

# Planung und Bau verfahrenstechnischer Anlagen

Projektmanagement und Fachplanungsfunktionen

Dipl.-Ing. Gerhard Bernecker

Zweite, neubearbeitete Auflage

**VDI-Verlag GmbH**

Verlag des Vereins Deutscher Ingenieure · Düsseldorf



## Inhalt

<b>1. Projektleitung als technisch-wirtschaftliche Organisationsaufgabe .</b>	<b>1</b>
1.1. Planung . . . . .	3
1.2. Projekt . . . . .	4
1.2.1. Projektführung . . . . .	6
1.2.2. Projektorganisation . . . . .	6
1.2.3. Projektziele . . . . .	7
1.2.4. Phasengliederung, Ablaufplanung . . . . .	7
1.2.5. Überwachung und Steuerung des Soll-/Ist-Zustandes .	10
1.2.6. Information, Überwachung der Nahtstellen . . . . .	11
1.2.7. Motivation, Instruktion . . . . .	12
<b>2. Anlagenbau aus dem Blickwinkel der beteiligten Interessenten . . .</b>	<b>13</b>
2.1. Die Belange des Anlagenbetreibers . . . . .	13
2.1.1. Investitionskosten . . . . .	14
2.1.2. Rohstoff- und Energiekosten . . . . .	14
2.1.3. Unfallsicherheit. . . . .	16
2.1.4. Betriebssicherheit . . . . .	18
2.1.5. Instandhaltung . . . . .	20
2.1.6. Personalkosten . . . . .	23
2.1.7. Werksbelange . . . . .	24
2.1.8. Umweltbelange, Genehmigungsfähigkeit . . . . .	25
2.1.9. Fertigstellungstermin . . . . .	26
2.1.10. Zusammenarbeit mit dem Anlagenbauer . . . . .	27
2.1.11. Interessenwahrnehmung des Anlagenbetreibers . . . .	29
2.2. Der Standpunkt des Anlagenbauers. . . . .	31
2.2.1. Abgrenzung der selbständigen Ingenierbüros gegen solche von Anlagenbetreibern . . . . .	32
2.2.2. Schwankungen im Arbeitsanfall . . . . .	34
2.2.3. Termine. . . . .	36
2.2.4. Änderungen . . . . .	38
2.2.5. Akquisitionskosten . . . . .	40

2.2.6.	Haftungsbeschränkung . . . . .	41
2.2.7.	Projektorganisation beim Anlagenbauer . . . . .	43
2.3.	Vertragsformen Anlagenbetreiber – Anlagenbauer . . . . .	47
2.3.1.	Berater-Vertrag . . . . .	47
2.3.2.	Engineering-Vertrag . . . . .	48
2.3.2.1.	Der Anlagenbetreiber ist Verfahrensgeber. . . . .	49
2.3.2.2.	Das Ingenieurbüro ist Verfahrensgeber. . . . .	50
2.3.2.3.	Lizenznahme von dritter Seite . . . . .	50
2.3.2.4.	Vorteile und Voraussetzungen . . . . .	50
2.3.2.5.	Engineering-Vertrag mit Investitionssummen- garantie . . . . .	51
2.3.3.	Der Liefervertrag für Anlagen. . . . .	53
2.4.	Aufgaben der Ausrüstungshersteller. . . . .	56
2.4.1.	Maschinen- und gerätetechnische Ausrüstungen . . . . .	57
2.4.2.	Apparate . . . . .	57
2.4.3.	Vertragsgestaltung aus der Sicht des Herstellers von Ausrüstungen . . . . .	59
<b>3.</b>	<b>Gesetzliche Grundlagen für Anlagenbau und -betrieb . . . . .</b>	<b>61</b>
3.1.	Überblick über die gesetzlichen Grundlagen . . . . .	61
3.1.1.	Entwicklung der einschlägigen Gesetzgebung . . . . .	61
3.1.2.	Einteilung in Gesetzgebungskomplexe . . . . .	62
3.1.3.	Gesetzgebungspraxis für technische Bestimmungen . . . . .	64
3.1.4.	Das Arbeiten mit Gesetzestexten . . . . .	66
3.2.	Arbeitssicherheit und Arbeitsschutz . . . . .	66
3.2.1.	Reichsversicherungsordnung und Unfallverhütungs- vorschriften . . . . .	66
3.2.1.1.	Gewerbliche Berufsgenossenschaften (BG) . . . . .	66
3.2.1.2.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen. . . . .	69
3.2.1.3.	Erlaß von Unfallverhütungsvorschriften und Richtlinien. . . . .	70
3.2.1.4.	Rechtliche Wirkung der Unfallverhütungs- Vorschriften. . . . .	71
3.2.1.5.	Die Pflichtenübertragung. . . . .	73
3.2.1.6.	Bedienungsanweisung. . . . .	74
3.2.1.7.	Die Sicherheitsbeauftragten. . . . .	76
3.2.2.	Das Arbeitssicherheitsgesetz . . . . .	76
3.2.3.	Das Betriebsverfassungsgesetz . . . . .	80

X

3.2.4.	Das Gerätesicherheitsgesetz . . . . .	81
3.2.5.	Die Gewerbeordnung . . . . .	84
	3.2.5.1. Überwachungsbedürftige Anlagen . . . . .	84
	3.2.5.2. Fürsorgepflicht des Unternehmers. . . . .	86
3.2.6.	Die Verordnung über gefährliche Arbeitsstoffe . . . . .	87
	3.2.6.1. Entwicklung zur Arbeitsstoffverordnung . . . . .	87
	3.2.6.2. Aufbau der gesetzlichen Bestimmungen der Arbeitsstoffverordnung . . . . .	89
	3.2.6.3. Definition gefährlicher Arbeitsstoffe, Aus- kunftspflicht . . . . .	90
	3.2.6.4. Inverkehrbringen und Abgabe zum Ver- brauch. . . . .	94
	3.2.6.5. Umgang mit gefährlichen Arbeitsstoffen . . . . .	97
	3.2.6.6. MAK- und TRK-Werte . . . . .	99
	3.2.6.7. Gesundheitliche Überwachung . . . . .	104
	3.2.6.8. Ahndung von Verstößen . . . . .	106
3.2.7.	Die Verordnung über Arbeitsstätten . . . . .	107
	3.2.7.1. Der Weg zur Arbeitsstättenverordnung. . . . .	107
	3.2.7.2. Aufbau der gesetzlichen Bestimmungen der Arbeitsstättenverordnung . . . . .	108
	3.2.7.3. Pflichten des Arbeitgebers. . . . .	111
	3.2.7.4. Allgemeine Anforderungen an Arbeitsstätten in Gebäuden. . . . .	111
	3.2.7.5. Anforderungen an bestimmte Räume . . . . .	115
	3.2.7.6. Arbeitsplätze auf dem Betriebsgelände im Freien . . . . .	115
	3.2.7.7. Baustellen . . . . .	117
	3.2.7.8. Betrieb der Arbeitsstätten . . . . .	117
3.3.	Genehmigungsverfahren für verfahrenstechnische Anlagen. . . . .	121
	3.3.1. Definitionen des Standes der Technik . . . . .	122
	3.3.1.1. Stand der Technik für die Sicherheitstechnik	122
	3.3.1.2. Stand der Technik für den Umweltschutz. . . . .	123
	3.3.2. Förmliches Genehmigungsverfahren nach dem Bun- desimmissionsschutzgesetz . . . . .	124
	3.3.3. Vereinfachtes Genehmigungsverfahren nach dem Bun- desimmissionsschutzgesetz und Bauartenzulassung . . . . .	133
	3.3.4. Baurechtliche Genehmigungen . . . . .	134
	3.3.5. Wasserrechtliche Erlaubnis, Bewilligung, Genehmi- gung . . . . .	135

3.3.6.	Sonstige Genehmigungen . . . . .	138
3.3.7.	Abfassung des Genehmigungsantrages nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz . . . . .	138
3.3.7.1.	Topographische Karte . . . . .	141
3.3.7.2.	Bauvorlagen . . . . .	141
3.3.7.3.	Anlagen- und Betriebsbeschreibung . . . . .	143
3.3.7.4.	Schematische Darstellung für den Genehmigungsantrag . . . . .	148
3.3.7.5.	Maschinenaufstellungsplan . . . . .	150
3.3.7.6.	Immissionsprognose . . . . .	151
3.3.7.7.	Plan zur Verwertung der Reststoffe . . . . .	152
3.4.	Vorschriften des Umweltschutzes . . . . .	152
3.4.1.	Bundesimmissionsschutzgesetz und Ausführungsvorschriften . . . . .	152
3.4.2.	Altöl- und Abfallbeseitigungsgesetz . . . . .	153
3.4.3.	Altwasserabgabengesetz . . . . .	154
<b>4.</b>	<b>Das Vorprojekt . . . . .</b>	<b>157</b>
4.1.	Definition des Vorprojektes . . . . .	157
4.2.	Unternehmerische Entscheidungskriterien für Investitionen . . . . .	158
4.3.	Kostenermittlungen . . . . .	161
4.3.1.	Investitionskostenschätzungen . . . . .	161
4.3.2.	Investitionskostenkalkulation . . . . .	163
4.4.	Planung von Kostenkontrollen . . . . .	164
4.5.	Terminplanung . . . . .	169
4.6.	Finanzplanung . . . . .	171
4.7.	Begutachtung . . . . .	172
<b>5.</b>	<b>Verfahrensentwicklung . . . . .</b>	<b>175</b>
5.1.	Verfahrensentwicklung im Labormaßstab . . . . .	175
5.2.	Verfahrensentwicklung im halbertechnischen Maßstab . . . . .	178
<b>6.</b>	<b>Verfahrensauslegung für großtechnische Anlagen (basic design) . . . . .</b>	<b>181</b>
6.1.	Mengen- und Energiebilanzen . . . . .	182
6.2.	Fließbilder . . . . .	182
6.2.1.	Grundfließbild . . . . .	182
6.2.2.	Verfahrensfließbild . . . . .	182
6.2.3.	Rohrleitungs- und Instrumentenfließbild . . . . .	186

6.3. Verfahrenstechnische Spezifikationen für Ausrüstungen . . . .	186
6.3.1. Auslegungsvorschrift für Behälter . . . . .	187
6.3.2. Auslegungsvorschrift für Wärmetauscher . . . . .	189
6.3.3. Auslegungsvorschrift für Abscheider und Filter . . . . .	191
6.3.4. Auslegungsvorschrift für Kolonneneinbauten . . . . .	191
6.3.5. Auslegungsvorschrift für Pumpen . . . . .	192
6.3.6. Auslegungsvorschrift für Verdichter . . . . .	194
6.3.7. Auslegungsvorschriften für Meß- und Regelgeräte. . . . .	194
6.3.8. Auslegungsvorschrift für Steuerungen . . . . .	199
6.3.9. Auslegungsvorschrift für Sicherheitsventile . . . . .	200
6.4. Verfahrensbeschreibung . . . . .	202
6.5. Einflüsse von Umweltschutzbedingungen auf die Auslegung verfahrenstechnischer Anlagen . . . . .	202
6.5.1. Kühlung und Kondensation bei einem Trocknungsver- fahren . . . . .	204
6.5.1.1. Einsatz eines indirekten Wärmetauschers . . . . .	206
6.5.1.2. Einsatz eines Einspritzkondensators . . . . .	207
6.5.1.3. Einspritzkondensator mit Rückkühlung . . . . .	209
6.5.2. Prozeßwasserkreislaufführung . . . . .	210
6.5.3. Vakuumerzeugungseinrichtungen . . . . .	212
6.6. Einflüsse von Betriebsmittelbedingungen auf die Auslegung verfahrenstechnischer Anlagen . . . . .	214
6.6.1. Antriebsenergie. . . . .	214
6.6.2. Die Kraft-Wärme-Kopplung . . . . .	215
6.6.3. Beheizung mit Wasserdampf . . . . .	222
6.6.4. Beheizung mit Wärmeübertragungssystemen . . . . .	225
6.6.4. Wärmetausch . . . . .	227
6.6.5. Kühlung. . . . .	230
6.7. Einsatz der EDV bei verfahrenstechnischen Planungen . . . . .	235
<b>7. Planungsabwicklung . . . . .</b>	<b>237</b>
7.1. Aufgaben des Projektleiters . . . . .	238
7.1.1. Informationsbeschaffung und -weitergabe . . . . .	238
7.1.2. Abklärung Stand Verfahrensauslegung. . . . .	238
7.1.3. Ausrüstungen mit langen Lieferzeiten . . . . .	243
7.1.4. Ermittlung Planungsstundenbedarf . . . . .	243
7.1.5. Terminplanung . . . . .	243

7.1.6.	Aufbau Projekt-Organisation . . . . .	243
7.1.7.	Terminkontrolle, Fortschrittsberichte . . . . .	243
7.1.8.	Kostenkontrollen . . . . .	245
7.1.9.	Vertragsverhandlungen . . . . .	245
7.1.10.	Besprechungen und Motivationen . . . . .	246
7.2.	Terminplanung und -überwachung . . . . .	246
7.2.1.	Netzplantechniken. . . . .	248
7.2.2.	Aufstellung eines Netzplanes . . . . .	250
7.2.2.1.	Projektstrukturplan . . . . .	254
7.2.2.2.	Ablaufanalyse . . . . .	255
7.2.2.3.	Zeit- und Kapazitätsanalyse . . . . .	257
7.2.3.	Termin-Überwachung mit der Netzplantechnik . . . . .	259
7.2.4.	Vorteile der Netzplantechnik. . . . .	263
7.2.5.	Wichtige anfängliche Planungsereignisse . . . . .	263
7.3.	Aufstellungsplan . . . . .	264
7.3.1.	Layout-Modell . . . . .	264
7.3.2.	Aufstellungsplan . . . . .	265
7.3.3.	Gemeinsamer Aufstellungs- und Rohrleitungsplan . . . . .	268
7.3.4.	Grundmodell . . . . .	269
7.4.	Rohrleitungs- und Instrumentenfließbild . . . . .	271
7.5.	Planungsabwicklung der Apparate. . . . .	274
7.5.1.	Apparateleitzeichnung . . . . .	274
7.5.2.	Apparatebeschaffung . . . . .	278
7.5.3.	Werkstattzeichnung . . . . .	280
7.5.4.	Druckbehälter. . . . .	282
7.5.5.	Einteilung der Wärmetauscher . . . . .	284
7.5.6.	Werksprüfung, TÜV-Abnahme, Versand . . . . .	286
7.5.7.	Zeichnungslieferung und Dokumentation. . . . .	286
7.6.	Planungsabwicklung der Maschinen. . . . .	289
7.6.1.	Einordnung der Maschinen in verfahrenstechnische Anlagen. . . . .	289
7.6.2.	Zuverlässigkeit von Pumpen und Verdichtern . . . . .	290
7.6.3.	Spezifikation der Maschinen . . . . .	294
7.6.4.	Datenblatt für Kreiselpumpen . . . . .	295
7.6.5.	Charakteristiken von Kreiselpumpen . . . . .	300
7.6.6.	Technische Dokumentation und Zeichnungslieferung . . . . .	302
7.6.7.	Ersatzteilbeschaffung . . . . .	304

7.6.8. Terminverfolgung, Werksprüfung, Versand . . . . .	305
7.7. Planungsabwicklung der Bau- und Stahlbauarbeiten . . . . .	308
7.7.1. Charakterisierung der Bau- und Stahlbauarbeiten . . . . .	308
7.7.2. Leitplanung für Bauarbeiten und Stahlbau . . . . .	309
7.7.3. Ausführungsplan für Bauarbeiten und Stahlbau . . . . .	311
7.7.4. Leistungs- und Honorarordnung der Ingenieure (LHO) . . . . .	319
7.7.5. Prüfstatiker . . . . .	321
7.7.6. Ausschreibung und Vergabe . . . . .	321
7.7.7. Verdingungsordnung für Bauleistungen (VOB) . . . . .	322
7.8. Planungsabwicklung der Rohrleitungen . . . . .	326
7.8.1. Rohrleitungsspezifikation . . . . .	327
7.8.2. Technische Beschaffungsvorschriften . . . . .	335
7.8.3. Rohrleitungsliste . . . . .	335
7.8.4. Summenplan Untergrund . . . . .	337
7.8.5. Rohrbrückenbelegungsplan . . . . .	339
7.8.6. Modellverrohrung . . . . .	339
7.8.7. Isometrische Rohrleitungszeichnungen mit Rohrteile- listen . . . . .	344
7.8.8. Elastizitätsberechnungen . . . . .	346
7.8.9. Materialauszüge . . . . .	347
7.8.10. Datenblatt Übergabepunkte . . . . .	348
7.8.11. Ausschreibungsunterlagen Rohrleitungsmontage und Montageabrechnung . . . . .	348
7.9. Isolierung . . . . .	349
7.9.1. Wärmeschutzisolierung . . . . .	349
7.9.2. Kälteisolierung . . . . .	353
7.9.3. Lieferbedingungen, Aufmaßrichtlinien . . . . .	353
7.10. Anstrich . . . . .	353
7.10.1. Oberflächenvorbereitung . . . . .	354
7.10.2. Aufbau Anstrichsystem . . . . .	355
7.10.3. Spezifikation und Beschaffung des Anstrichs . . . . .	357
7.11. Planungsabwicklung Elektrotechnik . . . . .	359
7.11.1. Elektrische Antriebsmotoren . . . . .	359
7.11.2. Liste elektrischer Verbraucher . . . . .	362
7.11.3. Stromversorgung . . . . .	362
7.11.4. Versorgungssicherheit für elektrische Energie . . . . .	365

7.11.5. Schaltanlagen . . . . .	365
7.11.6. Explosionsschutz – physikalische und chemische Grundlagen . . . . .	367
7.11.7. Explosionsschutz-Vorschriften für elektrische Be- triebsmittel . . . . .	369
7.11.8. Planungsarbeiten der Elektrotechnik im Ingenieur- büro . . . . .	381
<b>7.12. Meß-, Regelungs- und Steuerungstechnik (MRS) . . . . .</b>	<b>387</b>
7.12.1. Meßwertanzeiger . . . . .	387
7.12.2. Meßwertaufnehmer . . . . .	388
7.12.3. Regelungstechnik . . . . .	392
7.12.4. Steuerungstechnik . . . . .	396
7.12.5. Stellglieder . . . . .	398
7.12.6. Meßwartengestaltung . . . . .	402
7.12.7. Planungsarbeiten MRS-Technik im Ingenieurbüro . . . . .	405
<b>8. Beschaffung . . . . .</b>	<b>409</b>
8.1. Allgemeine Vertragsbedingungen . . . . .	409
8.2. Abwicklungspraxis des Technischen Einkaufs . . . . .	410
8.2.1. Anfrage . . . . .	412
8.2.2. Angebotsbearbeitung . . . . .	412
8.2.3. Bestellung . . . . .	416
8.3. Terminverfolgung . . . . .	420
<b>9. Montage . . . . .</b>	<b>423</b>
9.1. Organisation der Montageplanung . . . . .	424
9.2. Montageplanung . . . . .	425
9.2.1. Planungsgrundlagen . . . . .	425
9.2.2. Terminplanung und -verfolgung . . . . .	425
9.2.3. Bereitstellungsplanung Montagepersonal . . . . .	429
9.2.4. Montageleitung und -überwachung . . . . .	432
9.2.5. Baustelleneinrichtung . . . . .	434
9.2.6. Allgemeine Montagebedingungen . . . . .	435
9.2.7. Baustellendokumentation und -schriftverkehr . . . . .	443
9.2.8. Versicherungen . . . . .	445
9.2.9. Montagekosten . . . . .	446

9.3. Montageabwicklung . . . . .	447
9.3.1. Einrichten der Baustelle . . . . .	447
9.3.2. Bauarbeiten . . . . .	447
9.3.3. Grobmontage . . . . .	448
9.3.4. Maschinenmontage . . . . .	450
9.3.5. Rohrleitungs montage . . . . .	451
9.3.6. Montage der Isolierungen . . . . .	453
9.3.7. Montage elektro-, meß-, regel- und steuerungstechnischer Ausrüstungen . . . . .	453
9.3.8. Sonstige Montagearbeiten . . . . .	454
9.4. Funktionsprüfungen. . . . .	454
<b>10. Inbetriebnahme. . . . .</b>	<b>457</b>
10.1. Inbetriebnahmegerechte Anlagenplanung . . . . .	459
10.1.1. Anlagenauslegung im Hinblick auf die Inbetriebnahme . . . . .	459
10.1.2. Bedienungsanleitung . . . . .	461
10.1.3. Betriebshandbuch . . . . .	463
10.2. Organisatorische Vorbereitung der Erstinbetriebnahme . . . . .	463
10.2.1. Terminablaufplanung . . . . .	467
10.2.2. Anfahrpersonal . . . . .	468
10.2.3. Rohstoffe, Betriebs- und Hilfsstoffe . . . . .	471
10.2.4. Ersatzteile und Werkstattbetreuung. . . . .	471
10.2.5. Analysenprogramm und Laborbetreuung . . . . .	472
10.2.6. Kommunikation . . . . .	473
10.2.7. Inbetriebnahmekosten . . . . .	474
10.3. Vorbereiten der Anlage zur Inbetriebnahme . . . . .	474
10.3.1. Checken der Anlage . . . . .	474
10.3.2. Spülen der Anlage . . . . .	479
10.3.3. Funktionsprüfungen und Probeläufe mit Spül- bzw. ungefährlichen Medien . . . . .	481
10.3.4. Gesamtdruckprobe . . . . .	483
10.3.5. Einfüllen von Katalysator . . . . .	483
10.3.6. Inertisierung der Anlage . . . . .	484
10.4. Anfahren der Anlage . . . . .	484
<b>11. Schrifttum . . . . .</b>	<b>487</b>
<b>12. Sachwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>503</b>