

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Wasserverteilungssysteme	1
1.2	Rohrnetzmodelle von Wasserverteilungssystemen	3
1.3	Vorgehen bei der Modellierung eines Wasserverteilungssystems	6
2	Rohrnetzberechnung	9
2.1	Grundlagen der Rohrhydraulik	9
2.1.1	Bewegungsarten des Wassers	9
2.1.2	Massenerhaltung (Kontinuitätsgleichung)	10
2.1.3	Energieerhaltung (Bernoulli-Gleichung)	10
2.1.4	Kontinuierliche Druckverluste	14
2.1.4.1	Darcy-Weisbach-Gleichung	14
2.1.4.2	Widerstandsbeiwert	15
2.1.4.3	Rauheit	18
2.1.4.4	Hazen-Williams-Gleichung und Manning-Gleichung	19
2.1.4.5	Allgemeines Widerstandsgesetz	20
2.1.5	Örtliche Druckverluste	21
2.2	Grundlagen der Rohrnetzmodellierung	21
2.2.1	Modellierungskonzept	21
2.2.2	Mathematische Abbildung	24
2.2.3	Modellparameter und Modellvariablen	26
2.2.4	Datenstruktur	28
2.3	Grundlagen der Rohrnetzhydraulik	32
2.3.1	Widerstandsgesetz	32
2.3.2	Massenerhaltung (Knotenbedingung)	32
2.3.3	Energieerhaltung (Kompatibilitätsbedingung und Maschenbedingung)	33
2.3.4	Stationäres hydraulisches Gleichgewicht	35
2.4	Stationäre Rohrnetzberechnung	36
2.4.1	Einfache verästelte Rohrnetze	36
2.4.1.1	Ansatz	36
2.4.1.2	Veranschaulichung	37
2.4.2	Vermaschte Rohrnetze	43
2.4.2.1	Ansatz	43
2.4.2.2	Direkte Lösung des hydraulischen Gleichgewichts	44

2.4.2.3	Formulierung des hydraulischen Gleichgewichts als Optimierungsaufgabe	47
2.5	Zeitabhängige Rohrnetzberechnung	48
2.5.1	Ansatz	48
2.5.2	Vorgehen	49
2.6	Grenzen der Rohrnetzberechnung	52
3	Modellierung von Rohrleitungen und Armaturen	55
3.1	Rohrleitungen	55
3.1.1	Rohrleitungstypen	55
3.1.2	Durchmesser	56
3.1.3	Werkstoffe	57
3.1.4	Überdeckung	58
3.1.5	Formstücke und Verbindungen	58
3.2	Armaturen	59
3.2.1	Bauarten	59
3.2.2	Einsatzgebiete	59
3.3	Dokumentation	63
3.3.1	Rohrnetzdokumentation in Planwerken	63
3.3.1.1	Bestandteile	63
3.3.1.2	Ausführung	65
3.3.2	Digitale Rohrnetzdokumentation	67
3.3.2.1	Geoinformationssysteme	67
3.3.2.2	Netzinformationssysteme	70
3.3.3	Armaturen	71
3.4	Modellierung	71
3.4.1	Rohrleitungen	71
3.4.1.1	Topologie und räumliche Lage	71
3.4.1.2	Rohreigenschaften	74
3.4.2	Armaturen	78
3.4.2.1	Räumliche Lage und Rohreigenschaften	78
3.4.2.2	Modellierungsoptionen	78
3.4.3	Detaillierungsgrad	83
3.4.4	Datenerhebung und Datenaufbereitung	87
4	Modellierung von Wasserspeichern	93
4.1	Wasserbehälter	93
4.1.1	Funktionsweise und Aufgaben	93
4.1.2	Typen	95
4.1.3	Anordnungen	95
4.1.4	Aufbau und Geometrie	97
4.2	Druckbehälter	99

4.3	Sonstige Wasserspeicher	100
4.4	Dokumentation	102
4.5	Modellierung	103
4.5.1	Modellierungsoptionen	103
4.5.2	Wasserbehälter	107
4.5.2.1	Räumliche Lage	107
4.5.2.2	Speichervolumen	109
4.5.2.3	Minimaler und maximaler Betriebswasserspiegel	112
4.5.2.4	Zulaufhöhe über dem maximalen Wasserspiegel	113
4.5.3	Druckbehälter	116
4.5.4	Sonstige Wasserspeicher	117
4.5.5	Wassereinspeisungen	118
5	Modellierung von Pumpen	121
5.1	Förder- und Druckerhöhungsanlagen	121
5.1.1	Anlagentypen	121
5.1.2	Anlagenkomponenten	122
5.1.3	Systemhydraulik	124
5.1.4	Systemvarianten	127
5.2	Kreiselpumpen	129
5.2.1	Arbeitsprinzip und Bauarten	129
5.2.2	Pumpenkennlinie und Betriebspunkt	130
5.2.3	Leistung	130
5.2.4	Net Positive Suction Head	133
5.2.5	Drehzahl	133
5.2.6	Steuerung/Regelung	135
5.2.7	Ermittlung von Pumpenkennlinie und Antriebsleistung	138
5.3	Dokumentation	139
5.4	Modellierung	142
5.4.1	Modellierungsoptionen	142
5.4.2	Räumliche Lage	142
5.4.3	Pumpenkennlinie	145
5.4.4	Wirkungsgradkennlinie	146
5.4.5	Drehzahl	149
5.4.6	Steuerung/Regelung	150
6	Modellierung von Wasserbedarf	153
6.1	Terminologie	153
6.2	Wassermessung	154
6.2.1	Volumenmessung	154
6.2.2	Durchflussmessung	156

6.3	Wasserverbrauch	158
6.3.1	Mittlerer Wasserverbrauch	158
6.3.2	Schwankung des Wasserverbrauchs	160
6.3.3	Umrechnung gemessener Wasserverbrauchsmengen auf einen Bezugszeitraum	168
6.3.4	Ermittlung der Spitzenverbräuche und Spitzenfaktoren	170
6.3.4.1	Spitzenverbrauchszeitraum und Tagesspitzenfaktor	170
6.3.4.2	Spitzenverbrauch und Stundenspitzenfaktor	171
6.4	Wasserbedarfsprognose	173
6.5	Häuslicher Wasserbedarf	175
6.5.1	Mittlerer Wasserbedarf	175
6.5.2	Spitzenbedarf und Spitzenfaktoren	175
6.6	Öffentlicher und gewerblicher Wasserbedarf	178
6.6.1	Mittlerer Wasserbedarf	178
6.6.2	Spitzenbedarf	178
6.7	Löschwasserbedarf	180
6.8	Dokumentation	181
6.8.1	Wasserverbrauch	181
6.8.2	Netzeinspeisung	182
6.9	Modellierung	182
6.9.1	Modellierungsoptionen	182
6.9.2	Häuslicher Wasserbedarf	187
6.9.2.1	Mittlerer Wasserbedarf und Lastfaktoren	187
6.9.2.2	Bedarfsganglinie	188
6.9.2.3	Bedarfsverteilung	189
6.9.3	Öffentlicher und gewerblicher Wasserbedarf	200
6.9.4	Löschwasserbedarf	201
7	Modellierung von Wasserverlusten	205
7.1	Wasserbilanz	205
7.2	Wasserverluste	207
7.2.1	Scheinbare Wasserverluste	207
7.2.2	Reale Wasserverluste	209
7.2.3	Größenordnung	212
7.3	Ermittlung von Wasserverlusten	214
7.4	Dokumentation	217
7.5	Modellierung	218
7.5.1	Modellierungsoptionen	218
7.5.2	Scheinbare Wasserverluste	218
7.5.3	Reale Wasserverluste	220
7.5.4	Gesamter Wasserverlust	222

8	Modellkalibrierung	223
8.1	Zielsetzung	223
8.2	Kalibrierungsprozess	225
8.3	Vergleichsmessung	226
8.3.1	Messgrößen und Genauigkeitsanforderungen	226
8.3.2	Messgeräte	228
8.3.2.1	Durchflussmessung	228
8.3.2.2	Druckmessung	230
8.3.3	Messbereich	232
8.3.4	Messzeit und Messdauer	235
8.4	Vergleichsrechnung	236
8.4.1	Aufgabenstellung	236
8.4.2	Genauigkeitsanforderungen	238
8.4.3	Manuelles Verfahren	239
8.4.4	Automatisierte Verfahren	244
9	Rohrnetzanalyse	247
9.1	Prüfung der Betriebs- und Versorgungsdrücke sowie der Fließgeschwindigkeiten	247
9.1.1	Bezugszeit	247
9.1.2	Lastfälle	248
9.1.3	Betriebs- und Versorgungsdrücke	250
9.1.3.1	Definitionen	250
9.1.3.2	Minimaler Betriebs- und Versorgungsdruck	250
9.1.3.3	Maximaler Betriebsdruck	252
9.1.3.4	Druckschwankungen	252
9.1.4	Fließgeschwindigkeiten	253
9.1.4.1	Minimale Fließgeschwindigkeiten	253
9.1.4.2	Maximale Fließgeschwindigkeiten	253
9.1.5	Umsetzung und Ergebnisinterpretation	254
9.2	Löschwasseranalyse	256
9.2.1	Aufgabenstellung	256
9.2.2	Umsetzung	257
9.3	Planung von Rohrleitungsspülungen	260
9.3.1	Aufgabenstellung	260
9.3.2	Umsetzung	261
9.4	Dimensionierung von Wasserbehältern	262
9.4.1	Aufgabenstellung	262
9.4.2	Umsetzung	264

DVGW-Regelwerk	269
-----------------------	------------

DIN-Normen	273
Literaturverzeichnis	275
Sachverzeichnis	289