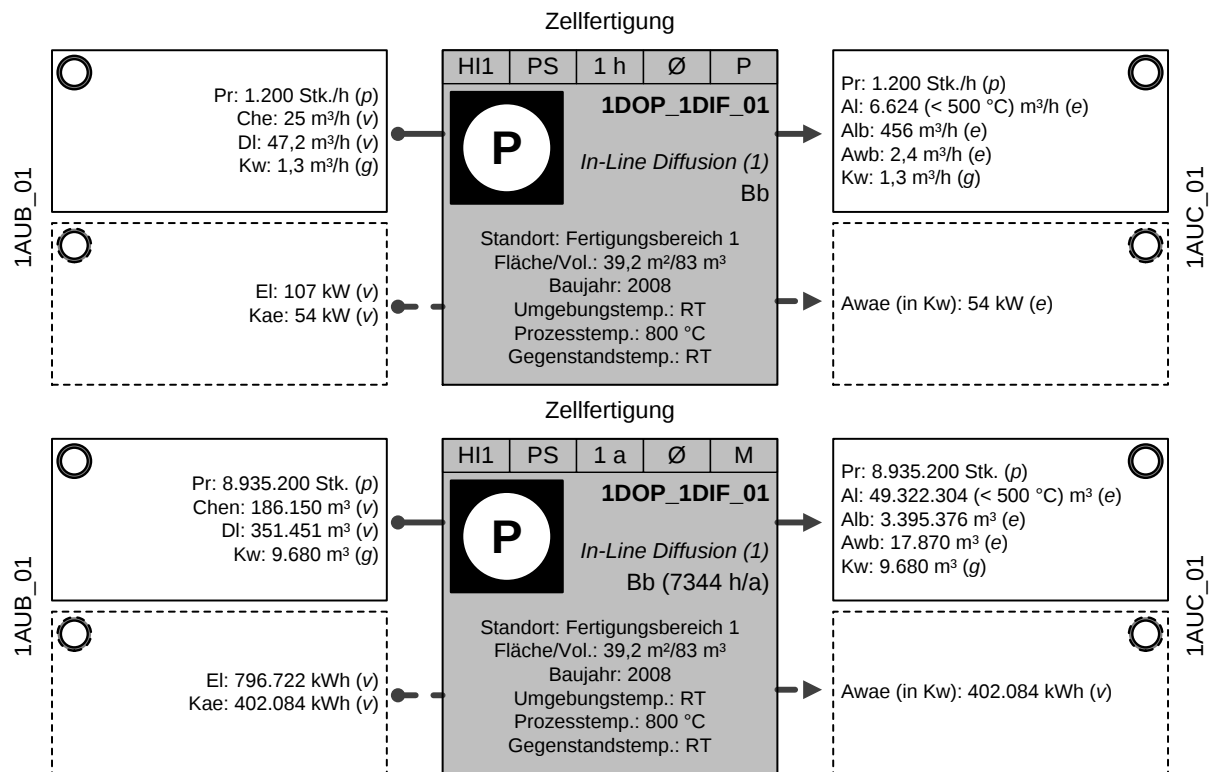


Abbildung 57: Leistungs- und mengenbezogene Funktionsmodelle einer Fertigungsanlage

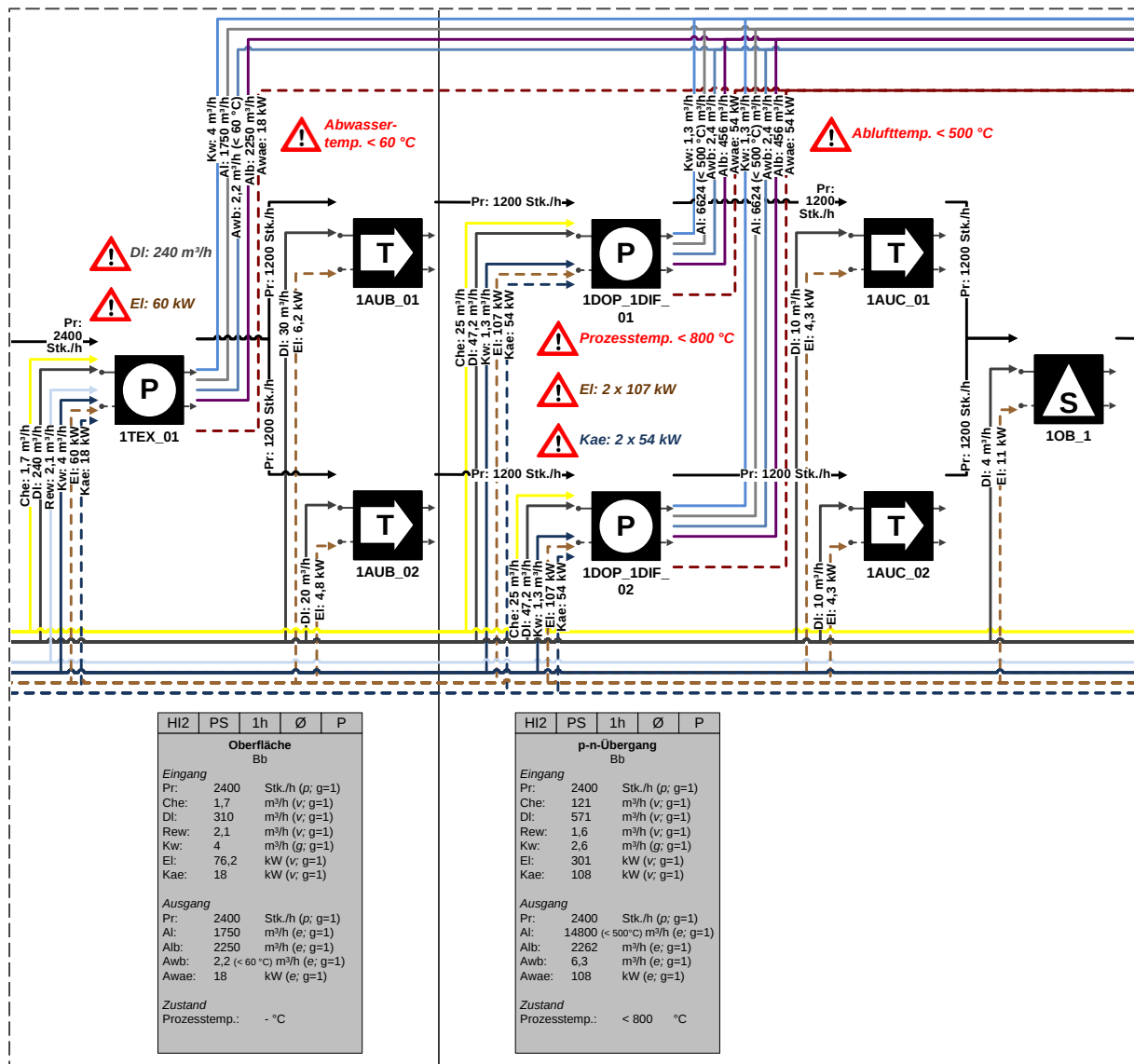


Abbildung 58: Analyzierte und bewertete Fertigungslinie (Ausschnitt)

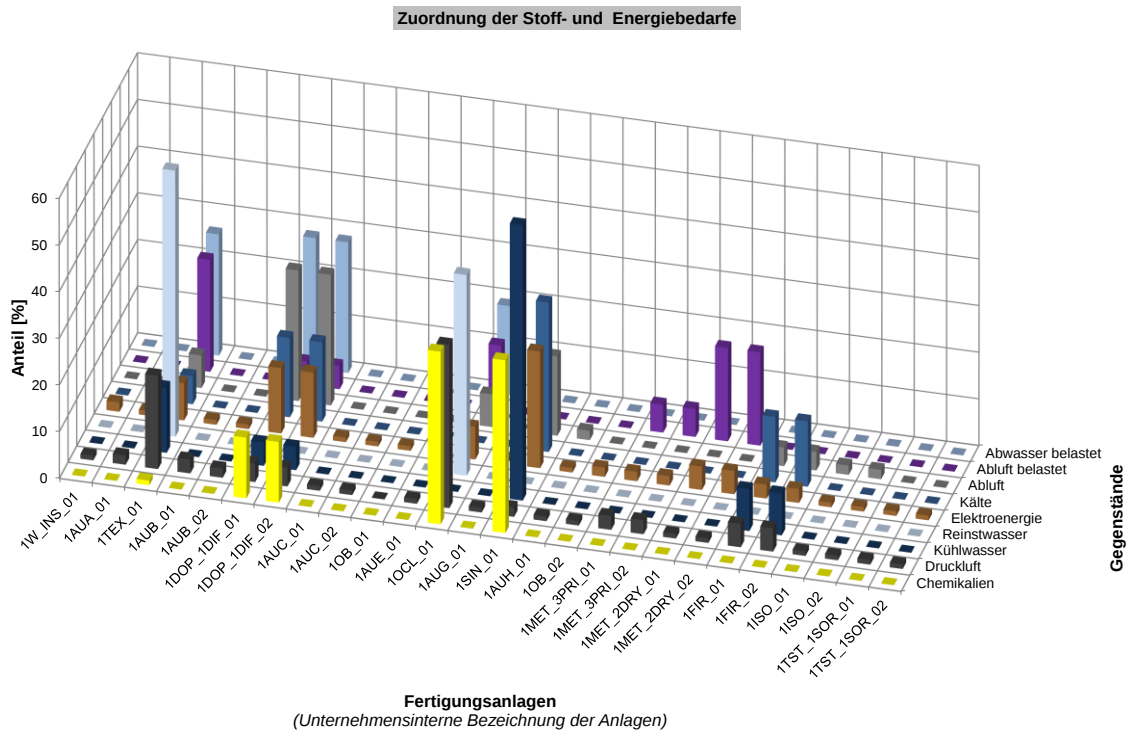


Abbildung 59: Gegenüberstellung von Systemen und Gegenständen einer Fertigungsline

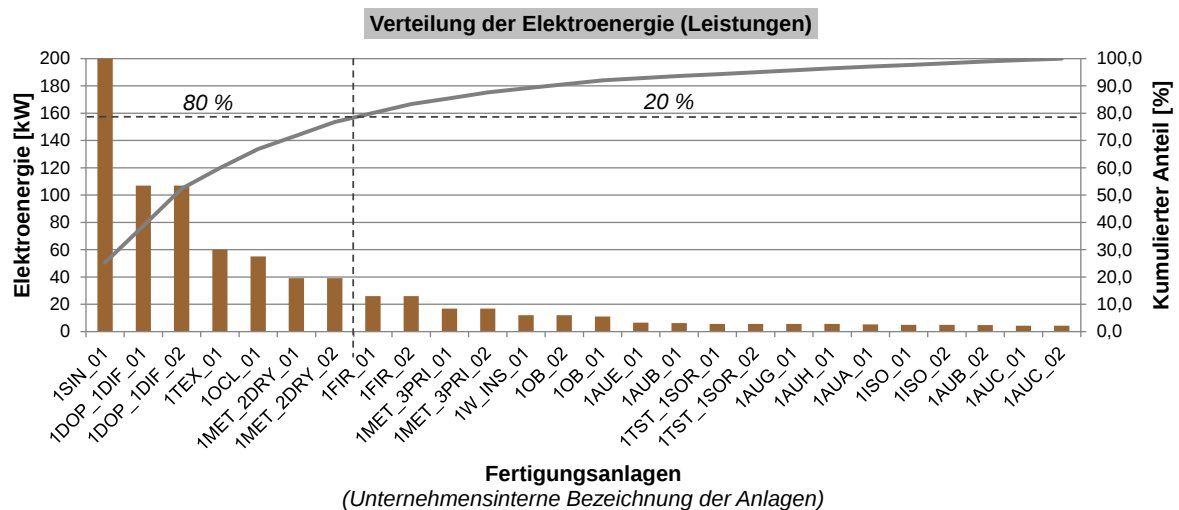


Abbildung 60: Pareto-Diagramm für die Elektroenergie einer Fertigungsline

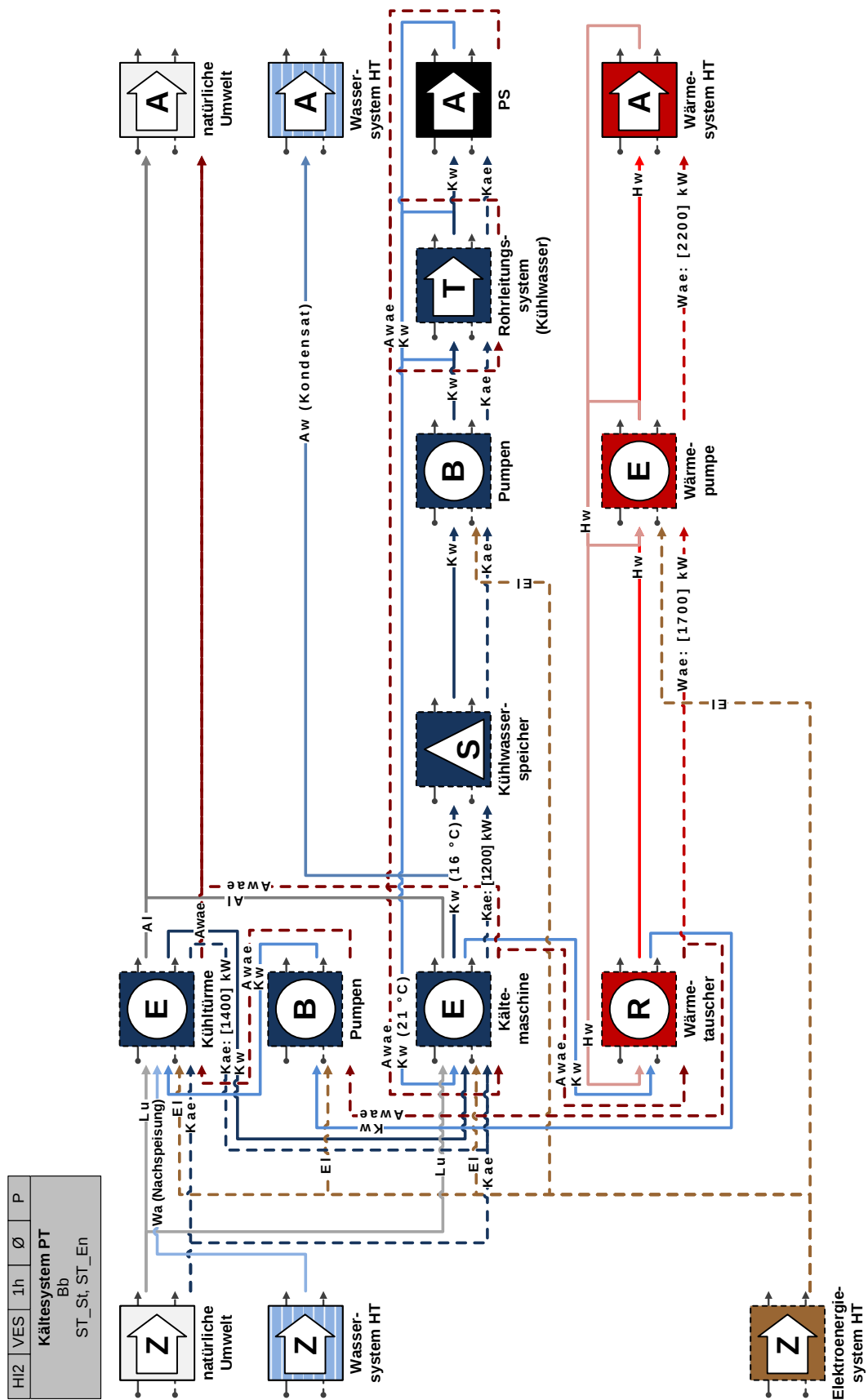


Abbildung 61: Energiekreisläufe mit Energierückgewinnung im Kältesystem Prozesstechnik

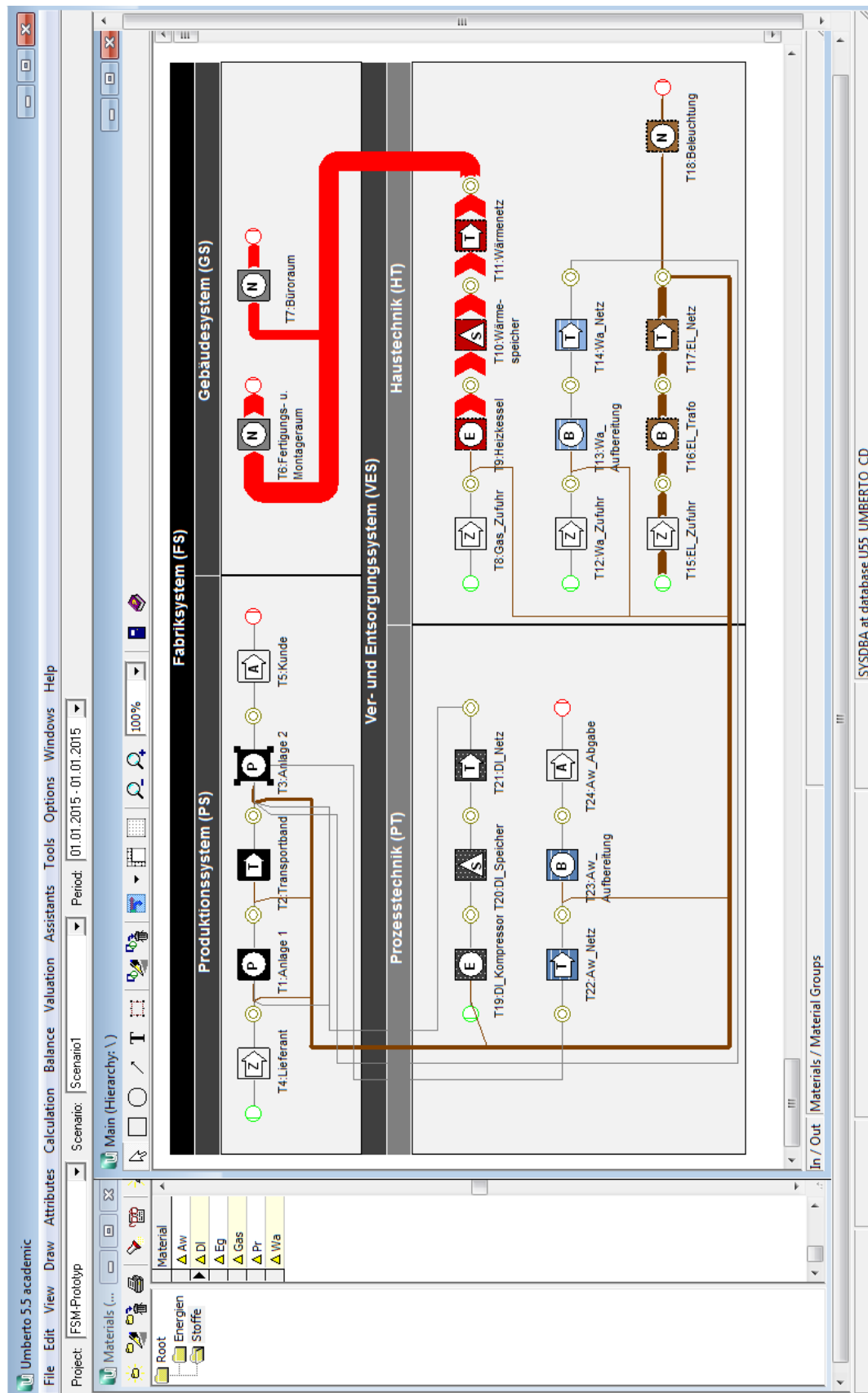


Abbildung 63: Prototypische Umsetzung in einem Programm für die Bilanzierung

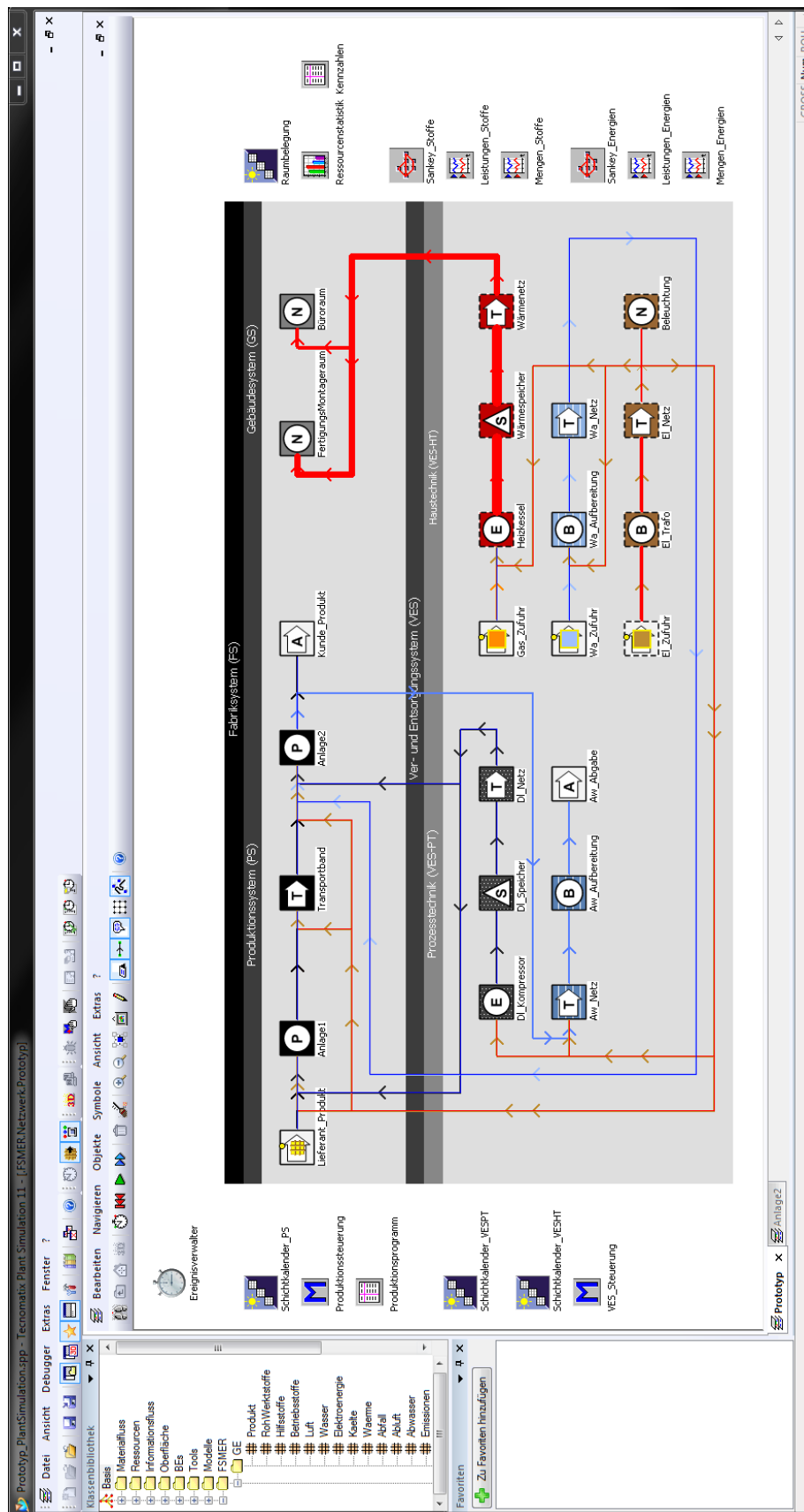


Abbildung 64: Prototypische Umsetzung in einem Programm für die Simulation

Anhang

Anhang A1: Notation

	System/Element EL	Funktion FU	Gegenstand GE	Zustand ZU	Relation RE
Stoff St					
	Transformations-system	Transformieren			
					 Stoff-fluss
Energie En					
	Speicher-system	Speichern			
					
	Transformations-system	Transformieren			
					 Energie-fluss
					
	Speicher-system	Speichern			
Information In					
	Transformations-system	Transformieren			
					 Informations-fluss
					
	Speicher-system	Speichern			

Abbildung A1: Notation

Anhang A2: Evaluation Fallstudie

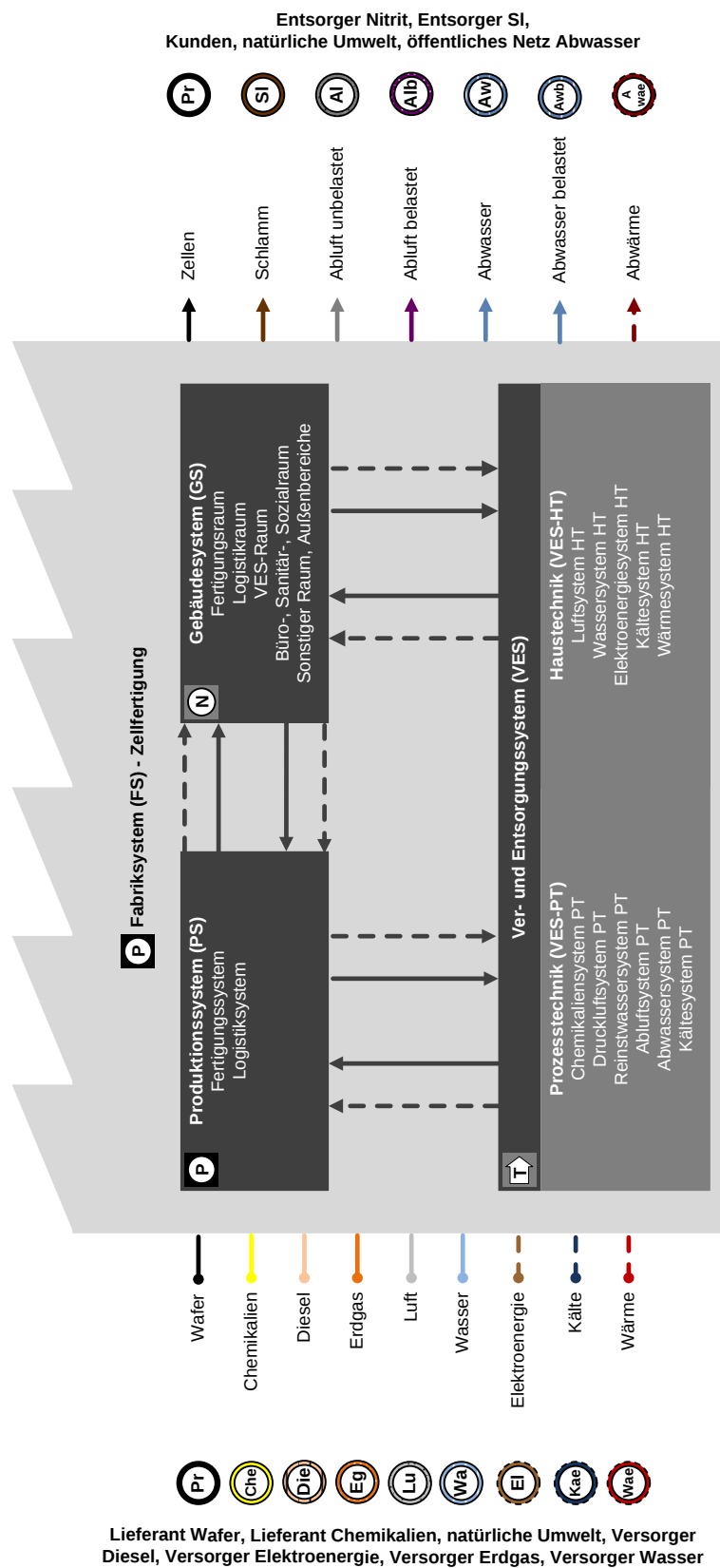


Abbildung A2: Überblick

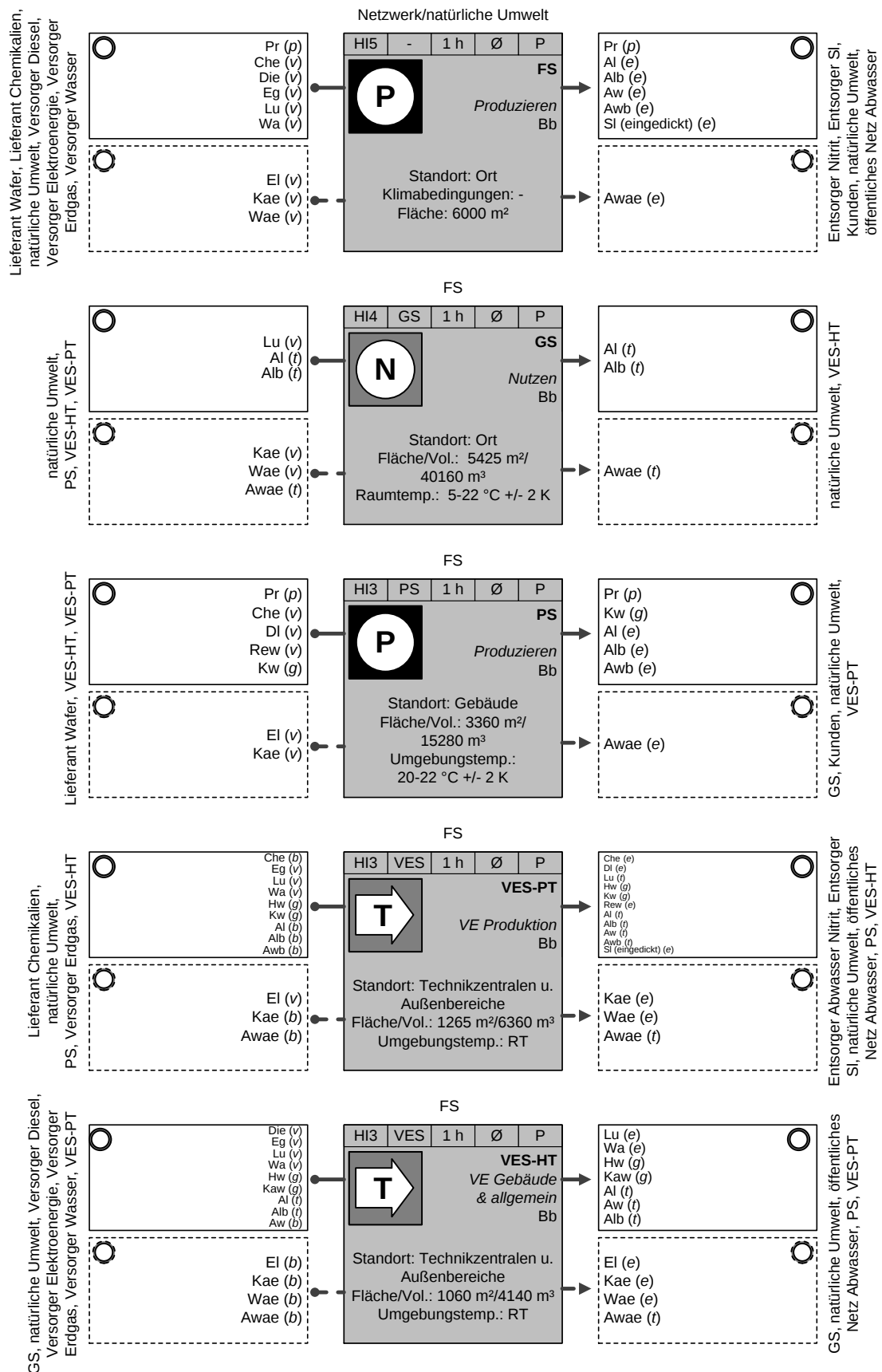


Abbildung A3: Funktionsmodelle Fabrikssystem (HI5 - HI3)

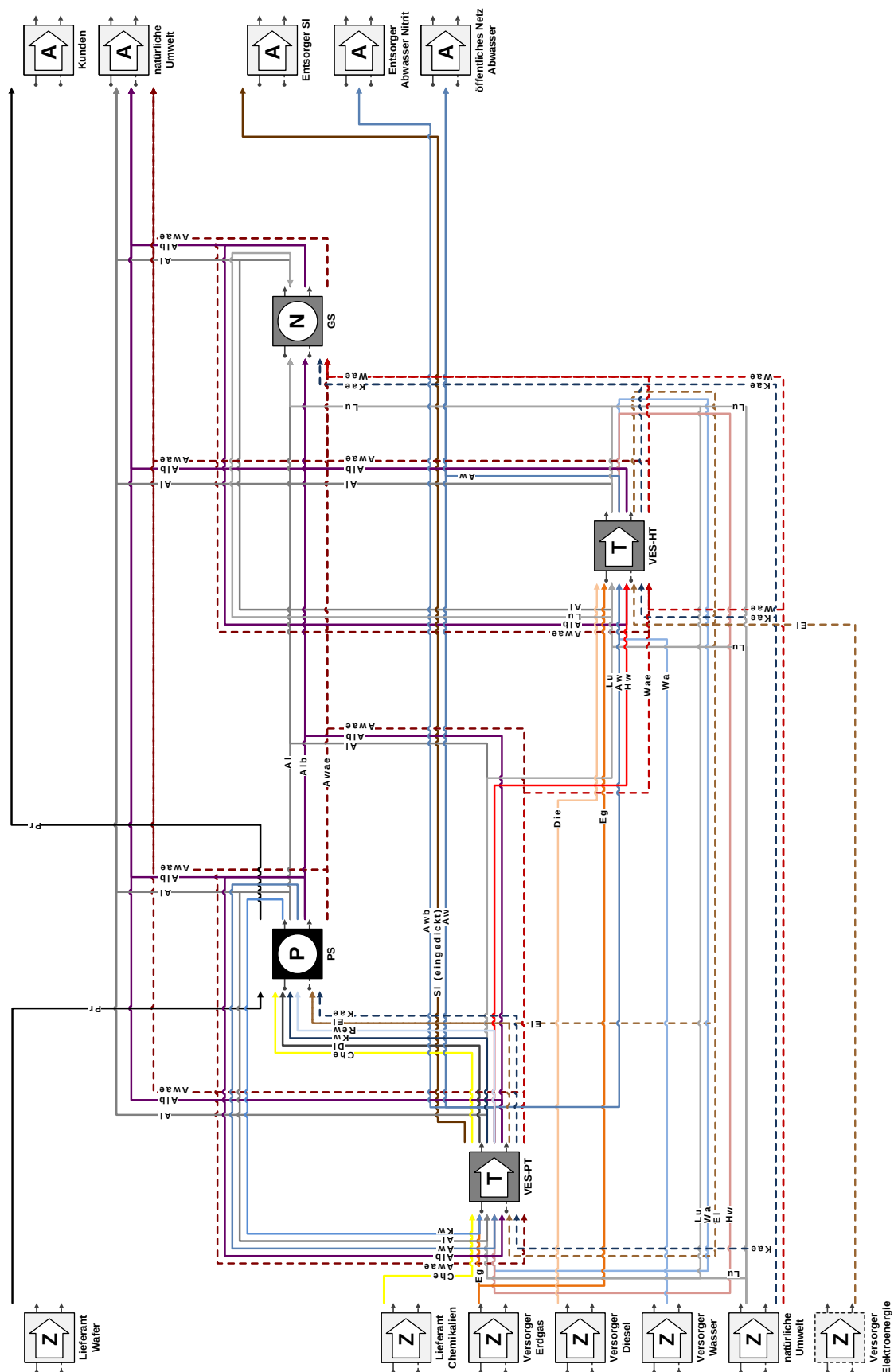


Abbildung A4: Strukturmodell FS (HI5)

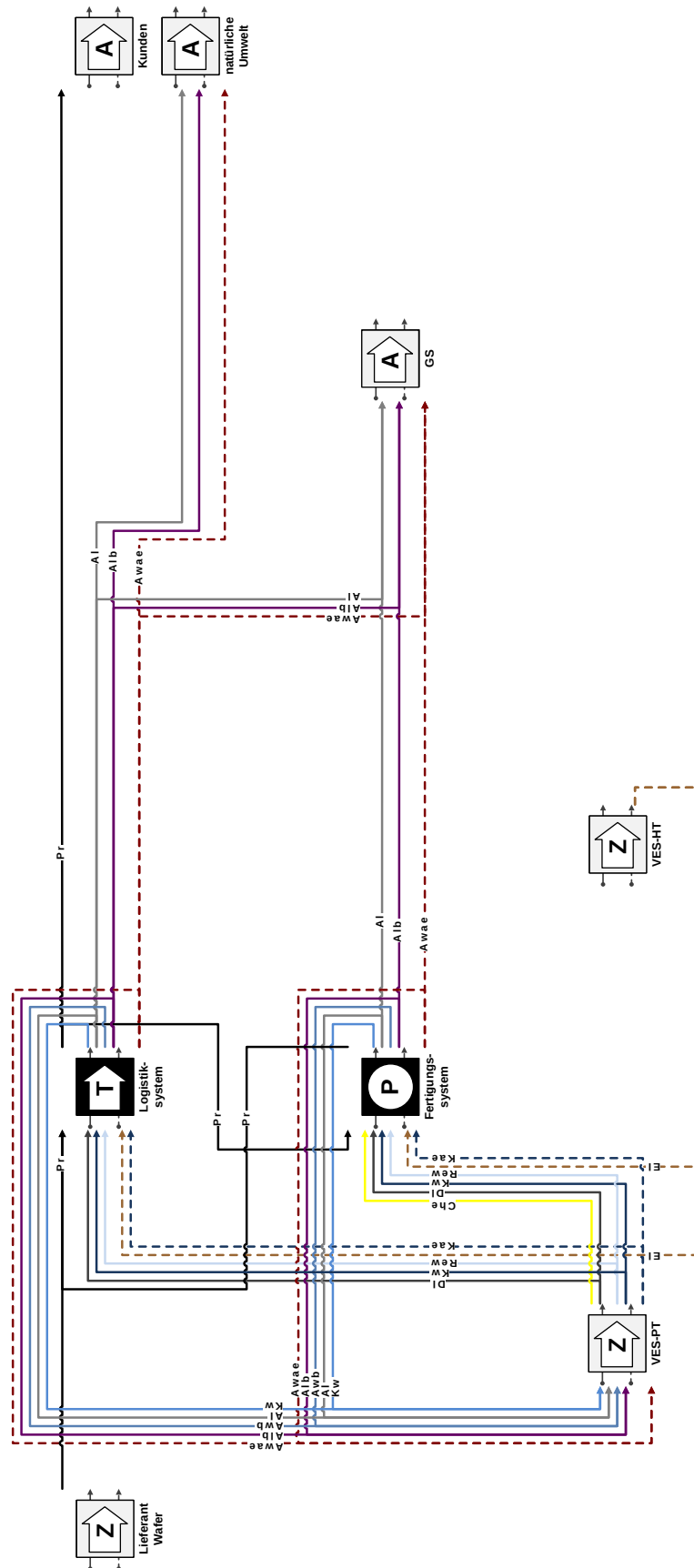


Abbildung A5: Strukturmodell PS (HI3)

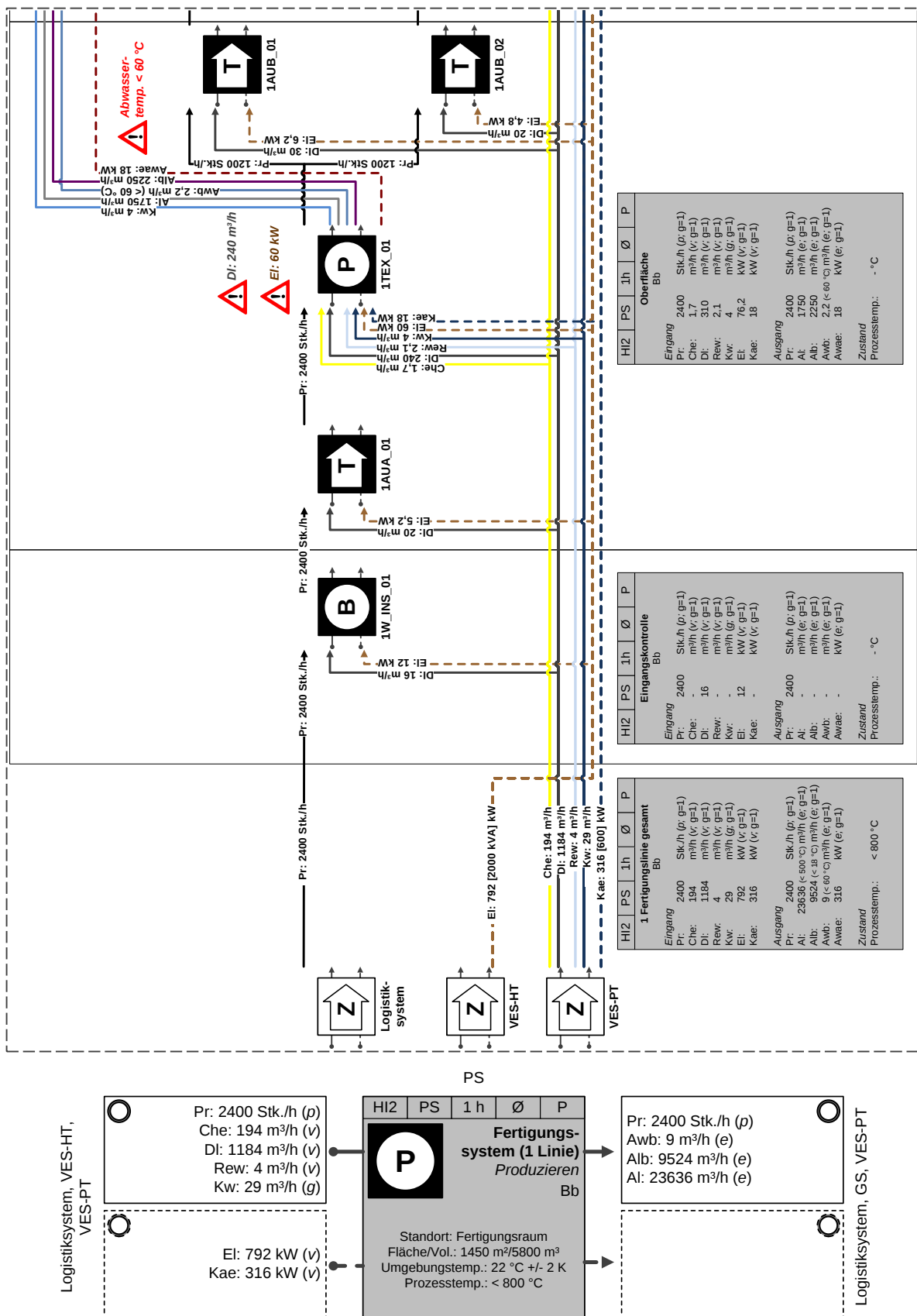


Abbildung A6: Funktions- u. Strukturmodell Fertigungssystem (Ausschnitt 1 einer Fertigungslinie) (HI2)

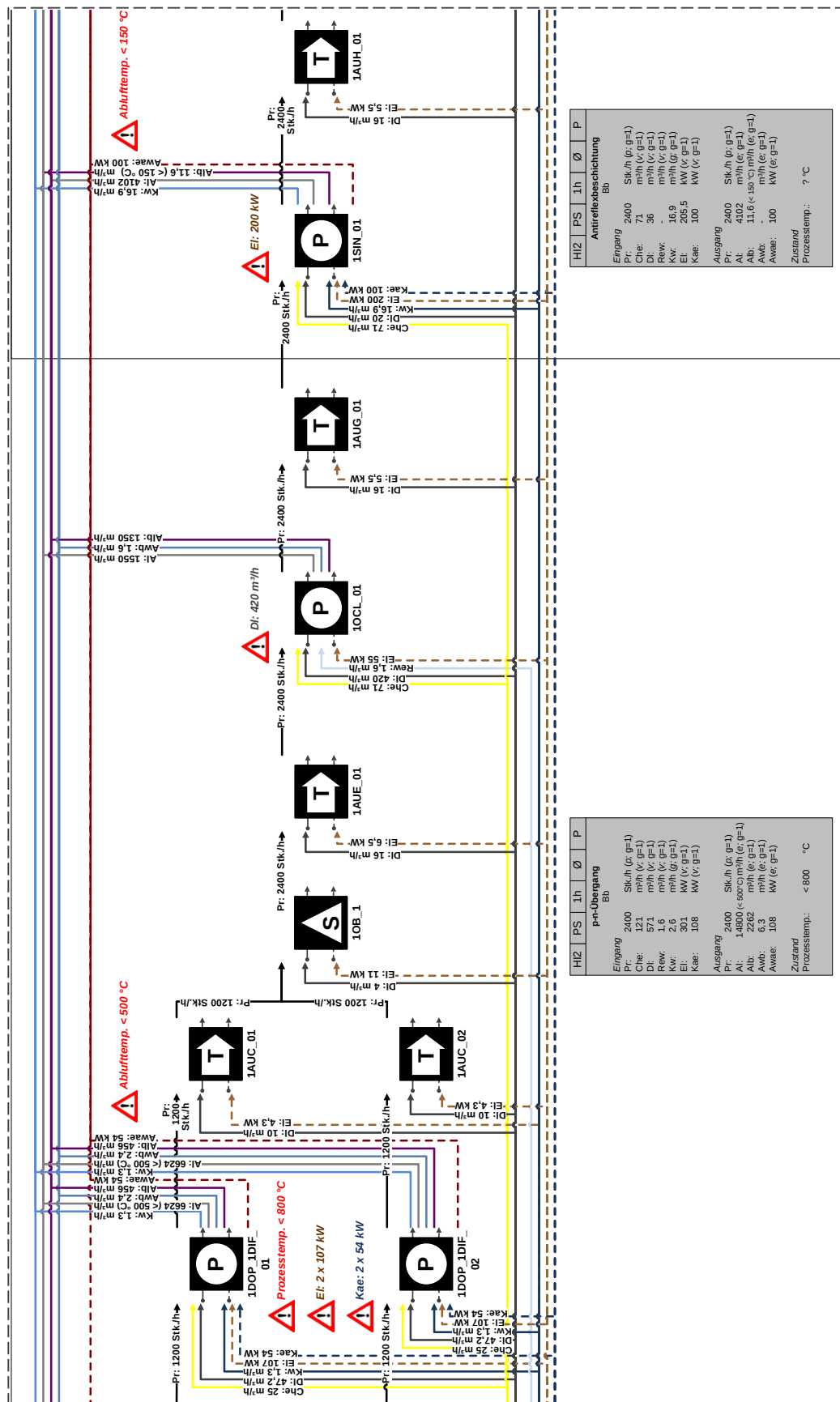


Abbildung A7: Strukturmodell Fertigungssystem (Ausschnitt 2 einer Fertigungslinie) (HI2)



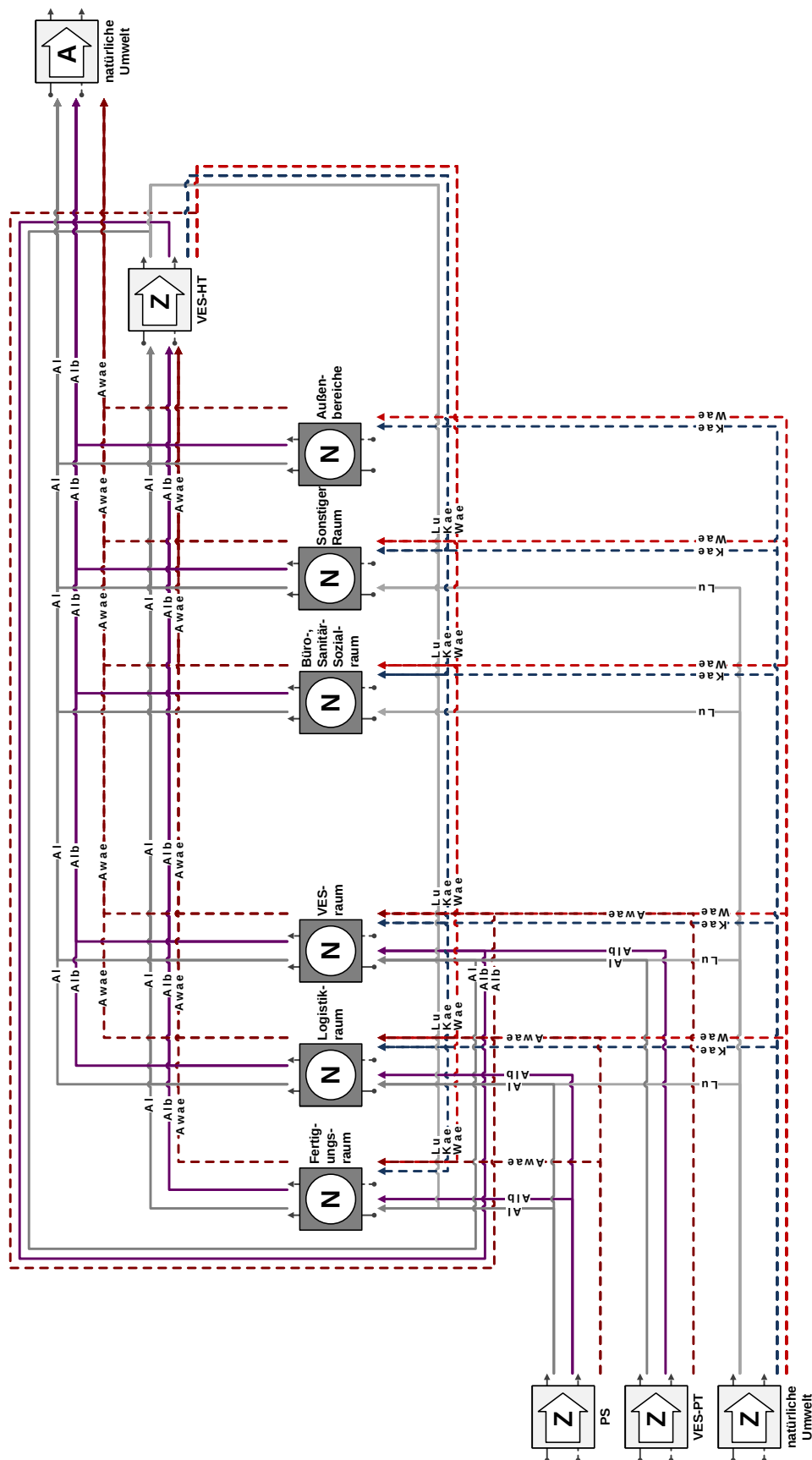


Abbildung A9: Strukturmodell GS (HI4)

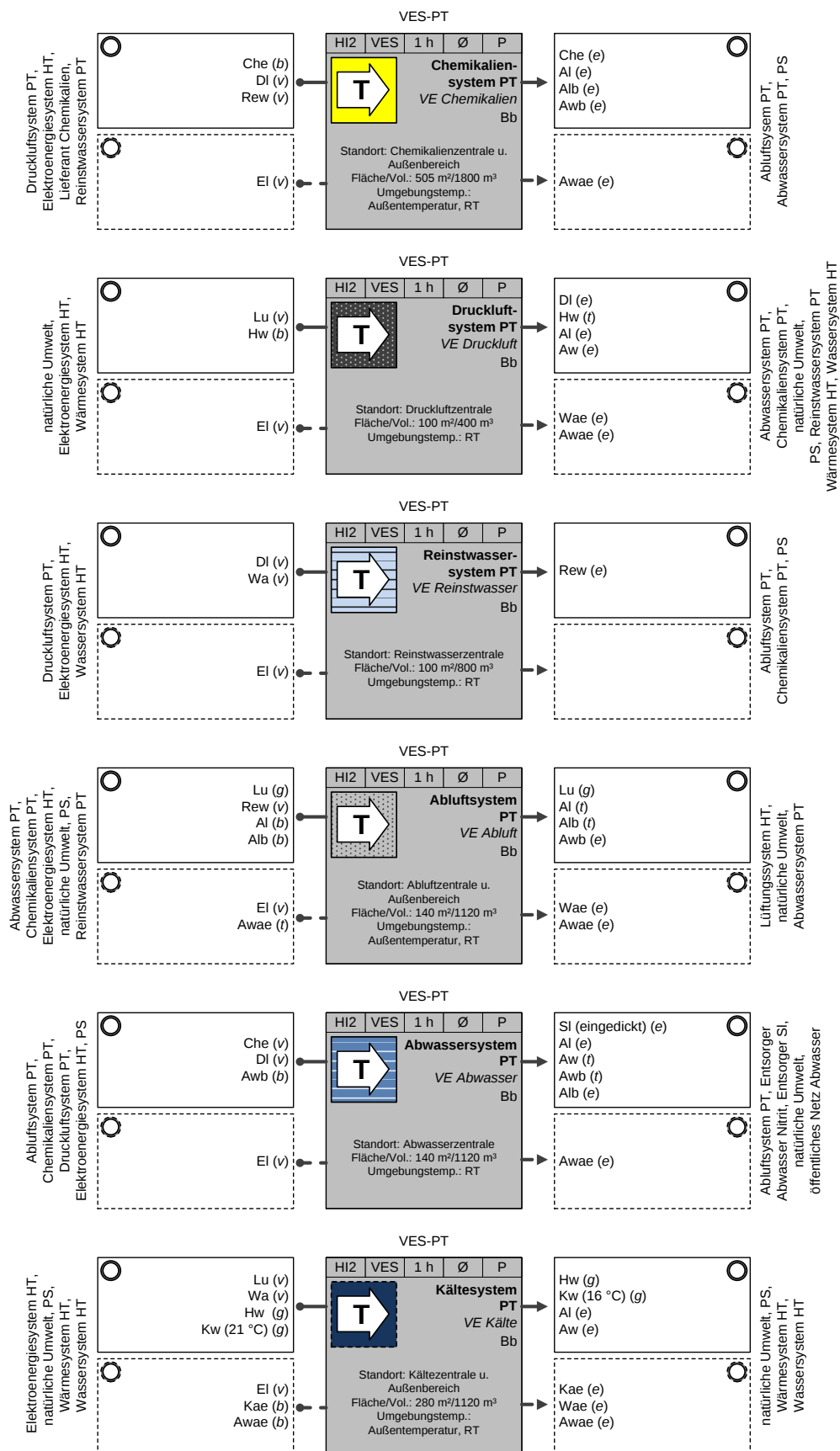


Abbildung A10: Funktionsmodelle VES-PT (HI2)

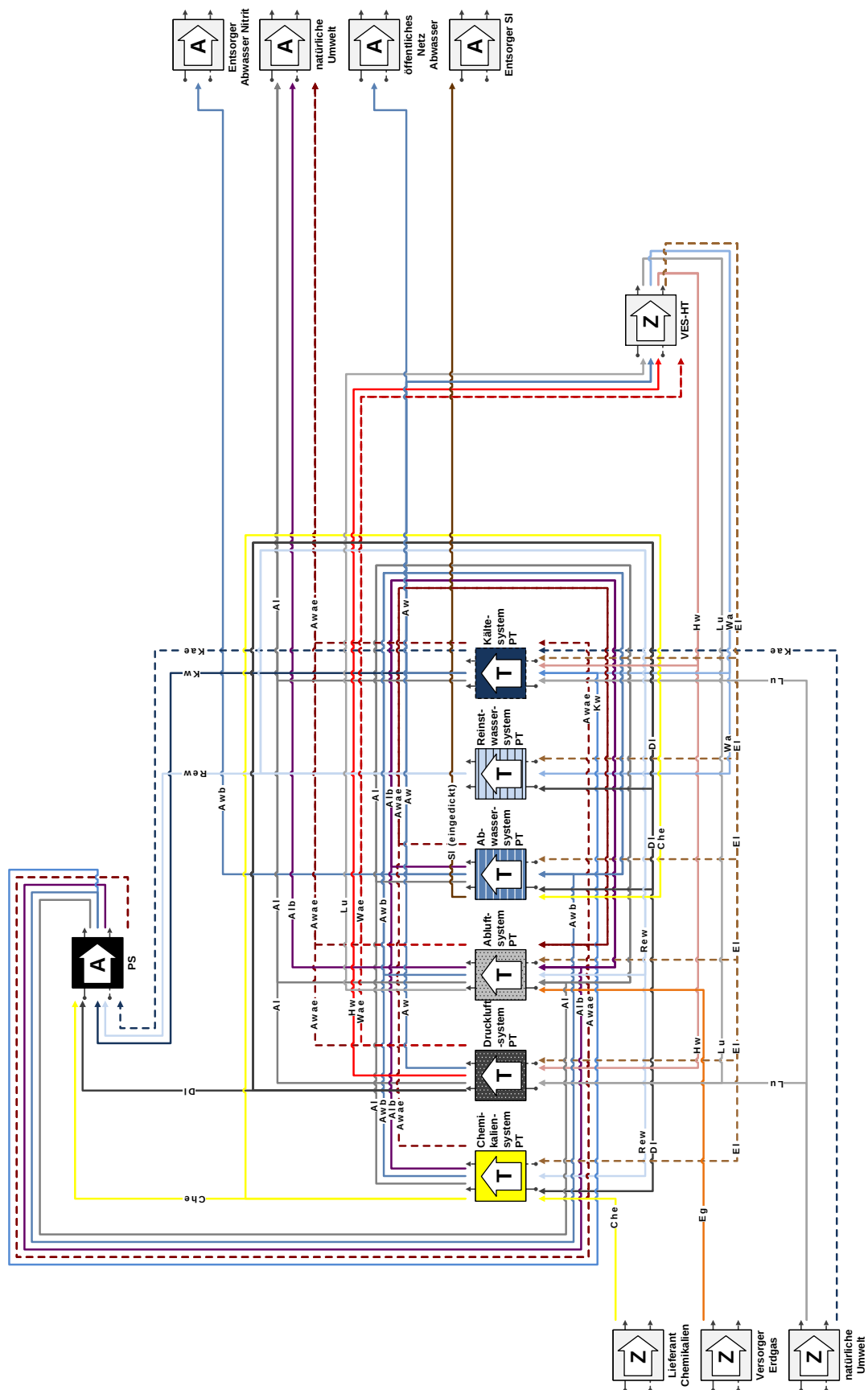


Abbildung A11: Strukturmodell VES-PT (HI3)

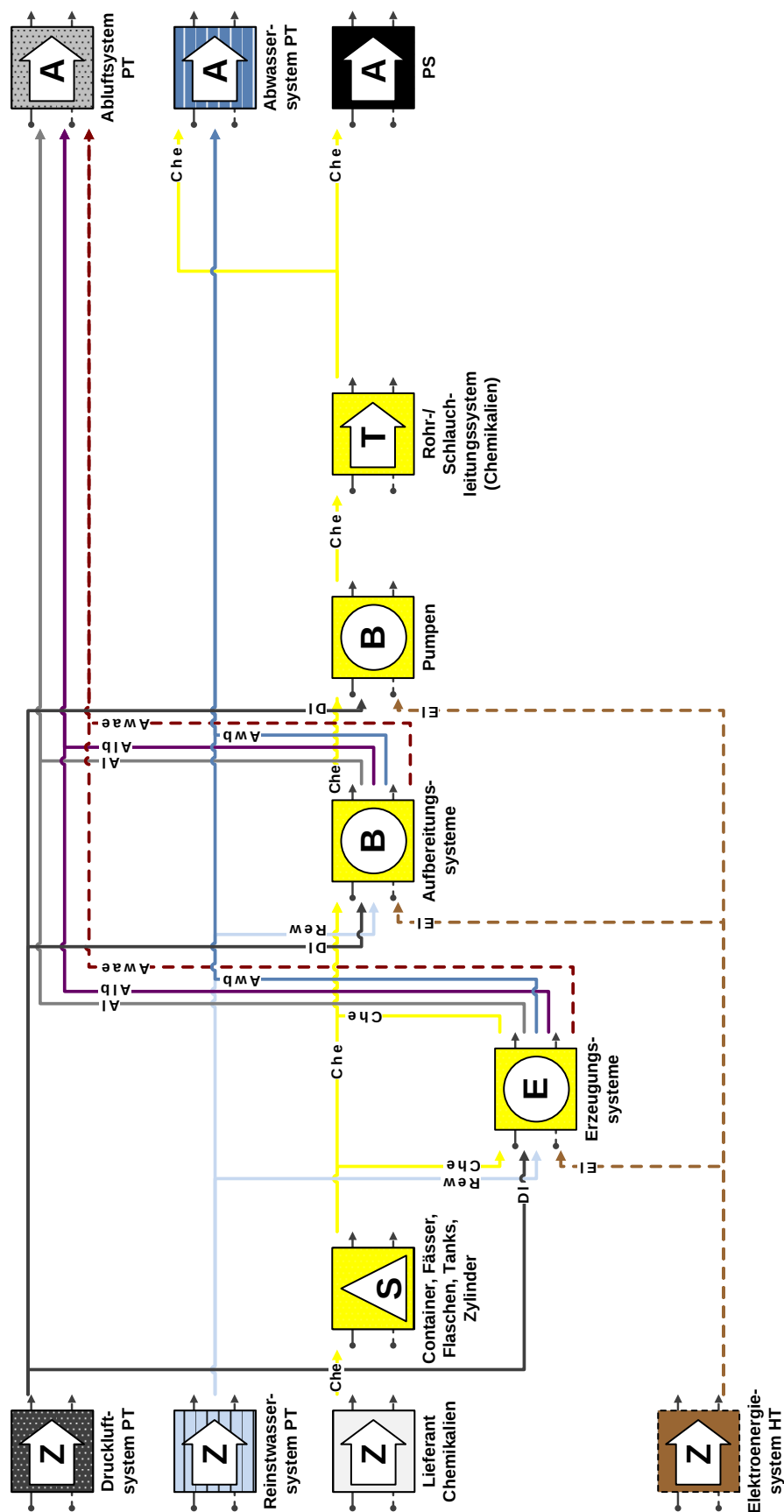


Abbildung A12: Strukturmodell Chemikaliensystem PT (HI2)

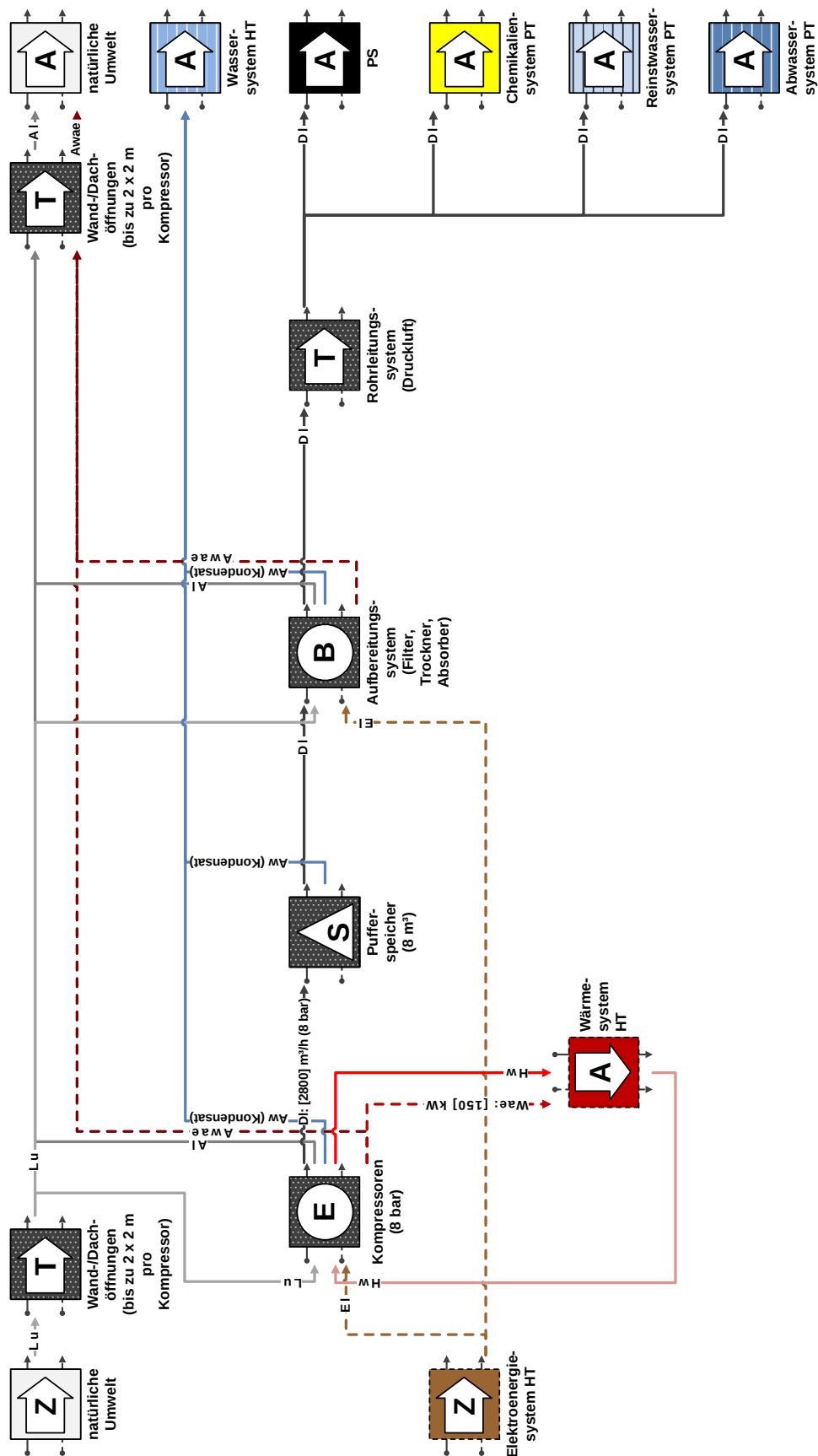


Abbildung A13: Strukturmodell Druckluftsystem PT (HI2)

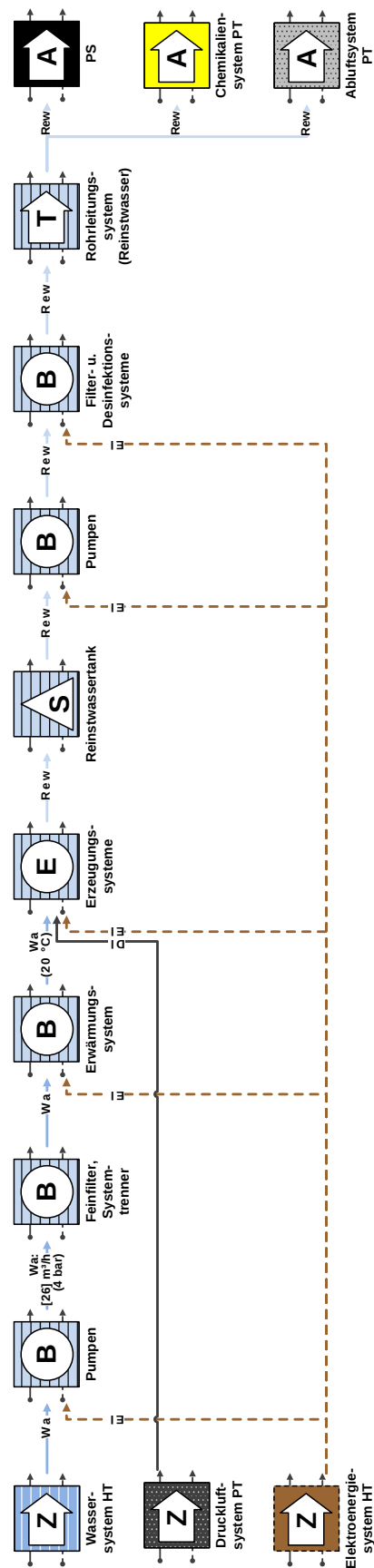


Abbildung A14: Strukturmodell Reinstwassersystem PT (HI2)

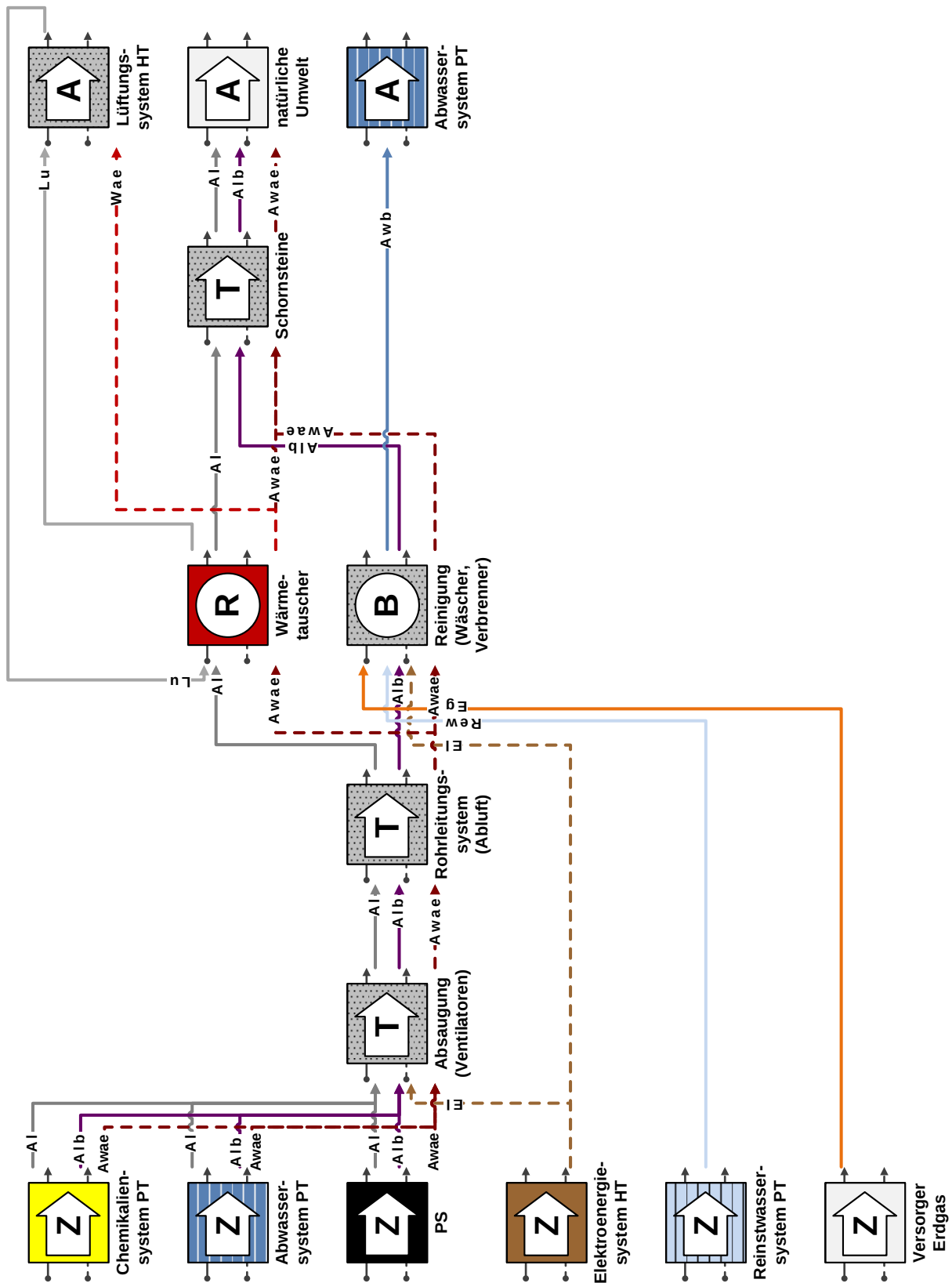


Abbildung A15: Strukturmodell Abluftsystem PT (HI2)

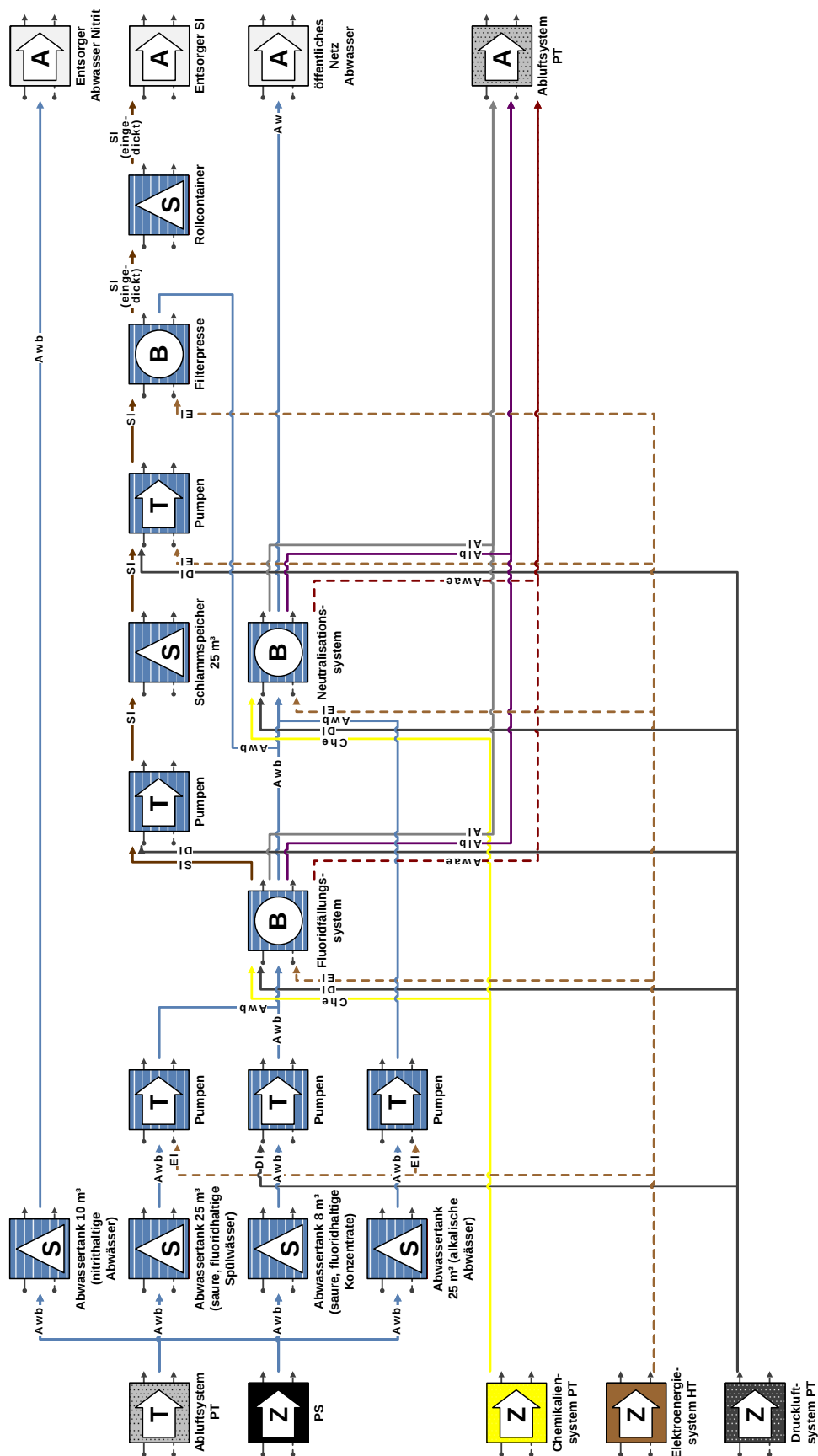


Abbildung A16: Strukturmodell Abwassersystem PT (H12)

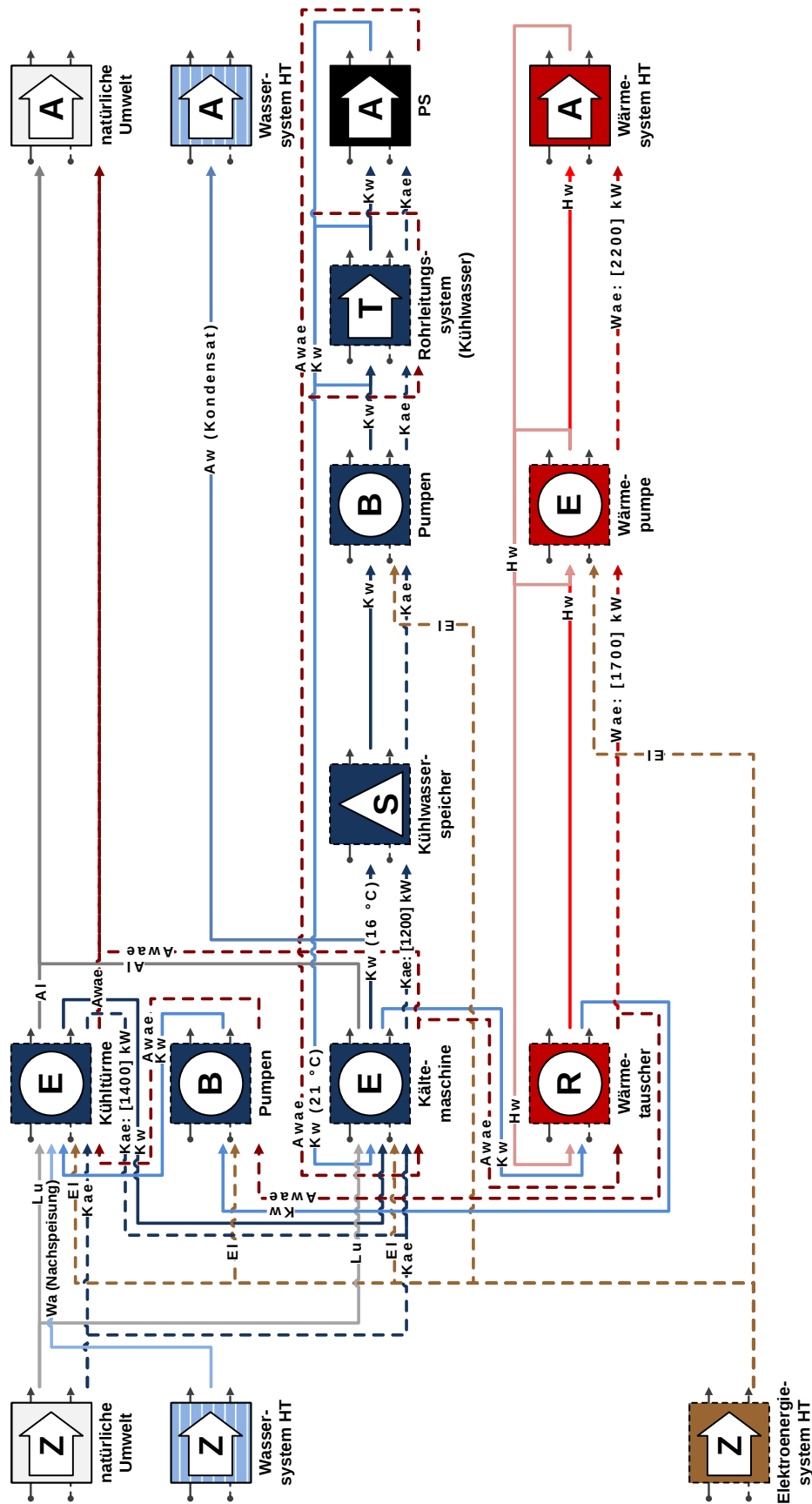


Abbildung A17: Strukturmodell Kältesystem PT (HI2)

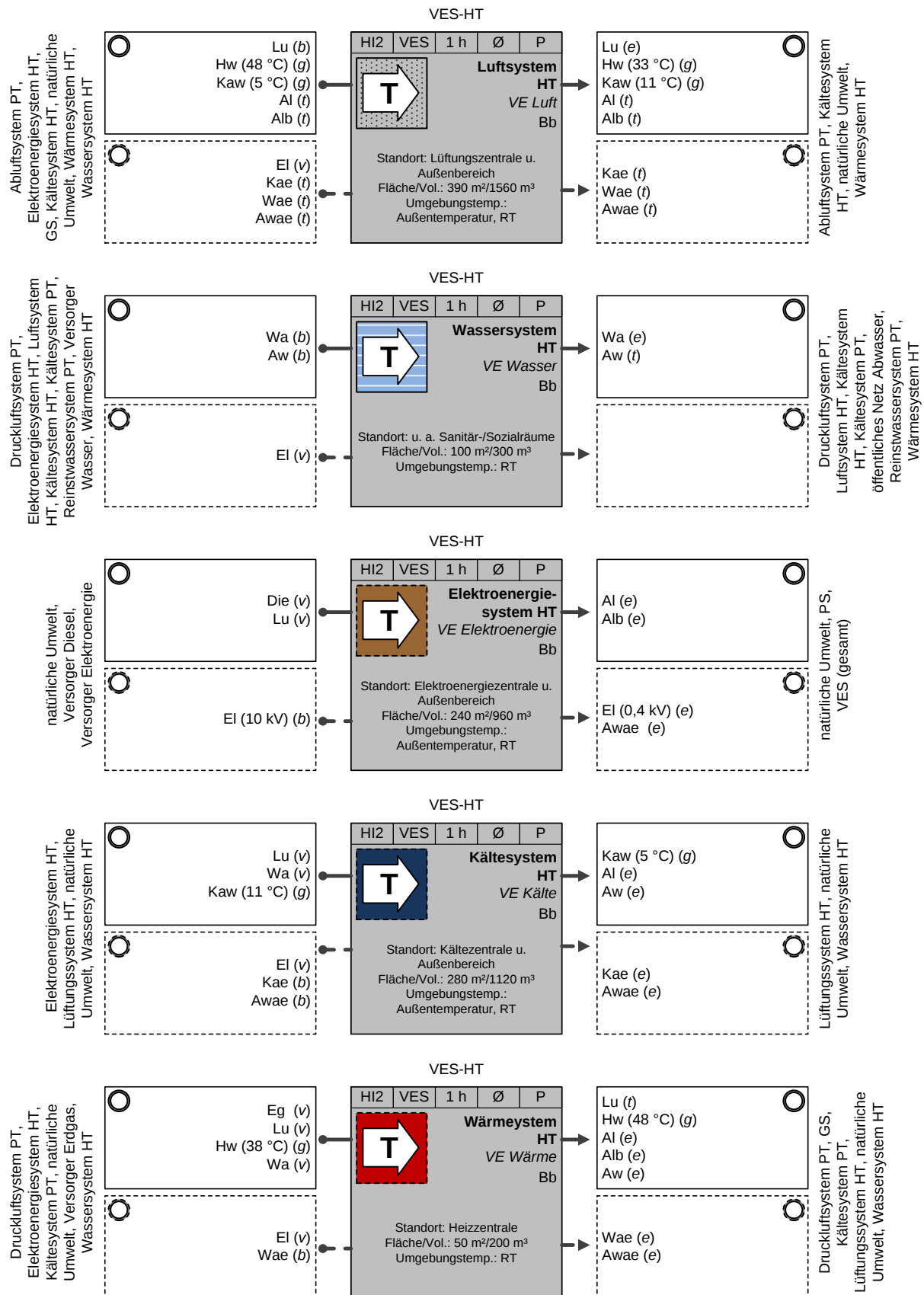


Abbildung A18: Funktionsmodelle VES-HT (HI2)

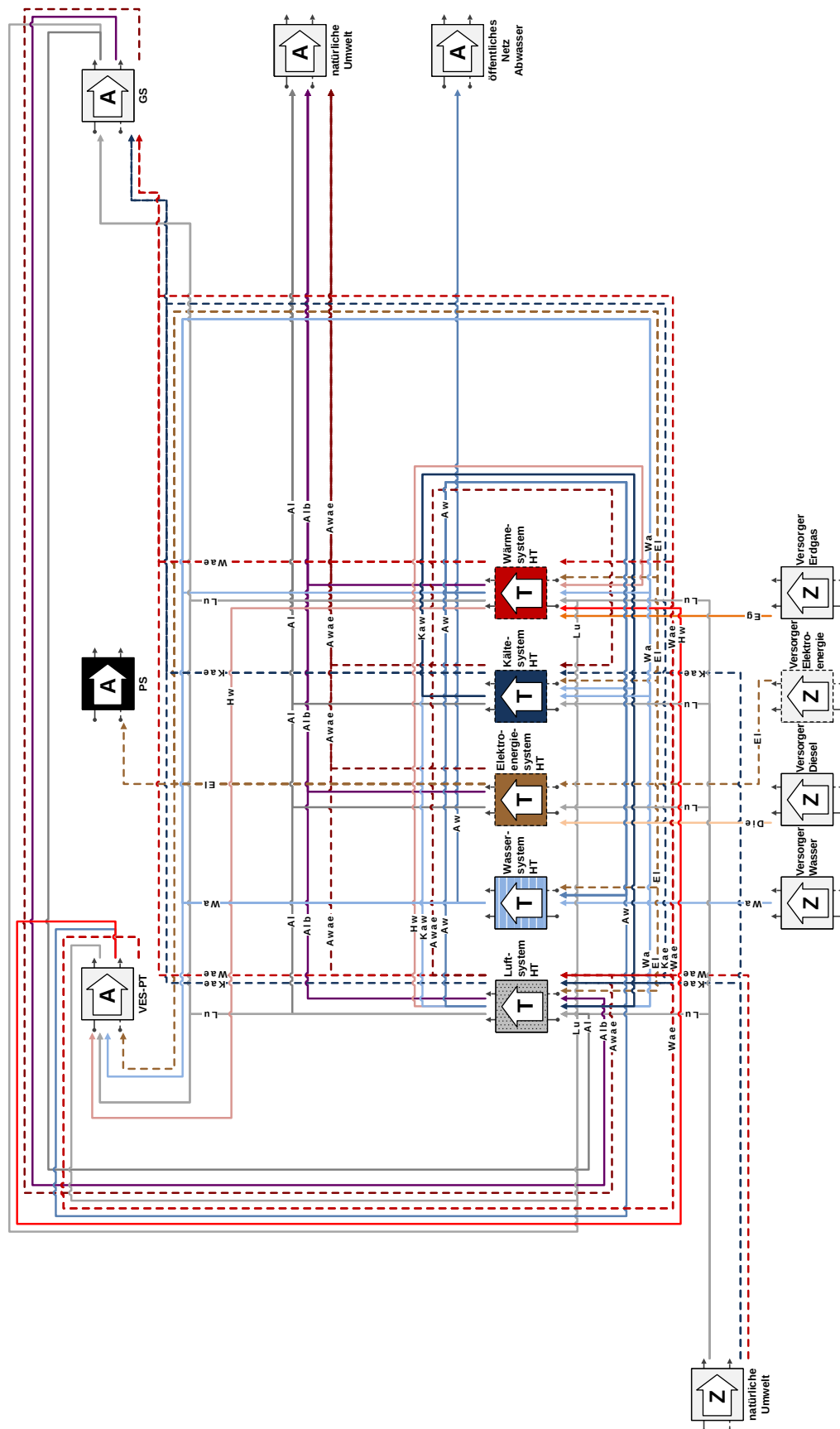


Abbildung A19: Strukturmodell VES-HT (HI3)

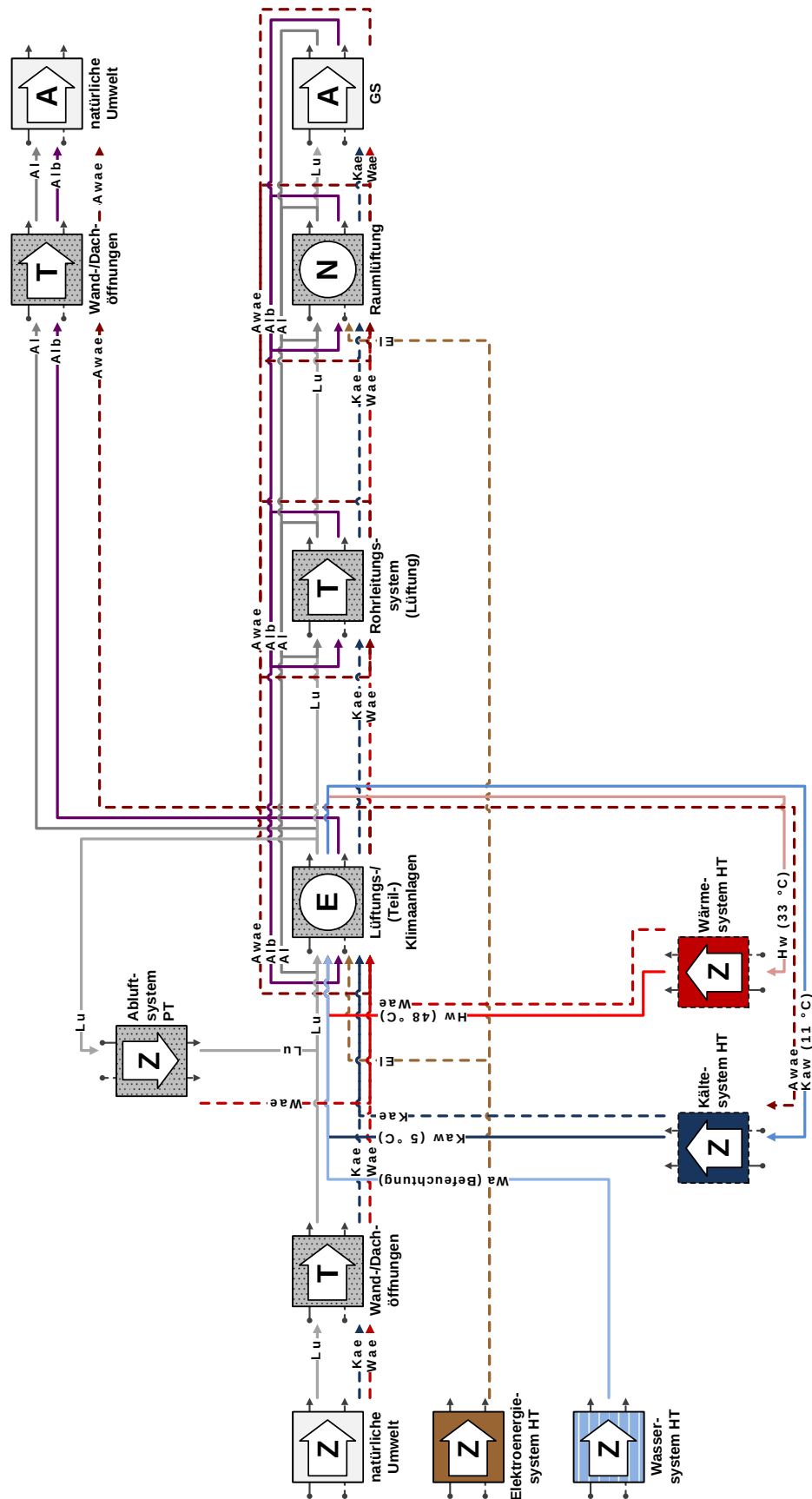


Abbildung A20: Strukturmodell Luftsystem HT (HI2)

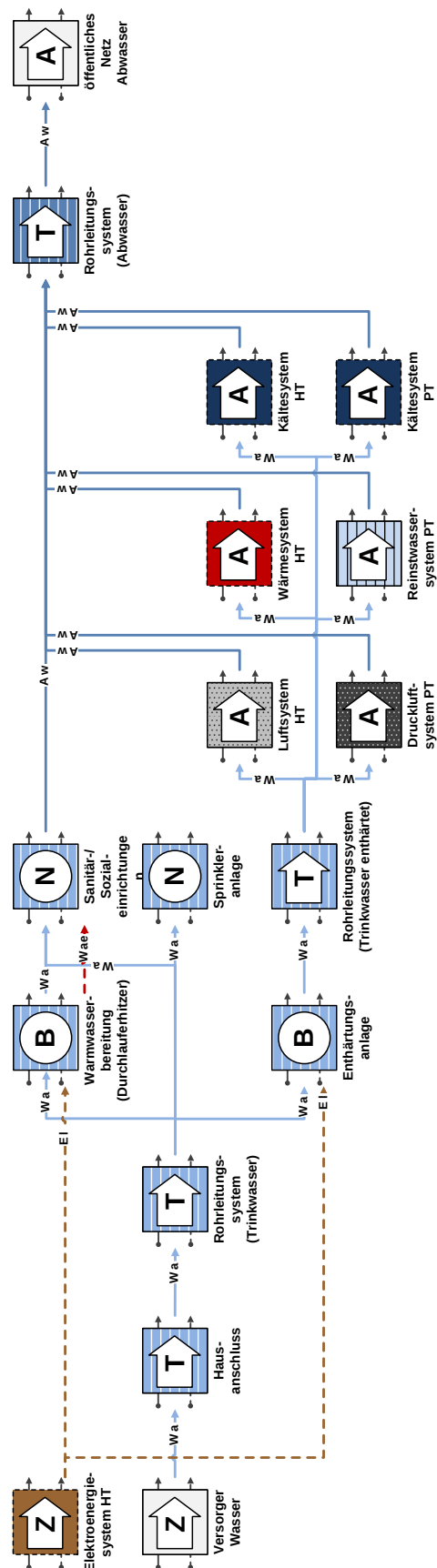


Abbildung A21: Strukturmodell Wassersystem HT (HI2)

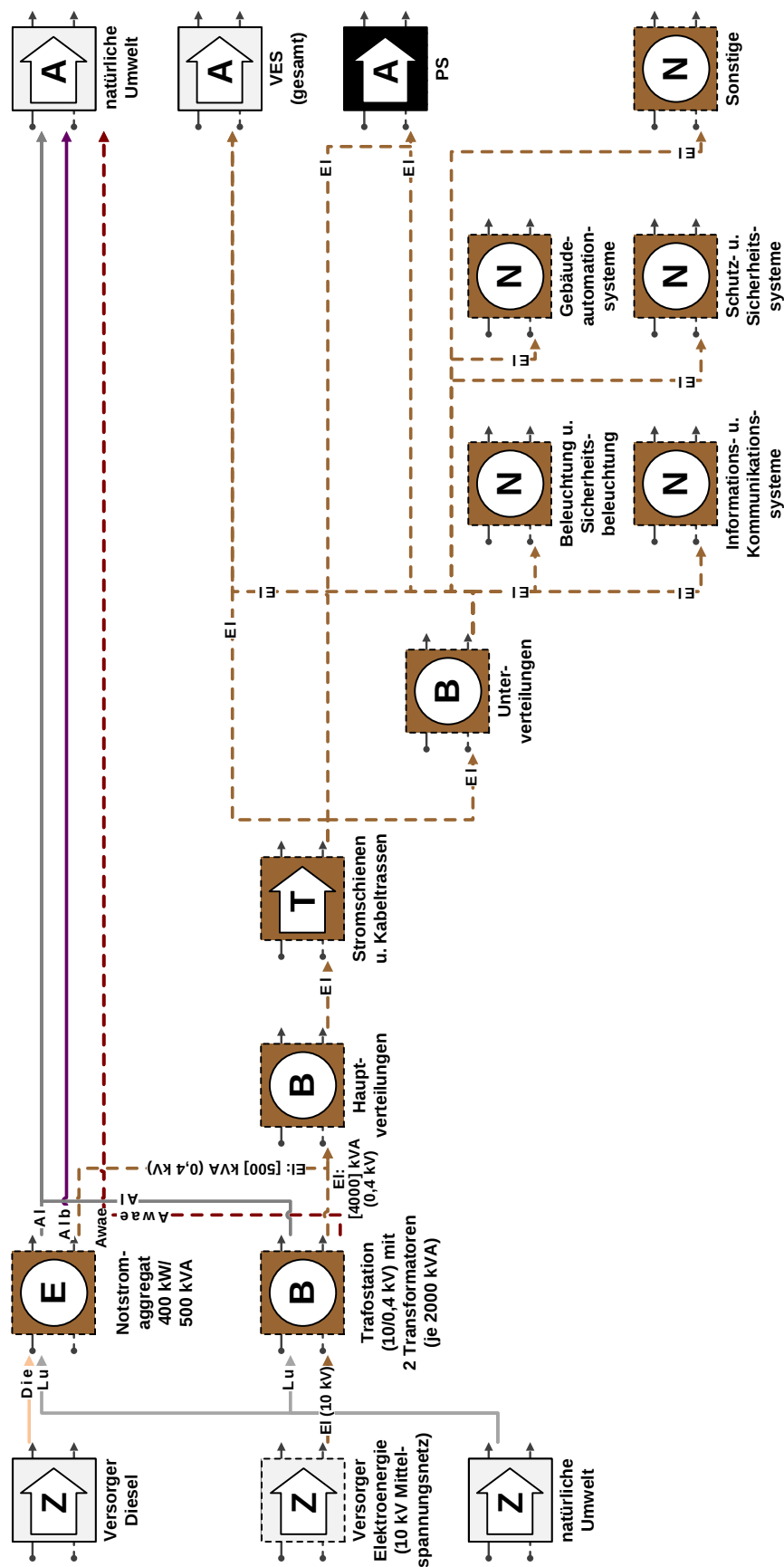


Abbildung A22: Strukturmodell Elektroenergiesystem HT (HI2)

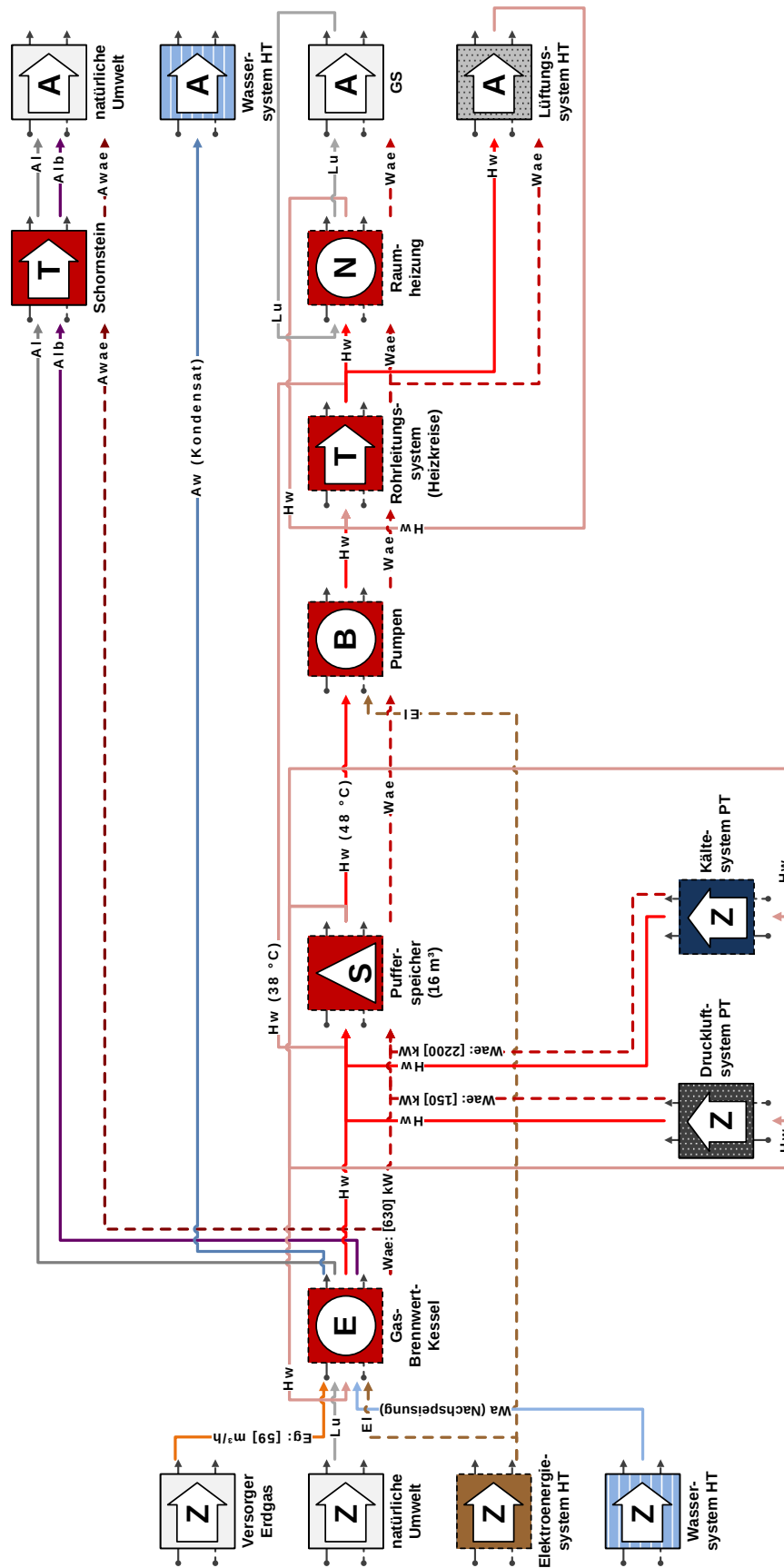


Abbildung A24: Strukturmodell Wärmesystem HT (HI2)

Anhang A3: Evaluation Prototypen

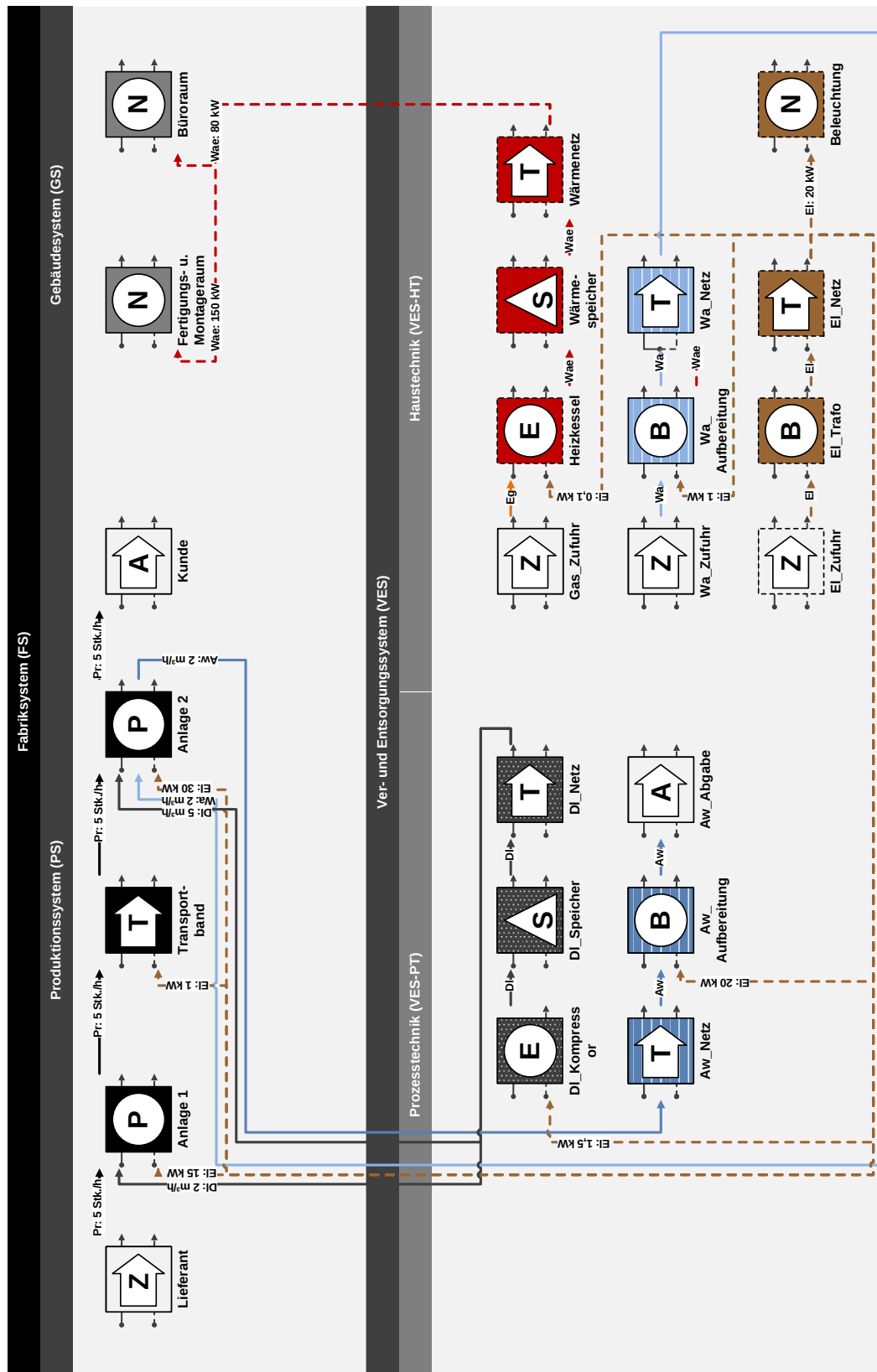


Abbildung A25: Modell zur Evaluation anhand der Prototypen

Methodik zur Fabrikssystemmodellierung im Kontext von
Energie- und Ressourceneffizienz

Hopf, H.

2016, XXIII, 218 S. 89 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-11598-2