

Das folgende Dokument entspricht nicht der ursprünglich veröffentlichten Version. Es wurde im November 2020 entsprechend der Vorgaben für die Barrierefreiheit von Dokumenten angepasst und als PDF-Dokument zur Verfügung gestellt. Die alte Rechtschreibung wurde beibehalten.

Institut für Wasserbau und hydrometrische Prüfung, Wien, 12.11.2020

Kalibrierung von Fließgeschwindigkeits-Messgeräten und ein Blick über den Rand des Kalibriertanks

Grossschaedl, Gert und Dipl.-Ing. Dr. Hengl, Michael
Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Wasserbau und Hydrometrische Prüfung
Severingasse 7, 1090 Wien

Zusammenfassung

Der Beitrag gibt einen Überblick zur Hydrometrischen Prüfung als akkreditierte Kalibrierstelle für Fließgeschwindigkeits-Messgeräte im Rahmen der nationalen und internationalen Wasserwirtschaft. Die Bedeutung von qualitätsgesicherten und rückverfolgbaren Durchflussmessungen wird aufgezeigt. Neben der Darstellung der Kernaufgabe, der Kalibrierung von Fließgeschwindigkeits-Messgeräten, wird auch auf den dafür erforderlichen Rahmen und auf Zukunftsaspekte eingegangen. Die Kalibrieranlage und das Know-how der Mitarbeiter ist über die Kernaufgabe hinaus vielfältig einsetzbar. Dieses Tätigkeitsfeld wird beschrieben.

Calibration of Hydrometrical Current-Meters and a View over the Edges of the Calibration-Tank

Summary

This contribution gives a general view of the „Hydrometrische Prüfung“ as an accredited institute for calibration of current-meters within the scope of national and international water-management. Emphasis is given to quality and traceability of discharge measurement. Beyond the main task the calibration of current-meters, this contribution focuses on conditions for calibration and on future prospects as well. The calibration facilities and the know-how of our staff are both very useful and versatile possibilities in addition to the main task. This field of activities is described.

1. Einleitung

Das Bundesamt für Wasserwirtschaft verfügt mit der Fachabteilung Hydrometrische Prüfung im Institut für Wasserbau und Hydrometrische Prüfung über die einzige und akkreditierte Kalibrierstelle für Fließgeschwindigkeits-Messgeräte in Österreich. Die Hydrometrische Prüfung besteht seit 1896. Die Akkreditierung als international anerkannte Kalibrierstelle erfolgte im Jahr 2000. Ziel dieses Beitrages ist es, die aktuellen Aufgaben dieser Einrichtung des Lebensministeriums, insbesondere die Bedeutung für die nationale und internationale Wasserwirtschaft zu präsentieren. Darüber hinaus werden aber auch Möglichkeiten dargestellt, wie die bestehende Kalibrieranlage einen Beitrag für die österreichische Forschung liefert und welche Zukunftsaspekte in dieser Einrichtung enthalten sind.

Dieser Beitrag ist speziell für Interessenten gedacht, die nicht direkt mit der quantitativen Hydrographie zu tun haben.

2. Bedeutung der Fließgeschwindigkeitsmessung

Der im Allgemeinen beschrittene Weg zur Bestimmung des Durchflusses Q bedient sich der Messung des Querschnittes A , der vom Wasser durchflossen wird und der Bestimmung der mittleren Fließgeschwindigkeit V normal zum Messquerschnitt: $Q \text{ [m}^3\text{/s]} = A \text{ [m}^2\text{]} \text{ mal } V \text{ [m/s]}$ (s. Abb. 1).

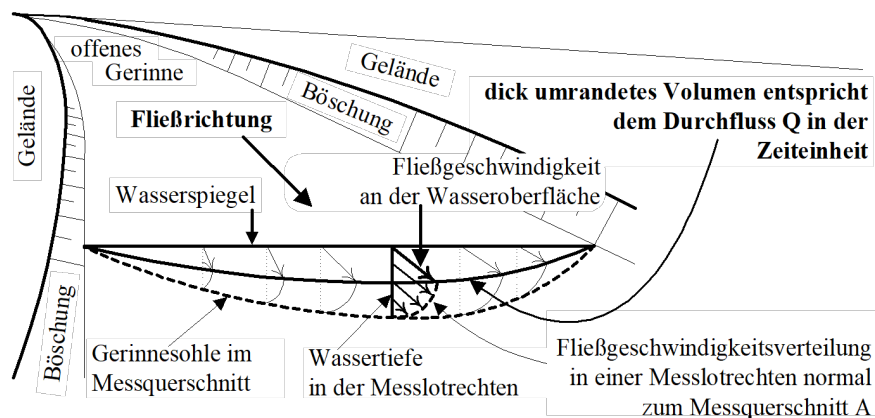


Abb. 1: Durchflussermittlung

Die Hydrometrische Prüfung bildet die Voraussetzung für die möglichst korrekte Fließgeschwindigkeitsbestimmung V . Sie wird im Messquerschnitt an einzelnen Punkten gemessen, woraus man durch Integration über die Fläche die mittlere Geschwindigkeit erhält. Ist V zum Beispiel mit einem systematischen Fehler behaftet, so wird bei der Durchflussbestimmung dann V noch mit dem Durchflussquerschnitt A multipliziert und der Fehler in das Ergebnis übertragen. Auch die Messunsicherheit der Bestimmung von

V trägt zur gesamten Messunsicherheit der Durchflussmessung bei. Für die Qualität der Durchflussdaten ist also neben der genauen Ermittlung des Messquerschnitts eine zuverlässige Bestimmung von V sehr entscheidend.

Etwa 90 % des Wasserkreislaufes Österreichs mit einer Gesamtsumme von 127 Milliarden m^3 pro Jahr fließen in Oberflächengewässern (nach Kresser, 1994) und sind potentiell Aufgabengebiet für Durchflussbestimmungen in offenen Gerinnen.

3. Warum Kalibrierung der Fließgeschwindigkeits-Messgeräte?

Bei der Durchflussbestimmung in der Natur, wird das Messgerät vorwiegend an vorher ausgewählten Punkten eingebracht und das Wasser fließt während der Messung am ortsfesten Gerät vorbei. Die Geschwindigkeit des Wassers ist zunächst nur sehr unsicher bekannt. Messgeräte und die Natur bergen Eigenschaften in sich, die man in den sogenannten Naturkonstanten zusammenfasst und die nur experimentell zu ermitteln sind. Erst mit Hilfe dieser Konstanten, die in der Kalibrierung ermittelt werden, kann die Fließgeschwindigkeit genauer bestimmt werden.

Fließgeschwindigkeits-Messungen können nicht direkt durchgeführt werden, sie erfolgen immer über die Anwendung eines physikalischen Prinzips. Beim hydrometrischen Messflügel (Abb. 2) wird die Flügelschaufel etwa über den Strömungsdruck, in Drehbewegung versetzt und aus der Umdrehungszahl in der Zeiteinheit auf die Fließgeschwindigkeit geschlossen. Weitere physikalische Beziehungen, die praktisch angewendet werden sind die Veränderung eines Magnetfeldes nach Faraday (Abb. 3, rechts), der Dopplereffekt im Zusammenhang mit Schall (Abb. 3, links) bzw. Laserlicht sowie die Temperaturveränderung an aufgeheizten Stäben bzw. Drähten.

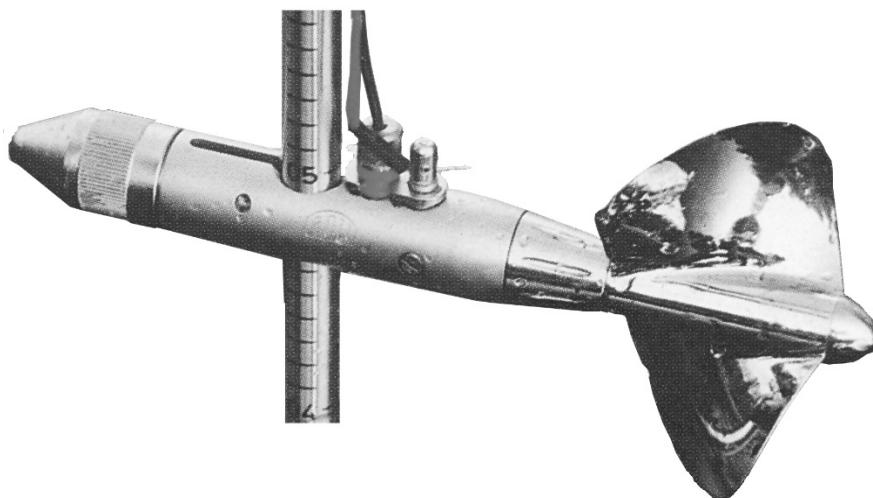


Abb. 2: Hydrometrischer Messflügel (Foto Fa. Ott, Kempten)

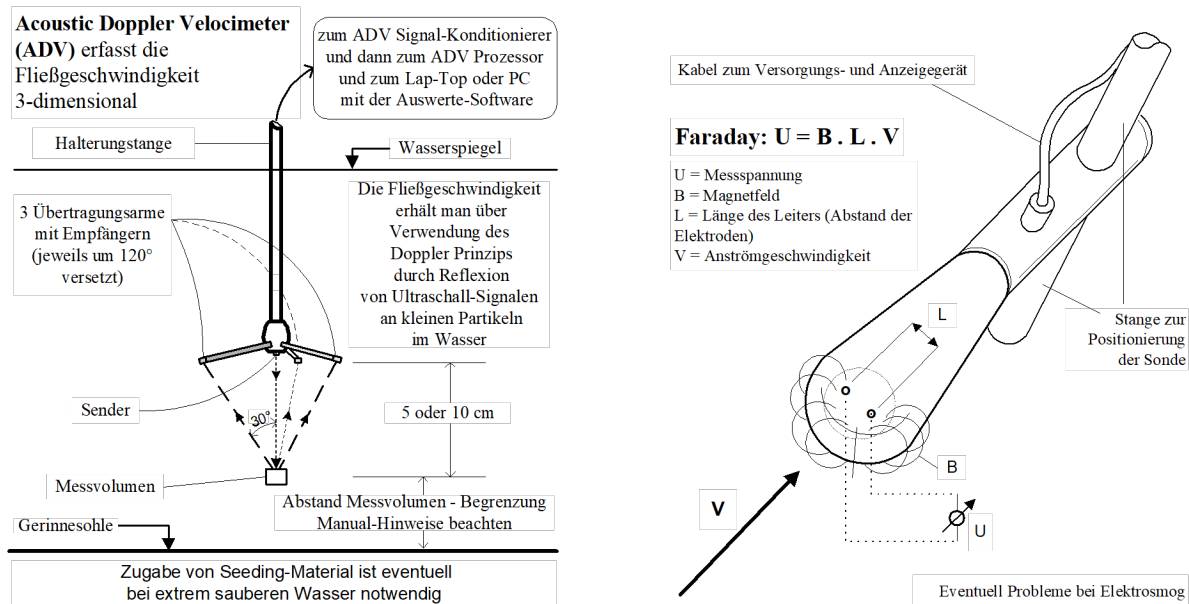


Abb. 3: Fließgeschwindigkeits-Sensoren, die das Doppler (links) bzw. Faraday'sche Prinzip (rechts) anwenden

Die Kalibrierung hydrometrischer Flügel, den am häufigsten eingesetzten Fließgeschwindigkeits-Messgeräten in der hydrographischen Praxis und die Kalibrieranlage der Hydrometrischen Prüfung sind beispielsweise in Hengl & Grossschaedl (1997 bzw. 2002) ausführlich beschrieben.

Da, wie bereits erwähnt, die Fließgeschwindigkeit nur indirekt gemessen werden kann, ist die Kalibrierung von Fließgeschwindigkeits-Messgeräten unabdingbar!

Unter Kalibrierung versteht man Tätigkeiten zur Ermittlung des Zusammenhanges zwischen den ausgegebenen Werten eines Messgerätes - oder einer Messeinrichtung, oder den von einer Messverkörperung, oder von einem Referenzmaterial dargestellten Werten - und den dazugehörigen, durch Normale festgelegten Werten einer Messgröße unter vorgegebenen Bedingungen.

Die Kalibrierung bestimmt auf experimentellem Wege den tatsächlichen Wert einer Messgeräteanzeige.

Die Kalibrierung erfolgt in einem 40 m langen Kalibriertank. Das zu kalibrierende Gerät wird mit dem Schleppwagen durch das ruhige Wasser mit vorgewählter Referenzgeschwindigkeit gezogen.

Diese Referenzgeschwindigkeit ist über den Physikalisch-technischen Prüfdienst des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen auf die nationalen Normale rückverfolgbar.

Mit jeder Kalibrierung eines Messgerätes werden experimentell dessen systematische Eigenschaften bestimmt und durch die Kalibriergleichung $V = f(n)$ dokumentiert.

Fließgeschwindigkeit = Funktion der Messgeräteanzeige $V = f(n)$

Weiteres werden bei der Kalibrierung die Ansprechgeschwindigkeit und die zufälligen Eigenschaften des zu kalibrierenden Messgerätes ermittelt, also seine Messunsicherheit. Das Ergebnis der Kalibrierung wird in Kalibrierdokumenten mit Angabe der Kalibriergleichung(en), Messunsicherheit(en), deren Geltungsbereichen und der Ansprechgeschwindigkeit ausgewiesen.

Kernaufgabe der Hydrometrischen Prüfung ist es über die Kalibrierung die Rückverfolgbarkeit von Messungen der Fließgeschwindigkeit zu ermöglichen und damit die Voraussetzung für die Vergleichbarkeit von Durchflussdaten sicherzustellen.

4. Rückverfolgbarkeit der Referenzgeschwindigkeit der Hydrometrischen Prüfung auf nationale Normale

Die Referenzgeschwindigkeit der Kalibrieranlage wird regelmäßig vom Physikalisch – technischen Prüfdienst des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen neu kalibriert und damit die Rückverfolgbarkeit dieser Referenzgeschwindigkeit auf nationale Normale (Basisgrößen) und in weiterer Folge auf internationale Normale sichergestellt.

Die Rückverfolgbarkeit ist durch die folgenden 5 Elemente charakterisiert:

- Eine **ununterbrochene Kette von Vergleichsmessungen** bis zu einem geeigneten nationalen oder internationalen Normal,
- Stellen, die Vergleichsmessungen innerhalb dieser Kette ausführen, müssen ihre technische **Kompetenz** dafür nachweisen, beispielsweise **durch die Akkreditierung als Kalibrierstelle**,
- Jeder Schritt innerhalb der Kette muss nach dokumentierten und allgemein anerkannten Verfahren durchgeführt und die Daten und Ergebnisse der Vergleichsmessungen müssen aufgezeichnet werden (**Dokumentationspflicht**),
- In jedem Schritt der Kette muss die **Messunsicherheit** nach anerkannten Methoden ermittelt und angegeben werden, so dass die Messunsicherheit für die gesamte Messkette berechenbar wird,
- Die **Vergleichsmessungen müssen** nach angemessenen Zeitintervallen **wiederholt werden**. Die Länge dieser Zeitintervalle hängt von der Art und Häufigkeit der Verwendung, der benötigten Genauigkeit, der zeitlichen Stabilität der Prüfmittel et cetera ab.

Nähere Informationen zur Rückverfolgbarkeit: http://www.bev-eich.gv.at/m_e_ptp.html

5. Auswirkungen der Kalibrierung

Jedes Messgerät besitzt eine bestimmte Genauigkeit. Durch die Kalibrierung wird das Gerät an sich nicht besser oder schlechter. Der Kalibriervorgang ist so gestaltet, dass die Eigenschaften des Messgerätes möglichst vollständig wiedergegeben werden. Die regelmäßige Kalibrierung der Fließgeschwindigkeits-Messgeräte ist wesentliche Voraussetzung für brauchbare Durchflussdaten.

Die Daten der quantitativen Hydrographie haben einen bedeutenden volkswirtschaftlichen Wert. Sie sind Grundlage für die Wasserwirtschaft. Die Kosten für die Datenerhebung in Österreich belaufen sich auf rund 10 Millionen Euro. Der Wert der analysierten Daten beträgt bis zum 40-fachen der Entstehungskosten (Nobilis, 2000). Das heißt das Kosten-Nutzenverhältnis ist eindeutig positiv. Wenn man sich diesen Wert vor Augen hält, wird klar, welche Bedeutung der Qualität dieser Daten zukommt.

Die Anwendung von Messgeräten zur Ermittlung von Fließgeschwindigkeiten ist äußerst vielfältig. Der Schwerpunkt liegt bei der Erfassung des Wasserkreislaufs durch den hydrographischen Dienst in Österreich. Die Daten der quantitativen Hydrographie stellen Umweltdaten im Sinne des § 2, Z 1 Umweltinformationsgesetzes (BGBl.Nr. 495/1993) dar.

Die grundlegende Bedeutung der Rückverfolgbarkeit der unter Verwendung von Fließgeschwindigkeits-Messgeräten erhobenen Daten geht auch daraus hervor, dass aus solchen Daten extreme Hochwässer prognostiziert werden, zum Beispiel durch statistische Hochrechnung eines 100 jährlichen Hochwasserereignisses.

Die ermittelten Durchflüsse sind Randbedingungen für die verschiedensten Risikoabschätzungen und Planungsvorgaben. Eine Extrapolation der Hochwasserereignisse muss von verlässlichen Werten ausgehen, da davon der Hochwasserschutz der Bevölkerung und die Kosten für Schutzmaßnahmen abhängen.

Über die Fließgeschwindigkeits-Messungen werden Daten erhoben für:

- Hochwasserschutzmaßnahmen und damit Risikopotenzial bzw. Investitionskosten
- Beweissicherungen in Rechtsverfahren
- Abwassermengenbestimmungen und damit Schadstofffrachten
- Stofffrachten in Fließgewässern wie zum Beispiel der Donau zur Ermittlung des Gewässerzustandes und der Belastung der Meere
- Wissenschaftliche Untersuchungen

6. Randbedingungen für die Hydrometrische Prüfung

Der Hydrometrischen Prüfung wurde bei der Akkreditierung durch Bescheid des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit die österreichische Kalibrierdienststellen Nummer 22 (ÖKD 22) zugeteilt. Durch die Akkreditierung ist die Positionierung der

Hydrometrischen Prüfung im internationalen Konnex realisiert. Aber nur über ein dauernd anpassungsfähiges Qualitäts-Management (QM) und Wachhalten des QM-Bewusstseins in der Dienststelle und unter Einhaltung einer ganzen Reihe von Richtlinien, Gesetzen, Normen und über die Kundenorientierung ist die Akkreditierung auch aufrecht zu halten. Als konkrete Beispiele für einzuhaltende Randbedingungen seien angeführt: ISO 3455 („Messflügelkalibriernorm“), das QM-System des Bundesamtes für Wasserwirtschaft einschließlich Handbuch, Standardverfahrensanweisungen und Standardarbeitsanweisungen der Hydrometrischen Prüfung. Weiteres muss die EN ISO/IEC 17025 (April 2000) „Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien“ von akkreditierten Kalibrierstellen erfüllt werden.

Das QM-Management und damit die Qualität der Hydrometrischen Prüfung steht regelmäßig bei internen und externen Audits auf dem Prüfstand. Die höchste Ebene bisher war die Teilnahme der „European co-operation for Accreditation (EA)“ im Rahmen eines der jährlichen externen Kontroll-Audits (auditieren: inspizieren, kontrollieren, bewerten) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, um gleichzeitig diese österreichische Akkreditierungsstelle zu evaluieren.

7. Wie erkenne ich die Notwendigkeit zur Rekalibrierung und was machen die Schweizer Nachbarn?

Der Messeinsatz verändert die Eigenschaften von Messgeräten, daher sind Re- bzw. Neukalibrierungen immer wieder notwendig.

Prinzipiell ist der Einsatz eines zweiten Messgerätes eines sogenannten Referenzgerätes sinnvoll. Dieses Referenzgerät, das besonders häufig rekalibriert und sorgfältig gepflegt wird, dient beim Messen in der Natur als Vergleichsbasis zum raschen Erkennen von Veränderungen des Messgerätes im Einsatz und damit zur Erkennung der Notwendigkeit von Service, Reparatur und Neukalibrierung. Neukalibrierungen sollten in regelmäßigen Abständen erfolgen, je nach der Häufigkeit des Messeinsatzes jedes Jahr oder zumindest alle 2 Jahre.

In der Schweiz ist für Durchflussmessungen in offenen Gerinnen generell die Messung mit zwei Messgeräten vorgesehen. Was auf den ersten Blick vielleicht kostspielig erscheinen mag, in Wirklichkeit aber sehr wirtschaftlich ist. Denn Daten, die mit Geräten erhoben werden, deren Kalibrierung nicht mehr aktuell ist, sind mehr oder weniger wertlos, obwohl die Kosten für die Messungen zur Gänze anfallen. Die Schweizer kalibrieren ihre Messgeräte nach 20 bis 25 Messungen und damit in Summe 5- bis 7-mal so oft wie ihre österreichischen Kollegen.

Es wäre zu begrüßen, würde Österreich sich an den Schweizern orientieren und ebenfalls bei Durchfluss-Messungen regelmäßig ein Anwender-Referenzgerät zusätzlich einsetzen, um sofort zu erkennen, wenn eines der Messgeräte abweicht und daher eine Neukalibrierung notwendig ist bzw. die eben gemessenen Daten ungenau sind.

8. Kunden und Tätigkeitsfelder der hydrometrischen Prüfung

Der Kundenkreis, der sich der Kalibrierstelle im Bundesamt für Wasserwirtschaft bedient ist sehr umfangreich. An erster Stelle stehen die Hydrographischen Landesdienste. Weitere Kunden sind Kraftwerksgesellschaften, private Firmen, kommunale Abteilungen, Ziviltechniker sowie Universitätsinstitute.

Neben der klassischen Kalibrierung von Fließgeschwindigkeits-Messgeräten bietet die Referenzgeschwindigkeit der Kalibrieranlage aber noch weitere Möglichkeiten, die ein großes Aufgabengebiet für die Zukunft erschließen und absichern. Entwickler von Messgeräten wie zum Beispiel Universitäten nutzen die Möglichkeit ihre Geräte im Kalibriertank zu überprüfen bzw. zu optimieren. Der Kalibriertank kann für Forschungsaufgaben in Zusammenhang mit den verschiedensten hydraulischen Fragestellungen genutzt werden. Beispielsweise nützen Schiffsbauer die Referenzgeschwindigkeit um mit Modellbooten ihre Planungen betreffend Schiffswiderstände experimentell abzusichern und zu verifizieren. Auch Geräte zur Kontrolle der Geschwindigkeiten des Straßenverkehrs wurden bereits über die Referenzgeschwindigkeit des Schleppwagens getestet. Sogar Windgeschwindigkeits-Messgeräte lassen sich, wie sich gezeigt hat, am Schleppwagen so montieren, dass ihre Kalibrierung gelingt.

Der reichhaltige Erfahrungsschatz aus der hydrometrischen Prüfung fließt in nationale und internationale Normen ein und steht dem interessierten Anwender bei Mess-Problemen zur Verfügung.

9. Ein Blick über den Rand des Kalibriertankes

Die Hydrometrische Prüfung hat viele Randbedingungen zu erfüllen (siehe. Kap. 6). Der Aufwand für das Qualitätsmanagement (QM) ist beachtlich. Neben den jährlich festzulegenden Qualitätszielen muss es auch längerfristige Überlegungen geben und die sehen konkret folgendermaßen aus:

- **QM-Bewusstsein des Bundesamtes wachhalten**

Intern gehört dazu die laufende Information und Ausbildung der Mitarbeiter auf dem Gebiet Qualitätsmanagement.

Das Bundesamt für Wasserwirtschaft sieht sich als Servicestelle für die österreichische Wasserwirtschaft auch in europäischem Zusammenhang. Daher ist es naheliegend die Position der Hydrometrischen Prüfung im internationalem Zusammenhang zu deklarieren. Dazu wurde eine

- **Ausschreibung eines internationalen Ringversuches für die Kalibrierung hydrometrischer Messflügel, durch die European co-operation for Accreditation (EA): ILC (Inter-Laboratory-Comparison)** angestrebt und erreicht. Bei der Durchführung soll der Hydrometrischen Prüfung in Wien die Aufgabe einer Referenzstelle zukommen.

Schaut man über den Rand des Kalibriertankes, muss auch das

- **QM-Bewusstsein der Kunden und der Anwender der Daten der quantitativen Hydrographie aktiviert und gepflegt werden.**

Der Einsatz und Aufwand der Hydrometrischen Prüfung macht nur Sinn, wenn auch das QM-Bewusstsein bei den Kunden und bei den Anwendern der Daten, also bei der gesamten Wasserwirtschaft vorhanden ist. Die Wasserwirtschaft muss sich der unumgänglichen Forderung nach nationaler und internationaler Vergleichbarkeit der Daten bewusst sein, dann ist ihr die Bedeutung sofort klar, die der Kalibrierung von Fließgeschwindigkeits-Messgeräten zukommt.

Das aktuelle Wasserrechtsgesetz BGBl. I Nr. 82/2003 setzt auf nationaler Ebene die EU-Wasserrahmenrichtlinie 2000 (WRRL) um und verlangt eine Wasserkreislaufferhebungsverordnung (WKEV). Für diese WKEV wird die Vergleichbarkeit der national erhobenen Daten noch wesentlicher, da diese Daten jetzt gemäß internationaler Flussgebietseinheiten (also grenzüberschreitend) berücksichtigt werden müssen.

Die Sektion VII „Wasser“ und im Besonderen die Abteilung Wasserhaushalt (HZB) unseres Lebensministeriums sind sich der Bedeutung der Kalibrierung der Fließgeschwindigkeits-Messgeräte bewusst. Auch das QM-Bewusstsein der Landesdienststellen ist bemerkenswert. Doch es gibt ein weiteres Kundenfeld wo noch Überzeugungsarbeit geleistet werden muss, damit nachdrücklich klare Schritte zur Durchsetzung und Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben gesetzt werden. Will man verlässliche und vergleichbare Messdaten erzielen, sollte man die Hydrometrische Prüfung zur Kalibrierung von Fließgeschwindigkeits-Messgeräten lieber einmal zu oft in Anspruch nehmen. Das ist wirtschaftlicher als unter Umständen unbrauchbare Messdaten zu produzieren, die einem internationalen Vergleich nicht standhalten oder auf deren Basis Fehlinvestitionen getroffen werden.

Literaturangaben

ADUNKA, F. (1998): Meßunsicherheiten, Theorie und Praxis, Vulkan-Verlag, Essen.

EN ISO / IEC 17025 (2000): Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien, 1-54.

EUROPEAN CO-OPERATION FOR ACCREDITATION (1999): Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, EA-4/02, 1-79.

GROSSCHAEDL, G. (2002): Discussion of „Price Current-Meter Standard Rating Development by the U.S. Geological Survey“. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 128, No 10.

- HENGL, M. (1997): 100 Jahre hydrometrische Prüfung in Österreich, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Jahrgang 49, Heft 1 / 2, Seite 14 -18.
- HENGL, M., GROSSSCHAEDL, G. (1993): Untersuchung der Abweichung zwischen Stangenflügelprüfungen und Seilflügelprüfungen. Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich (69), 1-25.
- HENGL, M., GROSSSCHAEDL, G. (1997): Beitrag zur Prüfmethode für die Kalibrierung hydrometrischer Flügel. Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich (75), 1-37.
- HENGL, M., GROSSSCHAEDL, G. (2002): Kalibrierung hydrometrischer Flügel
Zusammenhang Messpunktzahl, Qualität, Kosten. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Band 14, 1-49.
- HERSCHY Reginald W. (1985): Streamflow Measurement, Elsevier, London/New York.
- ISO 3455 (1976): Liquid flow measurement in open channels - Calibration of propeller-type current meters in straight open tanks.
- ISO 748 (1997): Measurement of liquid flow in open channels - Velocity-area methods
- LANDESHYDROLOGIE (1982): Handbuch für Abflussmessungen, Mitteilungen der Landeshydrologie, Nr. 4, Bern, Schweiz.
- NOBILIS, F. (2000): Der Hydrographische Dienst in Österreich im 21. Jahrhundert. Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich (79), 1-24.
- ÖNORM B 2403 (1998): Durchflußmessung mit dem hydrometrischen Flügel.
- TEUBER W. (1987): Einfluss der Kalibrierung hydrometrischer Messflügel auf die Unsicherheit der Abflussermittlung Ergebnisse eines Ringversuchs. Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes. Bericht der KHR Nr. 1-6.