

Wasserstände und Durchflüsse – messen, speichern und übertragen im digitalen Zeitalter

Stefan Siedschlag

Beginnend mit den ersten Einrichtungen zur Anzeige des Wasserstandes am Nil vor etwa 4000 Jahren hat sich über die Jahrhunderte hinweg ein breitgefächertes hydrometrisches Gerätespektrum für die Bewältigung gewässerkundlicher Messaufgaben entwickelt. Modernste Technologien bereichern heute den Messalltag mit effizient und zuverlässig arbeitender Sensorik. Neueste Entwicklungen legen den Fokus auf die Ausnutzung digitaler Signalverarbeitungs- und Übertragungstechniken für die Bereitstellung robuster, wartungsarmer Messtechnik mit hoher Messgenauigkeit und geringem Energieverbrauch.

Der Beitrag gibt eine Übersicht zum aktuellen Stand der gegenwärtig am häufigsten eingesetzten Gerätetechnik für die Messung und Übertragung von Wasserständen und Durchflüssen im hydrologischen Messbetrieb. Unterschiedliche physikalische Messprinzipien werden diskutiert und anhand praktischer Anwendungsbeispiele illustriert.

Stichworte: Wasserstand, Durchfluss, Hydrometrie, Datensammler, Datenübertragung, Messtechnik

1 Einleitung

Messtechnik für die zeitnahe Bestimmung, Speicherung und Übertragung von Wasserständen und Durchflüssen ist heute essentiell für jeden Hydrologen. Man kann nicht bewirtschaften, was man nicht messen kann. Kein Modell arbeitet zuverlässig ohne korrekt gemessene Eingangsgrößen. Kein Wasserbauwerk kann geplant, errichtet und betrieben werden ohne die Kenntnis darüber, welchen Wasserständen und Durchflüssen es genügen muss. Was mit einfachen mechanischen Hilfsmitteln und Geräten vor Jahrhunderten begann, hat sich im Laufe der Zeit zu einer komplexen, technisch ausgefeilten und leistungsfähigen hydrometrischen Infrastruktur entwickelt. Moderne Pegelstationen arbeiten heute weitestgehend autark, erheben redundante Messdaten und übertragen diese online an die Messwertzentrale. Internetbasierende Applikationen visualisieren Wasserstände und Durchflüsse in Echtzeit und ermöglichen so jederzeit einen ungehinderten Zugriff auf wichtige Umweltinformationen. Die dabei zur Anwendung kommenden Messgeräte und – methoden sind so vielschichtig und variabel wie die Messbedingungen im Feld selbst. Ein umfangreiches, detailliert ausgeführtes Nachschlagewerk rund um dieses Thema steht seit 2010 mit dem

von *Morgenschweis* veröffentlichten Kompendium „Hydrometrie – Theorie und Praxis der Durchflussmessung in offenen Gerinnen“ zur Verfügung. Im Folgenden werden beispielhaft die heute im gewässerkundlichen Routinemessbetrieb am häufigsten angewendeten Geräte und Verfahren skizziert.

2 Sensorik zur Messung von Wasserständen

2.1 Die Pegellatte

Die Pegellatte gehört zweifellos zur Standardausrüstung jeder gewässerkundlichen Messstelle und verkörpert de facto die Urform einer Wasserstandsmessung. Ihre Ablesung erfolgt visuell bei Bedarf bzw. in festgelegten Ableseintervallen. Sie sollte bei allen zu erwartenden Wasserstände noch benetzt sein. Als Faustwert für die zu erwartenden Genauigkeit hat sich in der Praxis ein Wert von ± 1 cm etabliert.

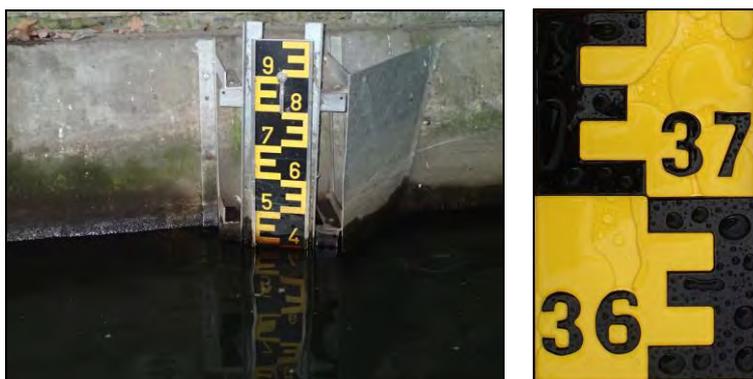


Abbildung 1: Pegellatten mit cm – Teilung (Fotos: HydroTec Berlin GmbH)

2.2 Der Schwimmerpegel

Pegel mit Schwimmern werden seit über 100 Jahren für die Messung des Wasserstandes in einem Schwimmerschacht oder einem Pegelstandrohr eingesetzt. Sie bestehen aus einem Schwimmer, einem Schwimmerseil mit Gegengewicht und einer Registriereinrichtung (Schreibstreifen oder Winkelcodierer). Schwimmerschächte dämpfen die kurzfristigen Wasserspiegelschwankungen im Gewässer (z.B. hervorgerufen durch Schiffsverkehr) und sind daher häufig an schiffbaren Wasserstraßen zu finden. Die Kombination eines Schwimmersystems mit einem Winkelcodierer gehört vielerorts zum Ausrüstungsstandard. Winkelcodierer wandeln die Drehbewegung des Schwimmerrades in ein elektrisches Signal um. Dieses wird anschließend auf einem angeschlossenen Datensammler gespeichert und in einen Wasserstandswert umgewandelt. Schwimmerpegel messen millimetergenau und sind leicht zu bedienen.

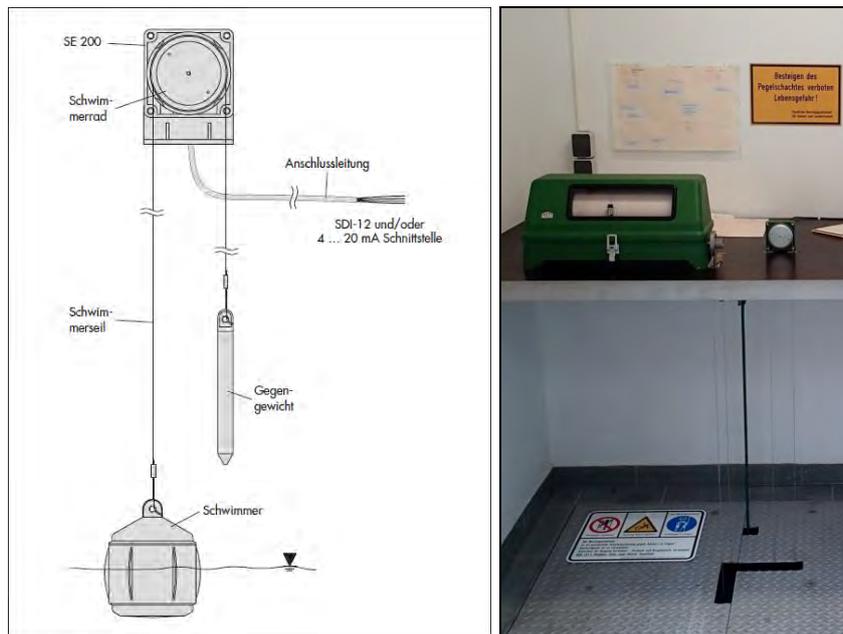


Abbildung 2: Prinzip der Wasserstandsmessung mit einem Schwimmermesssystem und Winkelcodierer (*Bedienungsanleitung OTT SE 200*) und Schwimmermesssystem in einem Pegelhaus (*Foto: HydroTec Berlin GmbH*).

2.3 Drucksonden

Drucksonden werden im Grund- und Oberflächenwasser eingesetzt. Sie wandeln den hydrostatischen Druck einer Wassersäule in ein elektrisches Signal um (kapazitive Änderung infolge der mechanischen Verformung der Drucksondenmembran).

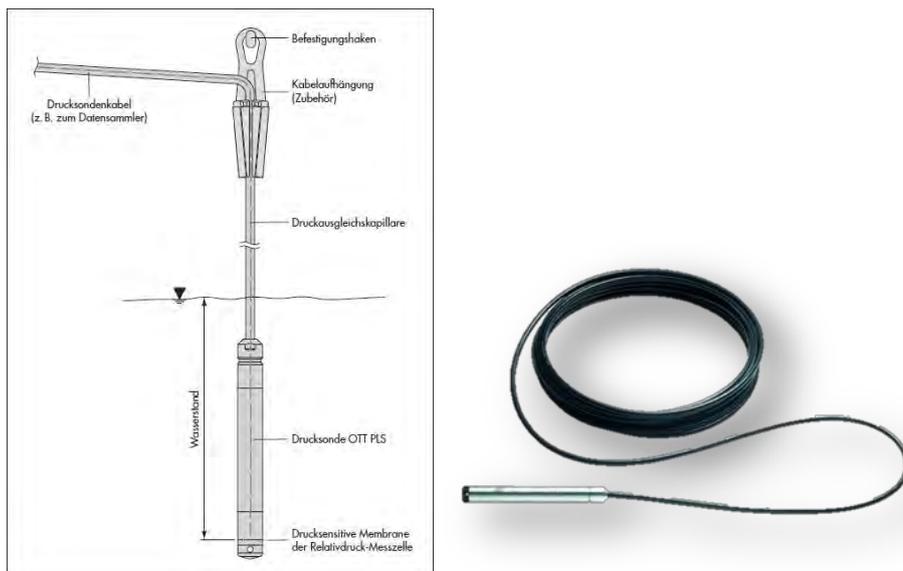


Abbildung 3: Prinzip der Wasserstandsmessung mit einer Drucksonde und Drucksonde OTT PLS (*Bedienungsanleitung OTT PLS, OTT Werksprospekt*)

In der Regel werden die Drucksondenkabel mit einer Kapillare zum Ausgleich des Luftdruckes versehen (Relativdrucksonden). Fehlt diese Kapillare spricht man von Absolutdrucksonden. Der Luftdruck muss dann separat erfasst und vom gemessenen Absolutdruck abgezogen werden. In der Praxis haben sich Drucksonden mit einer keramischen Membran als außerordentlich robust und langzeitstabil erwiesen. Drucksonden gibt es als einfache Variante für den Anschluss an externe Datensammler als auch in Kombination mit einem integrierem Speicherbaustein und einer Kommunikationseinheit. Letzteres macht sie praktisch zu einem autark messenden System. Ihre Messgenauigkeit beträgt wenige mm. Der Messbereich erstreckt sich je nach Hersteller und Gerät auf bis zu 100 m. Drucksonden sind auch mit integrierter Temperaturmessung und eingebautem Leitfähigkeitssensor erhältlich.

2.4 Einperlpegel

Einperlpegel erfassen den hydrostatischen Druck einer Wassersäule über einer Einperlöffnung. Druckluft, welche mithilfe intelligenter Pumpstrategien durch eine Kolbenpumpe erzeugt wird, perlt über einen Einperltopf in das zu messende Gewässer ein. Der Druck, welcher sich in der Einperlleitung einstellt, ist direkt dem hydrostatischen Druck über der Einperlöffnung proportional. Nacheinander werden der barometrische Luftdruck und der Druck über der Einperlöffnung gemessen. Die Höhe der Wassersäule ergibt sich aus der Differenzbildung. Diese Art der indirekten Wasserstandsmessung ist hochgenau (± 5 mm bei 30 m Messbereich) und vor allem driftfrei. Einperlpegel sind wie Drucksonden sowohl für den Einsatz im Grund- als auch im Oberflächenwasser geeignet.

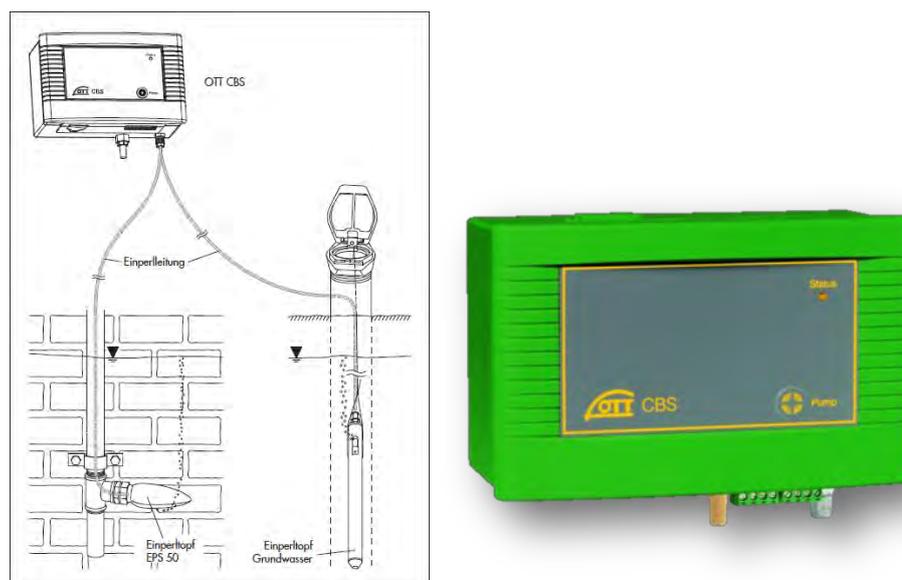


Abbildung 4: Prinzip der Wasserstandsmessung mit einem Einperlpegel für Oberflächen- und Grundwasser und OTT CBS (*Bedienungsanleitung OTT CBS, OTT Werksprospekt*)

2.5 Radarpegel

Radarpegel kommen für die berührungslose Pegelmessung in Oberflächengewässern zum Einsatz. Basierend auf der Laufzeit elektromagnetischer Wellen (Mikrowellen) vom Sensor zur Wasseroberfläche und zurück wird eine Abstandsmessung durchgeführt. Bei bekanntem Bezugsniveau kann daraus im Anschluss der Pegelstand ermittelt werden. Messgenauigkeiten von bis zu 3 mm sind möglich. Radarsensoren arbeiten langzeitstabil und wartungsarm.

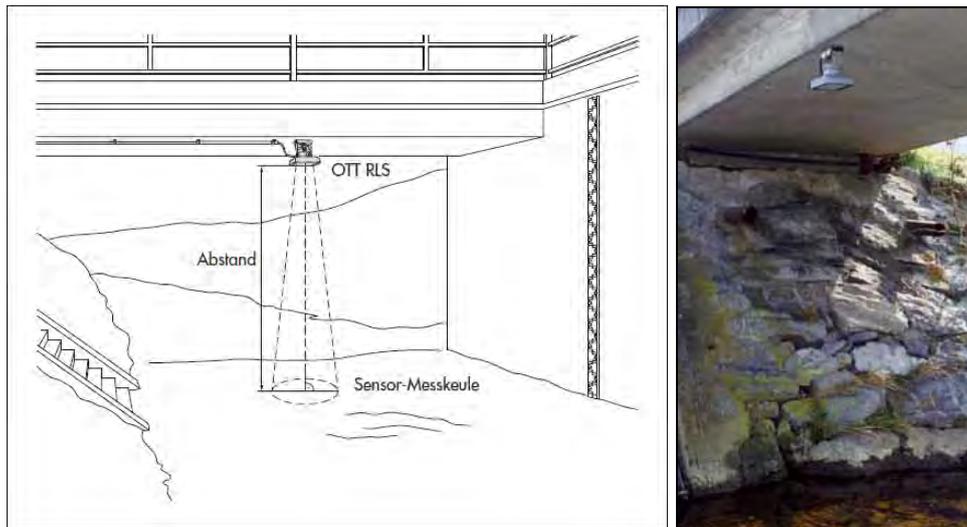


Abbildung 5: Messprinzip der Wasserstandsmessung mit einem Radarsensor und OTT RLS im Feldeinsatz (*Bedienungsanleitung OTT RLS; OTT Werksprospekt*)

3 Sensorik zur Messung von Durchflüssen

3.1 Übersicht

Durchflüsse können sowohl direkt (Gefäßmessung von Quellschüttungen) als auch indirekt gemessen werden. Abbildung 6 zeigt hierzu eine Übersicht.

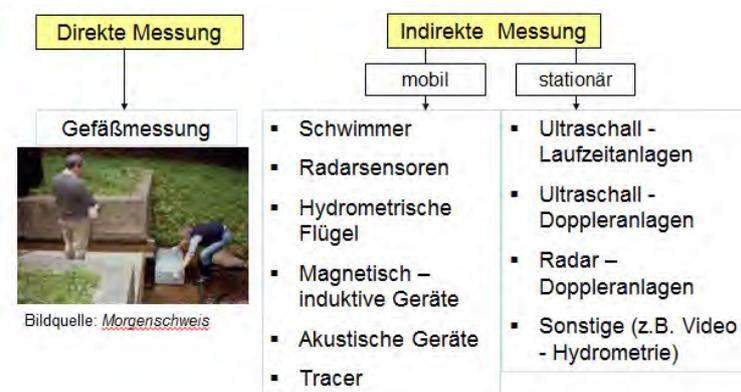


Abbildung 6: Übersicht zu Durchflussmessmethoden und – geräten

Traditionell hat sich über die Jahrhunderte hinweg der hydrometrische Messflügel als Standardmessgerät etabliert (Abbildung 7).



Abbildung 7: Hydrometrischer Flügel OTT C 31 (*OTT Werksprospekt*)

Sein Einsatz aber war und ist nach wie vor zeitaufwändig, wartungsintensiv und zudem nicht an allen Messstellen möglich. Daher erwies sich die Einführung von ADCP – Geräten (akustische Doppler – Strömungsprofiler) vor ca. 25 Jahren als eine geradezu bahnbrechende Innovation.

3.2 Ultraschall – Doppler – Geräte

Ultraschall – Dopplergeräte messen unter Ausnutzung des Doppler – Effektes die Geschwindigkeit strömender Partikel im Wasser und damit die Fließgeschwindigkeit des Wassers selbst. Sie sind sowohl für den mobilen Einsatz als auch für den stationären Betrieb verfügbar. Im mobilen Bereich haben sich vor allem die ADCP – Geräte, mit denen man vom bewegten Boot aus den Durchfluss messen kann, zu einem Standardinstrumentarium des gewässerkundlichen Routinemessbetriebs entwickelt. Ihr Vorteil liegt eindeutig in der Zeitersparnis für eine Messung, der flexiblen Anwendbarkeit und der hochauflösenden Geschwindigkeitsinformation. Der auf einem schwimmenden Geräteträger fixierte ADCP – Sensor misst während der Gewässerquerung die Fließgeschwindigkeit im vertikalen Strömungsprofil nach Richtung und Betrag, die Bootsgeschwindigkeit über Grund und die Wassertiefe und berechnet daraus den Durchfluss.

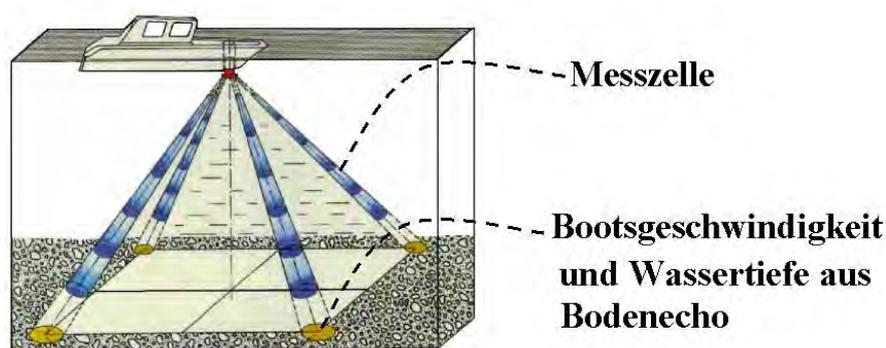


Abbildung 8: Messprinzip der ADCP – Messung mit bewegtem Boot (*Grafik: Adler*)

Für ausführliche Informationen zum ADCP – Messvorgang lohnt sich ein Blick in die Vielzahl von Publikationen sowie in den 2010 veröffentlichten Bericht *ISO/TR 24578*. Auch das klassische Lotrechtenverfahren nach *DIN EN ISO 748* lässt sich heute mit akustischen Dopplersensoren, montiert an der Flügelstange oder als Bootsvariante, durchführen.

Für stationäre Messungen haben sich in den letzten Jahren zunehmend horizontale Dopplergeräte gegenüber klassischen Ultraschall - Laufzeitanlagen durchgesetzt. Horizontaldoppler bestimmen den Durchfluss über das Geschwindigkeits – Index – Verfahren. Ein am Ufer befestigtes Gerät sendet Schallimpulse horizontal in das Gewässer aus und misst die Fließgeschwindigkeiten in einzelnen Messzellen eines definierten Messbereiches. Dieser Messbereich wird idealerweise dort angeordnet, wo die Strömung gut durchmischt ist und die Fließgeschwindigkeit sich in der Nähe des Maximums befindet.

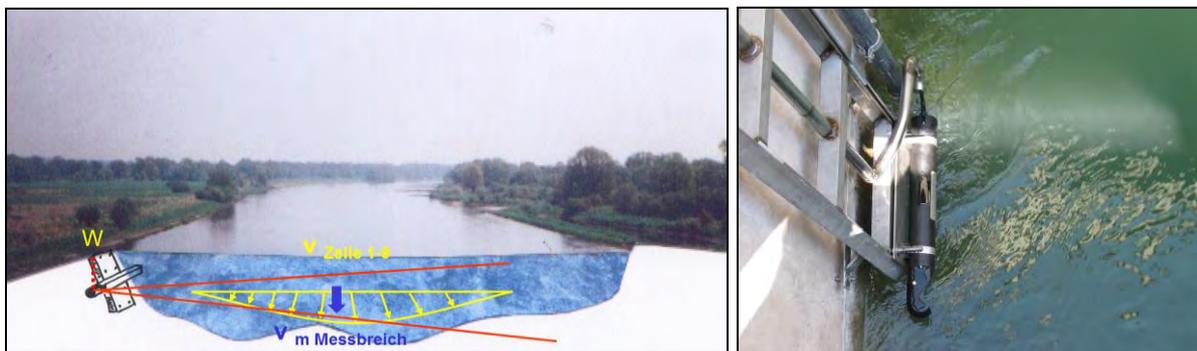


Abbildung 9: Messprinzip der Messung mit horizontalen Dopplergeräten und OTT SLD

Die Durchflussberechnung erfolgt über die allgemeine Kontinuitätsgleichung als Produkt aus mittlerer Querschnittsgeschwindigkeit v_m und durchströmter Querschnittsfläche A (Gleichung 1), wobei sich v_m durch Multiplikation der lokal gemessenen Indexgeschwindigkeit $v_{m \text{ Messbereich}}$ mit einem durch hydrometrische Kalibriermessungen ermittelten Korrekturfaktor ergibt.

$$Q = v_{m \text{ Messbereich}} \cdot k \cdot A \quad (1)$$

Entsprechen die Messbedingungen den Anforderungen nach der für Horizontaldoppler geltenden Norm *ISO 15769*, so kann mit Genauigkeiten der Durchflussbestimmung von $\leq 5\%$ gerechnet werden.

3.3 Magnetisch – induktive Sensoren

Parallel zur Entwicklung akustischer Messtechnik wurden beginnend mit den 80-er Jahren vor allem für die Messung in verkrauteten Messquerschnitten magnetisch – induktive Messsensoren entwickelt. Deren Messprinzip basiert auf dem Faraday'sches Gesetz. Die im Wasser vorhandenen Ladungsträger (Ionen) durchströmen ein magnetisches Feld und erzeugen dabei eine Spannung, welche

proportional zur Fließgeschwindigkeit ist. Die neueste Generation von magnetisch-induktiven Punktsensoren verfügt über eine integrierte Druckmesszelle zur Tiefenmessung sowie ein Bediengerät für die menügesteuerte Benutzerführung und Datenspeicherung.

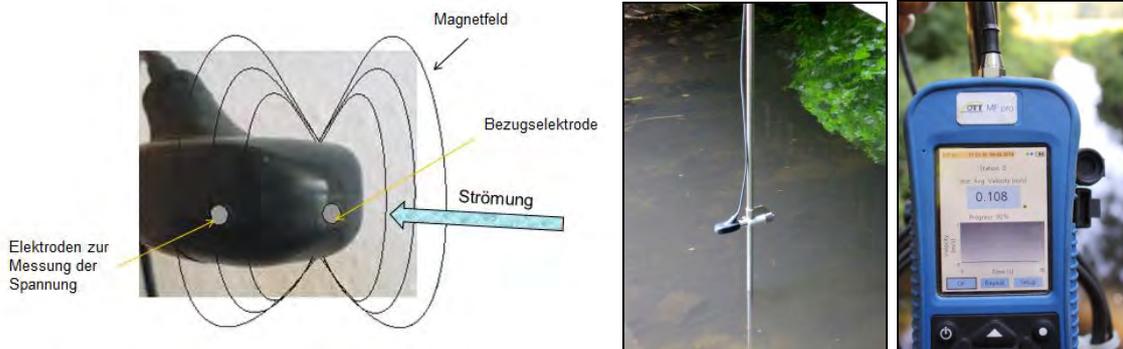


Abbildung 10: Messprinzip eines magnetisch – induktiven Strömungssensors, OTT MF pro im Feldeinsatz

3.4 Radarsensoren

Radarsensoren senden Mikrowellen in Richtung der Wasseroberfläche aus und benutzen die Frequenzverschiebung der zurückkehrenden Signale für die Ermittlung der Oberflächengeschwindigkeit (Gleichung 2). Sie benötigen daher immer einen rauen Wasserspiegel (Abbildung 11:).

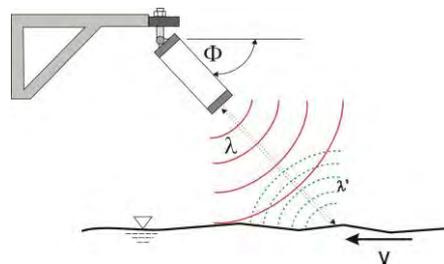


Abbildung 11: Messprinzip der Radarmessung von Oberflächengeschwindigkeiten

$$v = \Delta f \cdot k / 2 \cos \phi \quad (2)$$

mit: v - Fließgeschwindigkeit an der Wasseroberfläche
 k - Systemkonstante
 Δf - Differenzfrequenz
 λ - ausgesendete Wellenlänge
 λ' - reflektierte Wellenlänge

Radarsensoren sind für den mobilen als auch stationären Einsatz verfügbar. Mobile Geräte werden entweder auf einem Stativ montiert, mit ruhiger Hand gehalten oder an verschiebbaren Halterungen für Brückengeländer und Seilkrananlagen befestigt. Stationäre Geräte montiert man unter Brücken oder an Kragarmen.

Kombiniert mit einem Sensor für die Messung des Wasserstandes und einem intelligenten Datensammler entstehen so kontinuierlich arbeitende Durchflussmesssysteme.

3.5 Video – Hydrometrie

Die Video Hydrometrie basiert auf der Aufnahme und Auswertung von Filmaufnahmen der Wasseroberfläche mit einer internetfähigen Netzwerkkamera. Die Kamera sendet die aufgenommenen Bildsequenzen online an einen FTP – Server, wo sie im Anschluss für die digitale Bildanalyse zur Verfügung stehen. Leistungsfähige Softwarealgorithmen werten diese aus und ermitteln aus den Aufnahmen den Wasserstand, die Fließgeschwindigkeit sowie den Durchfluss. Um genaue Ergebnisse zu erhalten, müssen eine sorgfältige Kalibrierung vorgenommen sowie eine topografische Modellierung des Standortes durchgeführt werden.



Abbildung 12: Video Hydrometrie mit einer Netzwerkkamera und Beispiel für die Teilchenverfolgung an der Wasseroberfläche (Foto rechts: Tenevia)

4 Datenspeicherung und – übertragung

Traditionell wurden und werden vielerorts noch heute die gemessenen Daten vor Ort von Datensammlern registriert und über eine Modemverbindung von der Datenzentrale aus abgerufen (Abbildung 13, linkes Schema).

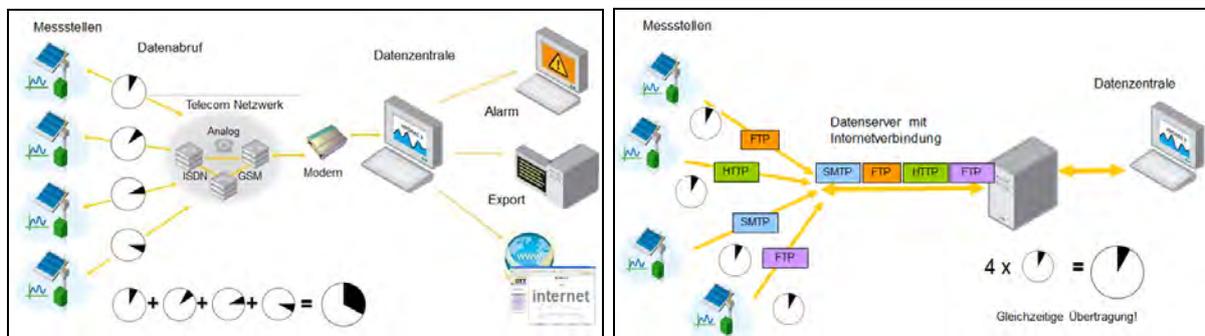


Abbildung 13: Klassischer Datenabruf (links) und IP – Kommunikation (rechts)

Dieser zeit- und kostenintensive Übertragungsweg wird gegenwärtig nach und nach durch internetprotokollbasierende Kommunikationsstrecken abgelöst. Sobald die Daten auf einem Server angekommen sind, stehen sie für unterschiedlichste Applikationen zur Visualisierung und Weiterverarbeitung zur Verfügung. Datensammler sind heute kleine, flexible Einheiten, die in der Regel über einen integrierten Webserver und eine Vielzahl von standardisierten Schnittstellen verfügen. Sie können angeschlossene Sensoren parallel verarbeiten und Momentanwerte auf einem Display vor Ort zur Anzeige bringen. Ein extrem niedriger Stromverbrauch ermöglicht den autarken Betrieb mit Solarenergie oder Brennstoffzellen. Einrichtung und Betrieb werden durch intuitive Bediensoftware erleichtert. Abbildung 14 zeigt die speziell für den Einsatz in Hydrologie und Meteorologie entwickelten Datensammler OTT netDL 500 und OTT netDL 1000.



Abbildung 14: IP – fähige Datensammler OTT netDL 500 / 1000 (*OTT Werksprospekt*)

5 Literatur

- Morgenschweis, G. (2010): Hydrometrie – Theorie und Praxis der Durchflussmessung in offenen Gerinnen. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2010
- ISO/TR 24578:2012-05, Hydrometry - Acoustic Doppler profiler - Method and application for measurement of flow in open channels
- ISO 15769:2010(E), Hydrometry – Guidelines for the application of acoustic velocity meters using Doppler and echo correlation methods
- DIN EN ISO 748:2008-02, Hydrometry – Measurement of liquid flow in open channels using current-meters or floats (ISO 748:2007)

Autor:

Dipl.-Ing. Stefan Siedschlag

OTT Hydromet GmbH
Ludwigstr. 16
87437 Kempten

Tel.: +49 30 83 22 63 71
E-Mail: s.siedschlag@ott.com