

Zuverlässigkeit rechnergestützter Dimensionsoptimierung

im Hinblick auf klein dimensionierte Bereiche von Trinkwassernetzen



Quelle: HAMBURG WASSER

Bestehende Trinkwasser-Versorgungsnetze sind häufig überdimensioniert. Dies kann zu **betrieblichen Problemen** und erhöhten Kosten führen. Mithilfe einer rechnergestützten Dimensionsoptimierung lassen sich fiktive schlanke Netze ermitteln, welche die **realen Versorgungsaufgaben** uneingeschränkt erfüllen und die als Planungsgrundlage dienen können. Den Ergebnissen wird in der Praxis eine gewisse Skepsis entgegengebracht, da sie der bisherigen Handhabung widersprechen. An einem **Beispiel aus Hamburg** werden die Ergebnisse der Modellberechnung mit der Dimensionierung nach DVGW-Arbeitsblatt W 410 verglichen.

von: Dr. Piet Hensel (Rechenzentrum für Versorgungsnetze Wehr GmbH) & Ekkehard von Hoyningen-Huene (HAMBURG WASSER)

Gewachsene Wasserversorgungsnetze sind in der Regel zu weiten Teilen überdimensioniert. Dies kann auf überhöhte Verbrauchsprognosen sowie Planungsunschärfen in der Vergangenheit zurückgeführt werden. Zur Vermeidung damit verbundener Probleme und nicht zuletzt wegen des gestiegenen Kostendrucks setzen Wasserversorgungsunternehmen (WVU) vermehrt rechnergestützte Optimierungsverfahren ein, welche ein möglichst schlank dimensioniertes Zielnetz entwerfen. Unter Berücksichtigung hydraulischer Grenzwerte (minimal vorzuhaltender Druck, maximale Fließgeschwindigkeit, begrenzte Stagnationsbereiche) bestimmen diese Optimierungsmodelle die kleinstmöglichen Leitungsdimensionen, welche die Erfüllung der definierten Versorgungsaufgabe unter Berücksichtigung betrieblicher Randbedingungen (z. B. Behälterfüllungen) und der Versorgungssicherheit (Störfallbeherrschung) ermöglichen.

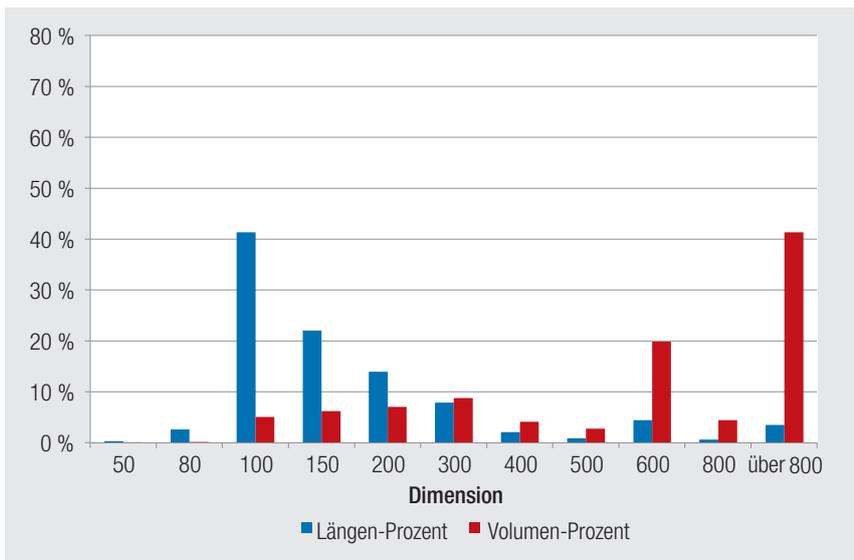


Abb. 1: Bestehende Dimensionsverteilung in einer Hamburger Versorgungszone

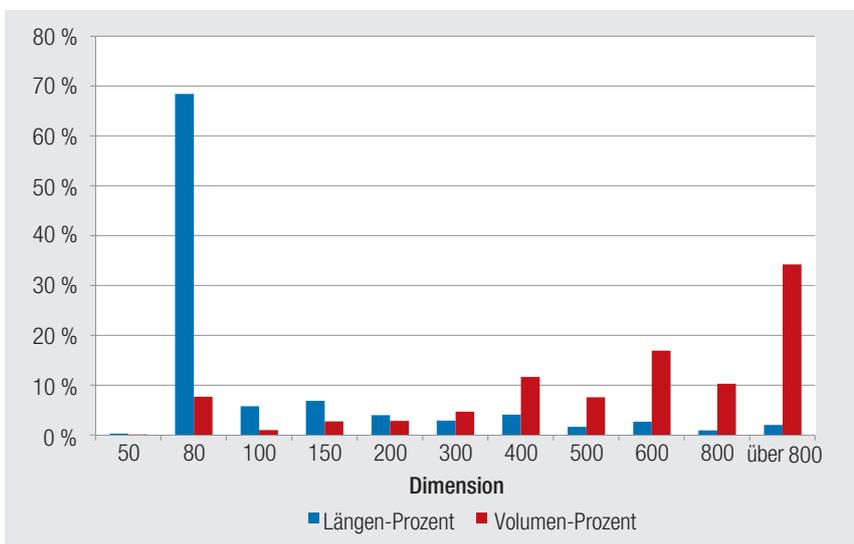


Abb. 2: Dimensionsverteilung des optimierten Netzes (bei Erfüllung der heutigen Versorgungsaufgabe, kleinste zugelassene Dimension DN 80)

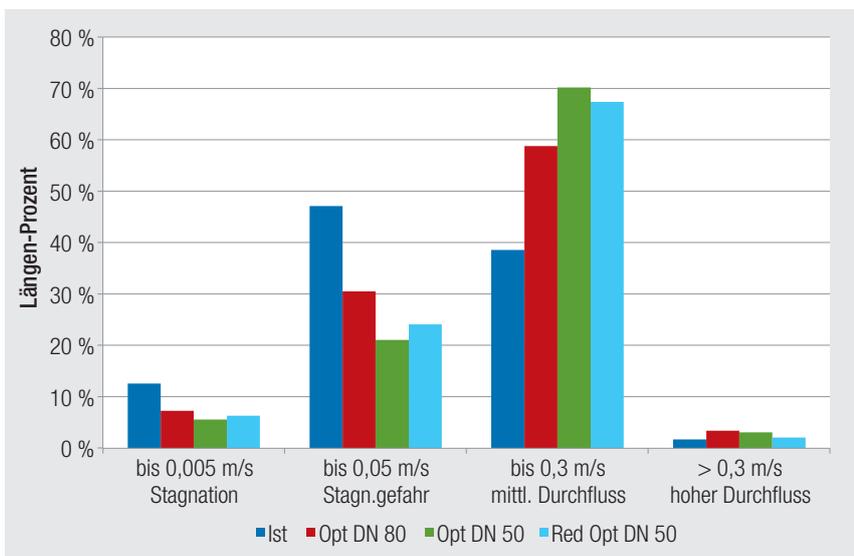


Abb. 3: Veränderung der Geschwindigkeitsverteilung (in Längen-Prozent) bei mittlerer Netzbelastung durch die Dimensionsoptimierung in verschiedenen Varianten

Der Einsatz von mathematischen Optimierungsansätzen in Hamburg bildet aufgrund der Netzgröße und entsprechender Rechenetzmodelle mit mehr als 25.000 Rechensträngen je Druckzone (insgesamt 4 Versorgungszonen mit einer Gesamtnetzlänge von ca. 5.400 km) eine besondere Herausforderung, da diese Modelle nur mit mehrtägigen Berechnungsläufen bewältigt werden können.

Die Erfahrungen bei HAMBURG WASSER und einer Vielzahl von Projekten bei anderen Wasserversorgungsunternehmen (WVU) zeigen, dass solche mathematisch optimierten Zielnetze deutlich geringere Leitungsdimensionen aufweisen als bestehende Netze (Abb. 1 und 2). In diesem Zuge verkleinern sich der mittlere Rohrdurchmesser, das Netzvolumen und die Wiederbeschaffungskosten [1]. Die zu erwartenden Einsparungen liegen im Mittel zwischen 15 und 25 Prozent, bezogen auf die Leitungserneuerung in bestehender Dimension, und ermöglichen gegebenenfalls weitere Kostenreduktionen, wenn aufgrund der Dimensionsverkleinerungen grabenlose Erneuerungsverfahren in Betracht kommen.

Zusätzlich kann eine spürbare Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten erreicht werden. Netzbereiche, welche von Stagnation betroffen oder stagnationsgefährdet sind, nehmen in den Zielnetzvarianten deutlich ab (Abb. 3). Das Ziel, das Netz der rückläufigen Verbrauchsentwicklung anzupassen, kann somit (langfristig, in Abhängigkeit von der Erneuerungsrate) erreicht werden. Aus hygienischer Sicht ist hierbei vorteilhaft, dass HAMBURG WASSER nicht zur Bereitstellung von Löschwasser über das Trinkwasserrohrnetz verpflichtet ist, wodurch entsprechende Netzkapazitäten in dem Zielnetz nicht vorgehalten werden müssen. Zielnetzuntersuchungen bei anderen Unternehmen zeigen, dass die Bereitstellung von Löschwasser Zusatzkosten von ca. 4 Prozent in großstädtischen Netzen und über 10 Prozent in ländlichen Versorgungsgebieten verursacht [2].

Quelle: HAMBURG WASSER

Quelle: HAMBURG WASSER

Quelle: HAMBURG WASSER

Betriebliche Skepsis gegenüber gering dimensionierten Netzbereichen

Die Ergebnisse der Optimierungsrechnungen, die – je nach vorgegebenem Mindestdurchmesser – einen hohen Anteil von Leitungen mit Innendurchmessern von 50 oder 80 mm vorschlagen, werden vielfach mit Skepsis aufgenommen. Teilweise besteht die Befürchtung, dass die als „Black Box“ empfundene Computerberechnung unzuverlässige Ergebnisse hervorbringt. Sie widerspricht der bisherigen betrieblichen Praxis der damit befassten Akteure, deren lang-

jährige Erfahrungen mitunter begründet wurden, als der Wasserverbrauch noch wesentlich höher als heute war, ein weiterer Verbrauchsanstieg vielfach erwartet wurde und hydraulische Netzberechnungen noch nicht flächendeckend in dem heutigen Detaillierungsgrad (GIS-basierte Rechenetze) zur Verfügung standen. Im Folgenden wird daher ein Vergleich zwischen der „konventionellen“ Dimensionierung mithilfe der Vorgaben des DVGW-Arbeitsblattes W 410 und der computergestützten Optimierungsrechnung unternommen. Anhand praktischer Beispiele – auch aus Hamburg – wird gezeigt,

inwieweit eine Dimensionierung gemäß W 410 zu vergleichbaren Ergebnissen kommt.

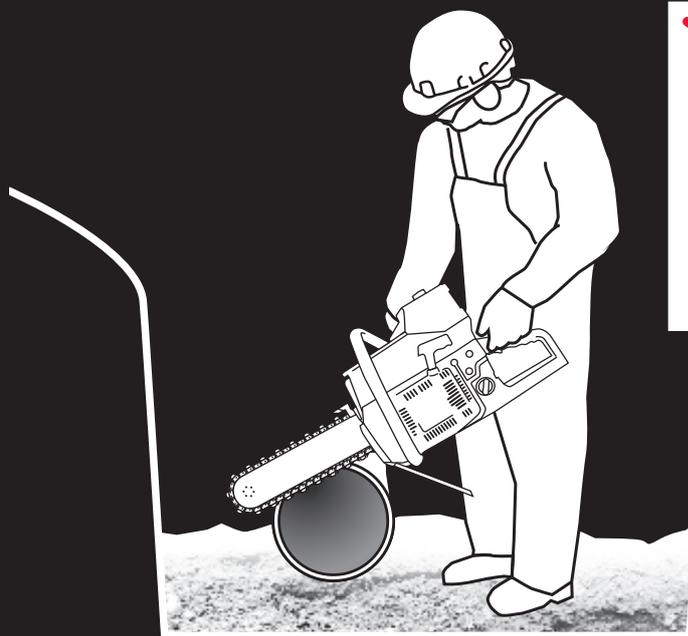
Planerische Dimensionierung nach DVGW-Arbeitsblatt W 410

Bei der Dimensionierung von Trinkwasser-Versorgungsleitungen ist das DVGW-Arbeitsblatt W 410 „Wasserbedarf – Kennwerte und Einflussgrößen“ [3] zu beachten. Dieses dient vorrangig der Ermittlung des Wasserbedarfs und Spitzenbedarfs, kann für kleine verästelte Netze jedoch auch zur vereinfachten Dimensionierung genutzt werden. In **Tabelle 1** sind die ▶

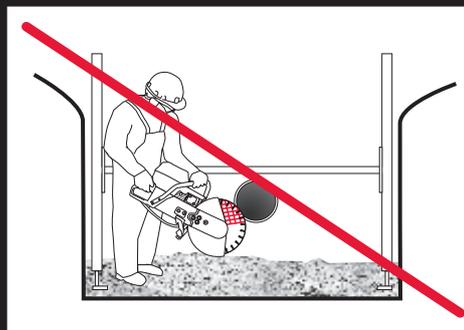


DIE EINFACHSTE UND SICHERSTE ART ROHRE ZU TRENNEN

Weniger Aushub | Zugang von einer Seite | Reduziert den Kraftaufwand | Kein Rückschlag



ICS PowerGrit Methode



Herkömmliche Methode

PowerGrit schneidet:

- » Duktile Gussrohre
- » Gusseisenrohre
- » Tonrohre
- » PVC-Rohre
- » HDPE

Wenn Sie eine Vorführung oder Beratung vor Ort wünschen, kontaktieren Sie uns bitte unter: Fachberater - Ron Gotthardt: 0172.3018111; rong@icsbestway.com



Ausführliche PowerGrit Informationen und Videos finden Sie auf **PowerGrit.com**

Tabelle 1: Leitungsdimensionen und Spitzenfaktoren in Abhängigkeit von der Anzahl der versorgten Einwohner laut DVGW-Arbeitsblatt W 410

Einwohner E	Wohneinheiten WE	mittlerer Bedarf $Q_{h\text{mittel}}$ bei 140 $l/(E \cdot d)$ m^3/h	Stunden-Spitzenfaktor f_h ab 1.000 E lt. W 410	Spitzenbedarf		Leitungsdimension DN bei $v \leq 1\text{ m/s}$ mm
				$Q_{h\text{max}}$ bis 1.000 E lt. W 410 $l/(E \cdot s)$	$Q_{h\text{max}}$ m^3/h	
1		0,0058	425	0,688	2,5	
80	40	0,47	14,9	0,0242	7	50
480	240	2,8	6,4	0,0104	18	80
960	480	5,6	5,1	0,0082	28	100
2.200	1.100	13	5		64	150
4.400	2.200	26	4,4		113	200
11.000	5.500	64	3,8		243	300
22.000	11.000	128	3,4		432	400
40.000	20.000	233	3		711	500
60.000	30.000	350	2,8		996	600
120.000	60.000	700	2,5		1.772	800
200.000	100.000	1.167	2,3		2.710	1.000
450.000	225.000	2.625	2		5.320	1.400
1.000.000	500.000	5.833	1,8		10.337	

Quelle: HAMBURG WASSER

Leitungsdimensionen und Stunden-Spitzenfaktoren in Abhängigkeit von der Anzahl der versorgten Einwohner laut DVGW-Arbeitsblatt W 410 dargestellt (siehe Infokasten). Das Arbeitsblatt schlägt die Annahme von durchschnittlich zwei Personen pro Wohneinheit vor (was für Hamburg auf der sicheren Seite liegt).

Die Abstufung der Tabellenzeilen ist so gewählt, dass jeweils die (auf griffige Zahlen gerundete) Einwohnerzahl und die Anzahl der Wohneinheiten angegeben werden, die – unter Annahme einer maximalen Fließgeschwindigkeit von 1 m/s – mit der entsprechenden Leitungsdimension zu versorgen sind. Beispielsweise können in Hamburg beim derzeitigen

INFORMATIONEN**Berechnungssystematik laut DVGW-Arbeitsblatt W 410 (vgl. Tab. 1)**

Bis zu einer Einwohnerzahl von 1.000 gibt das DVGW-Arbeitsblatt W 410 eine Gleichung zur Ermittlung des einwohnerbezogenen Spitzenbedarfes $q_{h\text{max}}$ in $l/(E \cdot s)$ an:

$$\log q_{h\text{max}} = 0,1099 \cdot (\log E)^2 - 0,9729 \cdot \log E - 0,1624 \quad [l/(E \cdot s)]$$

Durch die Multiplikation mit der Einwohnerzahl ergibt sich der Spitzenbedarf der betrachteten Einheit (z. B. Wohnquartier). Dieser ist unabhängig vom Durchschnitts-Wasserverbrauch der Einwohner und ergibt sich aus einer Auswertung von gemessenen Verbrauchskurven, deren Verlauf sich durch die Abfolge und Überlagerung von einzelnen Verbrauchereignissen ergibt. Deren maximale Amplitude (nur die interessiert in diesem Zusammenhang) ist von der Art der Nutzung, z. B. den Verbrauchseigenschaften der wasserverbrauchenden Installation oder Geräte, abhängig.

Unter Annahme eines durchschnittlichen Verbrauches über alle Verbraucher-kategorien von ca. 140 $l/(E \cdot d)$ (in Hamburg) ergibt

sich durch Division durch die Tagesstunden und die Multiplikation mit der Einwohnerzahl E der mittlere Bedarf $Q_{h\text{mittel}}$. Das Verhältnis von $Q_{h\text{max}}$ zu $Q_{h\text{mittel}}$ ist der einheitenfreie Stunden-Spitzenfaktor f_h . Bei einem anderen Durchschnittsverbrauch ändert sich nur der mittlere Verbrauch und damit der Spitzenfaktor, der hier keinen Einfluss auf die Leitungsdimensionierung hat.

Bei Einwohnerzahlen über 1.000 gibt das DVGW-Arbeitsblatt W 410 zwei Methoden zur Ermittlung des Spitzenbedarfs an: anhand von maximalen Stundenprozentwerten oder von Spitzenfaktoren. Im Rahmen der vorliegenden Ausarbeitung findet nur das letztere Verfahren Anwendung. Zur Ermittlung des Stunden-Spitzenfaktors f_h wird die folgende Gleichung angegeben:

$$f_h = 18,1 \times E^{-0,1682} \quad [-]$$

Durch Multiplikation des mittleren Bedarfes $Q_{h\text{mittel}}$ mit f_h errechnet sich der Spitzenbedarf $Q_{h\text{max}}$.

Bedarf von durchschnittlich 140 l/(E*d) (über alle Verbraucherkategorien) mit einer Leitung DN 100 maximal ca. 960 Einwohner bzw. 480 Wohneinheiten versorgt werden.

Nur in einem verästelten Verteilungsnetz kann die Anzahl der versorgten Wohneinheiten bestimmt werden. Die Fließverhältnisse sind überschaubar und die Fließrichtung ist eindeutig. In vermaschten Systemen, wie sie real existieren, ist dies in der Regel nicht der Fall. Nur bei Netzbereichen in kleineren Wohnquartieren oder in peripheren Stadtstrukturen kommt es vor, dass der versorgte Bereich abgrenzbar und damit die Anzahl der versorgten Wohneinheiten bestimmbar ist. Nur in solchen Fällen ist es möglich, die erforderlichen Leitungsdimensionen mithilfe der Hinweise des DVGW-Arbeitsblattes W 410 zu bestimmen.

In den überwiegenden Fällen sind die Fließverhältnisse wegen der vermaschten Leitungsführung zu komplex (veränderliche Fließgeschwindigkeiten und -richtungen in Abhängigkeit von den schnell schwankenden Verbrauchszuständen), um mit diesem Verfahren eine zuverlässige Leitungsdimensionierung durchzuführen. Hier setzt die computergestützte hydraulische Simulation an, mit der durch iterative mathematische Verfahren die Fließgeschwindigkeit in den einzelnen Leitungssträngen errechnet werden kann. Daraus sind die dynamischen Druckverluste bestimmbar, sodass als weiteres Kriterium für die Leitungsdimensionierung vorgegebene Mindestdrücke berücksichtigt werden können, die nicht unterschritten werden dürfen.

Berücksichtigung von Spitzenfaktoren bei Zielnetzen

Spitzenfaktoren beschreiben das Verhältnis von maximalen zu durchschnittlichen Volumenströmen. Bei der Auswertung von gemessenen Verbrauchskurven zeigt sich, dass sich mit zunehmender Anzahl betrachteter Haushalte das durchschnittliche Zeitintervall zwischen einzelnen Verbrauchereignissen verringert. Obwohl Verbrauchereignisse häufiger gleichzeitig auftreten und damit größere Verbrauchsspitzen (Peaks) erzeugen, wächst der Durchschnittsverbrauch schneller als die Peaks, es verringert sich das Verhältnis von maximalem zu durchschnittlichem Volumenstrom, also der Spitzenfaktor. Dieses Phäno-

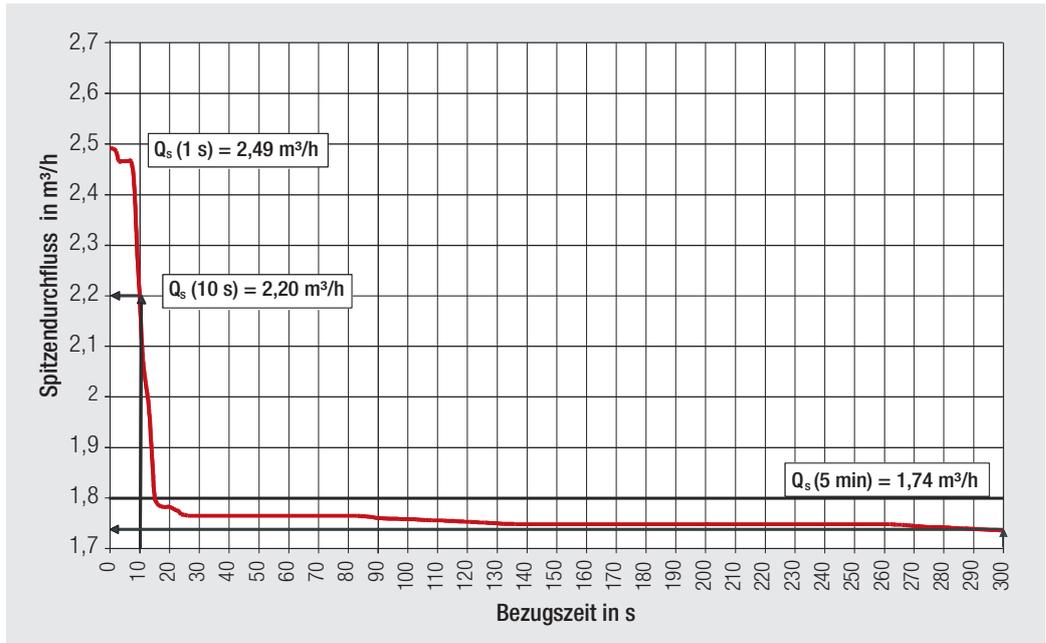
men gibt **Tabelle 1** wieder, aus der die fallenden Spitzenfaktoren mit zunehmenden Einwohnerzahlen ersichtlich sind.

Im DVGW-Arbeitsblatt W 410 stellt der Spitzenbedarf $Q_{h,max}$ für Einwohnerzahlen unter 1.000 einen echten Spitzenwert mit einer Bezugszeit von einer Sekunde dar, obwohl der Index h die Bezugszeit von einer Stunde suggeriert [4]. Dies wird durch die in **Abbildung 4** dargestellte Durchfluss-Dauerlinie für ein einzelnes Einfamilienhaus deutlich, dessen maximaler Volumenstrom bei einer Bezugszeit von einer Sekunde ca. 2,5 m³/h beträgt – derselbe Wert wie $Q_{h,max}$ für einen Einwohner (E=1) in **Tabelle 1**.

Für Einwohnerzahlen über 1.000 ist laut DVGW-Arbeitsblatt W 410 die Bezugszeit für den „Stunden“-Spitzenfaktor tatsächlich eine Stunde. Durch die damit verbundene Glättung der Verbrauchskurve wird einer unwirtschaftlichen Überdimensionierung von Leitungen mit der damit einhergehenden Stagnationsgefahr entgegengewirkt, die sich bei einer kleineren Bezugszeit ergeben würde. Kurzzeitige Druckabfälle werden dabei in Kauf genommen (DVGW W 400-1), während bei kleinen Versorgungsbereichen unter 1.000 Einwohnern bei Anwendung des DVGW-Arbeitsblattes W 410 eine größere Sicherheit davor gewährleistet ist. Die Gefahr, dass auf diese Weise Leitungsdimensionen ermittelt werden, in denen Stagnation stattfindet, ist gering, da hohe Volumenströme (und damit Fließgeschwindigkeiten) so häufig auftreten, dass negative Stagnationsfolgen nicht zu befürchten sind. Dass diese in bestehenden Netzen hauptsächlich in kleinen Verteilerleitungen auftreten, ist dadurch zu erklären, dass sie zu Zeiten dimensioniert wurden, als noch höhere (Spitzen-)Verbräuche als heute auftraten.

Hydraulische Modellberechnungen verwenden einen einheitlichen Spitzenfaktor für das gesamte betrachtete Versorgungsgebiet, der sich aus dem Spitzen- und dem mittleren Einspeisevolumenstrom ergibt. Die auf einen mittleren Stundenverbrauch normierten Verbrauchswerte der einzelnen Verbrauchsstellen werden für die Berechnungen mit diesem Faktor multipliziert, sodass hilfsweise ein einheitliches Verbrauchsverhalten aller Wasserverbraucher angenommen wird. Es wird vorausgesetzt, dass in der Stunde des Spitzenverbrauches alle Wasserkunden ihren Spitzenverbrauch

Abb. 4: Durchfluss-Dauerlinie eines Hauses mit fünf Bewohnern



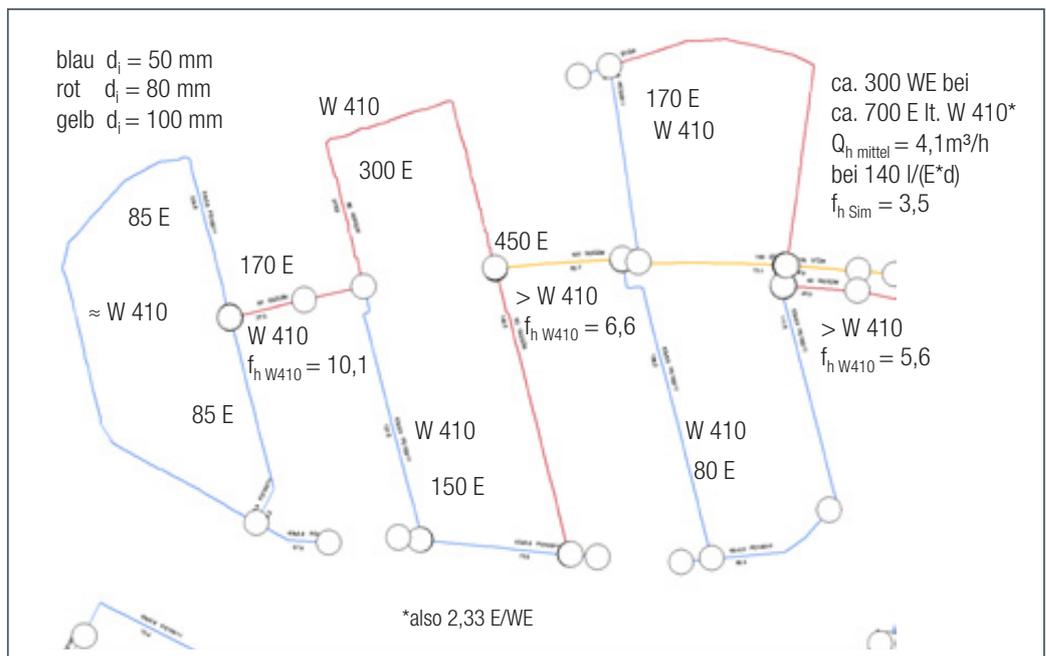
Quelle: DVGW-Arbeitsblatt W 410

haben, was natürlich nicht zutrifft. Die hydraulischen Kennwerte werden bei den gebräuchlichen Modellierungsverfahren in einem quasi-stationären Zustand ermittelt. Die dynamischen, sich schnell und laufend verändernden Fließverhältnisse im Netz werden auf diese Weise nur unzulänglich wiedergegeben. Modellierungsverfahren, bei denen den Verbrauchsstellen individuelle Verbrauchskurven zugeordnet werden, befinden sich noch im Entwicklungsstadium [5].

Wäre das betrachtete Verteilungsnetz ein rein verästeltes System, würde der für das Gesamtsystem ermittelte Spitzenfaktor streng genom-

men nur für die Ausgangsleitung des Pumpwerks gelten. Je weiter sich das Netz verästelt und je weiter die betrachtete Leitung von der Einspeisung entfernt ist, desto weniger Einwohner werden von der jeweiligen Leitung versorgt, sodass entsprechend **Tabelle 1** immer höhere Spitzenfaktoren angesetzt werden müssten. Die Verwendung eines einheitlichen – für die kleinen Verteilungsleitungen offensichtlich zu geringen – Spitzenfaktors führt demnach in einem Verästelungsnetz zur Gefahr der Unterdimensionierung bei den kleinen Versorgungsleitungen. Diese Gefahr ist umso größer, je mehr Einwohner eine Versorgungszone aufweist. In bestehenden ver-

Abb. 5: Vergleich Dimensionsoptimierung vs. DVGW-Arbeitsblatt W 410 anhand eines Hamburger Wohnquartiers



Quelle: HAMBURG WASSER

Stark, stabil, steckbar



Die sinnvolle Ergänzung zu unseren bewährten Klemmfittings Serie 18

Ausgereifte Steckverbindung zum Stecken von PE 80, PE 100 und PE-Xa-Rohren

Mit lösbarer Sicherung

Längskraftschlüssig

PLASSON[®]
Mensch · Produkt · Service

PLASSON GmbH

Krudenburger Weg 29 • 46485 Wesel

Telefon: (0281) 9 52 72-0

Telefax: (02 81) 9 52 72-27

E-Mail: info@plasson.de

Internet: www.plasson.de

maschten Verteilungsnetzen gibt es fünf Umstände, die einer Unterdimensionierung entgegenwirken und in der Praxis zu residualen Netzreserven führen:

- In vermaschten Verteilungsnetzen ist die Zahl der jeweils von einer Leitung versorgten Einwohner nicht bestimmbar. Lokale Druckabfälle durch Verbrauchereignisse werden durch den Zufluss aus verschiedenen und wechselnden, nicht vorhersagbaren Richtungen ausgeglichen. Schnell schwankende Verbrauchszustände führen zu veränderlichen Fließrichtungen, Fließgeschwindigkeiten und Druckverlusten, die letztlich nicht modellierbar sind. Dieser Effekt führt in den einzelnen Leitungssträngen zu einer erheblichen Absenkung der Spitzen-Volumenströme und damit zu einer Absenkung des Spitzenfaktors.
- Wird die zugrunde gelegte Maximal-Fließgeschwindigkeit von 1 m/s kurzzeitig überschritten, führt das in der Regel nicht zu sofort für den Kunden spürbaren und als nachteilig empfundenen Druckabfällen.
- Es stehen nur die in **Tabelle 1** verzeichneten Leitungsdimensionen für Auswechslungen im Rohrnetz zur Verfügung. Es ist demnach nicht möglich, die Leitungen „auf den Punkt“ mit Leitungsquerschnitten zu dimensionieren, die exakt die Vorgaben der maximalen Fließgeschwindigkeit bzw. des Mindestdruckes erfüllen. Wegen der Sprünge in den Querschnittsflächen weist die weit überwiegende Zahl der Leitungsstränge eine mehr oder weniger große Reserve auf. Nur im Ausnahmefall wird ein Strang an der Grenze seiner Kapazität betrieben.
- Ebenso verhält es sich bei der zugelassenen Minimal-Leitungsdimension ($d_i = 50$ bzw. 80 mm). Wird z. B. aus Gründen des Brandschutzes entschieden, keine kleineren Leitungen als DN 80 zu verlegen, wird ein großer Teil dieser Leitungen überdimensioniert sein, da die Kapazität nicht ausgenutzt wird.
- Schließlich wird bei hydraulischen Modellen mit gemessenen Verbrauchswerten gearbeitet, während beim Verfahren nach DVGW-Arbeitsblatt W 410 mit Durchschnittswerten gerechnet wird.

Praktischer Vergleich

Um die Zuverlässigkeit der Leitungsdimensionierung im Rahmen des Optimierungsmodells zu prüfen, wurde das überschauba-

re Verteilungsnetz eines kleinen Wohnquartiers in Hamburg herangezogen (**Abb. 5**).

Das Wohnquartier enthält ca. 300 Wohneinheiten. Die Versorgung des Quartiers wird durch zwei parallele Leitungen im Osten sichergestellt. Aus dem Volumestrom $Q_{h\text{mittel}}$ dieser beiden Leitungen, der der Summe der Durchschnittsverbräuche aller versorgten Wohneinheiten entspricht, ergibt sich mit ca. 700 die ungefähre Anzahl der versorgten Einwohner. Durchschnittlich wohnen in einer Wohneinheit damit 2,33 Einwohner. Auf die gleiche Weise wird die Zahl der Einwohner ermittelt, die von den Leitungen versorgt werden, die die beiden westlichen Leitungsringe verbinden (ca. 450 bzw. 170 Einwohner). Die Wohneinheiten in den beiden westlichen Ringen werden von durchschnittlich 2,5 Personen bewohnt, während die durchschnittliche Haushaltsgröße in den östlichen Ringen 2,0 Einwohner pro Wohneinheit beträgt. Die Haushaltsgrößen sind relativ hoch, was damit erklärbar ist, dass das Quartier erst vor ca. 13 Jahren gebaut wurde und vermutlich von vielen kinderreichen Familien bewohnt wird.

Abbildung 5 zeigt die ungefähren Zahlen von Einwohnern, die von den Leitungsringen versorgt werden. Die westlichste Ringleitung versorgt 2 mal 85 Personen. Über den mittleren Ring fließt zusätzlich das Wasser für den westlichen Ring, sodass sich einschließlich der im mittleren Ring befindlichen Wohneinheiten etwa die in **Abbildung 5** verzeichnete Aufteilung ergibt. Die Leitungen der östlichen Ringe versorgen ausschließlich die dort befindlichen Wohneinheiten, da sie mit der Erschließungsleitung (gelb) parallel geschaltet sind.

Bei der Optimierungsberechnung wurde – wie bei diesem Verfahren üblich – ein für die gesamte untersuchte Druckzone einheitlicher Stunden-Spitzenfaktor f_h in Höhe von 3,5 verwendet. Dies ist für die Größe der betrachteten Versorgungszone ein relativ hoher Wert, denn sie hat eine wesentlich höhere Einwohnerzahl als die, die sich bei Anwendung von DVGW-Arbeitsblatt W 410 mit diesem Spitzenfaktor ergibt (**Tab. 1**). ▶



Abb. 6: Zusatzentnahme in einem stark vermaschten Netzbereich

Dies begründet sich dadurch, dass der Maximalverbrauch $Q_{h\max}$ und der Durchschnittsverbrauch $Q_{h\text{mittel}}$, die jeweils für die Berechnung zugrunde gelegt wurden, nicht aus demselben Beobachtungsjahr stammen. $Q_{h\max}$ ist der Maximalverbrauch der letzten Dekade (aus dem Trockenjahr 2003), noch erhöht um eine geringe Sicherheitsmarge, die Durchschnittsverbrauchswerte stammen aus einem späteren Jahr, in dem diese geringer als 2003 waren. Dies erklärt den relativ hohen Spitzenfaktor.

Da im betrachteten Wohnquartier die von den einzelnen Leitungssträngen versorgten Einwohnerzahlen relativ gut bekannt sind, sind die sich danach für die einzelnen Stränge ergebenden Spitzenfaktoren ermittelt und in **Abbildung 5** verzeichnet worden. Sie wachsen mit der Abnahme der Einwohnerzahl an und sind höher als der Gesamtspitzenfaktor der Versorgungszone.

Die durch die Optimierung ermittelten Leitungsdimensionen sind farbig dargestellt. Trotz des zugrunde gelegten, scheinbar geringen Spitzenfaktors entsprechen die errechneten Leitungsdimensionen denen, die sich bei Anwendung von DVGW-Arbeitsblatt W 410 ergeben, oder sind sogar größer. Lediglich die für den westlichen Leitungsring vorgeschlagene Dimension befindet sich am Ende ihrer Kapazität. Für die Versorgung von 700 Einwohnern, also für die östlichen Zuleitungen, ermittelt sich mit dem Verfahren nach DVGW-Arbeitsblatt W 410 entweder eine Leitung DN 100 oder zwei Leitungen DN 80 parallel,

während die Optimierung je eine Leitung DN 100 und DN 80 vorschlägt. Für die Verbindungsleitung der östlichen Zuleitungen mit dem mittleren Ring reicht nach DVGW-Arbeitsblatt W 410 eine Leitung DN 80 aus (450 E), während die Optimierungsberechnung eine Leitung DN 100 ergibt.

Residuale Netzreserven

In einem weiteren Test wurde die Leistungsfähigkeit des stark vermaschten Netzbereiches eines Wohnquartiers, in dem die Zielnetze flächendeckend kleine Leitungsdimensionen enthalten, einer Untersuchung unterzogen. Auf dem Planausschnitt der **Abbildung 6** haben alle Leitungen dieselbe Dimension (je nach zugelassenem Mindestdurchmesser DN 80 bzw. DN 50). Das betrachtete Gebiet ist von ein- bis zweigeschossiger Einzelhausbebauung geprägt. In der Straße Bornkamp wurde mit dem hydraulischen Simulationsmodell errechnet, welcher Volumenstrom zusätzlich zur Netzbelastung des maximalen Stundenverbrauchs an einem Tag mit durchschnittlichem Verbrauch (Q_h^*) dem Netz entnommen werden kann, ohne dass der Netzdruck an dieser Stelle einen Wert von 2,0 bar unterschreitet. Diese Betriebsituation ist maßgebend bei der Ermittlung der Löschwasserkapazitäten.

Bei einem zugelassenen Mindest-Innendurchmesser von 80 mm wurden ca. 88 m³/h errechnet, bei 50 mm sind es ca. 29 m³/h. Im Vergleich dazu sind die auf die Verbindungspunkte summierten Verbrauchswerte der umgebenen Grundstücke bei der angenommenen Netzbelastung in einer Größenordnung von jeweils weit unter 1,0 m³/h. Der erste Wert übertrifft den Löschwasserbedarf für Wohngebiete (48 m³/h) um nahezu das Doppelte, während mit flächendeckend eingesetzten Leitungen des Innendurchmessers von 50 mm dieser Wert nicht erreicht werden kann.

Zielnetzuntersuchungen aus anderen großstädtischen Netzen, in denen das WVU vertraglich mit der Bereitstellung des Löschwassergrundschutzes beauftragt ist, zeigen, dass diese residualen Löschwasserreserven bei einer rechnergestützten optimalen Dimensionierung nach Trinkwasserbedarf bereits für ca. 70 bis 80 Prozent des Netzes den geforderten Löschwasserbedarf (48 bzw. 96 m³/h) decken. Auch aus Gründen der Löschwasservorhaltung muss

Das Programm



PE-Körper mit PE-Spitzenende
frei drehbar (360°)

Kein stagnierendes Wasser

Bleifreier Werkstoff im Bereich
mit Mediumkontakt

Strömungsgünstig

 **PLASSON**[®]
Mensch · Produkt · Service

PLASSON GmbH
Krudenburger Weg 29 · 46485 Wesel
Telefon: (0281) 9 52 72-0
Telefax: (02 81) 9 52 72-27
E-Mail: info@plasson.de
Internet: www.plasson.de

demnach nicht zwingend flächendeckend auf Leitungen mit DN 100 und größer zurückgegriffen werden.

Die residualen Löschwasserreserven [vgl. auch 2] in optimierten Netzen sind auf

- die betrieblich notwendige Vermaschung,
- Dimensionssprünge bzw. vorgegebene Mindestnennweiten,
- das zusätzlich nutzbare Druckgefälle im Löschwasserfall ($p_{\min} = 2$ bar statt z. B. 3,5 bar),
- temporär zugelassene höhere Fließgeschwindigkeiten

zurückzuführen.

Wertung

Bei der computergestützten Optimierungsrechnung werden außer der maximalen Fließgeschwindigkeit auch der minimale Gesamtdruck (Summe aus geodätischer Höhe und Netzdruck) bzw. im Falle von dessen Unterschreitung im real existierenden System die Aufrechterhaltung des bestehenden Druckes sowie für die gesamte Druckzone einheitliche relativ kleine Spitzenfaktoren vorgegeben. Demgegenüber finden beim vereinfachten Verfahren mittels DVGW-Arbeitsblatt W 410 lediglich die maximale Fließgeschwindigkeit sowie einwohnerzahlabhängige, relativ große Spitzenfaktoren Berücksichtigung.

Wie der Vergleich in einem übersichtlichen Netzbereich zeigt – nur in diesem kann DVGW-Arbeitsblatt W 410 überhaupt zuverlässig angewendet werden –, weisen beide Herangehensweisen eine große Übereinstimmung auf. Das Verfahren nach DVGW-Arbeitsblatt W 410 ergibt gegenüber der Optimierungsrechnung in der Tendenz zu kleine Leitungsdimensionen, da die Druckverhältnisse unberücksichtigt bleiben. Wie der durchgeführte Belastungstest ergibt, haben die optimierten Netze trotz der gefühlten kleinen Leitungsdimensionen angemessene Reservekapazitäten.

Aus den hier dargestellten Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass auch unter flächendeckender Nutzung kleiner Nennweiten im Bereich DN 50 bis DN 80, insbesondere in vermaschten Netzen, wie sie in der Praxis normalerweise vorkommen, ausreichende Kapazitätsreserven in der Verteilung bestehen, um kurze Lastspitzen zu kompensieren. Sofern mindes-

tens Leitungen mit einem Innendurchmesser DN 80 verlegt werden, ist in eng vermaschten Netzbereichen darüber hinaus häufig die Gewährleistung des Löschwassergrundschutzes für Wohnquartiere (48 bzw. 96 m³/h) möglich. Das verwendete rechnergestützte Optimierungsverfahren liefert robuste Ergebnisse, die sich praktisch umsetzen lassen und es dem WVU ermöglichen, Erneuerungs- und Instandhaltungskosten sowie die Verweildauer des Wassers zu reduzieren. ■

Literatur:

- [1] Hensel, P., König, D. (2009): Nachhaltige Reduzierung der Netzkosten durch Optimierung und Risikoanalyse, DVGW energie | wasser-praxis 3/2009, S. 72–77.
- [2] König, D., Wehr, R. (2010): Was kostet die Löschwasserbereitstellung über das öffentliche Trinkwassernetz?, DVGW energie | wasser-praxis 5/2010, S. 8–14.
- [3] DVGW (2008): Arbeitsblatt W 410: Wasserbedarf – Kennwerte und Einflussgrößen.
- [4] Büschel, K. (2009): Wasserbedarf – Kennwerte und Einflussgrößen – DVGW-Arbeitsblatt W 410 überarbeitet, DVGW energie | wasser-praxis 1/2009.
- [5] Blokker, M. (2010): Stochastic water demand modelling for a better understanding of hydraulics in water distribution networks, Promotionsschrift, Water Management Academic Press.

Die Autoren

Dr. rer. pol. Piet Hensel ist Geschäftsführer der RZVN Wehr GmbH.

Dipl.-Ing. Ekkehard v. Hoyningen-Huene ist Projektleiter in der Abteilung Technologieentwicklung bei HAMBURG WASSER.

Kontakt:

Dr. rer. pol. Piet Hensel
Rechenzentrum für Versorgungsnetze
Wehr GmbH
Wiesenstr. 21
40549 Düsseldorf
Tel: 0211 601273-00
E-Mail: hensel@rzvn.de
Internet: www.rzvn.de

Dipl.-Ing. Ekkehard v. Hoyningen-Huene
HAMBURG WASSER
Billhorner Deich 2
20539 Hamburg
Tel: 040 7888-82613
E-Mail: ekkehard.vonhoyningen@hamburgwasser.de
Internet: www.hamburgwasser.de