

Kamprath-Reihe

Walter Wagner

Planung im Anlagenbau



Vogel Business Media

Walter Wagner
Planung im Anlagenbau

Kamprath-Reihe

Dipl.-Ing. Walter Wagner

Planung im Anlagenbau

4., überarbeitete und erweiterte Auflage

Vogel Business Media

Dipl.-Ing. WALTER WAGNER

Jahrgang 1941, absolvierte nach einer Lehre als Technischer Zeichner ein Maschinenbaustudium und war 1964 bis 1968 Anlagenplaner im Atomreaktorbau; nach einer Ausbildung zum Schweiß-Fachingenieur war er ab 1968 Technischer Leiter im Apparatebau, Kesselbau und in der Wärmetechnik. 1974 bis 1997 bekam Walter Wagner einen Lehrauftrag an der Fachhochschule Heilbronn, von 1982 bis 1984 zusätzlich an der Fachhochschule Mannheim und von 1987 bis 1989 an der Berufsakademie Mosbach. Im Zeitraum 1988 bis 1995 war er Geschäftsführer der Hoch-Temperatur-Technik Vertriebsbüro Süd GmbH. Seit 1992 ist er Leiter der Beratung und Seminare für Anlagentechnik: WTS Wagner-Technik-Service. Walter Wagner war außerdem Obmann verschiedener DIN-Normen und öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Wärmeträgertechnik, Thermischer Apparatebau und Rohrleitungstechnik.

Dipl.-Ing. WALTER WAGNER ist Autor folgender Vogel Fachbücher der Kamprath-Reihe:

Festigkeitsberechnungen im
Apparate- und Rohrleitungsbau
Kreiselpumpen und Kreiselpumpenanlagen
Lufttechnische Anlagen
Planung im Anlagenbau
Regel- und Sicherheitsarmaturen
Rohrleitungstechnik
Strömung und Druckverlust
Wärmeaustauscher
Wärmeträgertechnik
Wärmeübertragung
Wasser und Wasserdampf im Anlagenbau
DIETZEL/WAGNER: Technische Wärmelehre
HEMMING/WAGNER: Verfahrenstechnik

Zur Themenreihe gehören ebenfalls
aus der Vogel Business Media:

H. J. BULLACK: (CD-ROM)
Berechnung von Druckbehälter-Bauteilen
Berechnung von Sicherheitseinrichtungen
Berechnung von Kunststoffbehältern
Flanschberechnungen nach EN 1591:2011
Berechnung metallischer Rohrleitungsbauteile 1
Pipe Elements/Rohrleitungsbauteile

Weitere Informationen unter
www.vbm-fachbuch.de



<http://twitter.com/vbmfachbuch>



www.facebook.com/vbm-fachbuch



www.vbm-fachbuch.de/rss/buch.rss

Molex© ist ein eingetragenes Warenzeichen von Molex, LLC in den Vereinigten Staaten von Amerika und kann in anderen Ländern eingetragen sein. Andere in diesem Handbuch verwendete Produktbezeichnungen dienen ausschließlich zu Identifikationszwecken und sind möglicherweise Warenzeichen der jeweiligen Unternehmen. Wir beanspruchen keinerlei Rechte an diesen Warenzeichen.

ISBN 978-3-8343-3414-5

1. Auflage. 2018

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten.

Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Hiervon sind die in §§ 53, 54 UrhG ausdrücklich genannten Ausnahmefälle nicht berührt.

Printed in Germany

Copyright 2018 by Vogel Business Media GmbH & Co. KG, Würzburg

Vorwort

Bei der Planung, dem Bau und Betrieb von Anlagen müssen übergreifende Ingenieur Tätigkeiten und betriebswirtschaftliche Aspekte ständig berücksichtigt und koordiniert werden. Von der Grundkonzeption an sind immer wieder Bilanzen, bau- und maschinentechnische Konstruktionen sowie laufende Kosten zu überprüfen und zu vergleichen. Dadurch kann man wesentliche Fehler und Verteuerungen bereits im Entstehungsstadium und für den zukünftigen Betrieb vermeiden. Auch sicherheits- und umwelttechnische Notwendigkeiten, die einen entscheidenden Einfluss auf die Anlagentechnik haben, sind dabei zu berücksichtigen. Deshalb wurden hier besonders Bilder, Tabellen und Diagramme in einem eigenen Kapitel zusammengefasst, die es ermöglichen, ohne großen Rechenaufwand überschlägig Prüfungen durchzuführen.

Das Buch enthält für Techniker der Fachrichtungen Maschinenbau, Verfahrens-, Versorgungs-, Kraftwerks-, Umwelt- und Heizungstechnik entscheidende Informationen über den Planungsablauf. Projektierungs-, Konstruktions- und Betriebsingenieure sowie Techniker, die in ihrer Berufspraxis mit der Anlagenplanung bzw. der Konstruktion und der Betreuung von Anlagen im betrieblichen Einsatz zu tun haben, erhalten hiermit wichtiges Planungsmaterial.

Resonanz zum Buch ist stets willkommen, weil eine lebendige Wissensvermittlung Praxis und Lehrbetrieb immer wieder neu motivieren und inspirieren kann. Den schnellsten Kontakt erfüllt eine E-Mail an: wagner@wts-online.de

Der Vogel Business Media danke ich für die gewohnt hervorragende Zusammenarbeit.

St. Leon-Rot

Walter Wagner

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Planung von Anlagen	13
1.1 Grundkonzeption	14
1.2 Sicherheits- und umwelttechnische Anforderungen	17
1.2.1 Gesetze, Verordnungen, Normen, Vorschriften	17
1.2.2 Sicherheitstechnik	17
1.2.3 Sicherheitseinrichtungen	19
1.2.4 Prozessleittechnik (PLT) sichert Anlagen	20
1.2.4.1 Klassifizierung von PLT-Einrichtungen	21
1.2.4.2 Klassifizierungsbeispiele	22
1.2.4.3 Anwendungsbeispiel Absicherung von Rührkesseln	23
1.2.5 Emissionen und Emissionsminderung	23
1.2.6 Abfall oder Reststoff?	25
1.2.7 Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	25
1.2.8 Explosionsgefahr und brennbare Flüssigkeiten	29
1.2.9 Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)	29
1.2.9.1 Umweltdokumentation	30
1.2.9.2 Umweltrisikooanalyse	31
1.2.9.3 Geprüfte technische Verfahrensalternativen	32
1.2.10 Druckgeräte	33
1.2.11 CE-Kennzeichnung	34
1.3 Zusammenfassung der wichtigsten Planungsschritte	35
1.4 Vor- und Grobplanung	35
1.4.1 Festlegung der Aufgabenstellung	35
1.4.2 Datenerfassung	35
1.4.3 Verfahrensbeschreibung mit Mengen- und Energiebilanzen	37
1.4.4 Verfahrenstechnische Grobauslegung	39
1.4.5 Auslegung der Nebenanlagen	39
1.4.6 Lageplanentwurf	39
1.4.7 Projektbeschreibung, Kostenschätzung, Terminplan	40
1.4.8 Projektierungshilfen	42
1.4.9 Betriebskostenschätzung	42
1.5 Detailplanung	42
1.5.1 Allgemeine Hinweise	42
1.5.2 Genehmigungsantrag	43
1.5.3 Erstellung von Spezifikationen	43
1.6 Anfragen und Bestellungen	44
1.6.1 Anfragen	44
1.6.1.1 Angebote	44
1.6.1.2 Unterlieferanten	44
1.6.1.3 Liefergrenzen und Leistungsgrenzen des Lieferers	44
1.6.1.4 Angebotsvergleich	44
1.6.2 Bestellungen	46
1.6.2.1 Lieferungen und Leistungen des Bestellers	47
1.7 Abwicklung	47
1.7.1 Auftragsverfolgung	47
1.7.2 Ergänzende Detailplanung	47
1.7.3 Dokumentation	47
1.7.3.1 Abwicklungsdokumentation	48
1.7.3.2 Technische Dokumentation	49
1.8 CAE in der Anlagentechnik	50
1.8.1 Angebotsphase	53

1.8.2	Auftragsphase: Basic-/Detail-Engineering, Rohrleitungs- und Instrumentierungsdiagramm	53
1.8.3	Dreidimensionale Aufstellungsplanung	53
1.9	Prüflisten für Haupttätigkeiten	55
1.9.1	Darstellung des Anlagenschemas	55
1.9.2	Verfahrensablauf	56
1.9.3	Auslegung von einzelnen Anlagenteilen	57
1.9.4	Rohrleitungsanlagen	59
1.9.5	Mess- und Regelungseinrichtungen	59
1.9.6	Sicherheit und Umwelt	60
1.9.7	Aufstellungsplan	62
1.9.8	Montagevorbereitung	62
1.10	Planungsfehler	62
1.11	Planungsbeispiel: Wasserdampfanlage in einem Rauchgas-Wärmerückgewinnssystem	63
2	Kaufmännische Planung	73
2.1	Kostenermittlung	73
2.1.1	Kapitalgebundene Kosten	73
2.1.2	Verbrauchsgebundene Kosten	74
2.1.3	Betriebsgebundene Kosten	74
2.1.4	Sonstige Kosten	74
2.1.5	Montagekosten	74
2.1.6	Preise von Anlagenbauteilen	76
2.1.6.1	Preisdegression	77
2.2	Wirtschaftlichkeit	77
2.2.1	Wirtschaftlichkeitsberechnung	78
2.2.1.1	Kapitalrückflussdauer	78
2.2.1.2	Annuitätsmethode	78
2.2.1.3	Amortisationsdauer	78
2.2.1.4	Barwertmethode (Kapitalwertmethode)	79
2.2.1.5	Dynamische Berechnung	80
2.3	Wärme- und Energiekosten	80
2.3.1	Kapitalkosten	81
2.3.2	Energiekosten	81
2.3.3	Betriebskosten	82
2.3.4	Sonstige Kosten	82
2.3.5	Gesamtkosten	82
2.4	Dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung nach der Annuitätsmethode	82
2.4.1	Annuität der kapitalgebundenen Kosten (Auszahlungen)	83
2.4.2	Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten	83
2.4.3	Annuität der betriebsgebundenen Kosten	84
2.4.4	Annuität der sonstigen Kosten	84
2.4.5	Jahreseinnahmen (Erlöse, Einzahlungen)	84
2.4.6	Annuität der jährlichen Gesamtzahlungen	84
2.4.7	Armortisationsdauer T_A	84
2.5	Life-cycle-Kosten	87
2.6	Verträge	87
2.6.1	Vertragsarten	87
2.6.2	Vertragsformen	88
2.6.3	Zusammenarbeitsverträge	89
2.6.4	Einflüsse der Vertragsform	90
2.6.5	Vertragsgestaltung	91
2.7	Vertragsbedingungen	92
2.7.1	Zahlungsbedingungen	92
2.7.2	Liefertermin	93
2.7.3	Probetrieb, Risikoübergang, Betriebsübernahme	94
2.7.4	Zugesicherte Eigenschaften	95
2.7.5	Gewährleistung	95

2.7.6	Nachweis der zugesicherten Auslegungsdaten	96
2.7.7	Rechte des Bestellers bei Mängeln an der Lieferung	96
2.7.8	Sonstiges	98
2.7.8.1	Streitfälle	98
3	Bauliche Planung	101
3.1	Allgemeines	101
3.2	Transport- und Lagerverhältnisse	101
3.3	Baustelleneinrichtung	102
3.4	Montage	102
3.5	Personal	102
3.6	Haftung und Verantwortung des Lieferers	103
3.7	Bau- und/oder Montageüberwachung	103
3.8	Betriebsdokumentation	104
3.8.1	Spezielle Betriebsdokumentation	104
3.8.1.1	Betriebsprogramm	104
3.8.1.2	Betriebsabläufe	105
3.8.1.3	Betrieb einzelner Gebiete und Teilgebiete	105
3.8.1.4	Wirtschaftlicher Betrieb	105
3.8.1.5	Steuerungs- bzw. Regelungs- sowie Sicherheitssysteme und Sicherheitseinrichtungen	105
3.8.1.6	Betriebsbericht	105
3.8.1.7	Regelmäßige Inspektionen	105
3.8.1.8	Betriebsstörungen	105
3.8.2	Dokumentation von Wartung, Reparatur und Kundendienst	105
3.8.2.1	Produktwartung	106
3.8.2.2	Kundendienstbericht	106
3.8.2.3	Wartungs- und Reparaturberichte	106
3.8.2.4	Sicherheit	106
3.8.3	Einsatz von Einrichtungen	106
3.8.3.1	Anleitungen für den Betreiber	106
3.8.3.2	Inhalt der Anleitungen für den Betreiber	106
3.8.3.3	Sicherheit	107
3.9	Inbetriebnahme	107
3.9.1	Inbetriebnahmeablauf am Beispiel einer Wärmeträger-Ölanlage	107
3.9.1.1	Abnahmeprüfung	107
3.9.1.2	Reinigung	107
3.9.1.3	Dichtheitsprüfung	108
3.9.1.4	Füllen der Anlage mit Wärmeträger und Druckprüfung	108
3.9.1.5	Funktionsprüfung	109
3.9.1.6	Inbetriebnahme	109
3.9.1.7	Messprotokoll	110
3.10	Abnahme	110
3.11	Aufmaß	110
4	Betrieb der Anlage	111
4.1	Wartung und Instandhaltung	111
4.1.1	Instandhaltungskonzept	111
4.1.2	Instandsetzung nach Ausfall	111
4.1.3	Vorbeugende Instandhaltung	112
4.1.4	Zustandsbezogene Instandhaltung	112
5	Beispielhafter Ablauf eines Anlagenprojektes in Diagrammen	115
5.1	Zeitliche Planung	115
5.2	Typischer Planungsablauf	116
5.3	Aufgaben und Zielstellungen der Inbetriebnahme	117
5.4	Typischer Inbetriebnahmeablauf	117
5.5	Betrieb der Anlage	118

5.6	Pumpenüberwachung	118
5.7	Standardablauf einer Wartung	119
5.8	Standardablauf einer Inspektion	120
5.9	Standardablauf einer Instandsetzung	121
6	Projektierungsgleichungen und Faustformeln	123
6.1	Allgemeines	123
6.2	Projektierungsgleichungen	123
6.3	Faustformeln	123
6.3.1	Volumenstrombestimmung	123
6.3.1.1	Heißwasser	123
6.3.1.2	Thermoöle bei der oberen Anwendungstemperatur	123
6.3.1.3	Luft (im Normzustand)	123
6.3.2	Rohrleitungssinnendurchmesser	131
6.3.3	Leistungsbedarf von Pumpen	131
6.3.4	Leistungsbedarf von Ventilatoren	132
6.3.5	Elektrische Stromstärke I für die Zuleitung zum Motor im Drehstromnetz	132
6.3.6	Messblendenbohrung	132
6.3.6.1	Wasser	133
6.3.6.2	Thermoöl	133
6.3.6.3	Wasserdampf (Sattdampf)	133
6.3.7	Verbrennungstechnik	133
6.3.7.1	Brennstoffstrom B und Abgasstrom V_A	133
6.3.7.2	Flüssige und gasförmige Brennstoffe	134
6.3.7.3	Holzverbrennung	134
7	Datensammlung und Planungsmaterial	135
7.1	Auslegungen	135
7.1.1	Strömungsgeschwindigkeiten aus der Praxis	135
7.1.2	Hauptdaten von Rohrleitungen und Rohrleitungselementen	136
7.1.3	Rohranschlussabmessungen, die sich aus den Flanschnormen ergeben	138
7.1.4	Kenngrößen für die Druckverlustberechnung	139
7.1.5	Verlusthöhenbestimmung bei Wasserleitungen	140
7.1.6	Nomogramm zur Berechnung des Strömungswiderstandes von Rohrleitungen	141
7.1.7	Geschwindigkeit und Druckverlust in durchströmten Rohren	142
7.1.8	Verlusthöhe	143
7.1.9	Erforderliche Dehnschenkellängen bei warmgehenden Stahlrohrleitungen	144
7.1.10	Verhältnis der gestreckten Länge zur Verbindungslänge als Kriterium für das elastische Verhalten eines Stahlrohrsystems	145
7.1.11	Dehnungsaufnahme von Rohrschenkeln	146
7.1.12	Dehnschenkel bei Kunststoffrohren	147
7.1.13	Leistungsbestimmung bei Pumpen	148
7.1.14	Wirkungsgrad und Leistungsbedarf von 1-stufigen Kreiselpumpen im Optimum	149
7.1.15	Leistungsbestimmung bei Ventilatoren	150
7.1.16	Diagramm zur Bestimmung der Wanddicke von zylindrischen Mänteln	151
7.1.17	Diagramm zur Bestimmung gewölbter Böden	152
7.1.18	Diagramm zur Bestimmung von ebenen Böden	153
7.1.19	Streckgrenze und Langzeit-Warmfestigkeitswerte von nahtlosen Rohren aus warmfesten Stählen	154
7.1.20	Stoffwerte von Stählen	155
7.1.21	Drehmoment in Abhängigkeit von Antriebsleistung und Drehzahl	156
7.1.22	Wellendurchmesser in Abhängigkeit vom Drehmoment	156
7.1.23	Abblasleistungen von Vollhub-Sicherheitsventilen und Normal-Sicherheitsventilen für Wasser	157
7.1.24	Abblasleistungen von Vollhub-Sicherheitsventilen und Normal-Sicherheitsventilen für Sattdampf und Luft	158
7.1.25	Strömungsgeschwindigkeit in Dampfleitungen	159
7.1.26	Bemessung von Kondensatleitungen	160

7.1.27	Auslegung von Sattdampfleitungen	162
7.1.28	Nachverdampfung bei der Entspannung von Kondensat	163
7.1.29	Anhaltswerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten k bei Wärmeaustauschern	164
7.1.30	Mittlere Temperaturdifferenz für reinen Gleich- und Gegenstrom	165
7.1.31	Richtwerte des Schalldruckpegels von Drehstrommotoren	166
7.1.32	A-Schall-Leistungspegel an Spiral- oder Ringgehäsepumpen	166
7.1.33	Schall-Leistungspegel von Ventilatoren	166
7.2	Konstruktion	167
7.2.1	Bildzeichen für Wärmekraftanlagen	167
7.2.2	Transportabmessungen	168
7.2.3	Mindestabstände von Leitungen	170
7.2.4	Rohrbrücke	171
7.2.5	U-Rohr-Wärmeaustauscher	172
7.2.6	Hauptabmessungen sowie Heizflächen bei einem Rohrbündel-Wärmeübertrager	173
7.2.7	Bezeichnung von Wärmeaustauscher-Bauelementen nach TEMA	174
7.2.8	Druck-Temperatur-Zuordnungen für nichtaustenitische Stähle	175
7.2.9	Übersichtsdiagramm zur Bestimmung der Baugrößen von Radialventilatoren	176
7.2.10	Kennfelder von Kreiselpumpen	177
7.2.11	Liegende Behälter	178
7.2.12	Sättel für liegende Behälter	181
7.2.13	Apparat mit Profilfüßen	182
7.2.14	Rohrfüße für stehende Apparate	183
7.3	Datenblätter	184
7.3.1	Datenblatt für Kreiselpumpen	184
7.3.2	Datenblatt für Sicherheitsventile	185
7.3.3	Spezifikationsblatt für Stellgeräte	186
7.3.4	Datenblatt für Elektromotoren	188
7.3.5	Datenblatt für Wärmeaustauscher – allgemeine Daten	189
7.3.6	Datenblatt für Wärmeaustauscher – Prozessdaten und Stoffwerte	190
7.3.7	Datenblatt für Wärmeaustauscher – Stutzen und Maßskizze	191
7.4	Vorschriften	192
7.4.1	Geltungsbereich der gesetzlichen Regelwerke zur Luftreinhaltung bei Feuerungsanlagen	192
7.4.2	Übersicht für zulässige Emissionswerte gemäß TA Luft	193
7.4.3	Emissionsgrenzwerte bei Großfeuerungsanlagen	194
7.4.4	Druckgeräterichtlinie: Einteilung der Fluide	195
7.4.5	BehälterEinstufung (Druckgeräte RL) Fluide der Gruppe 1: $P_{(\text{Dampf, TS})} > 0,5 \text{ bar}(\ddot{u})$	195
7.4.6	BehälterEinstufung (Druckgeräte RL) Fluide der Gruppe 2: $P_{(\text{Dampf, TS})} > 0,5 \text{ bar}(\ddot{u})$	196
7.4.7	BehälterEinstufung (Druckgeräte RL) Fluide der Gruppe 1, Flüssigkeiten: $P_{(\text{Dampf, TS})} < 0,5 \text{ bar}(\ddot{u})$	196
7.4.8	BehälterEinstufung (Druckgeräte RL) Fluide der Gruppe 2, Flüssigkeiten: $P_{(\text{Dampf, TS})} < 0,5 \text{ bar}(\ddot{u})$	197
7.4.9	Beheizte überhitzungsgefährdete Druckgeräte (Druckgeräte RL) TS > 110 °C, Fluide: Dampf oder Heißwasser	197
7.4.10	Rohrleitungseinstufung: Fluide der Gruppe 1: $P_{(\text{Dampf, TS})} > 0,5 \text{ bar}(\ddot{u})$	198
7.4.11	Rohrleitungseinstufung: Fluide der Gruppe 2: $P_{(\text{Dampf, TS})} > 0,5 \text{ bar}(\ddot{u})$	198
7.4.12	Rohrleitungseinstufung: Fluide der Gruppe 1: $P_{(\text{Dampf, TS})} < 0,5 \text{ bar}(\ddot{u})$	199
7.4.13	Rohrleitungseinstufung: Fluide der Gruppe 2: $P_{(\text{Dampf, TS})} < 0,5 \text{ bar}(\ddot{u})$	199
7.4.14	Konformitätsbewertung	200
7.4.15	Inhalt der Konformitätsbewertungsverfahren	200
7.5	Stoffwerte	201
7.5.1	Wasserdampf-tafel: Sättigungszustand (Drucktafel)	201
7.5.2	Enthalpiediagramm von Wasserdampf (h - p -Diagramm)	202
7.5.3	Übersichtsdiagramm: T - s -Diagramm von Wasserdampf mit Isobaren und Isochoren	203
7.5.4	Übersichtsdiagramm: h - s -Diagramm von Wasserdampf	204

7.5.5	Dichte von trockener Luft	205
7.5.6	Spezielle Wärmekapazität von trockener Luft bei konstantem Druck	205
7.5.7	Stoffwerte von Wasser bei Sättigungsdruck	206
7.5.8	Stoffwerte von trockener Luft	207
7.5.9	Spezielle Wärmekapazität von trockener Luft und Rauchgasen	208
7.5.10	h - x -Diagramm für feuchte Luft	209
7.5.11	Stoffwertebereich von Gasen, Flüssigkeiten und Feststoffen	210
7.6	Kalkulation	211
7.6.1	Montagezeiten für die häufigsten Stahlrohrleitungsteile	211
7.6.2	Spezifische Kosten von Wärmeaustauschern aus C-Stahl	212
7.6.3	Spezifische Kosten von Behältern aus C-Stahl	213
7.6.4	Kosten für Anlagenteile in Abhängigkeit von der Nennweite	214
7.6.5	Richtwerte für spezielle Kosten	215
7.6.6	Heizwerte von Brennstoffen	216
7.6.7	Überschlägige Brennstoffkosten-Ermittlung	217
7.6.8	Kostenschätzung für Rohrbündel-Wärmeaustauscher	220
Literaturverzeichnis		226
Stichwortverzeichnis		227

1 Planung von Anlagen

Die Gründe zur Realisierung eines Projektes sind für diese Abhandlung unwesentlich. Ist einmal die Entscheidung zur Verwirklichung einer Anlage gefallen, muss das immer zu einem strukturellen Planungsvorgang führen, da von der Planung bis zum Bau und den Betrieb viele Einzelheiten zu berücksichtigen sind (s. Tabelle 1.1). Nur eine effiziente Planung kann erforderliche praktische und betriebswirtschaftlich kostendeckende Maßnahmen miteinander koordinieren.

Der Schlüssel zum Erfolg ist hierbei, die Berührungsfelder unterschiedlichster Details zu erkennen und mit dem notwendigen technischen und betriebswirtschaftlichen Know-how zu einem funktionierenden Ganzen zusammenzufügen. Auf dem Stand der Technik müssen Gesetze, Vorschriften, Normen und Richtlinien eingehalten und umgesetzt werden. Von besonderer Bedeutung sind dabei sicherheits- und umwelttechnische Interessen.

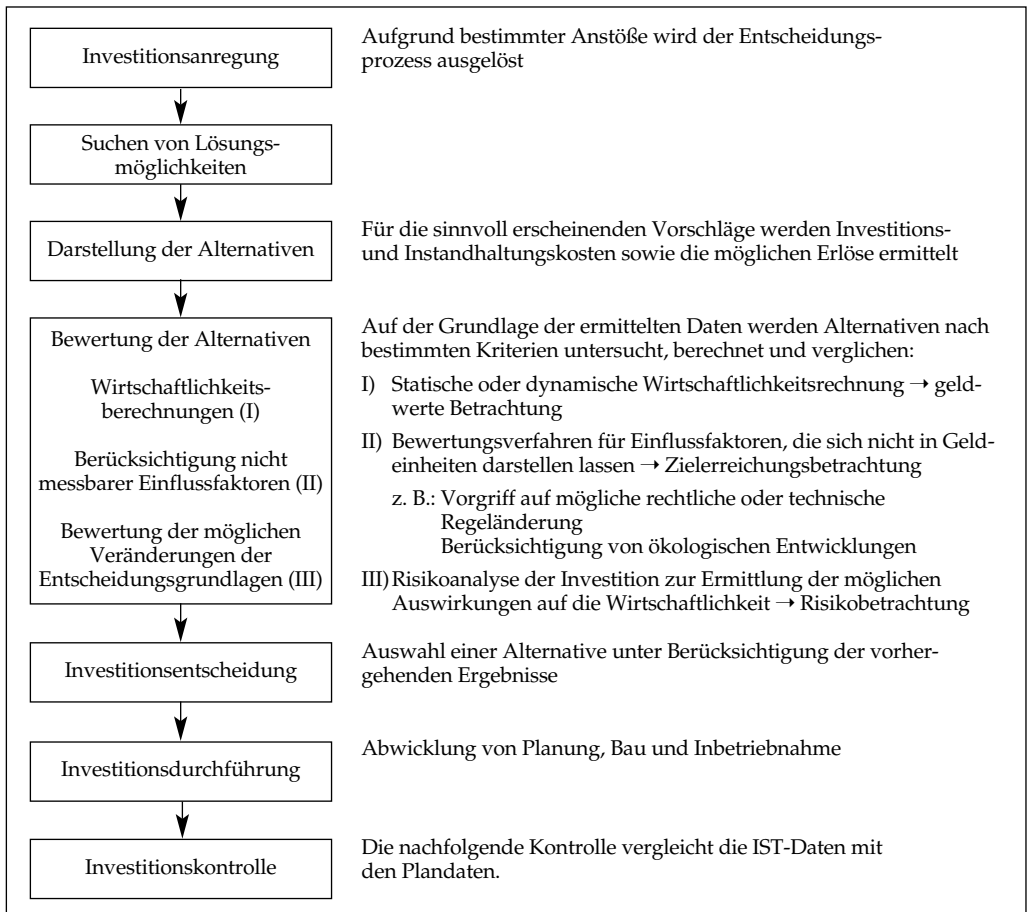


Tabelle 1.1 Koordination der sich überschneidenden technischen und betriebswirtschaftlichen Maßnahmen

1.1 Grundkonzeption

Vor dem Bau einer Anlage muss das Anlagenkonzept umfangreichen Analysen unterworfen werden, um alle wichtigen Informationen über Ursachen, Auswirkungen und Einflüsse, d.h. alle Interaktionen sowohl technischer als auch wirtschaftlicher Art, gewinnen und einplanen zu können (z.B. die Effizienz der Energieumwandlung oder -nutzung, Umwelteinwirkungen usw.).

Für Verfahren, bei denen prinzipiell in Bild 1.1 dargestellte Einflussgrößen eine Rolle spielen, sind eine Vielzahl übergreifender Betrachtungen maßgebend.

Es sind u.a. folgende Informationen zu analysieren:

- welche Produkte sollen erzeugt werden, und welche Nebenprodukte entstehen dabei?
- wieviel Energie, Roh- und Hilfsstoffe müssen dazu eingesetzt werden?
- welche Umstände sind bei der Rohstoffumsetzung einzuplanen?
- welche Abfallstoffe (Sorten und Mengen) sind zu erwarten?
- wieviel Abwärme entsteht, und kann sie wieder genutzt werden?
- welche Emissionen können auftreten?
- wie groß ist der Bedienungsaufwand?
- welche Genehmigungsrichtlinien sind zu berücksichtigen?
- welche Zuverlässigkeit kann die Anlage garantieren?
- wie ist die Störfallsicherheit zu bewerten?
- welche Restrisiken bleiben?
- welcher Wirkungsgrad ist real erreichbar?
- mit welcher Lebensdauer ist zu rechnen?

- wie ist der Stand der Technik?
- welche Akzeptanz hat die Anlage bei Behörden und in der Bevölkerung?
- ist der Standort richtig gewählt?
- welche Anlagenverfügbarkeit eröffnet der Markt?
- welche Anlagengrößen sind sinnvoll?
- wie hoch sind die Investitionskosten?
- wie hoch sind die Betriebskosten und wie ist die Kostenentwicklung für Personal und allen Roh- sowie Hilfsstoffen zu beurteilen?
- welche Produktmärkte sind vorhanden und mit welcher Marktentwicklung ist zu rechnen?
- gibt es konkurrierende Produkte?
- wie ist die Entwicklung der Märkte für diese Produkte zu beurteilen?
- gibt es konkurrierende Herstellungsverfahren?
- welche Finanzierungsmöglichkeiten sind zu vergleichen?

Aus dieser Liste erkennt man, dass für eine umfassende Anlagenplanung weit mehr Analysen durchzuführen sind als über die Produktherstellung.

Entsprechend den aufgelisteten Informationen ist es z.B. notwendig, folgende Arbeiten auszuführen:

- Aufstellen von Fließschemata,
- Erstellen von Maschinen- und Apparate-listen,
- Funktionsbeschreibungen,
- Erstellen von Mengen- und Energiebilanzen für das Gesamtverfahren, für Bereiche sowie für Komponenten,
- Ermittlung von Wirkungsgraden, Umwandlungsgraden und Ausbeuten,
- Zusammenstellung der Anforderungen an Maschinen und Apparate,

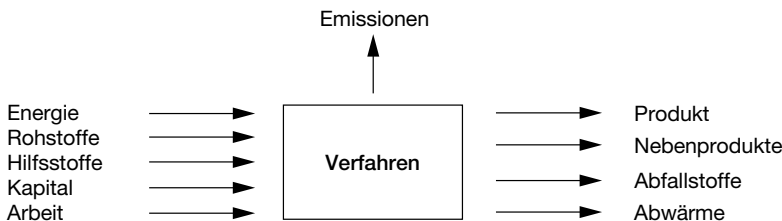


Bild 1.1 Einflussgrößen eines Verfahrens

Tabelle 1.2 Notwendige Informationen im Rahmen von Verfahrensanalysen

1. Stoffe	physikalische Eigenschaften chemische Eigenschaften Qualitätsmerkmale Gefährlichkeit (Sicherheitsdatenblatt)
2. Verfahren	physikalische Verfahren chemische Verfahren Voraussetzungen, Zeiträume, Verweilzeiten Abhängigkeiten von Geschwindigkeit, Druck, Temperatur und Konzentration Hilfsstoffe, Katalysatoren, sonstige Hilfsmittel
3. Stoff- und Energietransport	mechanische Antriebe Austauschvorgänge (Gefälle von Druck, Temperatur und Konzentration) Bilanzen (stationär, instationär) Ausbeuten (Gesamtausbeute, einzelne Komponenten, Energie, Umsetzung, Ursachen von Verlusten)
4. Maschinen und Apparate	Prinzipien Schaltungen (innere und innerhalb der Anlage) Konstruktion spezifische Leistungen Durchsatzmengen, Bedarfswerte Temperaturen, Drücke, Stoffe Baustoffe, Resistenzen, Herstellungsverfahren Dimensionierungen, Statik, Festigkeit, Lebensdauer gegenseitige Abhängigkeiten und Wirkungen Sicherheits- und Umwelttechnik
5. Betrieb	Einstellung, Variation Regelung und Steuerung, Messtechnik Bedienung, Personal, Organisation Wartung, Prüfung, Instandhaltung Reparatur Sicherheit erforderliche Genehmigungen
6. Kosten	Investitionskosten Betriebskosten Entwicklungskosten Lebensdauer, Abschreibungsmodalitäten Verfügbarkeit Erlöse, Gewinne, Renditen Kostenentwicklung Risiken

- Dimensionierung von Maschinen und Apparaten,
 - Ermittlung von Bauteilbelastungen,
 - Ermittlung besonderer Betriebsbedingungen,
 - Beurteilung des Standes der Technik bei Verfahren und Komponenten,
 - Analyse von Verfahrensvarianten und Verfahrensalternativen,
 - Optimierung von Verfahren und Komponenten,
 - Lebensdauerbeurteilungen,
 - Behandlung von Genehmigungsfragen,
 - Untersuchung von Standortbedingungen,
 - Beurteilung von Auswirkungen auf die Umwelt,
 - Behandlung von Entsorgungsmöglichkeiten,
 - Sicherheits- und Störfallanalysen,
 - Kostenermittlungen, Marktanalysen, Prognosen,
 - Termingroßplanung (s. Abschnitt 5.1).
- Damit diese und andere umfangreiche Arbeiten durchgeführt werden können, müssen für die im

Verfahren eingesetzten Stoffe, Prozesse, Maschinen und Apparate genaue und vollständige Informationen zusammengestellt werden. Gleiches gilt für die Fragen des Stoff- und Energietransportes, für Betriebsfragen sowie für Kosten. Tabelle 1.2 zeigt dazu eine Auflistung wesentlicher Fakten.

Ein Beispiel dafür, welche Vielfalt von Gesichtspunkten schon bei der Planung oder Beurteilung einer einzelnen Komponente berücksichtigt werden müssen, sind Wärmeaustauscher, die in allen Bereichen des Anlagenbaues in großen Stückzahlen zum Einsatz kommen.

- Thermodynamische Auslegung, Dimensionierung:
- α -Koeffizient, k-Koeffizient, logarithmische Temperaturdifferenzen, Strömungsführung, Heizflächenbelastung, volumetrische Leistung, Druckverlust, Rohrwandtemperatur, Apparateabmessung, Fouling.
- Mechanische Auslegung und Werkstoffauswahl: Wandstärken, mechanische Spannun-

gen im Normalbetrieb und in Störfällen, stationäre und instationäre thermische Spannungen, Beulen, Kriechen, Bersten, Ermüdung, Korrosion, Versprödung.

- Auslegung gegen Schäden durch Schwingungen, Erosion usw.,
- Verschmutzungseffekte, primär- und sekundärseitig,
- Zugänglichkeit, Prüfbarkeit, Überwachung, Reparatur, Austauschbarkeit,
- Betriebskonzepte,
- Fertigungsverfahren,
- Baugrößen, Extrapolierbarkeit von Erfahrungen,
- Erprobungsmöglichkeit,
- Stand der Technik,
- Schadensfälle und
- Herstellungskosten.

In Bild 1.2 sind die möglichen Entwicklungsphasen einer Anlage dargestellt.

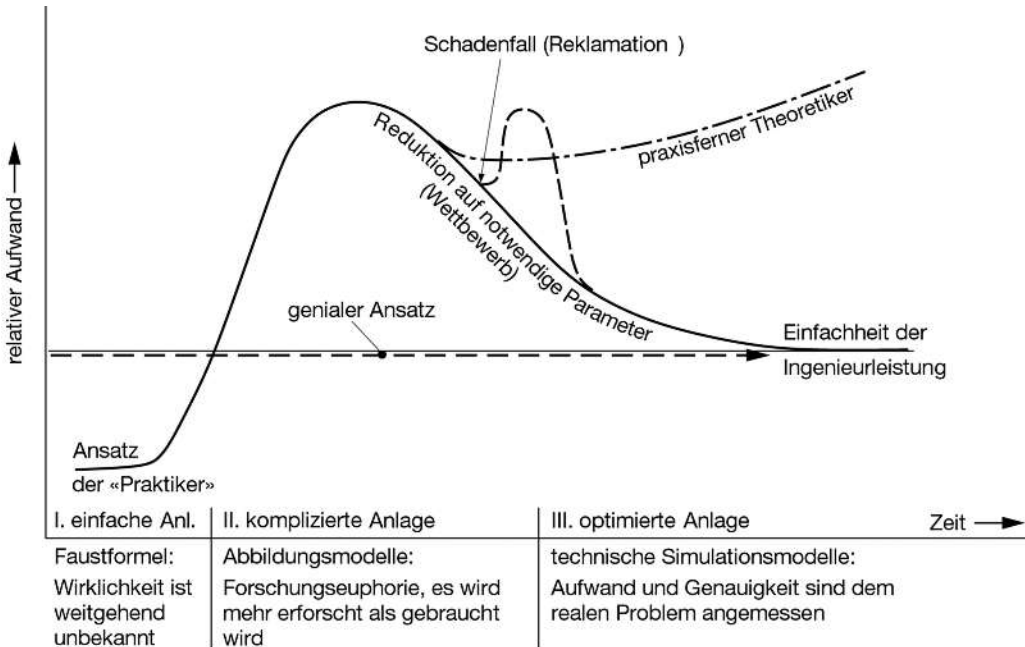


Bild 1.2 Entwicklungsphasen für Anlagen

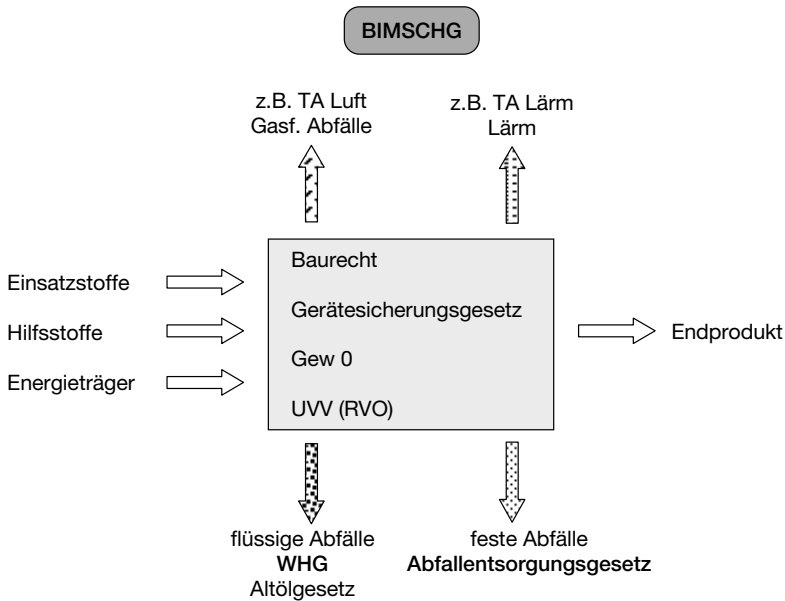


Bild 1.3 Grundkonzeption von sicherheits- und umwelttechnischen Anforderungen

Rechtsgebiet	Schutzziel
Gerätesicherungsgesetz	Schutz der Beschäftigten und Dritter vor Brand, Explosion, Vergiftung, Verätzung
Wasserrecht	Schutz vor Verunreinigungen im Sinne des Besorgnisprinzips bzw. des Prinzips der höchstmöglichen Sicherheit.
Baurecht	Standsicherheit, Festigkeit der Konstruktion, Bemessung, Ausbildung der Konstruktionsteile im Hinblick auf die physikalischen und chemischen Betriebsbedingungen, Brandsicherheit.
Umweltschutzrecht	Schutz vor Verunreinigungen von Wasser und Luft, vor unsachgemäßer Nutzung und Vernichtung; Natur- und Landschaftsschutz; Schutz vor Lärm und Erschütterungen.

1.2 Sicherheits- und umwelttechnische Anforderungen

Die Grundkonzeption von sicherheits- und umwelttechnischen Anforderungen zeigt Bild 1.3.

1.2.1 Gesetze, Verordnungen, Normen, Vorschriften

Gesetze, Verordnungen, Normen, Vorschriften usw. sind Ordnungsmittel einer Gemeinschaft (Bild 1.4). Das Gesetzeswerk ist in jedem geordneten Gemeinwesen der Maßstab, mit dem die einzelnen, sich widerstrebenden Interessen objektiv gemessen und in eine Rangfolge gebracht werden können.

1.2.2 Sicherheitstechnik

Sicherheitsrelevante Überlegungen müssen während der Entwicklung bzw. Optimierung eines Verfahrens in allen Phasen mit einbezogen werden. Der Umfang einer sicherheitstechnischen

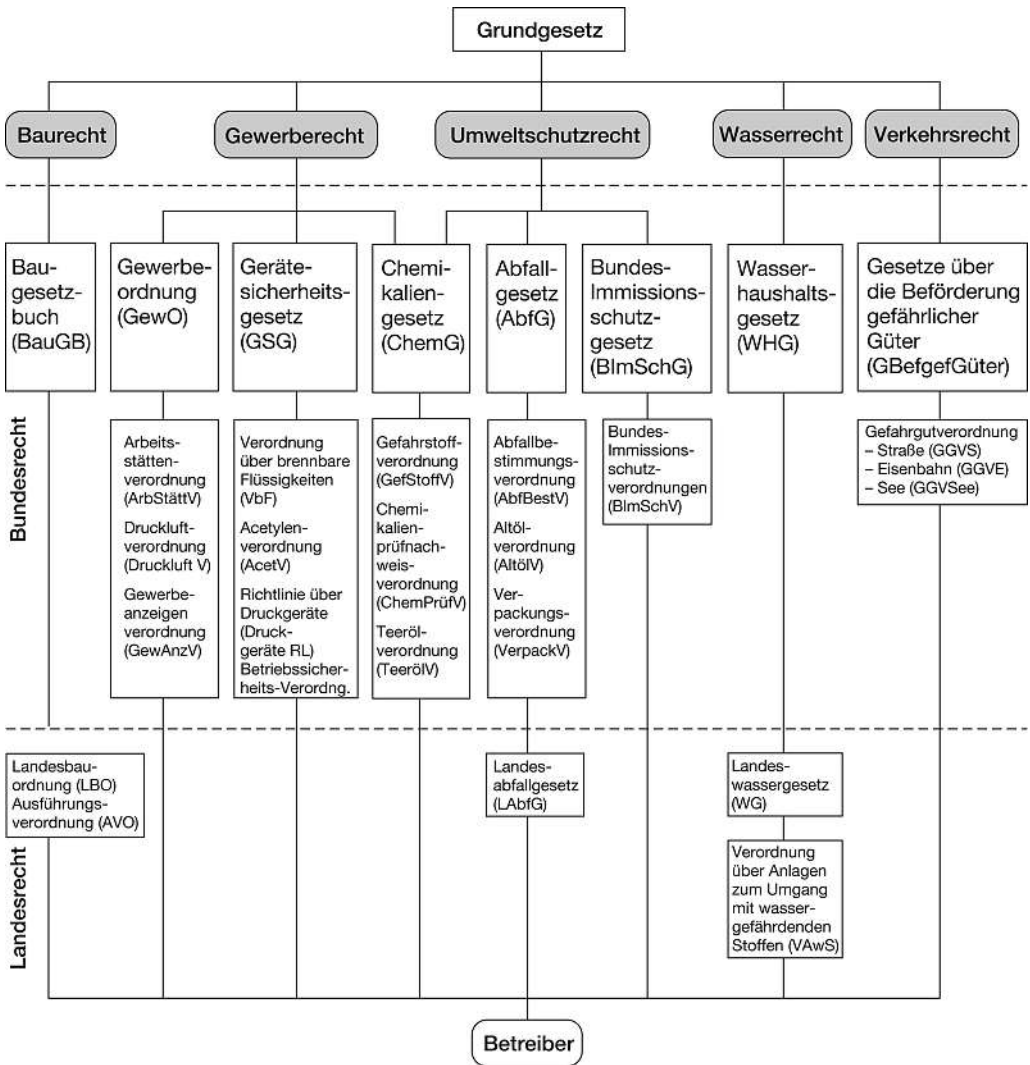


Bild 1.4 Übersicht von Gesetzen und Verordnungen (Beispiele)

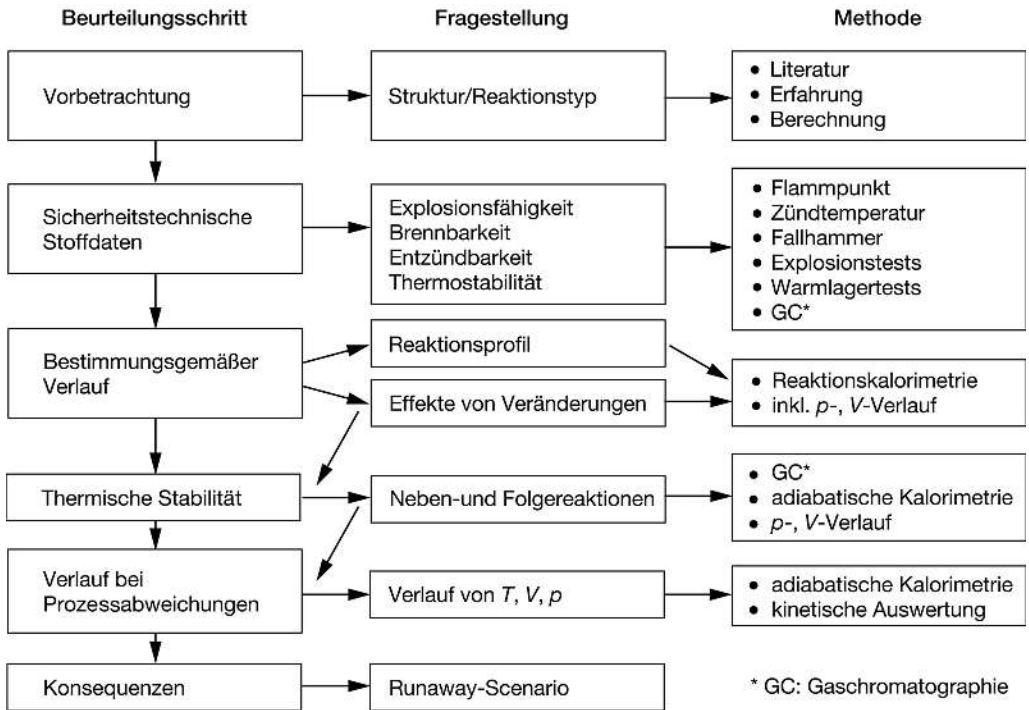


Bild 1.5 Ablauf sicherheitstechnischer Beurteilungen – Fragestellungen und Methoden

nischen Untersuchung hängt von der Stufe der Prozessentwicklung und -durchführung ab. In Bild 1.5 ist der Ablauf sicherheitstechnischer Beurteilungen dargestellt.

1.2.3 Sicherheitseinrichtungen

Bild 1.6 zeigt schematisch am Beispiel eines Rührkessels die verschiedenen Behälterabsicherungen. Sie können folgenden Typen zugeordnet werden:

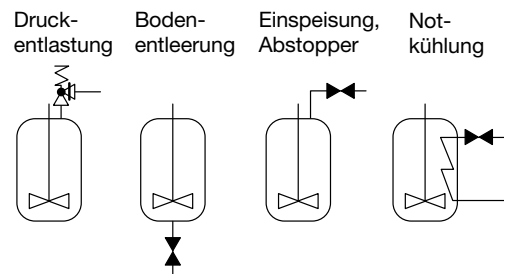


Bild 1.6 Absicherungsformen für Reaktionsbehälter

□ Druckentlastung, auch Notentspannung genannt. Berstscheiben und gewichts- oder federbelastete Sicherheitsventile öffnen bei einem voreingestellten Druck. Wenn die im Behälter verbleibenden Stoffmengen so groß sind, dass die Reaktion weiter durchgeht, muss eine zusätzliche Absicherung gemäß einem der nachstehenden Typen vorgesehen werden.

□ Bodenentleerung ist als alleinige Absicherung in der Regel ungenügend.
 □ Ein Abstopper ist für Mehrzweckanlagen ungeeignet, wegen der Vielzahl von Reaktionen.
 □ Notkühlung durch Kühlflächen im oder am Reaktor.

Wenn mit Verkrustung der Kühlflächen zu rechnen ist, bietet die Notkühlung als alleinige Absicherung zu wenig Sicherheit.

Eine Variante der Notkühlung ist das Fluten mit einer geeigneten Flüssigkeit. Dadurch entstehen in großen Mengen verunreinigte Flüssigkeiten, die entsorgt werden müssen.

- Mit Hilfe der Mess- und Regelungstechnik kann man ebenfalls Absicherungen konzipieren. Dabei werden Prozessgrößen (z.B. die Temperatur im Behälter) gemessen und bei Überschreitung von Grenzwerten entsprechende Aktionen (z.B. Öffnen eines gesteuerten Sicherheitsventils oder Abpumpen des Behälterinhalts) ausgelöst.

Die Zuverlässigkeit derartiger Absicherungen mit Hilfe der Mess- und Regelungstechnik ist begrenzt (s. AD – A6).

Nur in einfachen Fällen genügt eine Absicherung nach einem einzigen der oben genannten Typen. Im Normalfall ist eine Kombination erforderlich. Die Druckentlastung wirkt grundsätzlich als Kombination von Druckentlastung und Entleerung, weil dabei auch eine Reduktion der Stoffmengen im Reaktor erfolgt.

Druckentlastungsvorgang

Zu Beginn einer Druckentlastung öffnet sich die Druckentlastungsarmatur. Das sog. kritische Druckverhältnis für ideale Gase ist 0,5, d.h., bei einem Innendruck von 2 bar und einem Umgebungsdruck von 1 bar wird die Schallgeschwindigkeit im Ausströmquerschnitt erreicht.

Der Reaktordruck zu Beginn der Druckentlastung ist in den meisten Fällen höher als 2 bar, so dass auch für ein nichtideales Gas mit Schallgeschwindigkeit in der Druckentlastungsarmatur zu rechnen ist. Nach dem Öffnen der Druckentlastungsarmatur sinkt der Druck im Reaktor ab. Bei hoher Reaktortemperatur verdampft ein Teil der Flüssigkeit, was jedoch durch den Siedeverzug behindert wird. Nach Beendigung des Siedeverzugs desorbiert der Dampf aus der Flüssigkeit, wobei Tropfen mitgerissen werden. Durch den Flüssigkeitsanteil erhöht sich der Strömungswiderstand in der Druckentlastungsarmatur.

Dies hat zur Folge, dass der Reaktordruck in dieser Phase der Druckentlastung ansteigt. Danach sinkt er langsam und stetig. Bei einer Druckentlastung laufen somit verschiedene thermohydraulische und chemische Vorgänge ab.

Im einzelnen sind dies:

- Strömung mit Schallgeschwindigkeit in der Druckentlastungseinrichtung,
- Desorption von Gasen und Dämpfen aus Flüssigkeiten,
- 2-Phasen-Strömung in der Druckentlastungseinrichtung,
- chemische Reaktionen mit ihrer Reaktionskinetik.

Diese Vorgänge können berechnet oder mindestens qualitativ beurteilt werden.

Für die Strömung von einem Dampf-Flüssigkeits-Gemisch mit Schallgeschwindigkeit und die Desorption von Gasen und Dämpfen aus Flüssigkeiten finden sich Angaben in der Literatur.

Um eine Aussage über den Charakter der 2-Phasen-Strömung machen zu können, müssen experimentelle Ergebnisse oder betriebliche Erfahrungen über den Flüssigkeitsanteil verwendet werden.

Bei Mehrzweckanlagen legt man die maximalen Temperaturen und Drücke fest und dimensioniert die Druckentlastungseinrichtung unter Annahme der Schallgeschwindigkeit.

1.2.4 Prozessleittechnik (PLT) sichert Anlagen

In der Richtlinie VDI/VDE 2180 ist die Sicherung von Anlagen der Verfahrenstechnik durch die Prozessleittechnik (PLT) beschrieben, und es werden allgemeine Grundsätze vorgestellt, die für die Planung, Errichtung und den Betrieb derartiger Einrichtungen hilfreich sind. Vorzugsweise werden verfahrenstechnische Einrichtungen mit Nicht-PLT-Einrichtungen abgesichert. PLT-Einrichtungen zur Anlagensicherung kommen dann zum Einsatz, wenn andere Maßnahmen nicht anwendbar, nicht ausreichend oder bei vergleichbarer Risikoreduzierung nicht wirtschaftlich sind. Die Anwendung möglichst einfacher, überschaubarer und unmittelbar wirkender Maßnahmen führt in der Regel zu sicheren und gleichzeitig wirtschaftlichen Lösungen. Komponenten von Einrichtungen der Prozessleittechnik zur Anlagensicherung sind:

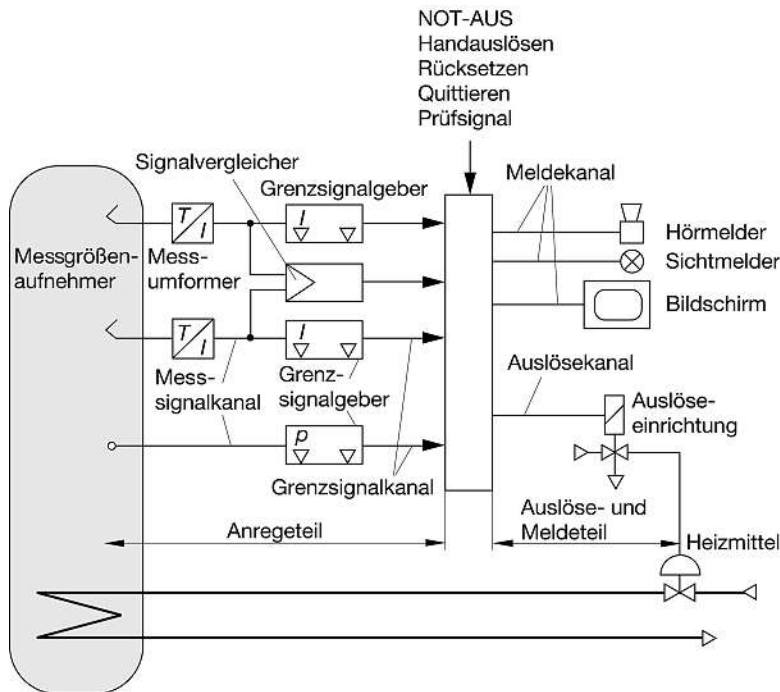
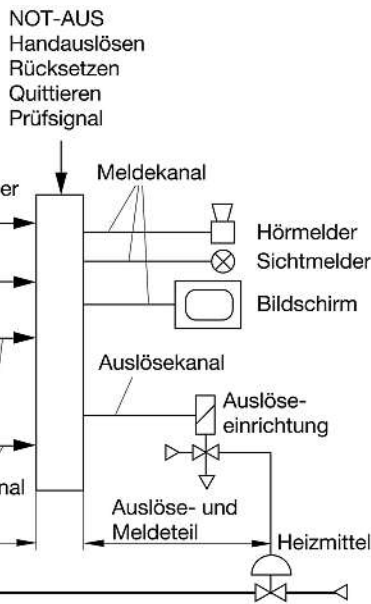


Bild 1.7 Grundsätzliche Wirkungsweise von PLT-Einrichtungen zur Anlagensicherung

- Anregeteil, z.B. bestehend aus Messgrößen-aufnehmer, Messumformer, Grenzsinalgeber und ggf. Signalvergleichler für redundante analoge Signale,
- Einrichtungen zur Signalverarbeitung,
- Auslöseeinrichtungen und Melder.

Die für die Anlagensicherung bedeutende Prozessgröße, die «Prozesssicherungsgröße», wird von einem Messgrößen-aufnehmer erfasst und häufig über einen Messumformer in ein analoges oder ein digitales Signal umgeformt. Ihr Wert wird in einem Grenzsinalgeber mit einem vorgegebenen Grenzwert oder in einem Signalvergleichler mit einem anderen Signal verglichen (Bild 1.7). Das Ausgangssignal des Grenzsinalgebers ist ein Grenzsinal, das vom Signalvergleichler ist ein Plausibilitätssignal. Beide Signale haben binäre Signalzustände.

Überschreitet der Wert der Prozesssicherungsgröße einen Grenzwert im zulässigen Fehlbereich, so wird aus dem Gutsignal des Grenzsinalgebers ein Fehlsignal.



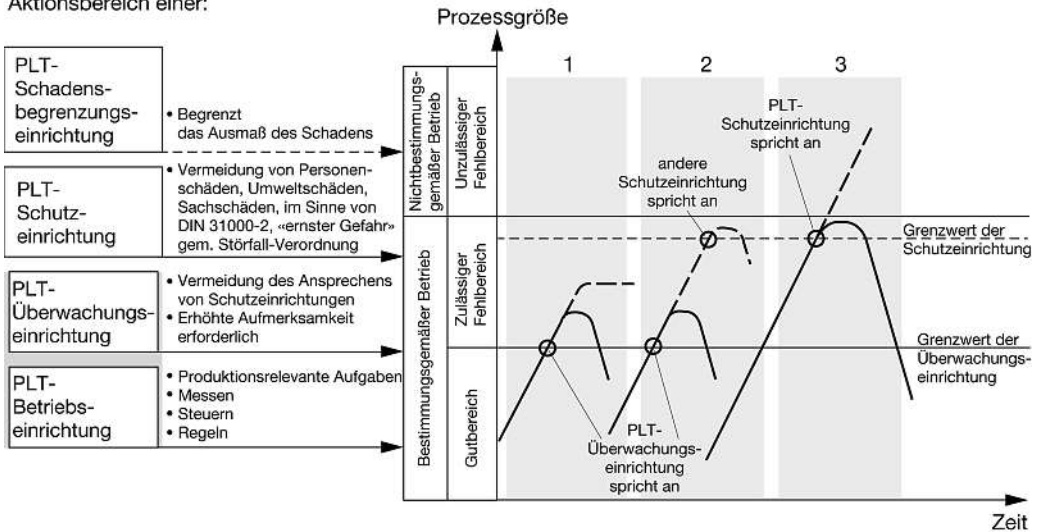
1.2.4.1 Klassifizierung von PLT-Einrichtungen

Die Sicherung von Anlagen der Verfahrenstechnik mit Mitteln der Prozessleittechnik setzt eine eindeutige Unterscheidung zwischen sicherheitsrelevanten und betrieblichen Anforderungen voraus. Daher werden die Einrichtungen der Prozessleittechnik klassifiziert in (Bild 1.8):

- PLT-Betriebseinrichtungen,
- PLT-Überwachungseinrichtungen,
- PLT-Schutzeinrichtungen,
- PLT-Schadensbegrenzungseinrichtungen.

Die Klassifizierung hat zum Ziel, PLT-Einrichtungen aufgabengerecht und mit wirtschaftlichem Aufwand auszugestalten. Sie ermöglicht klare Abgrenzungen, sowohl bei der Planung, Errichtung und Betrieb als auch bei späteren Änderungen von PLT-Einrichtungen. Über den Einsatz von PLT-Einrichtungen zur Anlagensicherung, über ihre Aufgabenstellung

Aktionsbereich einer:



Beim Kurvenverlauf 1 kann die Prozessgröße verfahrensbedingt den unzulässigen Fehlbereich nicht erreichen. Eine Überwachungseinrichtung ist ausreichend. Durch selbsttätigen oder – nach einer Meldung – manuellen Eingriff wird die Prozessgröße in den Gutbereich gebracht.

Beim Kurvenverlauf 2 kann die Prozessgröße die Grenze zum unzulässigen Fehlbereich überschreiten. Da eine andere Schutz-einrichtung (wie Sicherheitsventil, Berstscheibe, Schnellöffnungsventil, Schnellschlussventil) vorhanden ist, ist eine vorgeschaltete PLT-Einrichtung, die das Ansteigen der Prozessgröße meldet oder begrenzt, als Überwachungseinrichtung klassifiziert.

Im Kurvenverlauf 3 verhindert die PLT-Einrichtung, dass die Prozessgröße den unzulässigen Fehlbereich erreicht. Sie ist deshalb Schutz-einrichtung.

Die Schadensbegrenzungseinrichtung wirkt nicht auf die Prozessgröße.

Bild 1.8 Schematische Darstellung der Wirkungsweise von PLT-Schutz- und PLT-Überwachungseinrichtungen

und ihre Ausführung wird in der Sicherheitsbetrachtung entschieden.

1.2.4.2 Klassifizierungsbeispiele

Die in Bild 1.7 aufgeführten Beispiele geben Hinweise, wie PLT-Einrichtungen in typischen verfahrenstechnischen Einrichtungen entsprechend der Aufgabenstellung klassifiziert werden können. Aus der zur Erläuterung beispielhaft gewählten prozessleittechnischen Ausstattung kann keine Verbindlichkeit oder Empfehlung für vergleichbare Anwendungsfälle abgeleitet werden. Vielmehr ist für den konkreten Anwendungsfall eine jeweils darauf zugeschnittene Lösung zu erarbeiten. Die zeichne-

rischen Darstellungen der verfahrenstechnischen Anlagen enthalten nur die zum Verständnis der Aufgabenstellung notwendigen Anlagenteile und PLT-Einrichtungen. Nicht dargestellt sind PLT-Einrichtungen zur Vermeidung von Produktschäden und Sachschäden, die in unternehmerischem Eigeninteresse betrachtet werden und bei denen Personen- und Umweltschäden ausgeschlossen werden können.

Die Kennbuchstaben für die PLT-Funktionen sind in Anlehnung an DIN 19227 gewählt, wobei die Folgebuchstaben S für PLT-Überwachungseinrichtungen und Z für PLT-Schutz-einrichtungen nach durchgeführter Klassifizierung zu ergänzen sind.

1.2.4.3 Anwendungsbeispiel Absicherung von Rührkesseln

Verfahrensbeschreibung

Der Rührkessel (Bild 1.9) wird mit Einsatzstoff gefüllt. Danach leitet man unter Zugabe von Luft die Reaktion ein. Der Sauerstoff wird vollständig umgesetzt. Als Inertgas fällt Stickstoff mit Kohlenwasserstoffanteilen an, das man einem Abgasnetz zuführt. Dieses Netz muss weitgehend sauerstofffrei sein.

Messgrößen

Arbeitstemperatur T, Arbeitsdruck P1, Regelung der Prozesszusammensetzung im Rührkessel QC1, Drehzahl des Rührers S, Kühl- bzw. Heizmitteldurchfluss F, Sauerstoffkonzentration im Abgas Q2, Regelung Abgasdruck PC2.

Exotherme Reaktionen können im Störfall einen exponentiellen Temperatur- und Druckanstieg aufweisen. Für dieses Durchgehen einer Reaktion gibt es verschiedene Ursachen, z.B. falsches Mischungsverhältnis oder Verunreinigung der Rohstoffe bzw. Verkrustung von Kühlflächen. Das eventuelle Durchgehen einer Reaktion erfordert technische Maßnahmen bei der Planung. Hierzu gehört die redundante Ausführung von Komponenten. Redundanz heißt, dass mehr Komponenten vorhanden sind als für die Erfüllung der vorgesehenen Aufgabe erforderlich ist.

Kühlwasserpumpen können z.B. 2fach, parallel geschaltet installiert werden, wobei jeweils nur 1 Pumpe betrieben wird und die 2. erst beim störungsbedingten Ausfall der 1. startet. Die Zuverlässigkeit erhöht sich dadurch wesentlich.

Für die Betriebsführung von durchgehenden Reaktionen werden entsprechende Betriebsvorschriften aufgestellt. Die dadurch erreichte Betriebssicherheit ist von der Zuverlässigkeit des Bedienungspersonals abhängig.

Derartige Maßnahmen bei Planung und Betrieb sind in der Regel nicht ausreichend. Zusätzlich ist eine Absicherung erforderlich, um Schäden am Reaktionsbehälter selbst und an der Umgebung zu verhindern.

1.2.5 Emissionen und Emissionsminderung

Wenn die bei der Druckentlastung freigesetzten Stoffe toxisch oder aus anderen Gründen umweltbelastend sind, ist zu prüfen, ob sie unbehandelt an die Umwelt abgegeben werden dürfen (s. Immissionsschutz-Gesetz).

Es gibt verschiedene technische Verfahren zur Behandlung von umweltbelastenden Stoffen, die bei einer Druckentlastung entweichen. Flüssigkeitsabscheider sind geeignet, wenn die bei der Druckentlastung mitgerissene Flüssigkeit umweltbelastend ist, die freigesetzten Gase jedoch unschädlich sind. Zyklone oder Tropfenabscheider sind besser geeignet als leere Behälter.

Eine Dampfkondensation ist empfehlenswert, falls die bei einer Druckentlastung freigesetzten Dämpfe umweltbelastend sind. Meist wird eine Dampfkondensation in einem liegenden Behälter durchgeführt, wobei Wasser oder eine organische Flüssigkeit als Vorlage dient. Wärmeaustauscherkondensatoren, z.B. Rohrbündelapparate mit Wasser als Kühlmedium, benötigen eine Pumpe, die permanent laufen oder bei Bedarf rasch und sicher starten müsste. Deshalb sind Rohrbündelapparate weniger geeignet. Als Dampfkondensator ist noch die Kältespeicherung zu erwähnen. Hier dient ein Salz mit geeignetem Schmelzpunkt oder ein gefrorener Stoff (Eis) zur Kondensation von Dampf aus der Druckentlastung.

Wäscher sind geeignet, wenn eine Waschflüssigkeit zur Reinigung der freigesetzten Gase und Dämpfe bekannt ist. In einem Wäscher können mehrere Verfahrensschritte gleichzeitig durchgeführt werden:

- Abscheidung der Flüssigkeit,
- Kondensation des Dampfes,
- Absorption und Kühlung des Gases.

Bei einer vollständigen Rezeption werden alle bei der Druckentlastung freigesetzten Stoffe in einem geschlossenen Behälter aufgefangen. Auch Taschen aus flexiblem Material, die sich bei der Druckentlastung aufblähen, kommen zum Einsatz. Da aber die benötigten Auffangvolumina groß sind, ist eine vollständige Rezeption nur schwer realisierbar.

<p>Zeichnerische Darstellung in Anlehnung an DIN 19 227</p>	<p>Anwendungsbeispiel</p>	<p>PLT-Betriebseinrichtung</p>	<p>PLT-Überwachungseinrichtung</p>	<p>PLT-Schutzeinrichtung</p>	<p>PLT-Schadensbegrenzungseinrichtung</p>
	<p>Endotherme Reaktion</p> <p>Bei Ausfall der Heizung oder des Rührers ist keine Gefahr unkontrollierter Reaktion gegeben. Durch unvollständigen Umsatz der Reaktionsluft kann die Sauerstoffkonzentration im Abgas ansteigen.</p>	<p>P1 T QC1 PC2</p>	<p>S₋ F₋</p>	<p>Q2⁺ F₋</p>	
	<p>Exotherme Reaktion</p> <p>Bei Ausfall der Kühlung oder des Rührers kann die Reaktionsgeschwindigkeit so stark ansteigen, dass der Druck über PC2 nicht abgeführt wird. Um ein Ansprechen der Berstscheibe und einen damit verbundenen Verlust großer Produktmengen zu vermeiden, wird bei unzulässigem Druckanstieg die Gasphase in einer Notkondensation verflüssigt.</p>	<p>QC1 PC2</p>	<p>S₋ F₋ P1⁺ T⁺</p>	<p>Q2⁺</p>	

Bild 1.9 PLT-Schutz- und PLT-Überwachungseinrichtungen am Beispiel eines Rührkessels nach VDI/VDE 2180