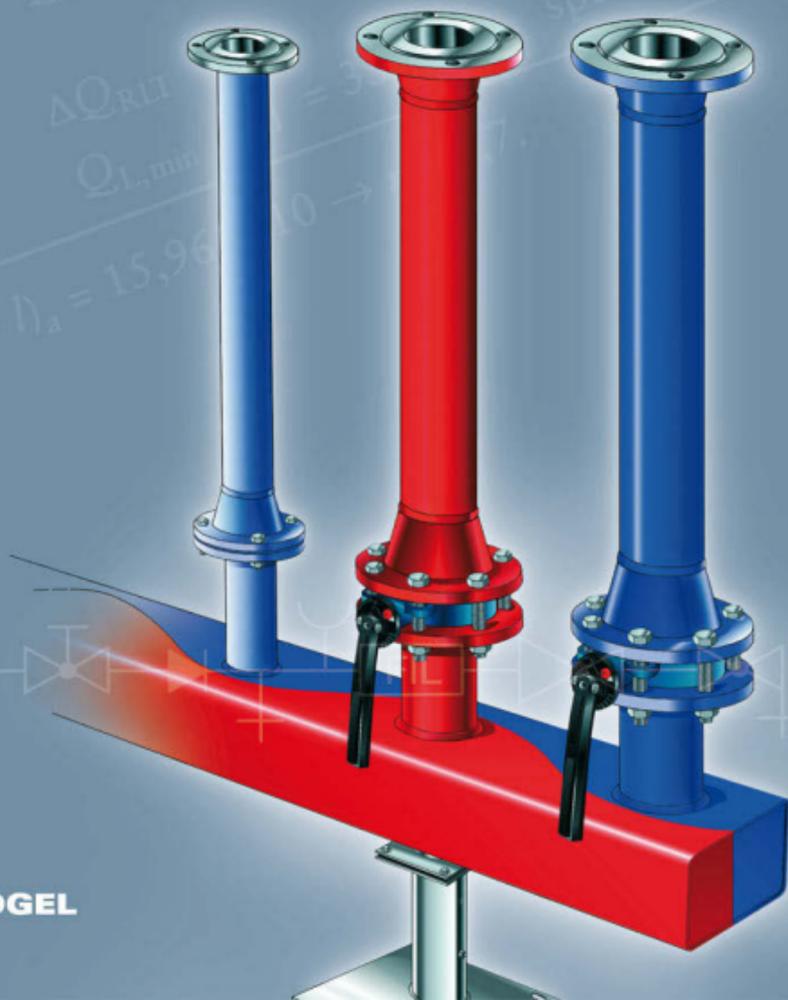


Schenker/Tiator/Nestler

projektplanung

versorgungstechnischer anlagen



Projektplanung versorgungstechnischer Anlagen

Dipl.-Ing. Maik Schenker
Dipl.-Ing. Ingolf Tiator
Dipl.-Ing. Roland Nestler

Projektplanung

versorgungstechnischer Anlagen

Vogel Buchverlag

Dipl.-Ing. MAIK SCHENKER

Jahrgang 1962, studierte an der Ingenieurschule für Anlagenbau in Glauchau, Fachbereich Rohrleitungs- und Isoliertechnik, und war anschließend Fachschullehrer. Es folgte ein Hochschulstudium an der TH Zwickau, Fachbereich Wärmetechnik; ab 1991 Mitwirkung beim Aufbau der Staatlichen Studienakademie Glauchau. Er ist Dozent des Fachbereichs Versorgungs- und Umweltechnik an der BA Glauchau und Gastdozent an der Fachschule für Technik der Steinbeis-Stiftung in Glauchau.

Dipl.-Ing. INGOLF TIATOR

Jahrgang 1959, absolvierte nach einer Lehre als Maschinen- und Anlagenmonteur ein Studium an der Ingenieurschule für Anlagenbau in Glauchau, Fachrichtung Rohrleitungen und Isolierungen, danach ein Hochschulstudium an der TU Dresden, Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung.

Von 1984 bis 1993 war er als Fachdozent an der Ingenieurschule Glauchau tätig. Seit 1994 ist er Dozent an der Staatlichen Studienakademie Glauchau, Fachrichtung Versorgungs- und Umweltechnik, und Gastdozent an der Fachschule für Technik der Steinbeis-Stiftung in Glauchau.

Dipl.-Ing. ROLAND NESTER

Jahrgang 1956, studierte nach Abitur und Wehrdienst von 1978 bis 1983 an der TU Dresden Thermodynamik und Strömungstechnik. Er ist Autor von Fachlehrbriefen und seit 1993 Inhaber eines Ingenieurbüros für Haustechnik sowie Dozent an der Fachschule für Technik der Steinbeis-Stiftung.

Weitere Informationen:
www.vogel-buchverlag.de

ISBN 3-8023-1911-7

1. Auflage. 2004

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 2004 by

Vogel Industrie Medien GmbH & Co. KG, Würzburg

Umschlaggrafik: Icon, Veitshöchheim

Vorwort

Die Projektplanung versorgungstechnischer Anlagen ist und bleibt ein komplizierter Vorgang in der Versorgungstechnik. Ausgehend von einer Idee sollen Anlagen entstehen, die in Funktion und Sicherheit allen Ansprüchen des Auftraggebers gerecht werden. In unserer Branche, die sich ja grundlegend mit der Bereitstellung von Medien, wie Trinkwasser oder Wärme, beschäftigt, sind die verschiedensten versorgungstechnischen Anlagen zu behandeln. Zum Beispiel kann man Trinkwarmwasser mit Hilfe eines Speichers bereitstellen. Die zur Warmwassererzeugung benötigte Wärme kann dabei durch einen Ölkessel geliefert werden, genauso gut könnte aber auch ein Gaskessel zum Einsatz kommen, die gleiche Aufgabe könnte jedoch auch eine Wärmepumpe oder eine Solaranlage übernehmen.

Daraus erkennt man, dass bei der Bewältigung von Planungsaufgaben immer Varianten betrachtet werden müssen. Mit der beispielhaften Planung der hier vorgestellten Versorgungsanlagen kann der Techniker entsprechende Varianten berücksichtigen und lernt gleichzeitig in den verschiedensten Varianten «zu denken».

Klar strukturierte Aufgabenstellungen zeigen, mit welchen Arbeitsschritten der Bearbeiter Planungsaufgaben umfassend lösen kann. Dabei können die Autoren auf einen großen Erfahrungsschatz bei der Ausbildung von Studenten an der Staatlichen Studienakademie Glauchau und der Fachschule für Technik der Steinbeißstiftung Glauchau zurückgreifen. Alle Erkenntnisse der Ausbildung sind in diesem Buch umgesetzt, die dargestellten Algorithmen sind Ergebnis jahrelanger Erfahrung in der Lehre, vor allem in der praxisintegrierten Ausbildung junger Diplomingenieure an der Studienakademie.

Die Beispiele vermitteln schrittweise, wie Planungsaufgaben bewältigt werden können. Aufbauend auf den theoretischen Erkenntnissen der einzelnen Fachgebiete im SHK-Bereich werden hier vollständige Projekte erstellt, die zusätzlich über eine entsprechende Kalkulation sofort Ergebnisse zur Wirtschaftlichkeit der einzelnen Anlagen liefern.

Neben den Standardsystemen werden auch alternative Anlagen besprochen, die in der heutigen Zeit vom Kunden immer häufiger gewünscht werden. Auch für diese Anlagen wird der gesamte Planungsprozess ausführlich dargestellt.

Somit erhalten Studenten und Auszubildende von Studien- und Lehreinrichtungen alle Informationen, um Planung und Projektierung versorgungstechnischer Anlagen erfolgreich bewältigen zu können.

Glauchau

Maik Schenker
Ingolf Tiator
Roland Nestler

Weitere Titel für das Installateur- und Heizungsbauerhandwerk sind im Vogel Buchverlag erschienen:

Anette Becker	Lüftungsanlagen
Hadamovsky / Jonas	Solaranlagen
Hadamovsky / Jonas	Solarstrom Solarthermie
Roland Nestler	Kalkulation und Angebot
Nestler / Becker / Schenker / Tiator / Reinhold	Prüfungsfragen Sanitär- und Heizungshandwerk
Christian Reinhold	Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik
Schenker / Tiator / Nestler	Projektplanung versorgungstechnischer Anlagen
Maik Schenker	Sanitäranlagen
Ingolf Tiator	Heizungsanlagen
Zentralverband Sanitär Heizung Klima	Vom Stundenverrechnungssatz zur Deckungsbeitragsrechnung

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Einleitung	11
1 Grundlagen der Planung	13
1.1 Was ist Planung in der Haustechnik?	13
1.2 Von der Idee bis zur Anlage	13
1.3 Werkzeuge der Planung	15
1.3.1 Schaltbild	15
1.3.2 Strangschemata	15
1.3.3 Grundrissplanung	18
2 Grundlagen der Dimensionierung haustechnischer Anlagen	23
2.1 Einleitung	23
2.2 Beispiel einer falschen AST	23
2.3 Grundlagen und Quellen der Dimensionierung	25
2.3.1 Grundlagen und Berechnungsalgorithmus	25
2.3.2 Berechnungsdurchführung	28
2.3.3 Weiterführende Berechnungen	30
2.3.3.1 Druckverlustberechnung	30
2.3.3.2 Lineare Interpolation	33
2.4 Berechnungsbeispiele	34
2.4.1 Komplettbeispiel	34
2.4.2 Pumpenauswahl	38
3 Planungsbeispiele	43
3.1 Planung einer haustechnischen Anlage für ein Eigenheim	43
3.1.1 Aufgabenstellung (AST)	43
3.1.2 Heizungsprojekt	48
3.1.2.1 Aufgabenstellung Heizung	48
3.1.2.2 Auslegung der heizungstechnischen Anlage mit statischen Heizflächen	50
<i>Grundlagen</i>	50
<i>Wärmebedarfsberechnung nach DIN 4701</i>	53
<i>Auswahl der Heizflächen und des Heizkessels</i> ...	64
<i>Rohrleitungsdimensionierung</i>	68
<i>Sicherheitstechnische Ausrüstung</i>	84
<i>Auswahl des Abgassystems</i>	86
<i>Auslegung einer Fußbodenheizung als Alternativanlage</i>	88
3.1.2.3 Kalkulation der Heizungsinstallation	106
3.1.3 Sanitärprojekt	107

3.1.3.1	Allgemeines	107
3.1.3.2	Berechnungsgrundlagen Trinkwassertechnik	107
3.1.3.3	Berechnung der Trinkwasseranlage	110
3.1.3.4	Auswertung der Berechnung	120
3.1.3.5	Kalkulation der Trinkwasserinstallation	121
3.1.3.6	Berechnungsgrundlagen Abwassertechnik	133
3.1.3.7	Berechnung der Abwasseranlage	135
3.1.3.8	Kalkulation der Abwasserinstallation	138
3.1.3.9	Berechnungsgrundlagen Regenwassertechnik	139
3.1.3.10	Berechnung der Regenwasseranlage	141
3.1.3.11	Kalkulation der Regenwasserinstallation	143
3.2	Planung alternativer Anlagen	144
3.2.1	Solaranlagen	144
3.2.2	Auslegung der Solaranlage	148
3.2.3	Ökonomische Bewertung solartechnischer Anlagen	153
3.2.4	Regenwassernutzungsanlagen	155
3.2.5	Regenwassernutzung	156
3.2.6	Auslegung der Regenwassernutzungsanlage	157
3.2.7	Ökonomische Bewertung von Regenwassernutzungsanlagen	161
3.2.8	Weiterführende Betrachtungen auf dem Gebiet der Regenwassernutzung	162
3.3	Die neue Heizlastberechnung nach DIN EN 12 831	166
3.3.1	Grundlagen	166
3.3.2	Wärmebedarfsberechnung nach DIN EN 12 831	168
3.3.2.1	Einzelbauteile	169
3.3.2.2	Zusammengesetzte Bauteile	172
3.3.2.3	Fenster	175
3.3.2.4	Türen	175
3.3.2.5	Erdarliegenden Flächen	175
3.3.2.6	Kennwerte	179
	Formelverzeichnis	189
	Anlagen	203
	Anlage I	203
Tabelle I.1	Checkliste zur Formulierung einer konkreten Aufgabenstellung	203
Tabelle I.2	Umrechnung von Druck-, Energie- und Leistungseinheiten	203
Tabelle I.3	Stoffwerte von Wasser	204
Tabelle I.4	Stoffwerte von technischen Gasen	204
Tabelle I.5	Mittlere spezifische Wärmekapazität $c_p _0^1$ für ideale Gase	204
Tabelle I.6	Stoffwerte von Sattdampf	205
Tabelle I.7	Strömungsgeschwindigkeiten von Medien	205
Tabelle I.8	Rohrrauigkeiten	206
Tabelle I.9	Rohrrauigkeiten für Armaturen, ζ -Werte	206

Tabelle I.10	Kennlinienfeld einer Wilo-Pumpe IPn	207
Tabelle I.11	Kennlinienfeld einer Wilo-Pumpe IPh	208
Anlage II		
Tabelle II.1	Mindestfließdruck und Berechnungsdurchflüsse	209
Tabelle II.2	Summendurchfluss und Spitzendurchfluss	209
Tabelle II.3	Normwerte für Druckverluste in Wasserzählern	210
Tabelle II.4	Anschluss, Nenndurchfluss und maximaler Durchfluss von Wasserzählern	210
Tabelle II.5	Richtwerte für Druckverluste in Stockwerks- und Einzelzuleitungen	211
Tabelle II.6	Richtwerte für Druckverluste in Stockwerksverteiltern	212
Tabelle II.7	Richtwerte für Druckverluste aus Pe-x-Rohren DN 12	213
Tabelle II.8	Richtwerte für Druckverluste aus Pe-x-Rohren DN 15	214
Tabelle II.9	Anschlusswerte	215
Tabelle II.10	Zulässiger Schmutzwasserabfluss	215
Tabelle II.11	Abflussvermögen von unbelüfteten Sammelan- schlussleitungen	216
Tabelle II.12	Abflussvermögen von Schmutzwasserfallleitungen mit Hauptlüftung	216
Tabelle II.13	Abflussvermögen von Grund- und Sammelleitungen	216
Tabelle II.14	Praxiswerte für halbrunde Dachrinnen	217
Tabelle II.15	Abflussvermögen von Regenwasserfallleitungen	217
Tabelle II.16	Druckverlusttabelle RAUTITAN-flex	218
Tabelle II.17	Leistungskennlinien Fußbodenheizungen, $R_{\lambda,B} = 0,0 \text{ m}^2 \text{ K/W}$	219
Tabelle II.18	Leistungskennlinien Fußbodenheizungen, $R_{\lambda,B} = 0,10 \text{ m}^2 \text{ K/W}$	220
Tabelle II.19	Druckverlust Roth-Systemheizrohr	221
Tabelle II.20	Druckverlust Vor- und Rücklaufventil	222
Anlage III		
	Wärmebedarfsberechnung von Viega	223
Anlage IV		
	Alternative Materialzusammenstellung mit Viega-Programm für Trinkwasser	242
	Kalkulation Abwassertechnik	244
	Kalkulation Regenwassernutzungsanlage	249
	Kalkulation der Heizungstechnik	252
Anlage V		
Tabelle V.1	Warmwasserbedarf für Solaranlagen	255
Tabelle V.2	Globalstrahlung nach Standorten	255
Tabelle V.3	Druckverluste im Kollektorfeldern	255
Tabelle V.4	Systemdaten für Wärmeübertrager	255

Tabelle V.5	Wasserbedarf für Regenwasseranlagen	256
Tabelle V.6	Ertragswerte	256
Tabelle V.7	Durchschnittliche Niederschlagsmengen	257
Anlage VI Heizlastberechnung nach DIN EN 12 831		259
Anlage VI.1	Heizung / Brennstoffe	259
Anlage VI.2	Kellerfur	260
Anlage VI.3	Küche	261
Anlage VI.4	Diele	262
Anlage VI.5	Dusche / WC	263
Anlage VI.6	Gast	264
Anlage VI.7	Kind 1	265
Anlage VI.8	Kind 2	266
Anlage VI.9	Flur	267
Anlage VI.10	Bad / WC	268
Anlage VI.11	Schlafen	269
Quellenverzeichnis		271
Weiterführende Literatur		271
Farbbilder		273
Stichwortverzeichnis		281

Einleitung

Eine besondere Eigenschaft des Menschen ist seine Möglichkeit Visionen zu haben. Durch Gedanken, Wünsche und Erfahrungen entstehen immer wieder Ideen, die in die Realität umgesetzt werden wollen. Dabei ist die Ideenvielfalt unbegrenzt, wenn die technischen Voraussetzungen vorhanden sind. Bei den meisten Ideen ist jedoch immer ein Grundgedanke wiederzufinden, nämlich der Wunsch des Menschen, sich sein Umfeld so bequem wie möglich zu gestalten. Erfindungen wie das Auto oder Flugzeug stehen dafür genauso wie Telefon oder Fernsehen.

In der Haustechnik (eine versorgungstechnische Variante) haben Forderungen nach Bequemlichkeit und Zuverlässigkeit der Anlagen in den letzten Jahren ständig zugenommen. Noch vor 60 Jahren war es normal und Stand der Technik, dass eine Toilette auf der halben Treppe außerhalb der Wohnung war. Wenn es in einer Wohnung Wasser gab, dann nur an einer Zapfstelle und diese hatte lediglich kaltes Wasser. Heizungstechnisch gab es in der Regel nur zwei Räume die versorgt wurden: die Küche durch den Herd und die Stube durch einen entsprechenden Ofen.

In der Haustechnik konnten durch Ideen und technische Entwicklungen in den letzten Jahrzehnten große Innovationen verwirklicht werden, und viele haustechnische Anlagen sind heute so unauffällig bzw. selbstverständlich, dass sie einem erst ins Bewusstsein rücken, wenn sie tatsächlich einmal ausfallen (z.B. die Wasserversorgung im Haus durch einen Rohrbruch). Erst dann merkt man, wie häufig man den Wasserhahn im Bad oder der Küche betätigt und wie elementar diese Funktion für einen geworden ist.

Damit haustechnische Anlagen nur der Komfortverbesserung und keine Belastung für den Endverbraucher darstellen, müssen sie in erster Linie sehr betriebssicher sein. Aus dieser Forderung ergibt sich, dass eine sehr gute Planung der Anlagen unbedingt notwendig ist. Deshalb werden hier die wichtigsten Grundlagen der Projektplanung versorgungstechnischer Anlagen anhand haustechnischer Anlagen ausführlich erläutert.

1

Grundlagen der Planung

- Was ist Planung in der Haustechnik?
- Von der Idee bis zur Anlage
- Werkzeuge der Planung

1.1 Was ist Planung in der Haustechnik?

Die Grundphilosophie der Planung besteht darin, dass Anlagen, die gebaut werden sollen, zunächst komplett theoretisch zusammengefügt werden. Dabei werden alle benötigten Bauteile (Rohre, Armaturen, Entwässerungsgegenstände, Kessel usw.) berechnet und auf ihre Anordnung in der Anlage geprüft. Grundsatz einer Planung muss stets das Ziel sein, eine Anlage, die in allen Betriebszuständen eine maximale Versorgungs- und Anlagensicherheit garantiert, zu realisieren.

Grundsatz einer Planung

Die Schwierigkeit der Planung besteht in der täglichen Praxis aus 2 Hauptschwerpunkten: 1. aus der riesigen Materialvielfalt, die von der Industrie auf dem Markt angeboten wird, 2. wird durch die Planung eine menschliche Idee umgesetzt, die zuvor noch nicht als Sache bestand. Um diese Schwierigkeiten kontrolliert zu beherrschen, bedient sich der Planer einer Reihe von Werkzeugen (siehe Abschnitt 1.3), mit deren Hilfe die komplette Planung durchgeführt wird. Als Ergebnis der Planung entsteht eine Projektunterlage mit Berechnungen, Zeichnungen und Materiallisten (*Leistungsverzeichnis*), nach der das Projekt auf der Baustelle realisiert werden kann. Mit einer einwandfreien Planung wird es möglich, dass eine Ausführungsfirma das Projekt fachgerecht umsetzen kann. Mit der Fertigstellung wird dann tatsächlich eine Anlage geschaffen, die allen sicherheitstechnischen und funktionalen Anforderungen entspricht.

2 Hauptschwerpunkte

1.2 Von der Idee bis zur Anlage

Am Beginn einer jeden Planung steht zunächst die Idee. Diese Idee muss verbal vom Kunden formuliert werden, damit der Planer eine konkrete *Aufgabenstellung* (AST) mit konkreten technischen Parametern erstellen kann. Aus diesem Grund ist es notwendig, die Wünsche des Kunden (Bauherrn) im Rahmen eines Kundengesprächs zu

①
*Alle für den Planer
notwendigen Parameter
für die zu planende
Anlage*

erörtern und abzustimmen. Daraus ergibt sich die ① AST.

Bei einer Heizungsanlage mit Warmwasserbereitung könnte sich das z.B. wie folgt darstellen:

- Art der Heizungsanlage (Öl- oder Gaskessel),
- Art des Gebäudes (Einfamilien- oder Mehrfamilienhaus),
- Anzahl der Personen / Wohnungen)

In Anlage I, Tabelle I.1 ist eine vereinfachte Checkliste für ein Kundengespräch aufgeführt.

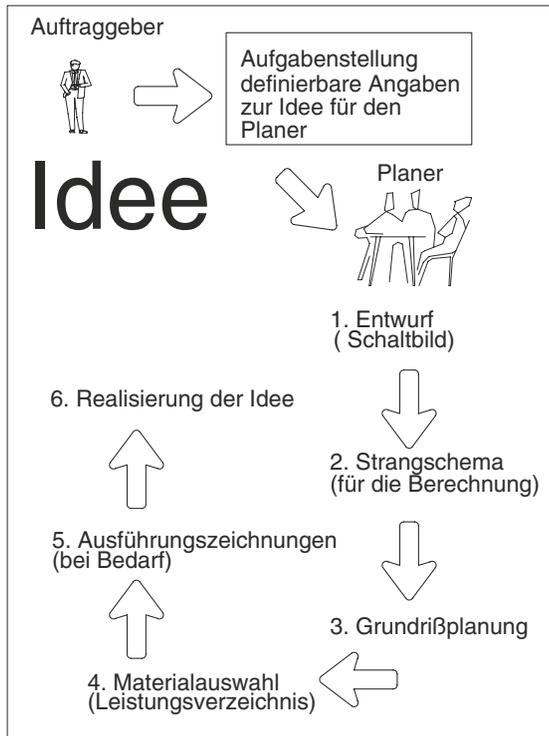
Aus den abgestimmten Angaben werden danach alle weiteren Planungsschritte und Parameter für die Anlage abgeleitet. Dabei erfolgt nun der konkrete Zugriff auf die rohrlleitungstechnischen Parameter.

Diese könnten z.B. sein:

- Medien in der Anlage (Kalt- und Warmwasser, Heizungswasser),
- Mediendrücke und -temperaturen.

In Bild 1.1 wird dargestellt, welche Arbeitsgänge nacheinander durchgeführt werden müssen, damit eine AST erfolgreich bearbeitet werden kann.

Bild 1.1
Von der Idee bis zur
Realisierung



1.3 Werkzeuge der Planung

Für den Planer beginnt mit der Bearbeitung der AST ein komplizierter Arbeitsprozess. Damit bei den notwendigen Bearbeitungsschritten alle Teilaufgaben exakt ausgeführt werden – und somit auch kein Arbeitsschritt vergessen wird – bedient sich der Planer einer Reihe von grafischen Hilfsmitteln (z.B. Schaltbild, Strangschema, Grundrisse), die in den folgenden Punkten dargestellt werden.

Grafische Hilfsmittel

1.3.1 Schaltbild

Mit Hilfe eines *Schalbildes* (s. Bild 1.2) werden zunächst eine Reihe von Grundüberlegungen der AST aufgezeichnet. Dabei verwendet der Planer eine Reihe von Hilfsmitteln, um mit wenig Aufwand eine klare Systembeschreibung durchzuführen.

Klare
Systembeschreibung

Ein Schaltbild enthält folgende Informationen:

- alle Angaben zu den Rohrleitungen,
- alle Angaben zu den Armaturen,
- alle Angaben zu Schalt- und Regelvarianten,
- alle Angaben zu Mess- Steuer- und Regelmöglichkeiten,
- alle Angaben zu den verwendeten Medien.

Planungsgrundsatz

Ein Schaltbild enthält keine Längenangaben, deshalb dürfen aus einem Schaltbild keine Maße entnommen werden.

Um eine einheitliche Darstellung in jedem Schaltbild zu realisieren, sind eine Reihe von Standards anzuwenden. Dadurch wird gewährleistet, dass auch unterschiedliche Gewerke das Schaltbild richtig lesen und interpretieren können. Einzelne Armaturen und Apparate werden durch *Simbilder* dargestellt, die aus entsprechenden DIN-Normen entnommen werden können. Tabelle 1.1 zeigt eine Aufstellung der wichtigsten Normen für den Schaltbildentwurf.

Entsprechende
DIN-Normen

1.3.2 Strangschema

In einem *Strangschema* werden alle Rohrleitungen und Zubehörteile dargestellt. Dabei werden i.d.R. die Höhen maßstäblich dargestellt. Waagerechte Rohrleitungen, die in die Tiefe gehen (in den Raum hinein), können nur durch die Abwicklung in ihrer wahren

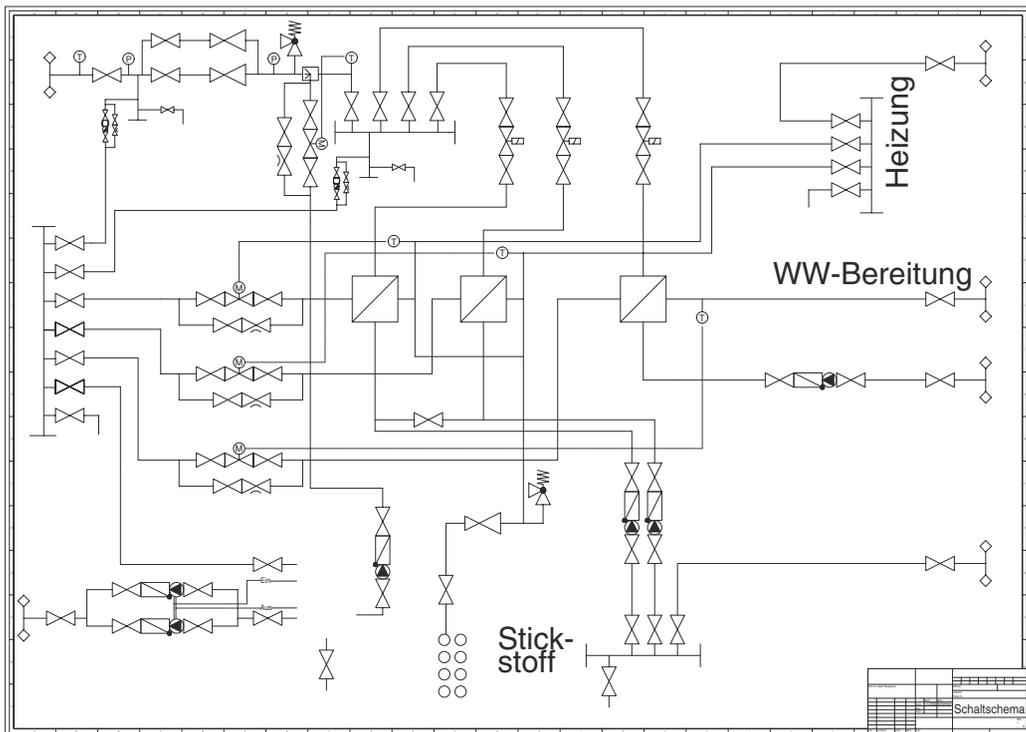
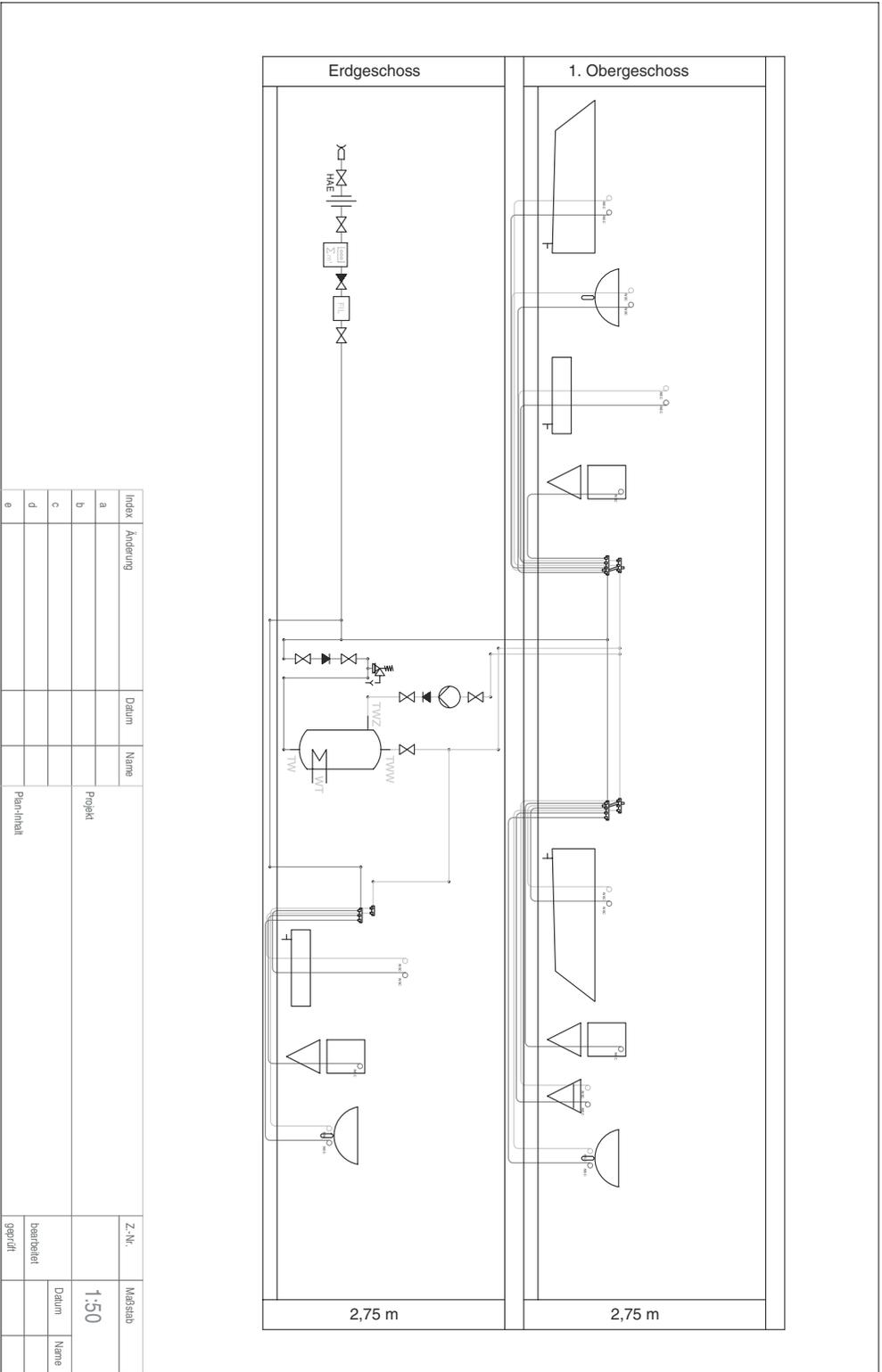


Bild 1.2
Schaltbild bzw.
Fließbild

DIN-Norm	Bezeichnung
1946/1	Raumlufttechnik
12 056	Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke
1988/1	Technische Regeln für Trinkwasserinstallationen
2403	Kennzeichnung von Rohrleitungen nach dem Durchflusstoff
2429/2	Rohrleitungen
2481	Wärmeanlagen
6771	Zeichnungen
6776	Beschriftung / Schriftzeichen
8972	Fließbilder kältetechnischer Anlagen
19 217	Bildzeichen und Kennbuchstaben für Messen, Steuern, Regeln in der Verfahrenstechnik
28 004/3	Fließbilder verfahrenstechnischer Anlagen
43 609	Grafische Symbole für Druckluftschaltpläne
TRGI /72	Sinnbilder für die Gasinstallation

Tabelle 1.1
Normen für den
Schaltbildentwurf



Index	Änderung	Datum	Name	Projekt	Z-Nr.	Maßstab
a						
b						
c						
d						
e						

Papi-Inhalt		bearbeitet	Datum	Name
		geprüft		

Bild 1.3 Strangschemata für die Berechnung (s. Farbbilder)

Länge dargestellt werden. Das Strangschema enthält alle Armaturen und sonstige Einbauteile (z.B. Ventile, Schieber, Wasserzähler, Wärmemengenzähler usw.). Es dient als Grundlage für die hydraulische Berechnung (Dimensionierung der einzelnen Rohrleitungen bzw. der gesamten Anlage). Dabei kommt das Strangschema bei der Berechnung von Heizungsanlagen genauso zur Anwendung wie bei der Berechnung von Sanitäranlagen (Wasser / Abwasser).

Je nach Gewerk (Heizung / Sanitär) erfolgt nun eine Einteilung der einzelnen Rohrabschnitte in Teilstrecken, die durch die Zuweisung von Nummern eindeutig beschrieben und unterschieden werden können. Durch das Antragen der Rohrleitungslängen an die einzelnen Teilstrecken schafft der Bearbeiter die Grundlagen für die nachfolgende Berechnung, die je nach Gewerk durch entsprechende Normen standardisiert sind. Bild 1.3 zeigt ein Strangschema für eine Sanitaranlagenberechnung in der Erarbeitungsphase.

1.3.3 Grundrissplanung

Bei der *Grundrissplanung* wird das 1. Mal in der Planungsphase im Maßstab gearbeitet. Aus der Berechnung, die mit Hilfe des Strangschemas durchgeführt wurde, sind zu diesem Zeitpunkt alle Rohrdimensionen und damit auch alle Größen von Armaturen, Einbauteilen bekannt (Heizkörper, Kessel, Warmwasserspeicher usw.).

Die Grundrissplanung erfolgt auf der Grundlage der Architekteinzeichnung. Dabei sollte beachtet werden, dass es bei der Planung des Architekten ähnliche Bearbeitungsstufen wie in der Haustechnik gibt. Die einzelnen Bearbeitungsstufen (s. Tabelle 1.2), enthalten unterschiedlich viele Informationen. Aus diesem Grund ist es für den Haustechnikplaner wichtig, immer die geeignete Zeichnung des Grundrisses in seinen Planungen zu verwenden.

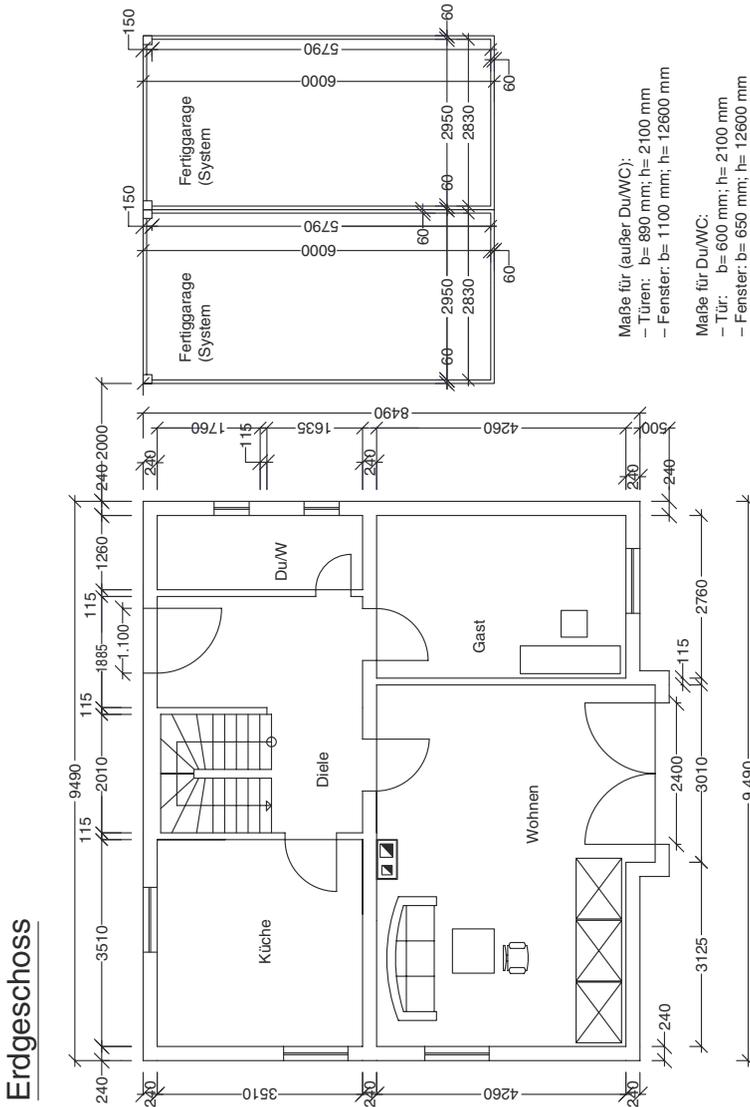
Bild 1.4 zeigt einen Grundriss in der Bearbeitungsstufe «Entwurfsplanung». Zu diesem Zeitpunkt sind noch keine versorgungstechnischen Anlagen in der Zeichnung enthalten.

In Bild 1.5 ist der gleiche Grundriss wie in Bild 1.4, jedoch in der Bearbeitungsstufe "Grundrissplanung" dargestellt.

Nach Durchsicht von Tabelle 1.2 wird klar, dass ein sinnvoller Planungsbeginn für den Haustechnikplaner frühestens mit der Entwurfsplanung beginnen sollte. Anhand der Angaben aus diesen Zeichnungen ist eine genaue haustechnische Planung möglich. Gleichzeitig bestehen zu diesem Zeitpunkt noch genügend Freiräume für den Planer, individuelle Ideen und Wünsche des Bauherrn zu berücksichtigen und so umzusetzen, dass sie in der Bauphase auch realisierbar sind.

Bei der Grundrissplanung steht zunächst die Ausstattung der

Bild 1.4
Entwurfsplanung



Räume im Vordergrund. Dabei kommt den 3 Gewerken Lüftung, Heizung und Sanitär unterschiedliche Bedeutungen zu. In Tabelle 1.3 werden Kundenkriterien und technische Möglichkeiten gegenübergestellt, welche der Planer berücksichtigen und gegebenenfalls mit dem Kunden abstimmen muss.

In Tabelle 1.3 fällt auf, dass sehr viele Fragen – mit den verschiedensten Randbedingungen – geklärt werden müssen. Dadurch besteht an den Planer die Forderung, dass er ein sehr großes Fachwissen auf den angesprochenen Gebieten haben muss.

Bild 1.5
Grundrissplanung

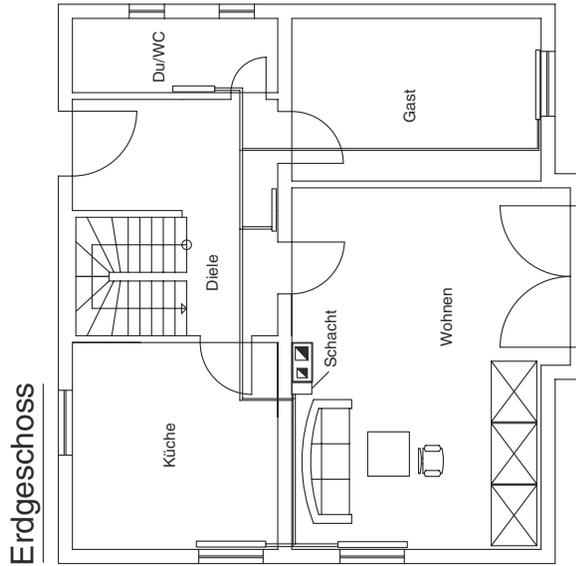


Tabelle 1.2 Stufen bei der Erstellung von Architektenzeichnungen

Bezeichnung	Inhalt	Bemerkung
<p>Grundlage für Vorentwurfszeichnung</p> <p>Grundlage für Kostenschätzung</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> keine genauen Abmessungen <input type="checkbox"/> Maßstäbe 1 : 200, 1 : 500 <input type="checkbox"/> Angaben zur Lage des Gebäudes <input type="checkbox"/> Angaben zur Erschließung (Wasser/Abwasser usw.) 	<p>bei Grundrissen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Zuordnung der Räume <input type="checkbox"/> Lage der Haustechnik (Heizung, Kamin usw.) <input type="checkbox"/> eventuelle Raumgrößen <input type="checkbox"/> Lage von Treppen
<p>Entwurfszeichnung</p> <p>Grundlage für Genehmigungsplanung</p>	<p>genaue Angaben zu:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Längen und Breiten der Räume/Gebäude <input type="checkbox"/> Wanddicken <input type="checkbox"/> Schornsteine / Installationsschächte <input type="checkbox"/> heiztechnische Angaben <input type="checkbox"/> geplante Feuerstätte <input type="checkbox"/> sanitäre Installation 	<p>genaue Angaben zu:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Zweckbestimmung der Räume <input type="checkbox"/> Raumflächen in m² <input type="checkbox"/> Geschosshöhen
<p>Ausführungszeichnung</p> <p>Zeichnung dient als Arbeitsgrundlage bei der Realisierung der Baumaßnahme</p>	<p>genaue Angaben zu:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Schornsteinquerschnitt <input type="checkbox"/> Art/Anzahl und Lage der Sanitärgegenstände <input type="checkbox"/> Lage der Grundleitungen <input type="checkbox"/> Lage der Dränung 	<p>bei Grundrissen genaue Angaben zu:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Aufstellungsraum <input type="checkbox"/> Kesselanlage <input type="checkbox"/> Heizöllagerung (optional) <input type="checkbox"/> Revisionschächte <input type="checkbox"/> Einlassöffnungen für Medien (Wasser / Gas / Abwasser usw.) <input type="checkbox"/> Bodeneinläufe (optional)

Tabelle 1.3 Variantendenken bei der Bemerkungen

Gewerk	Bedingungen / Varianten	Bemerkungen / Fragenkatalog
Lüftung	<input type="checkbox"/> Zu- und / oder Abluftsysteme, kontrollierte Wohnungslüftung <input type="checkbox"/> Einsatz von Wärmerückgewinnungsanlagen <input type="checkbox"/> Kanäle dürfen nicht sichtbar sein <input type="checkbox"/> Dimensionen der Kanäle relativ groß <input type="checkbox"/> Wahl der Luftauslässe	<input type="checkbox"/> Einsatz geräuscharmer Ventilatoren <input type="checkbox"/> Steuerungen / Automaten berücksichtigen <input type="checkbox"/> Welche Raumdurchströmung soll realisiert werden?
Heizung	Welches Heizungssystem kommt zum Einsatz? <input type="checkbox"/> Fußbodenheizung <input type="checkbox"/> statische Heizflächen <input type="checkbox"/> Luftheizung Welcher Brennstoff kommt zum Einsatz? Wie erfolgt die Rohrverlegung? <input type="checkbox"/> sichtbar/unsichtbar	<input type="checkbox"/> Welches Rohrmaterial ? <input type="checkbox"/> Welche Heizflächen ? <input type="checkbox"/> Welche Regelung?
Sanitär / Wasser	Welcher Ausstattungsgrad mit Sanitärgegenständen ist gewünscht? Wie wird der mögliche Platzbedarf kontrolliert? <input type="checkbox"/> Einhaltung der DIN 18 022 <input type="checkbox"/> Qualitätsgedanken (Keramik / Armaturen)	Welche Wasserqualität? Welches Rohrmaterial? Wie wird das Warmwasser erzeugt und bereitgestellt? <input type="checkbox"/> Ist eine Regenwassernutzungsanlage geplant?
Sanitär / Abwasser	<input type="checkbox"/> Dimensionen der Rohrleitungen relativ groß <input type="checkbox"/> Einhaltung des Schallschutzes DIN 4109	Welches Rohrmaterial?

Bei der Auswertung von Tabelle 1.3 wird sehr schnell deutlich, dass an die unterschiedlichen Gewerke ganz spezielle Kundenkriterien gebunden sind. Hierbei ist der Kontakt und die Abstimmung mit dem Bauherrn sehr wichtig, um von vornherein Missverständnisse auszuräumen.

Ein wichtiger Grundsatz für den Planer sollte dabei sein, dass *Abspraken mit dem Kunden* immer schriftlich fixiert werden müssen.

Spezielle Kundenkriterien

Schriftliche Fixierung

2

Grundlagen der Dimensionierung der haustechnischen Anlagen

- Einleitung
- Beispiel einer falschen AST
- Grundlagen und Quellen der Dimensionierung
- Berechnungsbeispiele

2.1 Einleitung

In den Gewerken Heizung, Lüftung- und Klimatechnik und Sanitär ist der Kerngedanke einer AST, dass ein bestimmtes Medium von einem Ort A nach einem Ort B transportiert werden muss. Dabei ist es möglich, auf diesem Wege (von A–B) das Medium thermodynamisch zu behandeln. Heizungswasser wird z.B. im Kessel erwärmt (Ort A) und gibt danach seine Energie am Heizkörper (Ort B) wieder ab. Bei Trinkwasseranlagen wird das Wasser bis zur Entnahmestelle (Ort B) geleitet, wenn eine Entnahmemarmatur geöffnet wird.

Thermodynamische
Behandlung

Werden Medien in Rohrleitungen oder Kanälen transportiert, müssen bezüglich der Rohr- oder Kanaldimensionen eine Reihe von Randbedingungen bedacht werden, d.h. jede Planung läuft auf eine Dimensionierung von Rohren und Kanälen hinaus.

Wichtig ist jedoch vorrangig, dass in der AST klar beschrieben wird, um welches Transportmedium es sich handelt und welche Parameter zu berücksichtigen sind. Egal aus welchem Teilgebiet der Versorgungstechnik die AST kommt, ist es immer notwendig, dass mindestens 1 der 3 folgenden Größen in der AST enthalten sind: Ist keine der 3 Größen angegeben, so kann der Planer keine einwandfreie Planung durchführen.

Planungsgrundsatz

Eine AST muss immer eine Aussage zu einem *Volumenstrom*, *Massenstrom* oder *Wärmestrom* enthalten.

2.2 Beispiel einer falschen AST

Ein Kunde formuliert an den Planer: Hiermit beauftrage ich Sie mit der Planung einer Heizungs- und Sanitäranlage für mein neues

Haus. Das Haus wird in A-Stadt errichtet und ist ziemlich groß. Bitte planen Sie nur das beste, Geld spielt keine Rolle. Unterschrift.

Projektierungsgrenze

Bewertung dieser AST

Die AST enthält zwar konkrete Aussagen, was geplant werden soll, jedoch ist keine Aussage zu den benötigten rohrleitungstechnischen Parametern enthalten. Gleichzeitig sind in der AST keine Projektierungsgrenzen erkennbar. Eine *Projektierungsgrenze* zeigt die Schnittstellen zu den anderen Gewerken und definiert den Verantwortlichkeitsbereich für den Planer und später auch für den Ausführenden.

Planungsgrundsatz

Eine AST ohne klare Projektierungsgrenzen muss immer hinterfragt werden. Die notwendigen Parameter sind sorgfältig und exakt mit dem Auftraggeber (Kunden) abzustimmen, ist das nicht möglich, ist es besser das Projekt abzulehnen.

Wichtige Angaben

Man könnte im vorliegenden Fall sogar in die AST hineininterpretieren, dass der Heizungsbauer das Haus mitliefern soll, denn irgendwo müssen die Heizkörper ja befestigt werden!

Um die o.g. AST zur Zufriedenheit des Kunden bearbeiten zu können, benötigt der Planer also eine Reihe wichtiger Angaben. Dazu gehört auch das Definieren der Projektierungsgrenzen.

Wichtige Angaben für den Planer sind z.B.:

- Größe des Gebäudes / Maße / Zeichnungen,
- Anzahl der Wohnungen,
- Anzahl der gewünschten Bäder,
- Ausstattungsgrad der Bäder / Küche usw.
- Welche Medienanschlüsse (Gas / Wasser) sind vorhanden?

Erst mit diesen Angaben ist eine fachgerechte Aufgabenstellung definierbar und eine fachgerechte Planung durchführbar.

Mit Hilfe der o.g. Angaben könnte die AST wie folgt präzisiert werden: Für ein Eigenheim am Standort A ist eine haustechnische Planung (Heizung und Sanitär) zu realisieren. Es handelt sich um ein Einfamilienhaus ohne Einliegerwohnung. Entsprechend den Zeichnungen sind folgende Räume sanitärtechnisch zu versorgen:

- Kellergeschoss → Heizung,
- Erdgeschoss → Küche, Dusche / WC,
- Dachgeschoss → Bad / WC.

Die Beheizung erfolgt mittels einer Ölfeuerstätte mit statischen Heizflächen und enthält zusätzlich die Warmwasserversorgung. Als Alternative ist eine Fußbodenheizung gegenüberzustellen.

Die Projektierungsgrenze wasserseitig stellt die Wasserzähleinrichtung im Hausanschlussraum dar, abwasserseitig ist es der Übergabeschacht. Im Bereich der Heizung soll die notwendige Anlage komplett geplant werden.

2.3 Grundlagen und Quellen der Dimensionierung

2.3.1 Grundlagen und Berechnungsalgorithmus

In diesem Abschnitt soll der mathematische Zusammenhang der Größen *Massenstrom*, *Volumenstrom*, *Wärmestrom* (s. Abschnitt 2.1) dargestellt werden. Ziel muss es sein, aus den gegebenen Parametern eine Rohrleitungs- oder Kanaldimension zu ermitteln, die in der Lage ist, in allen Betriebszuständen eine einwandfreie Funktion der Anlage zu garantieren. Dabei werden prinzipiell Angaben zu den möglichen Bezugsquellen der Berechnungswerte gemacht. Um eine bessere Übersicht der Vorgehensweise zu bekommen, wird die Berechnung zunächst in einem Ablaufplan (Algorithmus) dargestellt.

Massenstrom,
Volumenstrom,
Wärmestrom

Berechnungsalgorithmus zur Ermittlung des realen Rohrdurchmessers
Durch einen Berechnungsalgorithmus ist man in der Lage einen vorgegebenen Arbeitsweg durchzuführen. Dabei werden die einzelnen Algorithmuspunkte der Reihe nach abgearbeitet. Es wird von bekannten Parametern ausgegangen, die mit Hilfe von Fachwerten (z.B. Tabellenwerte, Praxiswerte usw.) verknüpft werden und durch die mathematischen Vorschriften im Algorithmus zu den gewünschten Ergebnissen führen. Der Bearbeiter muss über den Algorithmus die möglichen Fragen beantworten und danach die entsprechenden Gleichungen anwenden.

Mathematische
Vorschriften
im Algorithmus

1. Eingangsgröße Wärmestrom

\dot{Q} in kJ/h

2. Aggregatzustand des Mediums

Medium flüssig?	Medium gasförmig?
$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta t$ (Gl. 2.1) Fachwerte s. Anlage I, Tabelle I.3	$\dot{Q} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1)$ (Gl. 2.2) Fachwerte s. Anlage I, Tabelle I.6

3. Ermittlung (oder neue Eingabegröße) des Massenstroms

$$\dot{m} \quad [\text{kg/h}]$$

4. Ermittlung (oder neue Eingabegröße) des Volumenstroms

$$\dot{V} \quad \text{in m}^3/\text{h}$$

Medium flüssig?	Medium gasförmig?
Berechnung mit Hilfe der Dichte des Mediums	Berechnung mit Hilfe des spezifischen Volumens
$Q = \frac{\dot{m}}{\dot{V}} \quad (\text{Gl. 2.3})$	$\bar{v} = \frac{1}{Q} \quad (\text{Gl. 2.4})$
→	→
$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{Q}$	$\dot{V} = \dot{m} \cdot \bar{v}$
Fachwerte s. Anlage I, Tabelle I.3	Fachwerte s. Anlage I, Tabellen I.4 / I.6

5. Ermittlung des notwendigen Querschnittes des Rohres bei einer vorgegebenen Geschwindigkeit

Richtgeschwindigkeiten

Dabei sind die Geschwindigkeiten vom Planer frei wählbar, jedoch sind vor allem auf Grund des Druckverlustes (s. Abschnitt 2.3.1.) im System bestimmte *Richtgeschwindigkeiten* v einzuhalten. In der Anlage I werden in Tabelle I.7 Richtgeschwindigkeiten für die Praxis dargestellt.

Kontinuitätsgleichung

Grundlage hierfür ist die *Kontinuitätsgleichung*, die besagt, dass bei einem Medienfluss das Produkt aus dem Querschnitt und der Strömungsgeschwindigkeit immer konstant ist.

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 = \text{konstant}$$

Daraus erhält man die allgemeine Gleichung

$$\dot{V} = A \cdot v \quad (\text{Gl. 2.5})$$

In Gl. 2.5 wird die Fläche auf das jeweilige Bauteil bezogen. Das können in der Lüftungstechnik rechteckige oder quadratische Kanäle sein, in den übrigen Gewerken kommen vorrangig Rohre zum Einsatz.

Die Fläche des Rohrquerschnittes erhält man mit

$$A = \frac{\pi}{4} d_i^2 \quad (\text{Gl. 2.6})$$

Setzt man Gl. 2.6 nun in Gl. 2.5 ein, kommt man zu folgender Gleichung

$$\dot{V} = \frac{\pi}{4} d_i^2 \cdot v \quad (\text{Gl. 2.7})$$

Durch Umstellen von Gl. 2.7 bekommt man die Gl. 2.8 für die Berechnung des theoretischen Innendurchmessers.

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot v}} \quad (\text{Gl. 2.8})$$

Durch die Berechnung erhält man einen möglichen Innendurchmesser des Rohres. Dieser stellt einen Rechenwert dar, der an eine reale *Rohrabmessung* angepasst werden muss. Dabei gilt es zu beachten, dass ein Rohr immer mit Außendurchmesser \times Wanddicke ($d_a \cdot s$) beschrieben wird. In Bild 2.1 sind die geometrischen Verhältnisse und die Begriffsbestimmung dargestellt.

Geometrische Verhältnisse und Begriffsbestimmung

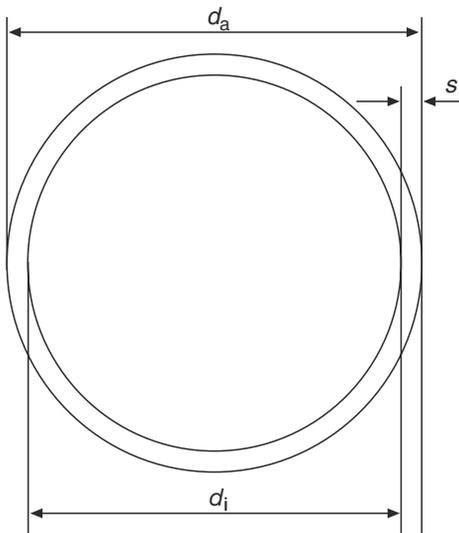


Bild 2.1
Geometrie und Begriffsbestimmung am Rohr

6. Nachrechnung der vorhandenen reellen Geschwindigkeit nach der Wahl der realen Rohrabmessung

Die Bezeichnung des gewählten Rohres erfolgt nach Bild 2.1 mit

$$d_a \cdot s$$

Daraus lässt sich nach Bild 2.1 Gl. 2.9 für die Berechnung des Innendurchmessers ableiten:

$$d_i = d_a - 2 \cdot s \quad (\text{Gl. 2.9})$$

Durch Umstellen der Gl. 2.7 ist nun eine Nachrechnung der realen Fließgeschwindigkeit v_{vorh} des Mediums möglich.

$$v_{\text{vorh}} = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot d_i^2}$$

7. Wenn die vorhandene Fließgeschwindigkeit in den technischen und praktischen Toleranzen liegt (s. Anlage I, Tabelle I.7), kann die ausgewählte Rohrabmessung eingesetzt werden.

2.3.2 Berechnungsdurchführung

Für die Berechnung von \dot{Q} sind 2 Gleichungen möglich, wobei man in der Praxis die Gleichungen in Abhängigkeit vom Aggregatzustand des Mediums einsetzt (s. Algorithmus in Abschnitt 2.3.1):

a) vorrangig für Flüssigkeiten

Nach Gl. 2.1 benötigt der Planer folgende Angaben und Werte:

- Welches Medium wird eingesetzt (z.B. als Wärmeträgermedium)?
Ermittlung der *Wärmekapazität* c (s. Anlage I, Tabelle I.5)
- Welche Temperaturdifferenz (z.B. Vorlauf- / Rücklauf-temperatur) sollen im System vorliegen?

b) vorrangig für Gase

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \quad (\text{Gl. 2.2})$$

Enthalpie

Definition

Die *Enthalpie* H ist die Summe aus der inneren Energie U und der Verdrängungsarbeit pV in [kJ].

Medium Dampf

Eine Besonderheit stellt bei dieser Berechnung das Medium Dampf dar. Bei der Auslegung einer Dampfanlage geht man i.d.R. davon aus, dass der Dampf bei der Arbeitsverrichtung (z.B. Wärmeübertragung) kondensiert. Das bedeutet, dass sich bei der Arbeitsverrichtung zusätzlich noch der Aggregatzustand ändert. Deshalb muss man davon ausgehen, dass das energiearme Medium

als Kondensat, also flüssig, vorliegt. Dadurch ergibt sich für die Ermittlung der Enthalpie des Kondensates die Gleichung:

Enthalpie des
Kondensates

$$h_1 = c \cdot \Delta t \quad (\text{Gl. 2.10})$$

Bei praktischen Berechnungen setzt man die Wärmekapazität c mit dem Wert 4,1868 kJ/kgK an.

Parallel gilt es zu beachten, dass der Term Δt bei Wasser (also auch bei Kondensat) immer auf den Beginn der Enthalpiezunahme bezogen wird. Dieser Punkt liegt bei Luftdruck bei 0 °C (Übergang des Wassers vom festen zum flüssigen Aggregatzustand) und wird in der Praxis auch bei höheren Anlagedrücken immer so angewandt. Dadurch ergibt sich z.B. für Kondensat mit einer Temperatur von 80 °C folgende Enthalpie:

$$h_1 = 4,1868 \text{ kJ/kgK} \cdot (80^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) = 4,1868 \text{ kJ/kgK} \cdot 80 \text{ K} = 335 \text{ kJ/kg}$$

Die Enthalpie h_2 des energiereichen Mediums liest man beim Dampf aus dem Mollier-Diagramm für Wasserdampf oder aus Wasserdampftafeln ab. (s. Anlage I, Tabelle I.6)

Mit Gl. 2.1 oder Gl. 2.2 für den Wärmestrom wird es nun möglich, dass der Massenstrom berechnet werden kann. Diese Berechnung führt jedoch nur zu einer Zwischengröße, da die weitere Berechnung auf dem Volumenstrom aufbaut. Je nach Medium benötigt der Planer weitere Berechnungswerte, um den Massenstrom in den dazugehörigen Volumenstrom umzurechnen. Dazu wird Gl. 2.3 entsprechend umgestellt:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \dot{m} \cdot \bar{v}$$

mit:

\bar{v} spezifisches Volumen des Mediums
(s. Anlage I, Tabellen I.3 / I.4 / I.6)

\dot{m} Massenstrom

ρ Dichte des Mediums (s. Anlage I, Tabellen I.3 / I.4)

v Strömungsgeschwindigkeit

Mit Hilfe des ermittelten Volumenstroms ist die Anwendung der Kontinuitätsgleichung (Gl. 2.5) möglich. Durch die Wahl einer technisch sinnvollen Strömungsgeschwindigkeit (s. Anlage I, Tabelle I.7) kann nun ein rechnerischer Rohrrinnendurchmesser ermittelt werden.

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot \bar{v}}}$$

mit:
 d_i Innendurchmesser des Rohres

Mit dem ermittelten Rohrinne Durchmesser wird nun ein reales Rohr mit der Bezeichnung Außendurchmesser \times Wanddicke ($d_a \cdot s$) gewählt.

Planungsgrundsatz

Rohre werden prinzipiell mit den Angaben Außendurchmesser \times Wanddicke beschrieben und bestellt. Eine Angabe mit Hilfe der DN (vergleiche Themenband Schenker Sanitäranlagen) ist nicht zulässig und kann zu gravierenden Planungsfehlern führen.

2.3.3 Weiterführende Berechnungen

2.3.3.1 Druckverlustberechnung

**Volumenstrom
 und Druckverlust**

Damit Medien in Rohrleitungsanlagen transportiert werden können, müssen die Medien unter einem bestimmten Druck stehen. Die Druckerhöhung wird durch Pumpen (flüssige Medien), Verdichter und Ventilatoren (gasförmige Medien) realisiert. Für die Auslegung dieser Aggregate benötigt der Planer 2 Eingangsgrößen: den Volumenstrom (s. Abschnitt 2.3.1) und den Druckverlust. Dieser Druckverlust muss durch das Aggregat überwunden werden und kann nach Tabelle 2.1 berechnet werden.

Tabelle 2.1 Grundgleichungen für den Druckverlust

$\Delta p = \left(\Sigma \zeta + \lambda \cdot \frac{l}{d_i} \right) \cdot \frac{v^2 \cdot \rho}{2}$ <p style="text-align: center;">(Gl. 2.11)</p>	für inkompressible Medien	Widerstandsbeiwerte und Rohrreibungsbeiwerte s. Anlage I, Tabelle I.9
$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d_i} \cdot \frac{v^2 \cdot \rho}{2}$ <p style="text-align: center;">(Gl. 2.12)</p>	für kurze Gas- und Dampfleitungen	
$\Delta p = p_1 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \lambda \cdot \frac{l \cdot v_1^2}{p_1 \cdot \bar{v}_1 \cdot d_i}} \right)$ <p style="text-align: center;">(Gl. 2.13)</p>	für lange Gas- und Dampfleitungen	Index 1: Werte am Anfang der Rohrleitung

Rohrreibungsbeiwert

Der Rohrreibungsbeiwert λ kann in Abhängigkeit der Strömungsart ermittelt werden. Dabei unterscheidet man laminare und turbu-