

# NEUE ENTWICKLUNGEN IN DER DURCHFLUSSMESSUNG IN NATÜRLICHEN UND KÜNSTLICHEN GERINNEN

Ein Bericht des hydrographischen Dienstes Steiermark

## 1. Einleitung

Am 11. und 12. März 2004 fand an der Technischen Universität München ein Seminar mit dem Titel „Neue Entwicklungen in der Durchflussmessung in natürlichen und künstlichen Gerinnen“ statt. Der hydrographische Dienst Steiermark führt im routinemäßigen Betrieb ca. 700 Durchflussmessungen pro Jahr durch, für weiterführende Auswertungen, im speziellen zur Erstellung hydrologischer Gutachten werden zusätzliche Messungen erforderlich. Aus der Tatsache sich kurz- und mittelfristig reduzierender Personalressourcen in den hydrographischen Diensten ist es erforderlich, sich den neuesten Erkenntnissen der technischen Entwicklung auf diesem Gebiet anzupassen. Im folgenden wird auf die wichtigsten beim Seminar vorgestellten Geräte bzw. Verfahren zur Durchflussermittlung eingegangen, wobei im Seminar nach folgender Gliederung vorgegangen wurde: der erste Teil widmete sich der Durchflussermittlung im allgemeinen, im zweiten Teil wurden neue Entwicklungen bei Messwertaufnehmern vorgestellt, der dritte Teil zeigte Beispiele von stationären Einsätzen von Messwertaufnehmern.

In der operativen Umsetzung neuer Messverfahren leistet der hydrographische Dienst Steiermark insofern seinen Beitrag, dass am bestehenden Pegel Wieselsdorf/Stainzbach eine Versuchsstation eingerichtet wird, wo neue, bisher nicht im Routinebetrieb eingesetzte Messgeräte bzw. -verfahren zur Durchflussermittlung getestet und im Rahmen von Diplomarbeiten validiert werden sollen.

## 2. Grundlagen der Durchflussermittlung

Als Grundlage vieler wasserwirtschaftlicher Maßnahmen an Gewässern (Schutzwasserbauten, Ein- und Ausleitungen, etc.) ist die Angabe von Bemessungsdurchflüssen notwendig. Es besteht allerdings die Problematik, dass der Durchfluss nicht direkt gemessen werden kann, sondern aus anderen Größen abgeleitet werden muss. Welche Verfahren hier zur Verfügung stehen, wird im folgenden aufgezeigt:

### 2.1 Hydraulische Verfahren

Unter hydraulischen Verfahren sind jene Verfahren zu verstehen, bei denen über die Messung eines oder mehrere Wasserstände auf den Durchfluss geschlossen werden kann. Grundsätzlich sind diese Verfahren danach zu unterscheiden, ob im Bereich der Messstelle der Gerinnequerschnitt verändert wird oder nicht.

#### 2.1.1 Verfahren mit Kontrollquerschnitt

Die Berechnung der Strömungsverhältnisse im Kontrollquerschnitt basiert auf der Bernoulli-Gleichung, nach der sich in einem rückstaufreien Kontrollquerschnitt die minimale Energiehöhe einstellt. Aus dieser Annahme kann eine eindeutige Beziehung zwischen den

Fliessverhältnissen im Kontrollquerschnitt und des unverbauten Messquerschnitts flussaufwärts hergestellt werden. Dabei können Kontrollquerschnitte durch

- Veränderung des Sohlverlaufs (z.B. Abstürze, Wehre)
- Veränderung der Gerinnebreite (z.B. Venturikanal)
- Unterströmte Kontrollbauwerke (z.B. Schütze)

gebildet werden.

### *2.1.2 Verfahren ohne Kontrollquerschnitt*

Ist kein Kontrollquerschnitt vorhanden, kann eine Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit und in weitere Folge des Durchflusses nur über das Energieliniengefälle vorgenommen werden. In künstlichen Gerinnen, wo meist stationär gleichförmige Strömungen vorherrschen, kann das vorhandene Sohlgefälle als maßgebliches Gefälle angenommen werden. In natürlichen Gerinnen ist allerdings diese Voraussetzung nicht gegeben, weshalb der Bezug zur mittleren Geschwindigkeit durch eine Messung über den gesamten Querschnitt hergestellt werden muss. Dabei sollte sich während dieser Messung der Wasserstand nicht verändern. Die Erstellung dieser Wasserstand – Durchfluss – Beziehung (auch Pegelschlüssel oder Schlüsselkurve genannt) ist auch heute noch gängige Praxis in den hydrographischen Diensten. Die Schlüsselkurve stellt eine Regressionsbeziehung für die Punkteschar der Wertepaare (Wasserstand (W), Durchfluss (Q)) dar, wobei die Wertepaare parallel erfasste Messergebnisse darstellen. Zu Problemen in der Erstellung der Kurve führen Vereisung, Verkrautung, Umläufigkeit, Querschnittsänderungen, Fehler und Ungenauigkeiten beim Messen und vor allem fehlende Messungen im Nieder- und Hochwasserbereich.

## **2.2 Durchflussermittlung über die mittlere Fließgeschwindigkeit**

Nach dem Kontinuitätsgesetz errechnet sich der Durchfluss aus durchflossener Querschnittsfläche multipliziert mit der mittleren Fließgeschwindigkeit. Die durchflossene Querschnittsfläche lässt sich über den gemessenen Wasserstand mehr oder weniger genau herleiten. Allerdings wird bei allen eingesetzten Geschwindigkeitssensoren nicht die mittlere, sondern eine beliebige, örtliche Geschwindigkeit gemessen. Deshalb ist es notwendig, eine Beziehung zwischen örtlicher und mittlerer Geschwindigkeit herzustellen, die allerdings wesentlich stabiler als die Wasserstands-Durchfluss-Beziehung sein sollte. Grundsätzlich ist zwischen einer punktförmigen Messung (Messflügel, Staurohr, Radar etc.) und der Aufnahme der Fließgeschwindigkeit längs einer Messgeraden (Reihe von Punktmessungen, Ultraschall, akustische Verfahren, etc.) zu unterscheiden.

## **2.3 Sonstige Verfahren**

Bei den sonstigen Verfahren sind im speziellen die Verdünnungsverfahren (Tracer, fluoreszierende Stoffe) zu nennen, wobei ein Spezialverfahren später noch näher beschrieben wird.

## **3. Praktische Beispiele**

Im Rahmen des Seminars wurden verschiedene, bereits in der Praxis umgesetzte, Verfahren zur Durchflussermittlung vorgestellt, auf die im folgenden näher eingegangen wird.

### 3.1 Bestimmung instationärer Durchflüsse in gestauten Fließgewässern auf Basis des Wasserspiegelgefälles ( $\Delta W$ – Durchflussmessverfahren)

Die verwendete Methodik, den Durchfluss in einem Gewässerquerschnitt durch Messung des Wasserspiegelgefälles und der Wassertiefe zu berechnen, basiert auf der Lösung der Bewegungsgleichungen der Fluidmechanik (Saint-Venant Gleichungen). Die Theorie hinter diesem Verfahren soll hier nicht erläutert werden, um eine Berechnung direkt am Pegel zu ermöglichen, wurde eine eindimensionale, numerische Lösung der Bewegungsgleichungen ( $\Delta W$  – Verfahren) gewählt.

In der praktischen Umsetzung (Pegel Fröndenberg/Ruhr) macht man sich zunutze, dass der Durchfluss in einem Gerinne außer von der Wassertiefe, der Gerinnegeometrie und der Rauigkeit der Gerinnesohle auch von der Neigung des Wasserspiegels abhängt. Dabei wird an zwei Stellen im Gewässer mit Abstand  $L$  die Höhe der darüber befindlichen Wassersäule gemessen, die Wasserspiegelneigung lässt sich somit über die Differenzen berechnen. Zur Messung der Wasserspiegel werden, aufgrund des außerordentlich geringen Wasserspiegelgefälles bei Niederwasserabfluss im Rückstaubereich, Verfahren mit sehr hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit benötigt, weshalb Einperlsensoren verwendet werden. Zur Ermittlung von Referenzabflusswerten wird eine Ultraschallanlage nach dem Laufzeitprinzip eingesetzt.

Unter Berücksichtigung der Wasserspiegelneigung lässt sich eine brauchbare Abflusskurve bzw. eine Kurvenschar aufstellen, wobei jedem Wertepaar aus  $h$  (Wassertiefe im oberen Querschnitt) und  $Q_{US}$  (Durchfluss gemessen mit Ultraschallanlage) eine eigene Abflusskurve abhängig von der Wasserspiegelneigung zugeordnet werden kann. Im Vergleich mit der Ultraschallanlage werden bei großen Durchflüssen sehr gute Ergebnisse erzielt, bei kleinen Durchflüssen, bei denen das  $\Delta W$  – Verfahren prinzipbedingt eine größere Messunsicherheit besitzt, sind die Ergebnisse ebenfalls zufriedenstellend.

### 3.2 SIMK – Kalibrierung von Durchflussmessstellen

Das vorgestellte sogenannte SIMK – Verfahren dient der genauen wasserstands- und profilabhängigen Kalibrierung von Durchflussmessstellen. Es stützt sich auf die numerische Simulation der stark profil- und wasserstandsabhängigen dimensionslosen Geschwindigkeitsverhältnisse im Querschnitt mit Hilfe eines hochauflösenden Finite – Elemente – Strömungsmodells.

Die Grundlagen der SIMK – Modellierung basieren auf der einfachen Kontinuitätsgleichung

$$Q = A(h) \cdot v_m \quad (1)$$

mit:

$Q$  [m<sup>3</sup>/s].....gesuchter Durchfluss

$A$  [m<sup>2</sup>].....durchflossenen Querschnittsfläche als Funktion der Wassertiefe  $h$

$v_m$  [m/s].....mittlere Fließgeschwindigkeit

Da die mittleren Fließgeschwindigkeiten  $v_m$  im Querschnitt in der Regel von lokal gemessenen Fließgeschwindigkeiten  $v_l$  abweichen, wird eine genaue Kenntnis der dimensionslosen Geschwindigkeitsverhältnisse

$$k = v_m/v_l \quad (2)$$

benötigt, die durch Kalibrierung bestimmt werden müssen. Aus (1) und (2) ergibt sich

$$Q = A(h) * k(h) * v_l \quad (3)$$

SIMK stellt nun jenes Verfahren dar, das zusätzlich zu genauen Wasserstands- und Geschwindigkeitsmessungen für hydraulisch sinnvoll positionierte Messstellen die Skalierungsfunktion (2) für den gesamten an der Messstelle zu erwartenden Wasserstandsschwankungsbereich mit hoher Genauigkeit und in kurzer Zeit bis in den extremen Hochwasserbereich bereitstellt. Die axialen Geschwindigkeitsverteilungen und daher die Skalierungsfunktion  $k$  hängen besonders stark von der Profilform des Querschnittes, vom aktuellen Wasserstand und von der Position der lokalen Geschwindigkeitsmessung ab. Dies sind rein geometrische Faktoren und sind auch an Pegeln bekannt oder werden kontinuierlich gemessen. Unter Berücksichtigung der detailliert definierten Profilform und der abschnittsweise variierenden Wandrauigkeiten werden mit Hilfe des SIMK – Strömungsmodells die turbulenten Geschwindigkeitsverteilungen auf Basis eines Finiten – Element – Netzes simuliert. Das SIMK – Strömungsmodell wurde bereits mehrfach anhand von Labormessungen verifiziert, wobei sich sehr gute Übereinstimmungen im Strömungsfeld ergaben. Vergleiche von simulierten und gemessenen turbulenten Geschwindigkeitsverteilungen in Flussschläuchen, aber auch Vorlandprofilen stimmten ebenfalls sehr gut überein.

Die auf diese Weise für Abflussquerschnitte beliebiger Form und Größe bis in den extremen Hochwasserbereich bestimmbar Kalibrierfaktoren  $k$  werden genutzt, um auf der Grundlage weniger lokaler Geschwindigkeitsmessungen an ausgewählten Positionen des Abflussquerschnittes auf die mittlere Strömungsgeschwindigkeit und damit auf den Durchfluss zu schließen. Die Geschwindigkeitsmessungen können, wie in der Praxis auch bereits mehrfach eingesetzt, mit verschiedenen Geräten wie Messflügel, Radarsonden oder auch Ultraschallanlagen durchgeführt werden.

### 3.3 Durchflussbestimmung bei Extremereignissen

Es wurden Methoden vorgestellt, die es ermöglichen, den Durchfluss bei Extremereignissen, wenn die Randbedingungen die gewohnten Messmethoden nicht zulassen, möglichst zuverlässig abzuschätzen. Dabei handelt es sich um 2 Arbeitsschritte, die Datenerfassung und die Datenauswertung.

#### 3.3.1 Datenerfassung

Bei Extremereignissen wird der Durchfluss meist über Geschwindigkeitsmessungen abgeleitet. Ziel ist es, diese möglichst unkompliziert zu ermitteln, wobei folgende Methoden denkbar sind:

- Einfache Messmethoden (Oberflächengeschwindigkeit)
- Datenerfassung über Bildverarbeitung
- Dauerhaft installierte Messgeräte
- Anwendung moderner Messverfahren (Profiler)

Unter einfache Methoden fällt die Oberflächenmessung, z.B mit Stoppuhr, Maßband und Driftkörper, wobei Schwierigkeiten bei der Einbringung und Lagebestimmung des

Driftkörpers auftreten können. Ist eine Seilkrananlage vorhanden, kann diese zum Einbringen der Driftkörper verwendet werden. Muss man aufgrund von äußeren Umständen auf jegliche Messung verzichten, können über einfache Auswertungen von aufgenommenen Bildern Daten ermittelt werden. Sind Videoaufzeichnungen vorhanden, können einfache Abschätzungen von Geschwindigkeiten über vorbeischwimmende Driftkörper getroffen werden. Zu den modernsten Techniken der Geschwindigkeitsmessung zählen die ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) Messsensoren, die mit Hilfe von Ultraschall Geschwindigkeitsprofile über den Querschnitt messen (eine detaillierte Beschreibung dieser Geräte in 4.1).

### *3.3.2 Datenauswertung*

Es wurden 2 Methoden vorgestellt, nach welchen mit wenigen Ausgangsdaten der Durchfluss sinnvoll berechnet werden kann. Es sind dies die Durchflussermittlung über das logarithmische Wandgesetz sowie die Durchflussermittlung über inverse numerische Simulation. Da auch das bereits erläuterte SIMK – Verfahren (siehe 3.2) auf numerischer Simulation beruht, soll hier nur das logarithmische Wandgesetz kurz behandelt werden.

Das Wandgesetz beschreibt die Geschwindigkeitsverteilung im wandnahen Bereich unter Abhängigkeit von Wassertiefe, der äquivalenten Sandrauigkeit sowie der Schubspannungsgeschwindigkeit, wobei in zahlreichen Untersuchungen bereits gezeigt wurde, dass das Wandgesetz die Geschwindigkeitsverteilung bis zur Wasseroberfläche in guter Näherung abbildet. Da es sich aber um eine 2-dimensionale Betrachtungsweise handelt, werden Sekundärströmungen nicht beachtet. Die unbekannte Schubspannungsgeschwindigkeit kann über die gemessenen Geschwindigkeiten bestimmt werden, stehen nur eine oder wenige Messungen zur Verfügung, wird die Schubspannungsgeschwindigkeit über das Energieliniengefälle bestimmt.

Je nach Methode sind die Ergebnisse mit größeren und kleineren Unsicherheiten behaftet, wobei aber wichtig ist, dass überhaupt Daten ermittelt werden können, auch wenn nur grobe Abschätzungen über die Größenordnung möglich sind.

## **4. Entwicklungen bei den Messwertaufnehmern**

Im zweiten Themenkomplex wurde auf aktuelle Entwicklungen bei Messwertaufnehmern eingegangen, wobei die wichtigsten Ergebnisse in bezug auf Oberflächengewässer im folgenden erläutert werden.

### **4.1 Tracermessung mit Lichtleiter – Fluorometer**

Für Durchflussmessungen an Wildbächen ist meist die exakte Erfassung mittels konventionellen Methoden (Flügel, ADCP, Ultraschall, etc.) nicht möglich, wobei sich an diesen Gewässern besonders auch bei Hochwasser die Vorteile der Tracer - bzw. Farbstoffmessungen mit dem Lichtleiter – Fluorometer zeigen. Die Vorteile der Fluoreszenz – Farbstoffmessungen liegen darin, dass im Gegensatz zum Salzverdünungsverfahren auch große Durchflüsse messbar sind und dazu nur kleine Tracermengen notwendig sind. Als Tracer wird vorwiegend Uranin eingesetzt, wobei durch die kleinen Tracermengen davon ausgegangen werden kann, dass keine Schäden an der Biozönose verursacht werden. Die Messung basiert auf dem Prinzip, dass das Anregungslicht eines Lichtleiter - Sensors über einen Lichtleiter zum Gewässer geleitet wird, das vom Gewässer emittierte Fluoreszenzlicht wird wiederum zurück zum Messgerät geleitet. Da ein linearer Zusammenhang zwischen der Fluoreszenzintensität und der Tracerkonzentration bei geringen Farbstoffkonzentrationen

besteht, ist die Intensität der Fluoreszenz ein gutes Maß für die Tracerkonzentration und daher in weiterer Folge für den Durchfluss. Allerdings ist auch bei dieser Methode analog zur Salzverdünnungsmethode eine vollständige Durchmischung des Tracers im Gewässer notwendig.

#### **4.2 Mobiler Einsatz von Magnetisch – Induktiven (MID) Sonden**

Das Messprinzip der MID - Sonden beruht auf dem Faradayschen Induktionsgesetz, wobei in einer durch ein Magnetfeld fließenden elektrisch leitenden Flüssigkeit (z.B. Wasser) eine elektrische Spannung induziert wird, die der mittleren Fließgeschwindigkeit, der Magnetfeldstärke und dem Elektrodenabstand proportional ist. In einem MID – Messgerät sind Elektrodenabstand und Feldstärke feste Werte, womit die induzierte Spannung direkt proportional der Fließgeschwindigkeit ist. Wenn gewisse Randbedingungen wie Mindestabstände zum Ufer, zur Gerinnesohle und unter dem Wasserspiegel eingehalten werden, hat sich in langjährigen Untersuchungsprogrammen gezeigt, dass MID – Strömungssonden in Messgenauigkeit, Zuverlässigkeit und Benutzerfreundlichkeit den klassischen, hydrometrischen Flügel mindestens vergleichbar, in einigen Punkten sogar überlegen sind. Hinzu kommen Anwendungsbereiche mit Randbedingungen wie Verkrautung oder geringer Fließgeschwindigkeit, bei denen Flügel- bzw. ADCP – Messungen nicht oder nur bedingt möglich sind.

#### **4.3 Akustische Doppler - Geräte (ADCP)**

Akustische Doppler Geräte zur Strömungs- und Durchflussermittlung sind unter der Bezeichnung Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) bekannt. In den letzten Jahren hat sich die ADCP - Technik rasant weiterentwickelt, wobei man grundsätzlich zwischen Geräten, die zur Erfassung von Punktgeschwindigkeiten sowie vertikalen und horizontalen Strömungsprofilen dienen und Geräten, mit denen man vom fahrenden Boot aus den Durchfluss bestimmen kann, unterscheidet. Die Messtechnik beruht auf dem Doppler Effekt. Vom ADCP – Gerät ausgesandte Ultraschallimpulse werden von Partikeln im Wasser reflektiert, die Frequenzverschiebung zwischen ausgesandten und reflektierten Strahlen wird als Dopplerverschiebung bezeichnet und ist ein Maß für die Radialgeschwindigkeit.

Im folgenden wird auf die Erfassung des Durchflusses vom fahrenden Boot eingegangen. Bei der Messung fährt das ADCP – Boot auf beliebigen Weg von Ufer zu Ufer, es muss keine konstante Bootsgeschwindigkeit eingehalten werden, die Fahrtgeschwindigkeit sollte allerdings nicht wesentlich höher sein als die Strömungsgeschwindigkeit. Der ADCP muss senkrecht ins Wasser eintauchen, wobei während der Messfahrt die Strömungsgeschwindigkeiten und die Bootsgeschwindigkeiten über Grund jeweils in Betrag und Richtung sowie die Wassertiefe kontinuierlich ermittelt werden. Aus diesen Daten wird der Durchfluss berechnet, wobei der Messquerschnitt in eine Vielzahl sogenannter Zellen mit konstanter, frei wählbarer Höhe und von der Bootsgeschwindigkeit abhängiger Breite unterteilt wird. Die Summe der Teildurchflüsse, die sich durch vektorielle Verknüpfung von Boots- und Strömungsgeschwindigkeit errechnen, ergibt den Gesamtdurchfluss.

Aus gerätetechnischen Gründen ist die Strömungsprofilmessung nur im Kernbereich des Querschnitts möglich, in Ufernähe sowie über (oberer Randbereich: Eintauchtiefe sowie Totzone ohne verwertbare Daten) und unter dem Kernbereich (flache Wasserschicht nahe der Sohle) gibt es Zonen ohne Messwerte. Durch eine geeignete Auswertesoftware ist es möglich, die Durchflussanteile in der unteren und oberen Randzone mittels Extrapolationsverfahren zu

berechnen, ebenso werden die Durchflussanteile der Uferbereiche, die der ADCP wegen zu geringer Wassertiefe nicht erfassen kann, von der Software ermittelt.

ADCP's haben in Deutschland auf den Flüssen im Bereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung die Flügelmessung weitestgehend abgelöst, wobei der Einsatz während extremer Hochwasserereignisse an Rhein, Oder und Elbe besonders wertvoll war, wohingegen Messungen mit konventioneller Messtechnik nicht möglich gewesen wären.

Es ist zu erwähnen, dass bei starkem Geschiebetrieb mit systematischen Messfehlern gerechnet werden muss, bei schlammiger Gewässersohle sogar mit Totalausfall. Diese messtechnischen Probleme können jedoch durch Verwendung externer Geräte (GPS, Echolot) im allgemeinen überwunden werden.

#### **4.4 Videogestützte Bahnbestimmung strömungsinduzierter Partikel**

Die digitale Bildaufnahme mit mehreren Kameras, kombiniert mit Filtertechniken und einer geeigneten Software, erlaubt es, identifizierbare Partikel in nachfolgenden Bildsequenzen eindeutig zu erkennen und zu positionieren. Falls im Gewässer genügend Partikel vorhanden sind bzw. diese zugegeben werden und die Frequenz der Bilderfassung bekannt ist, können diese Partikel nicht nur positioniert, sondern es kann ihnen auch eine dreidimensionale Geschwindigkeit zugeordnet werden. Die Erfassung der Geschwindigkeit im gesamten, betrachteten Flüssigkeitsvolumen bedingt eine genügend lange Aufnahmesequenz durch mindestens 2, besser aber 3 oder 4 Kameras. Das Messvolumen ist nur abhängig von der verwendeten Optik, der Auflösung der Kameras und der Größe der einzelnen Partikel.

#### **4.5 Ultraschall – Laufzeit – Verfahren**

Eine Ultraschallanlage nach dem Laufzeitverfahren eignet sich gut als Ergänzung zu konventionellen Messstationen an Stellen, wo keine eindeutige Wasserstands – Durchflussbeziehung hergestellt werden kann, z.B. in Stauräumen oder auch in Tidegebieten. Das Ultraschallmessverfahren ist ein indirektes Verfahren, der Durchfluss wird aus gemessener Geschwindigkeit und einer dem Wasserstand zugeordneten durchflossenen Fläche berechnet. Das Messprinzip zur Geschwindigkeitserfassung beruht auf der direkten Messung der Laufzeit eines akustischen Signals, das von einem sogenannten hydroakustischen Schwinger ausgesandt wird. Das Signal hat in einem Gewässer entgegen der Fließrichtung längere Laufzeiten als mit der Fließrichtung, die Differenz der Laufzeiten ist direkt proportional zur Fließgeschwindigkeit im Messpfad.

Abhängig von der Anordnung der Schwinger kann zwischen verschiedenen Anlagenkonfigurationen unterschieden werden, wobei die hydraulischen Verhältnisse, die Gewässergeometrie, die Infrastruktur an der Messstelle sowie die geforderte Messgenauigkeit von entscheidender Bedeutung sind. Grundsätzlich kann unterschieden werden zwischen Einstreckenanlage (Einsatz: Strömung weitestgehend parallel zu den Ufern), Kreuzstreckenanlage (Einsatz: bei Krümmungen des Gewässerverlaufs), Responderanlage (Einsatz: Kabelverlegung auf gegenüberliegendes Ufer nicht möglich) und Reflektoranlage (Einsatz: gleich wie Responder, ohne Verstärkung des Signals).

Es kann zwischen Einebenenanlagen und Mehrebenenanlagen unterschieden werden. Bei der Einebenenanlage wird eine der oben angeführten Konfigurationen nur in einer Messebene ausgeführt, zur Durchflussberechnung muss ein Kalibrierfaktor  $k$  eingeführt werden, der eine Beziehung zwischen der mittleren Geschwindigkeit in der Messebene und im Querschnitt herstellt. Zur Kalibrierung können Flügelmessungen oder auch numerische Simulationen durchgeführt werden.

Bei extrem schwankenden Wasserständen oder ausufernden Gewässerabschnitten ist der Einsatz von Mehrebenenanlagen sinnvoll. Da bei einer ausreichenden Anzahl übereinander

angeordneter Messstrecken das Strömungsprofil hinreichend bekannt ist, kann die hydrometrische Kalibrierung entfallen. Aufgrund der rasanten Entwicklung in der numerischen Simulation der Kalibrierung verlieren die Mehrebenenanordnungen nicht nur aufgrund der anfänglich hohen Investitionskosten zunehmend an Bedeutung.

#### **4.6 Horizontale Doppler Strömungsmessung**

Horizontale Doppler Geräte senden einen gebündelten Ultraschallstrahl waagrecht in das Gewässer und schalten danach auf Empfang. Die im Gewässer enthaltenen Partikel reflektieren einen Teil der Ultraschallenergie mit einer gewissen Frequenzverschiebung. Diese Frequenzverschiebung ist proportional der lokalen Strömungsgeschwindigkeit, gleichzeitig erfolgt die Messung des Wasserstandes. Um den Durchfluss über die Kontinuitätsgleichung bestimmen zu können, ist die Kenntnis der mittleren Fließgeschwindigkeit im Messquerschnitt notwendig. Daher ist die Bestimmung einer Beziehung zwischen lokaler und mittlerer Geschwindigkeit notwendig, die über den Geschwindigkeitskoeffizienten  $k$  definiert wird (Geschwindigkeits – Index- Methode).

Für die Bestimmung des Koeffizienten  $k$  gibt es grundsätzlich 3 Möglichkeiten:

- Durchführung einer Vielzahl vergleichender Durchflussmessungen (Flügel, ADCP, etc.)
- Normierte logarithmische Geschwindigkeitsverteilungen
- Mathematische Berechnung mittels numerischem Strömungsmodell (siehe auch Kap. 3.2)

Aufgrund von hydraulischen Randbedingungen ist dieses Verfahren ungeeignet bei:

- starken Querschnittsänderungen
- bei Totzonen und Rückströmungsbereichen
- bei ständigen Sohlveränderungen
- direkt unterhalb von Wehren (Problem Lufteintrag)

Im Rahmen der bereits eingangs erwähnten Versuchsstation Wieselendorf/Stainzbach wird ein Sensor, der auf diesem Prinzip basiert, eingesetzt. Erste Ergebnisse werden in nächster Zukunft auf der homepage des hydrographischen Dienstes Steiermark unter <http://www.wasserwirtschaft.steiermark.at/cms/ziel/202358/DE/> präsentiert.

#### **4.7 Fließgeschwindigkeitserfassung mit Radar**

Radar Doppler Sonden beruhen auf dem Echo – Prinzip elektromagnetischer Wellen. Diese werden von der Sonde ausgestrahlt, treffen sie auf ein Hindernis, werden sie reflektiert, wobei der reflektierte Strahl am Sendeort wieder empfangen wird. Die Differenz zwischen Sendefrequenz und Echofrequenz ist proportional zu der lokalen Fließgeschwindigkeit des Gewässers. Die Durchflussbestimmung erfolgt analog zu Kap. 4.6, es ist also wiederum die Bestimmung der Beziehung zwischen lokaler und mittlerer Fließgeschwindigkeit mittels oben beschriebener Methoden notwendig.

Auch dem Radarsensor sind physikalische und hydraulische Grenzen gesetzt, so muss die Fließgeschwindigkeit mind. 0,5 m/s betragen, die Wasseroberfläche muss eine gewisse Rauigkeit aufweisen. Die in Kap. 4.6 aufgezählten hydraulischen Grenzen haben auch hier Gültigkeit.

Im Rahmen der Versuchsstation Wieselendorf sind 2 Geräte dieser Art in Einsatz, wobei in beiden Geräten auch eine Wasserstandserfassung mit Ultraschall integriert ist.

## **5. Zusammenfassung**

Das Seminar „Neue Entwicklungen in der Durchflussmessung in natürlichen und künstlichen Gerinnen“ in München gab einen umfassenden Überblick über den derzeitigen Stand in der Durchflussmesstechnik, sowohl in Hinblick auf Messwertaufnehmer als auch auf Auswertemethoden. Der vorliegende Bericht beschränkt sich auf Methoden, die an Oberflächengewässern eingesetzt werden, im Rahmen des Seminars wurden auch Methoden für voll- bzw. teilgefüllte Kanalsysteme vorgestellt, bei Interesse liegen die vollständigen Seminarunterlagen beim hydrographischen Dienst Steiermark auf.

Grundsätzlich zeigte das Seminar, dass die moderne Durchflussmessung in Richtung Fließgeschwindigkeitsmessung mit nachfolgender Durchflussermittlung über das Kontinuitätsgesetz geht, notwendig dabei allerdings die Ermittlung der Beziehung zwischen gemessener, lokaler und mittlerer Geschwindigkeit. Wie bisherige Erfahrungen gezeigt haben, ist diese Beziehung stabiler als die Wasserstands- Durchflussbeziehung (Pegelschlüssel).

An der hydrologischen Versuchsstation in Wieselsdorf am Stainzbach erprobt der hydrographische Dienst Steiermark im Rahmen einer Diplomarbeit im ersten Schritt drei Messgeräte, die auf der Basis der Erfassung der Fließgeschwindigkeit beruhen.