

# Modellberechnungen zum Nachlaufverhalten von Wasserzählern

## Estimated run down effects of water meters

(Dipl.-Ing. Georg Hofmann)

Die zur Trinkwassermessung üblicherweise eingesetzten Flügelradzähler haben bei Strömungsunterbrechung einen konstruktionsbedingten Nachlauf, der sich besonders bei Überdimensionierung bemerkbar machen kann. Dieser ist messtechnisch nur im Strömungslabor unter definierten Bedingungen feststellbar. Unter realen Einsatzbedingungen sind messtechnische Lösungen bisher nicht bekannt, so dass daraus resultierende Messabweichungen bisher unklar sind. Dies war Anlass mit Hilfe von Modellrechnungen unter praxisnahen Bedingungen Anhaltspunkte zu dieser Problematik aufzuzeigen. Die durchgeführten Simulationen liefern Kenntnisse über Strömungsunterbrechungen nach Anzahl, Uhrzeit und Zeitdauer. Damit sind mögliche Messabweichungen zumindest näherungsweise zu berechnen. Die Durchführung der Simulationen und die in Diagrammen dargestellten Ergebnisse werden ausführlich beschrieben.

Typical measurement devices for drinking water consumption are multi-jet meters. These meters have constructional caused run down effects which appears particular when meters are oversized. These effects can only be tested in flow laboratories with special equipments.

In practical use under regular conditions the influence of run down effects reducing accuracy can't be measured and is unknown. Mathematical Models are helpful for estimating these effects by establishing calculated data files under practicable conditions.

Based on these data files the quantity, time and duration of interrupted flow causing run down effects can be realized. This report shows as results the calculated estimated influence of interrupted flow due to multi-jet water meters by using a mathematical Model. The results are described in details and presented in diagrams.

In Deutschland werden jährlich circa 5,1 Milliarden m<sup>3</sup> Trinkwasser für die öffentliche Versorgung bereitgestellt und mit Hilfe von mehr als 45 Millionen zugelassenen und geeichten Wasserzählern an Haushalte, Kleingewerbe und sonstige Nutzer abgegeben [1]<sup>1</sup>. Von der Gesamtzahl der installierten Wasserzähler beträgt der Anteil an Hauswasserzählern ca. 13 Millionen [2, Abschnitt 1.1]. Diese werden üblicherweise als Flügelrad- und Ringkolbenzähler verwendet. Die Auswahl obliegt ausschließlich den Wasserversorgern. Dabei werden Preis, Verfügbarkeit, Messbeständigkeit und Verlässlichkeit je nach Wasserbeschaffenheit bestimmend sein. Gegenwärtig dürften in Deutschland noch Flügelradzähler vorherrschen [3]. Hauswasserzähler sind Messgeräte im geschäftlichen Verkehr mit eichrechtlich festgelegten Verkehrsfehlergrenzen. Bei Flügelradzählern hat der konstruktionsbedingte Nachlauf unter realen Einsatzbedingungen einen bisher nicht bekannten Anteil an Messabweichungen.

Flügelradzähler sind Geschwindigkeitszähler und haben im Gegensatz zu Ringkolbenzählern bei Strömungsunterbrechung einen Nachlauf. Wenn der Durchfluss schlagartig beendet wird, beispielsweise mit einer Einhebelmischarmatur oder dem Magnetventil einer Waschmaschine, dann wird zwar der Volumendurchfluss unterbrochen, aber das Flügelrad und das Zählwerk laufen noch weiter. Ursache ist die kinetische Energie des im Messwerkbecher rotierenden Wassers einschließlich des mitrotierenden Flügelrades. Die antreibenden Massenkräfte sind sehr groß im Verhältnis zu den bremsenden Reibungskräften. Die oft geäußerte Vermutung, dass der Nachlauf durch einen verzögernden Anlauf weitgehend ausgeglichen würde trifft nicht zu. Die Masse des Flügelrades, die alleine hierbei bremsen könnte, ist im Verhältnis zu der sich schnell beschleunigenden Wassermasse viel zu klein [4, Abschnitt 8.6]. Relativbewegungen zwischen Flügelrad und dem umgebenden Wasser sind nahezu ausgeschlossen. Geringe Spaltverluste beim Anlauf und beim Auftreten von Schleichmengen haben in diesem Zusammenhang eine vernachlässigbar geringe Bedeutung. Der Nachlauf eines Flügelradzählers führt demnach immer zu einer Mehranzeige (Plusfehler). Die Größe des Nachlaufes ist neben verschiedenen Ursachen im Wesentlichen abhängig von der Größe des Messwerkbeckers, des Volumenstroms und der Schnelligkeit der Strömungsunterbrechung. Zuverlässige Messwerte

---

<sup>1</sup> Literaturverzeichnis nach Textende

können nur im Strömungslabor ermittelt werden. Über die Auswirkungen von Nachlaufvorgängen bei wechselnden Durchflüssen unter praktischen Einsatzbedingungen in Wohngebäuden liegen bisher keine konkreten Angaben vor. Das liegt auch daran, dass gezielte Messungen wegen der Vielfalt von unterschiedlichen Strömungszuständen und damit von nicht voneinander trennbaren Einflussgrößen nicht möglich sind. Messabweichungen können auch andere Ursachen haben, was eine Aufspaltung nach Einflüssen ausschließt. Messtechnische Lösungen zu dieser Problematik sind daher nicht bekannt [2, Abschnitt 1.4]. Praktisch führt jede Strömungsunterbrechung, d.h. jeder Stillstand zu einem Nachlauf, unabhängig von dem zuvor entnommenen Wasservolumen. Folglich werden bei vielen kleinen Einzelentnahmen die Messabweichungen umso größer, als dies bei Entnahmen bei hohen Gleichzeitigkeiten mit großen Volumina der Fall ist. Das bedeutet, dass bei umfangreichen Verbrauchsvolumina in großen Gebäuden Nachlaufeinflüsse geringer sind.

Aus der fehlenden Messmöglichkeit von Nachlaufeffekten bei realen Entnahmebedingungen ergibt sich die beabsichtigte Aufgabenstellung. Mit Hilfe von Modellberechnungen unter praxisgerechten Bedingungen soll die Anzahl von Strömungsunterbrechungen näherungsweise berechnet, und damit die Größe der durch Nachlauf bedingten zu erwartenden Messabweichungen abgeschätzt werden. Die mit dieser Zielsetzung durchgeführten Berechnungen und Auswertungen werden beschrieben.

### Modellberechnungen

Ein aufgrund wissenschaftsmethodischer Arbeitsweise entwickeltes mathematisches Modell [5] ermöglicht realitätsgetreue, anwendungstaugliche und praxisnahe Strömungssimulationen des Trinkwasserbedarfs. Unter der Berücksichtigung von Belastungsprofilen nach Verbraucherverhalten [6] kann damit die Anzahl von Strömungsunterbrechungen (Stillständen) als alleinige Auslöser des Nachlaufverhaltens näherungsweise berechnet werden. Mit unterschiedlich vorgegebenen Nachlaufvolumina, die teilweise aufgrund von Laborversuchen an verschiedenen großen Wasserzählern bekannt sind, können auf diese Weise nachlaufbedingte Anteile von möglichen Messabweichungen aus Simulationsdateien rechnerisch bestimmt und dargestellt werden. Damit werden Einflüsse auf die Größe des Nachlaufverhaltens und die damit verbundenen Messabweichungen tendenziell erkennbar.

Die maßgebliche Datenbasis für Modellrechnungen sind von Uhrzeiten geprägte Ereignishäufigkeiten von Trinkwasserentnahmen. Aus der Literatur [6] ist bekannt, dass die Ereignishäufigkeit von Wasserentnahmen bis 3 Liter etwa 67 % aller Ereignisse beträgt, wobei als Ereignis das Öffnen einer Zapfstelle zu verstehen ist. Auf diese Entnahmen entfallen jedoch nur etwa 17 % des gesamten Wasserverbrauchs. In **Bild 1** sind Ereignishäufigkeiten bei verschiedenen Entnahmenvolumina im Tagesverlauf dargestellt.

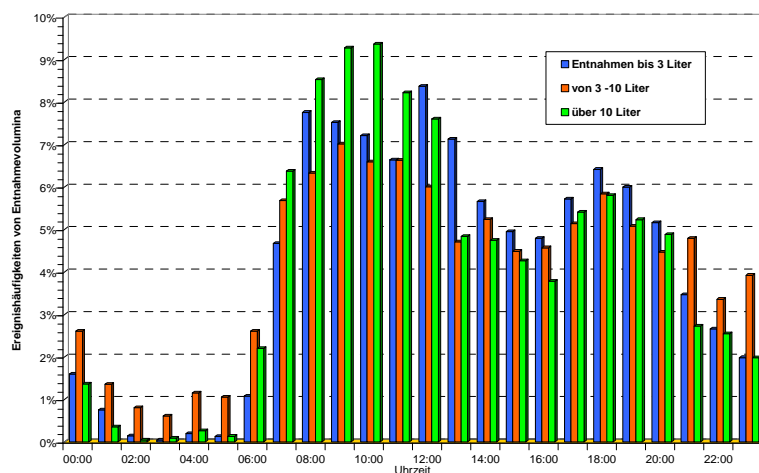


Bild 1: Ereignishäufigkeiten im Tagesverlauf bei unterschiedlichen Entnahmenvolumina

Daraus ergeben sich entsprechende Belastungsprofile, die für alle vorgesehenen Simulationen identisch sind. Ausgangswerte als Input für alle Berechnungen ist der aus der maximal möglichen Personenzahl eines Objektes abzuschätzende Spitzentagesbedarf. Die Modellrechnungen werden mit den Grenzwerten für Spitzentagesbedarfswerte zwischen 0,5 m<sup>3</sup> und 100 m<sup>3</sup> und zusätzlich mit zufallsbedingten Schwankungsbreiten von ±20 % durchgeführt. Der rechnerische Umfang der durchgeführten Simulationen wird so festgelegt, dass abgesehen von 2 großen Extremwerten mindestens ein Durchfluss von 240.000 Liter (240 m<sup>3</sup>) bei jeder Simulation berücksichtigt wird. Bei kleinem Spitzentagesbedarf wie z.B. in Einfamilienhäusern (EFH) wird die rechnerische Gesamtzeitdauer auf 1 Jahr begrenzt. Damit ergibt sich für jede einzelne Simulation bei der gewählten Vorgabe eines Spitzentagesbedarfs eine bestimmte Zeitdauer in Tagen, maximal jedoch 365 Tage. Ein größerer Berechnungsumfang der Simulationen ist möglich, hatte in Testrechnungen jedoch keinen erkennbaren Einfluss gezeigt. Für die verwendeten

Nachlaufvolumina sind Annahmen von Grenzwerten in den Größen von 50 cm<sup>3</sup> bis 500 cm<sup>3</sup> vorgesehen. Die Simulationen gelten ausschließlich für Wohngebäude mit Trinkwasserentnahmen zur Deckung des üblichen Bedarfs. Strömungstechnische Besonderheiten sind dabei nicht vorgesehen. Die Anzahl von Personen und Zapfstellen sowie Größe von Wohnobjekten werden nicht berücksichtigt weil für derartige Vorgänge keine verlässlichen und einheitlichen Relationen bekannt und zu beschreiben sind.

### Ergebnisse der Simulationen

Als Ergebnis der Modellrechnungen liegen Simulationsdateien für jede einzelne Simulation vor, deren struktureller Aufbau mit den von Messdatendateien aus elektronischen Datenerfassungen identisch ist. Bei der Auswertung werden entsprechend der Aufgabenstellung ausschließlich Durchflussunterbrechungen berücksichtigt, weil diese für die vorgesehene Bestimmung der Nachlaufvorgänge erforderlich sind. Durch Überlagerungen der simulierten Einzelentnahmen von virtuellen Verbrauchern ergeben sich durch die Berechnungsalgorithmen im Modell zufällige Gleichzeitigkeiten und daraus resultierend charakteristische Volumen-Zeitverläufe mit Durchflussunterbrechungen von unterschiedlicher Zeitdauer. **Bild 2** zeigt beispielhaft einen winzigen Ausschnitt eines Volumen-Zeit-Verlaufs aus einer Simulation. Die Steigungen der Geraden zwischen den Verbindungspunkten der markierten Ereignisse kennzeichnen die Größe der entsprechenden Volumenströme  $Q$  gemäß der Beziehung

$$Q = \Delta V / \Delta t$$

mit  $\Delta V$  als Entnahmevermögen (Liter) und  $\Delta t$  (Sekunden) als Zeitdauer. Für horizontale Linienelemente mit  $\Delta V = 0$  ergibt sich immer  $Q = 0$ , d.h. eine Durchflussunterbrechung.

Aus der Vielzahl der rechnerisch ermittelten Simulationsdateien werden bei der Auswertung alle Strömungsunterbrechungen sowohl nach Anzahl, Uhrzeit und Zeitdauer bestimmt. Die Anzahl der Stillstände ergibt sich aus den durchgeführten Modellrechnungen entsprechend den vom Computerprogramm berechneten Überschneidungen und damit einhergehenden Gleichzeitigkeiten. Bei kleinem Spitzentagesbedarf wie z.B. in EFH treten demnach in den Nachtstunden nur wenige Unterbrechungen in großen Zeitabständen auf. Die häufigsten Stillstände ereignen sich im Tagesverlauf bei entsprechend kleineren Zeitabständen. Das liegt daran, dass die meisten Entnahmen in kleinen Wohngebäuden Einzelentnahmen zwischen 06:00 und 22:00 Uhr sind. Bei zunehmendem Spitzentagesbedarf kehrt sich der Trend um und die meisten relativen Ereignishäufigkeiten treten in den Nachtstunden auf. **Bild 3** zeigt sehr anschaulich diese Unterscheidungsmerkmale. Dargestellt sind relative Ereignishäufigkeiten der Simulationen bei unterschiedlich großen Bedarfswerten im Tagesverlauf mit einer Unterteilung von jeweils 6 Stunden. Diese Er-

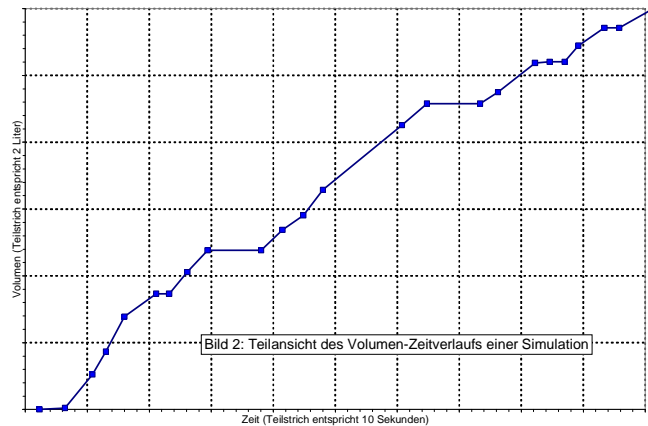


Bild 2: Teilschnitt des Volumen-Zeitverlaufs einer Simulation

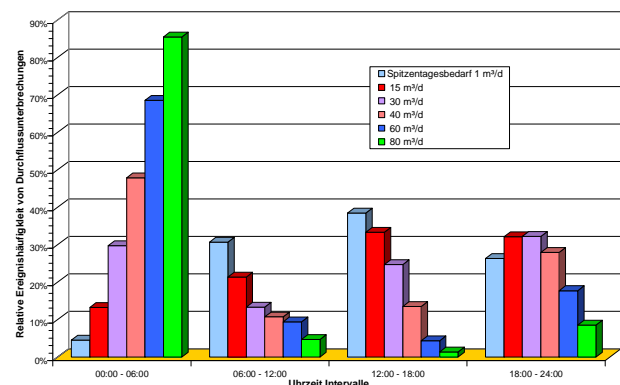


Bild 3: Relative Ereignishäufigkeiten von Durchflussunterbrechungen nach Tageszeiten

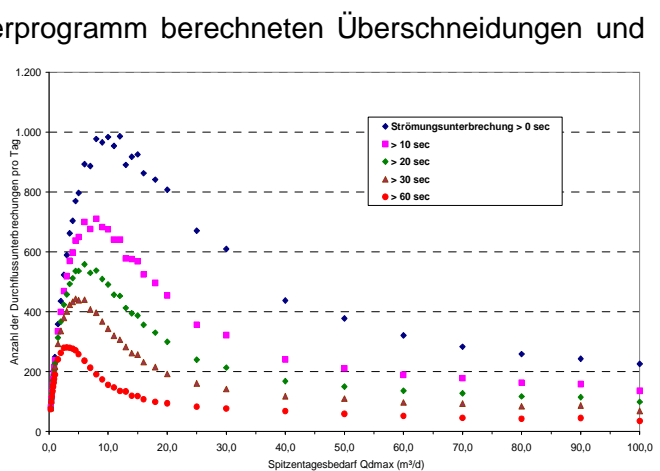


Bild 4: Durchschnittliche Anzahl von täglichen Strömungsunterbrechungen bei unterschiedlicher Zeitdauer der Unterbrechungen

gebnisse entsprechen in vollem Umfang den Erwartungen. Die tatsächliche Anzahl von Strömungsunterbrechungen steigt mit zunehmendem Bedarf, d.h. zunehmenden Einzelentnahmen erwartungsgemäß zunächst sehr steil an. Es wird ein Maximalwert erreicht mit einer daran anschließenden Abnahme. Das ist allgemein verständlich, weil bei weiterer Zunahme von Entnahmeereignissen auch zunehmende Überlagerungen im gesamten Zeitspektrum sich zwangsläufig ergeben und daher Unterbrechungen einengen. Dabei ist die Zeitdauer der jeweiligen Strömungsunterbrechung ein wichtiger Parameter. **Bild 4** zeigt quantitativ den Verlauf der rechnerischen Anzahl von täglichen Durchflussunterbrechungen in Abhängigkeit vom Tagesbedarf. Als Parameter dienen die Mindestzeitdauer der Strömungsunterbrechungen von größer 0, 10, 20, 30 und 60 Sekunden. Alle Daten mit kleinerer Zeitdauer, dem jeweils gewählten Parameter entsprechend, sind herausgefiltert. Der Verlauf der Grafiken entspricht erwartungsgemäß dem funktionalen Verlauf der durch Messungen ermittelten und bekannten verbrauchsbezogenen Häufigkeiten.

Der Zusammenhang bestätigt erneut die realitätsnahe und praxistaugliche Verwendbarkeit der Berechnungsalgorithmen. Ein weiteres für die Bewertung der Durchflussunterbrechungen interessantes Ergebnis zeigt die Berechnung der aufsummierten Durchflussdauer im Tagesverlauf und deren Darstellungen in **Bild 5**. Wenn nur Trinkwasserentnahmen im Tagesverlauf zwischen 06:00 und 24:00, also ohne Berücksichtigung der Nachtstunden, herangezogen werden, dann wird erkennbar, dass bei größeren Entnahmen Strömungsunterbrechungen asymptotisch gegen Null streben.

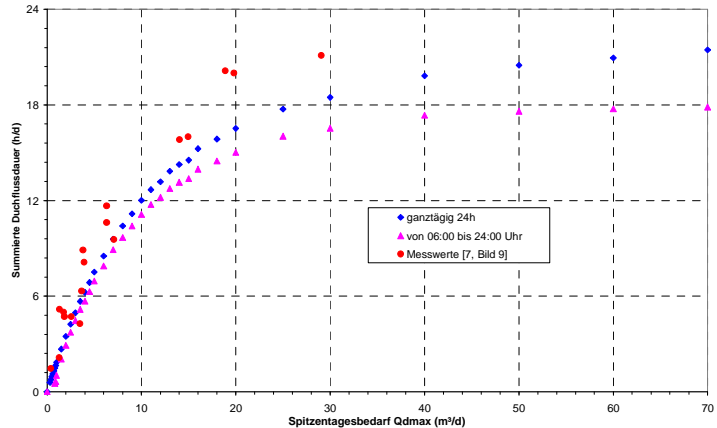


Bild 5: Summierte tägliche Durchflussdauer in Abhängigkeit vom Spitzentagesbedarf  $Q_{dmax}$

In Bild 5 sind zusätzlich Messpunkte aus früheren Messungen [7, Bild 9] eingetragen. Bei größeren Bedarfswerten ist eine Divergenz erkennbar, was verständlich ist. Das liegt nämlich daran, dass bei Durchflussmessungen mit Ereignissteuerung der Nachweis von kleinen Volumenströmen schwierig ist und kurze Unterbrechungen praktisch nicht zu ermitteln sind. Um die eigentliche Zielsetzung bei realen Einsatzbedingungen zu erreichen, werden die durch Nachlauf entsprechend den Strömungsunterbrechungen ermittelten Volumina berechnet. Berücksichtigt werden nur Strömungsunterbrechungen, die rechnerisch länger als 10 Sekunden andauern. Kleinere Strömungsunterbrechungen als 10 Sekunden werden sich unter realen Einsatzbedingungen kaum bemerkbar machen. Wichtige Parameter für die Ergebnisse sind die zu verwendeten Nachlaufvolumina  $V_{NL}$ . Zur Bestimmung des Nachlaufs im Strömungslabor gibt es Anleitungen [2, Anhang 4]. In der Literatur wird ein Nachlauf in einer Größe von 40 cm<sup>3</sup> genannt [8]. Dieser Wert betrifft einen Mehrstrahl-Flügelradzähler der Größe Qn 2,5.

Aus einer privaten Mitteilung des Staatsbetriebes Mess- und Eichwesen Sachsen [9] werden weitere Angaben für den Nachlauf  $V_{NL}$  bis 200 cm<sup>3</sup> entnommen. Bei größeren Wasserzählern werden demnach größere Werte von  $V_{NL}$  auftreten als bei kleineren Zählern unter gleichen Randbedingungen. Beispielsweise können bei Großwasserzählern Nachlaufvolumina  $V_{NL}$  bis zu 1.000 cm<sup>3</sup> (1 Liter) auftreten. In einer Internetdarstellung eines renommierten Herstellers sind Messwerte von Nachlaufvolumina  $V_{NL}$  angegeben, die in **Bild 6** in Abhängigkeit vom Volumenstrom unmittelbar vor der dazugehörigen Strömungsunterbrechung dargestellt sind. Bei dem Zähler handelt es sich um einen sog. Einstrahler der Größe DN 50 bzw. Qn 15. Die große Streubreite von bekannten Nachlaufvolumina und deren unterschiedliche Akzeptanz erlauben es, für die Berech-

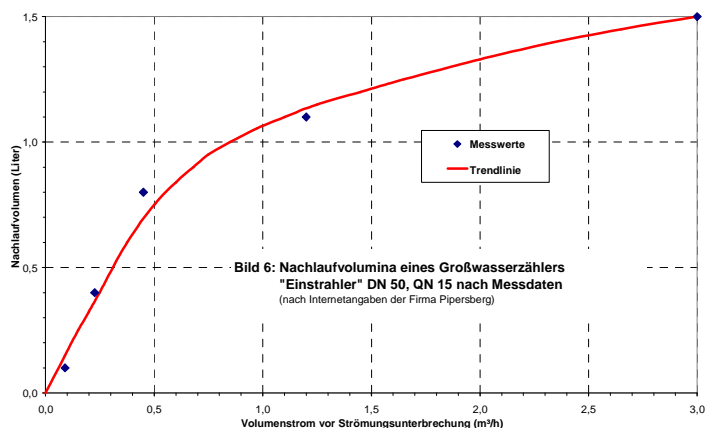


Bild 6: Nachlaufvolumina eines Großwasserzählers "Einstrahler" DN 50, QN 15 nach Messdaten (nach Internetangaben der Firma Pipenberg)

nungen von Nachlaufvolumina  $V_{NL}$  angegeben, die in **Bild 6** in Abhängigkeit vom Volumenstrom unmittelbar vor der dazugehörigen Strömungsunterbrechung dargestellt sind. Bei dem Zähler handelt es sich um einen sog. Einstrahler der Größe DN 50 bzw. Qn 15. Die große Streubreite von bekannten Nachlaufvolumina und deren unterschiedliche Akzeptanz erlauben es, für die Berech-



nungen der Messabweichungen  $V_{NL}$ -Werte von 50 cm<sup>3</sup> bis 500 cm<sup>3</sup> als Parameter einzusetzen. Zur Bestimmung der hypothetischen durchschnittlichen Messabweichungen werden die Strömungsunterbrechungen auf ein Jahr hochgerechnet, mit den entsprechenden  $V_{NL}$ -Werte multipliziert und mit dem Jahresverbrauch in Beziehung gesetzt. In **Bild 7** sind die auf diese Weise berechneten Messabweichungen infolge von Nachlaufeffekten für Strömungsunterbrechungen mit einer Zeitdauer von größer als 10 Sekunden dargestellt. Zusätzlich eingetragen sind Messpunkte aus früheren Vergleichsmessungen mit überdimensionierten Wasserzählern [10, 11], die nur als Orientierungswerte gelten sollen. Die experimentell durch Vergleich der Zählerstände von vorhandenen überdimensionierten Hauswasserzählern mit kleineren Zählern ermittelten Messabweichungen können verschiedene Ursachen haben. Die Anteile von Nachlaufeffekten an den Gesamtmessabweichungen sind nicht ermittelbar.

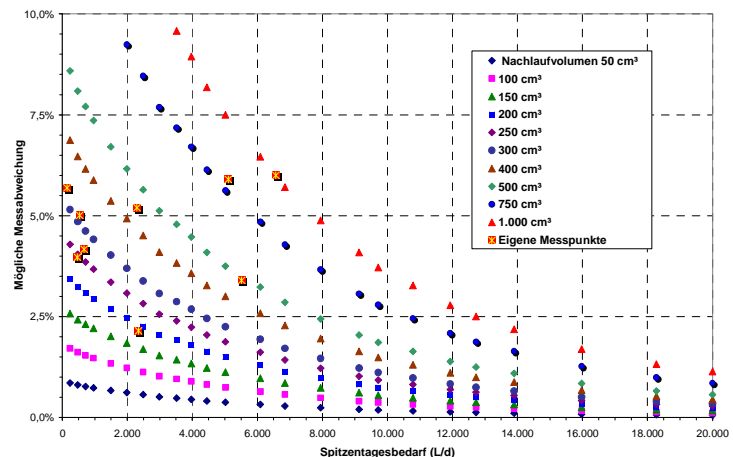


Bild 7: Mögliche Messabweichungen des Wasserverbrauchs infolge Nachlaufs bei Strömungsunterbrechungen von mindestens 10 Sekunden

Die Grafiken lassen erkennen, dass bei verbrauchsintensiven großen Wohngebäuden der Einfluss von Nachlaufvorgängen von eingesetzten Flügelradzählern auch bei großen Nachlaufeffekten rechnerisch vernachlässigbar gering ist. Bei kleinen Entnahmen ergibt sich dagegen ein tendenziell steiler Anstieg bei kleinen Bedarfswerten. Das bedeutet, dass beispielsweise in EFH der Einsatz von richtig belasteten und dem Regelwerk entsprechend dimensionierten Wasserzählern mit geringem oder ohne Nachlauf zwingend erforderlich ist. Werden bei geringem Wasserbedarf in kleinen Gebäuden nämlich Wasserzähler eingesetzt, von denen tendenziell größere Nachlaufeffekte zu erwarten sind, dann werden Verbraucher systematisch übervorteilt.

### Zusammenfassung

Alle aufgezeigten Ergebnisse der Simulationen gehen grundsätzlich von Zufallsereignissen aus. Sie basieren auf zufälligen Trinkwasserentnahmen in Wohngebäuden unter Berücksichtigung von messtechnisch bestimmten gewichteten Wahrscheinlichkeiten und sind daher hypothetisch. Die rechnerisch bestimmten möglichen Messabweichungen infolge von Nachlaufeffekten sind als Orientierungsgrößen aufzufassen. Sie lassen allerdings bei kleinen Verbrauchswerten die Problematik zu Lasten der Verbraucher erkennen, wenn überdimensionierte Flügelradzähler eingesetzt werden. Solche Verwendungen sind daher messtechnisch ungeeignet.

Für alle virtuellen Verbraucher in jeder einzelnen Simulation gelten in dieser Ausarbeitung dieselben Grundgesamtheiten. Das erklärt die angenähert stetigen Verlaufsformen der gezeigten Grafiken. Die Auswertungen verdeutlichen überzeugend, dass mit realitätsgetreuen Simulationen unter Verwendung praxisnaher Ansätze (Bild 1) bei realen Einsatzbedingungen auftretende Nachlaufeffekte von Flügelradzählern zumindest näherungsweise zu bestimmen und darzustellen sind. Das ist bisher messtechnisch nicht möglich. Die verwendeten Vereinfachungen einzelner Vorgänge im Modellbau sind unter den gegebenen Voraussetzungen zulässig. Nicht zu berücksichtigen sind die in jedem Wohnobjekt tatsächlich bestehenden Unterschiede der Nachlaufvolumina der verschiedenen Verbraucher und deren zeitlich differenzierte Verhaltensweisen. Ebenfalls nicht unterschieden werden Vorgänge bei Verwendung von Spülkästen oder Druckspülern oder Armaturen mit Drehgriff. Spülkästen schließen üblicherweise langsam und verursachen geringeren Nachlauf als beispielsweise Magnetventile von Waschmaschinen und Geschirrspülern. Das wird zum Teil kompensiert durch die Verwendung des Wasserbedarfs für Waschmaschinen ohne Unterbrechung des Zulaufs. Tatsächlich wird der Wasserbedarf für Waschmaschinen portionsweise entnommen. Damit werden die Anzahl der schnellen Strömungsunterbrechungen durch Magnetventile jedenfalls größer und zugleich die Durchflussganglinien gleichmäßiger. Ebenfalls nicht berücksichtigt sind mögliche simultane Schließvorgänge von 2 oder mehr Zapfstellen und darüber hinaus denkbare Variationen der verwendeten Belastungsprofile. Das hätte den Rahmen dieses Beitrages gesprengt. Das mathematische Modell bietet jedoch die Möglichkeiten, auch derartige Einflussgrößen zu erfassen.

Die verwendeten Zahlenwerte von Nachlaufvolumina entstammen zum Teil privaten Mitteilungen von Fachleuten aufgrund von Messungen in Strömungslabors. Ausdrücklich wird vermieden, Nachlaufvolumina bestimmten Wasserzählern und deren Größen zuzuordnen. Der Nachlauf von Wasserzählern kann viele Ursachen haben, wobei die Größe des Zählers, der Reibungsbeiwert der Flügelradlagerung, der gerade unterbrochene Volumenstrom und die Geschwindigkeit der Strömungsunterbrechung offenbar die größten Einflussparameter sind.

Das mathematische Modell ist so konzipiert, dass es auch für alle anderen Gebäudearten wie Hotels, Verwaltungsgebäude, Schulen anwendbar ist, sofern spezifische Belastungsprofile bekannt sind. Ergänzend sei vermerkt, dass die vorhandenen Simulationsdateien auch die Möglichkeit bieten die den Strömungsunterbrechungen vorangegangenen Volumenströme zu erfassen und als Einflussgrößen auf Nachlaufeffekte zu berücksichtigen. Darüber hinaus können auch mindestens 2 simultane oder nah beieinander liegende Stopps als Auslöser für Nachlaufvorgänge ermittelt werden. Schließlich sind auch spontane Reduzierungen des Durchflusses innerhalb von ununterbrochenen Entnahmen und deren Auswirkungen auf den Nachlauf simulierbar.

#### Literatur:

- [1] Röske, D.: "Neuer Ansatz zur Untersuchung des Wasserzählerverhaltens unter realen Entnahmebedingungen", PTB-Mitteilung, Forschungsnachrichten der Abteilung 1, Braunschweig 02.05.2011
- [2] Wendt, G. et al.: "Transfornormale für strömendes Wasser", PTB-Bericht MA-82, Braunschweig, November 2007
- [3] Büschel, K.: "Bemessung von Wasserzählern in Wohngebäuden", DVGW energie | wasser-praxis 04/2007, S. 26
- [4] Bargheer, K.: "Wasserzähler – Technik und gesetzliche Bestimmungen", PTB-Bericht MA-76, Braunschweig, Januar 2005
- [5] Hofmann, G.: "Mathematisches Modell Trinkwasserbedarf", gwf Wasser/Abwasser 02/2013, Deutscher Industrie Verlag München
- [6] Hofmann, G.: "Verbraucherverhalten bei Trinkwasserentnahmen in Wohngebäuden", gwf Wasser/Abwasser 07-08/2013, Deutscher Industrie Verlag München
- [7] Hofmann G., Stefanski, F.: "Trinkwasservolumenströme in Wohngebäuden", gwf Wasser/Abwasser 10/2011, Oldenbourg Industrie Verlag München
- [8] Hoffmann, R.: "Fehler und Unstimmigkeiten bei der Wassermessung mit Haus- und Wohnungswasserzählern". 14. DVGW-Prüfstellenleiter-Kolloquium für leitendes Prüfstellenpersonal 1999 in Bad Dürkheim, Vortrag Nr. 15
- [9] Müller, A.: Private Mitteilung: "Infoblatt 12", Staatsbetrieb Mess- und Eichwesen Sachsen, Dresden 02/2012
- [10] Hofmann G.: "Messverhalten überdimensionierter Wasserzähler in Wohngebäuden", DVGW energie | wasser-praxis 11/2008
- [11] Hofmann, G. et al.: "Mangelnde Messrichtigkeit von überdimensionierten Haus-Wasserzählern in Wohngebäuden" DVGW energie | wasser-praxis 10/2010

#### Autor

Dipl.-Ing. Georg Hofmann  
E-Mail: [Hofmann@wasser-k.de](mailto:Hofmann@wasser-k.de)  
Konstantinstraße 17  
04315 Leipzig  
Fax.: 0322 23 74 79 01