

Stellungnahme zur Anwendung von Lastprofilen für die hydraulische Rohrnetzberechnung

Rohrnetz, Gaswirtschaft, Standardlastprofile, hydraulische Rohrnetzberechnung, Bemessungslastfall, Restlast

Arne Klawitter

Die Güte einer hydraulischen Gasrohrnetzberechnung ist im Wesentlichen bestimmt von der Qualität der zugrundeliegenden Netzstammdaten sowie der Genauigkeit der Lastannahmen im Bemessungslastfall. Hinsichtlich der Lastannahmen sind im Wesentlichen die Höhe der Gesamtlast sowie die Verteilung der Lastabnahmen innerhalb des Versorgungsnetzes mit möglichst hoher Präzision abzubilden. Während die Höhe der Gesamtlast für gewöhnlich auf Basis von Messwerten zumindest annähernd verifiziert werden kann, kann die Verteilung der Lastabnahmen (für einen Großteil der Gesamtlast) nur auf Basis von statistisch-empirischen Verfahren abgeschätzt werden. Zwei dieser Verfahren sollen im Folgenden kurz vorgestellt und verglichen werden, und Schwächen und Stärken, sowie Anwendungsbereiche für die modelltechnische Anwendung in einem Rohrnetzrechnungsprogramm herausgestellt werden.

1. Zielsetzungen in der Rohrnetzmodellierung

Bei der hydraulischen Berechnung von Gasrohrnetzen ist man in erster Linie daran interessiert, den sogenannten Bemessungslastfall in geeigneter Weise darzustellen, d.h. die Gasströme und Fließgeschwindigkeiten im Netz für eine bestimmte Maximallast (Stundenwert) im Netz adäquat darzustellen. Die Bestimmung der Maximallast basiert dabei je nach Anwendungsfall und Klimaregion auf einer zugrundegelegten Tagesmitteltemperatur von -8°C bis -16°C .

Darüber hinaus ist in manchen Fällen auch die Modellierung der Minimallast von Interesse, z.B. dann, wenn die Realisierbarkeit einer Biogas-Einspeisung nachgewiesen werden muss. Oftmals ist dann auch die Abbildung des Tageslastgangs von Interesse. Normallastfälle, wie z.B. die hydraulische Berechnung des Rohrnetzes bei einer mittleren Tagestemperatur von 5°C oder 10°C spielen nur dann eine Rolle, wenn betrieblich bedingt (z.B. aufgrund erforderlicher Erneuerungsmaß-

Comment on the application of load profiles for hydraulic pipe network calculations

The performance of a hydraulic gas network calculation is mainly defined by the quality of the network master data as well as the accuracy of the load assumptions in the design load case. With regard to the load assumptions mainly the height of the total load as well as the distribution of the load within the network have to be modeled precisely. While the height of the total load usually can be verified – at least roughly – by means of measuring data, the distribution of the load can be estimated only on the basis of statistical-empiric methods. In the following, two of these methods are introduced briefly and compared by a strength-weakness analysis. Also ranges of applications are outlined for the use of the presented methods in a network calculation program.

nahmen) Leitungen temporär stillgelegt werden müssen, und die Funktionalität des Netzes für diesen Zeitraum nachgewiesen werden muss.

Dementgegen liegen die Ziele der Versorger im Wesentlichen in der Minimierung der Ausgleichsenergiekosten, wodurch eine bestmögliche Abbildung der tagtäglichen Netzlast für Kurz-, Mittel- und Langfristprognosen von Interesse ist.

Das Ziel im Sinne der hydraulischen Rohrnetzberechnung liegt kurzgefasst in der realitätsnahen Abschätzung von Extremlastfällen. Hierzu bedient man sich verschiedener Verfahren.

2. Übersicht gängiger Verfahren

Die analytische Bestimmung der Gesamtlast der Verbraucher für die Anwendung in einem Rohrnetzberechnungsprogramm teilt sich in zwei Bereiche.

Auf der einen Seite muss eine Abbildung der Großkunden mit einem Jahresverbrauch von über 1,5 Mio. kWh erfolgen. Für diese Kunden werden regis-

trierende Leistungsmessungen (RLM) durchgeführt, so dass der Lastgang in Stundenwerten gemessen und aufgezeichnet vorliegt. Der Lastgang der RLM-Kunden sowie der Anteil an der Gesamtlast sind somit hinreichend genau bekannt und kann direkt für die Rohrnetz-berechnung genutzt werden.

Für die Restlast hingegen, welche durch Letztverbraucher mit Jahresabrechnung verursacht wird, kann zunächst nur der Gesamtverbrauch ermittelt werden, nicht aber die Lastverläufe der einzelnen Kunden. Da für die Gasnetzberechnung in erster Linie der Bemessungs-lastfall maßgebend ist – dieser Bemessungslastfall in der Realität aber kaum eintritt, und folglich auch nicht aufgezeichnet wird – muss die Restlast der Letztverbraucher für diesen Fall i.d.R. durch Extrapolation bestimmt werden. Hierzu kommen in der Netzberechnung im Wesentlichen zwei Verfahren zur Anwendung, welche in gleichem Maße auch eine Aussage über die Verteilung der Restlast innerhalb des Netzes treffen. Diese beiden Verfahren werden hier vorgestellt und im Hinblick auf die Rohrnetzberechnung vergleichend gegenübergestellt.

2.1 τ -Wert-Profil

Der τ -Wert beschreibt die prozentuale Änderung der Lastabnahme eines Verbrauchers in Abhängigkeit der Temperatur. Die Angabe des τ -Werts erfolgt in %/°C und beschreibt einen linearen oder bereichsweise linearen Zusammenhang zwischen Verbrauch und Temperatur (siehe **Bild 1**). Diese Abhängigkeit wird für gewöhnlich begrenzt auf einen Temperaturbereich unterhalb eines Grenzwerts (meist 16°C). Für Temperaturwerte oberhalb dieses Grenzwerts wird eine konstante Last angesetzt. Ebenso kann modelltechnisch eine maximal mögliche Lastabnahme bei sehr geringen Temperaturen definiert werden.

Der Ansatz der τ -Wert-Profile stellt einen sehr einfachen empirischen Ansatz dar, der aber aufgrund seiner simplen Handhabung in der Praxis weitverbreitet Anwendung findet.

2.2 Standardlastprofile (SLP)

Das Verfahren der SLP basiert auf einer statistischen Auswertung verbrauchsspezifischer Gruppen und wurde 2003 im Rahmen einer Doktorarbeit an der TU-München entwickelt [1]. Nach diesem Verfahren bekommen verschiedene Verbrauchergruppen – es wird im Wesentlichen zwischen häuslichen und gewerblichen Verbrauchern unterschieden – standardisierte Lastprofile zugewiesen. Diese Lastprofile werden mittels einer Sigmoid-Funktion abgebildet, welche ebenfalls den Zusammenhang zwischen der Temperatur und dem Verbrauch eines Kunden beschreibt (siehe **Bild 1**). Neben dieser Temperatur-Last-Abhängigkeit sind in diesem Verfahren für jedes SLP Wochen- und Tagesprofile hinterlegt, so dass eine Lastabnahme auch

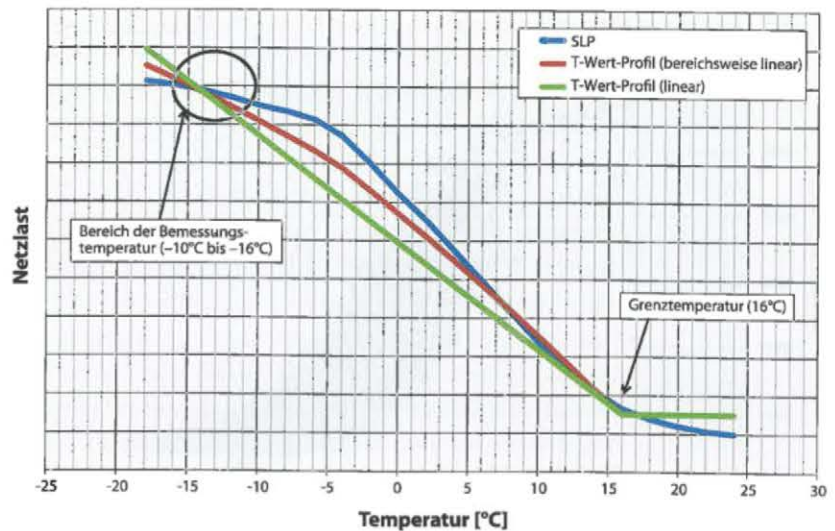


Bild 1. In der Rohrnetzberechnung üblicherweise angewandte Profiltypen.

in Abhängigkeit eines bestimmten Wochentages sowie einer bestimmten Uhrzeit prognostiziert werden kann. Zudem werden auch Abweichungen von den Lastprofilen an Sonn- und Feiertagen berücksichtigt. Weiterhin kann die sogenannte Ausprägung eines Lastprofils variiert werden, wodurch eine leichte Korrektur der Abnahme nach oben oder unten vorgenommen werden kann. Physikalische Hintergründe für unterschiedliche Lastprofil-Ausprägungen können z.B. regional bedingte klimatische Besonderheiten oder eine unterschiedlich hohe Heizgas- bzw. Prozessgasabhängigkeit sein. Die SLP liegen zudem spezifisch für jedes Bundesland vor. Die hier ausgewerteten spezifischen Unterschiede liegen aber einzig in der Versorgungsdichte eines Bundeslandes begründet und dürften somit auch innerhalb eines Bundeslandes erheblichen Schwankungen ausgesetzt sein, wodurch dieser Sachverhalt für die Rohrnetzmodellierung letztendlich keine Rolle spielt.

Das SLP-Verfahren stellt somit nicht nur ein, durch die Gasnetzzugangsverordnung (GasNZV) vorgeschriebenes Verfahren für die Versorger dar, sondern stellt auch für die hydraulische Rohrnetzberechnung ein umfangreiches und komplexes Werkzeug zur Bestimmung der Restlast und deren spezifischen Verteilung im Netz dar. Eine detaillierte Beschreibung des SLP-Verfahrens ist u.a. in den Praxisinformationen des BGW [2] [3] oder im BDEW/VKU/GEODE-Leiftaden [4] zu finden.

3. Gegenüberstellung der Verfahren

Die modelltechnische Umsetzung und Anwendung der beiden Verfahren für die Rohrnetzberechnung ist unterschiedlich. Zunächst einmal unterscheidet sich die Art und Weise der Zuordnung der jeweiligen Profile zu den Verbrauchern.

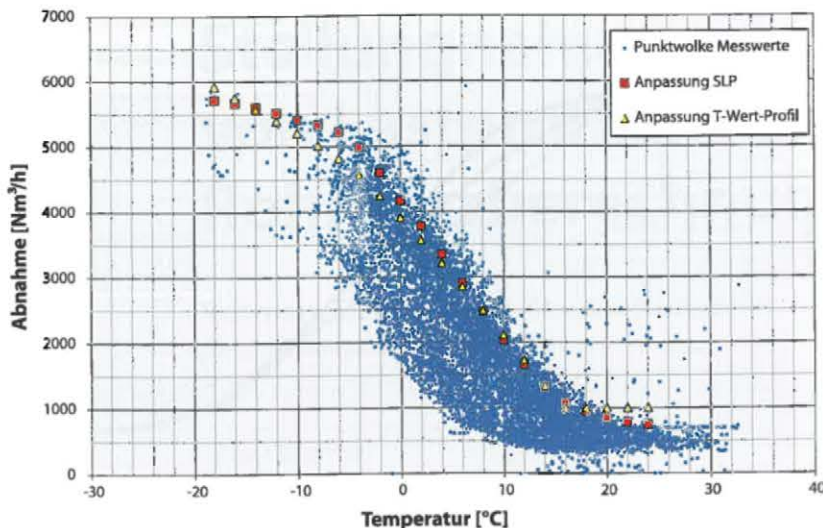


Bild 2. Anpassung unterschiedlicher Lastprofile an Messwerte (Abbildung der Punktwolke auf Basis von Stundenwerten).

3.1 Zuordnung von Lastprofilen

Bei der Zuordnung der τ -Wert-Profile wird i. d. R. von einem einfachen Zusammenhang zwischen Gesamtjahresverbrauch eines Kunden und dessen Verbrauchsverhalten (d. h. einem bestimmten τ -Wert-Profil) ausgegangen. Im Normalfall werden z. B. 3 bis 5 verschiedene τ -Wert-Profile mit unterschiedlichen Sensitivitäten hinsichtlich des Temperatureinflusses entwickelt und für die Anwendung in festdefinierten Jahresverbrauchsgrenzen vorgesehen. Diese Zuordnung basiert in erster Linie auf Erfahrungswerten. Eine differenzierte Betrachtung einzelner Letztverbraucher erfolgt meist nicht. Eine modelltechnische Profil-Zuweisung ist somit simpel, da für eine Zuordnung lediglich der Jahresverbrauch eines Kunden bekannt sein muss.

Die Zuordnung eines SLP zu einem Verbraucher orientiert sich hingegen – so schreibt es auch die GasNZV vor – maßgeblich an dessen Verbrauchsverhalten. Das Verfahren erfordert die Zuordnung von zwei häuslichen und 11 gewerblichen SLP; und seit dem 1. Oktober 2011 auch die zusätzliche Berücksichtigung eines Kochgaslastprofils. Es setzt somit eine deutlich differenziertere Betrachtung der Letztverbraucher voraus, als dies bei der Zuordnung der τ -Wert-Profile der Fall ist. Ist diese Zuordnung nicht bereits durch den Versorger erfolgt, so muss diese im Rahmen der Rohrnetzberechnung durchgeführt werden. Hierzu kann z. B. das in der BGW-Praxisinformation [3] dargestellte Zuordnungs-Verfahren zur Anwendung kommen.

3.2 Flexibilität und Anwendbarkeit der Verfahren

Hinsichtlich der modelltechnischen Anwendung unterscheiden sich die beiden Lastprofil-Verfahren aber auch noch in zwei weiteren wesentlichen Punkten. Diese betreffen die Möglichkeiten zur Anpassung der model-

lierten Maximallast sowie die Anwendbarkeit der Verfahren für die stationäre und die dynamische Netzberechnung (Tagessimulation).

Stellt sich z. B. heraus, dass die modellierte Restlast im Netz entsprechend der vorgenommenen Zuordnung der τ -Wert-Profile zu hoch oder zu niedrig ist, so lässt sich eine entsprechende Anpassung z. B. durch Manipulation der τ -Werte (d. h. Änderung der Steigung im Temperatur-Last-Abhängigkeitsverlaufs) sehr leicht durchführen. Im Vergleich hierzu hat man bei den SLP einen vergleichsweise geringen - oder besser gesagt begrenzten - Spielraum. So lässt sich die Restlast sinnvollerweise nur über die Koeffizienten des jeweiligen SLP ändern.

Für die stationäre Netzberechnung, d. h. die Abbildung der Lastflüsse und Drücke im Netz zu einem Zeitpunkt t , eignen sich beide Verfahren, wobei aufgrund der unterschiedlichen Lastprofile geringfügig abweichende Berechnungsergebnisse zu erwarten sind. Diese Unterschiede resultieren aus zwei Gründen: Erstens wird die Verteilung der Lastabnahmen innerhalb des Netzes unterschiedlich dargestellt, und zweitens wird die – üblicherweise durch Extrapolation geschätzte Gesamtabnahme im Fall der Bemessungstemperatur - differieren. Der erste Punkt liegt ganz einfach in der unterschiedlichen Art und Weise der Zuordnung begründet. Der zweite Punkt soll an diese Stelle etwas näher beleuchtet werden.

Da oftmals keine Messwerte vorhanden sind, welche Aufschlüsse über die Gesamtlast im Bemessungslastfall geben, muss die Gesamtlast durch Extrapolation – ausgehend von einem mit Messwerten erfassten Lastfall – bestimmt werden. Während sich die Sigmoid-Funktion der SLP im Bereich niedriger Temperaturen asymptotisch einem Grenzwert annähert, erfolgt die Extrapolation bei Anwendung der τ -Wert-Profile linear. Die extrapolierte Restlast wird somit bei Anwendung von τ -Wert-Profilen meist etwas höher ausfallen als im Fall der Anwendung von SLP. Zwar lässt sich die Höhe der Restlast auch bei der Anwendung von τ -Wert-Profilen modelltechnisch deckeln, doch liegt für die abgesicherte Festlegung einer Maximalrestlast nicht immer eine ausreichend umfangreiche Datenbasis vor. Ein weitaus massiveres Problem besteht jedoch generell gesehen darin, dass es keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Momentantemperatur und dem Momentangasverbrauch gibt. So korreliert dieser Zusammenhang, wie z. B. in [5] beschrieben, oftmals besser bei Anwendung eines Zwei- oder Viertagesmittelwerts. Da der Funktionsverlauf der SLP im Temperaturbereich kleiner -10°C jedoch nur noch geringfügige Veränderungen aufweist (asymptotische Annäherung an einen Grenzwert) erscheint eine Extrapolation auf den Bemessungslastfall selbst bei vermeintlich ungenauer Bestimmung der Tagesmitteltemperatur deutlich besser möglich als bei Anwendung der τ -Wert-Profile.

Bild 2 zeigt exemplarisch die Anpassung von zwei der oben erwähnten Lastprofile an eine gemessene Punktwolke. Beide Lastprofilkurven stellen eine Art obere Hüllkurve der Messwerte dar, da nur die Spitzenstunde (6:00–7:00 Uhr morgens) abgebildet wurde. In beiden Fällen wurden Standardparameter gewählt und keine weiteren Nachkalibrierungen vorgenommen, was verdeutlicht, dass bereits unter diesen Umständen im Regelfall gute Ergebnisse für den Bemessungslastfall erzielt werden können.

Im Fall einer dynamischen Netzberechnung ist die Anwendung von SLP insofern deutlich einfacher, als dass keine Tagesprofile für die Anwendung im Netzrechnungsprogramm entwickelt werden müssen, da diese bereits durch die SLP sowohl verbraucherspezifisch als auch tages- und temperaturabhängig durch das Verfahren vorgegeben sind, und somit direkt als Lastvorgabe für die Rohrnetzberechnung genutzt werden können. Nach einer entsprechenden Zuordnung der SLP zu den Verbrauchern kann somit direkt eine dynamische Netzberechnung durchgeführt werden. Allerdings sind auch hier, ähnlich wie bei der Anpassung der Gesamtlast, den Möglichkeiten der Anpassung des Tagesverlaufs an den tatsächlich gemessenen Verlauf, Grenzen gesetzt.

Das Verfahren unter Anwendung von τ -Wert-Profilen berücksichtigt per se keine Tagesprofile. Diese müssen somit zunächst auf Basis von Messwerten generiert und dann mit den τ -Wert-Profilen überlagert werden. Da es meist kaum begründet möglich ist unterschiedliche Tagesprofile für die unterschiedlichen τ -Wert-Profile zu generieren, welche im gewichteten Mittel dem mittleren Tagesprofil der Restlast entsprechen, ist es im Sinne der Netzberechnung nur zweckmäßig ein einziges mittleres Tagesprofil aus Messwerten zu generieren und gleichermaßen auf alle Verbraucher anzuwenden. Dies wird letztendlich aber nicht dem tatsächlichen individuellen Verbrauchsverhalten und somit auch nicht in hinreichendem Maße der tatsächlichen Verteilung der Lasten im Netz entsprechen. Es sei zudem angemerkt, dass das so erstellte Tagesprofil auch nur für einen gewissen Temperaturbereich Gültigkeit hat, da das Tagesprofil erfahrungsgemäß eine temperaturabhängige Komponente aufweist.

Die Anwendung von SLP gestattet somit auf sehr einfache Art und Weise eine weitaus differenziertere räumlich-zeitliche Betrachtung des Verbrauchsverhaltens als dies mit den herkömmlichen τ -Wert-Profilen möglich ist.

4. Schlussfolgerungen

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit beiden beschriebenen Verfahren in der modelltechnischen Anwendung erfahrungsgemäß sehr gute Ergebnisse erzielt werden können. Während das Verfahren auf Basis der τ -Profile einerseits simpel und doch flexibler ist, bie-

tet das SLP-Verfahren andererseits ein komplexes und umfangreiches, für stationäre und dynamische Berechnungen geeignetes Verfahren, was jedoch in der einfachen Anwendung keine großartige Flexibilität bietet. Die mit dem Verfahren erzielten Ergebnisse passen sich für die maßgeblichen Lastfälle aller Erfahrung nach gut an Messwerte an, auch ohne umfangreiche Korrekturen.

Dem SLP-Verfahren ist nach Ansicht des Verfassers aus drei maßgeblichen Punkten der Vorrang hinsichtlich der Anwendung für die Rohrnetzberechnung einzuräumen. Erstens ist hinsichtlich der Verteilung der Lastabnahmen im Netz, aufgrund der differenzierteren Zuweisung von Lastprofilen, von einer deutlich realitätsgetreueren Abbildung der Restlast auszugehen. Zweitens erscheint die Extrapolation der Gesamtlast für die Abbildung des Bemessungslastfalls zu realistischeren Ergebnissen zu führen. Und drittens besteht der Charme in der Anwendung des Verfahrens darin, dass es gleichermaßen für stationäre und dynamische Berechnungen geeignet ist, und somit keine grundsätzlichen Veränderungen in der Modellstruktur notwendig werden, wenn eine dynamische Netzberechnung erforderlich wird.

Literatur

- [1] Hellwig, M.: „Entwicklung und Anwendung parametrisierter Standard-Lastprofile“, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität München, 2003.
- [2] Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft, BGW (Hrsg.): „Anwendung von Standardlastprofilen zur Belieferung nicht leistungsgemessener Kunden“, Praxisinformation P 2006/8, Gastransport/Betriebswirtschaft, 2006.
- [3] Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft, BGW (Hrsg.): „Abwicklung von Standardlastprofilen“, Praxisinformation P 2007/13, Gastransport/Betriebswirtschaft, 2007.
- [4] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU) und GEODE – Groupement Européen des entreprises et Organismes de Distribution d'Énergie, EWIV (Hrsg.): „BDEW/VKU/GEODE-Leitfaden – Abwicklung von Standardlastprofilen Gas“, Berlin, 30. Juni 2011.
- [5] Leövey, H. u.a.: „Modellierung der Gasabnahme als Funktion der Temperatur: Optimierung der Temperaturgewichte“, gwf-Gas|Erdgas, Nov. 2011, Seiten 778ff.

Autor



Dr.-Ing. **Arne Klawitter**
 aquadrat ingenieure GmbH |
 Griesheim |
 Tel. +49 6155 8445-201 |
 E-Mail: a.klawitter@a2i.de