

# **Aktuelle Entwicklungen im gewässerkundlichen Messnetz des Freistaats Sachsen**

**Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Referat Landeshochwasserzentrum/Gewässerkunde**

## **Zusammenfassung.**

Das Pegelnetz in Sachsen hat in Abhängigkeit veränderter Fragestellungen eine historische Entwicklung erfahren. Seit den 1990er Jahren erfolgt eine beständige Ertüchtigung, bei der Fragen der Messprofilgestaltung mit weitgehend unveränderlichem Querschnitt, der Hochwassersicherheit, der Messbarkeit von Hochwasserabflüssen und der Datenverfügbarkeit in den Vordergrund gerückt sind. Mobile und stationäre Ultraschalltechnik ermöglichen Datenerhebungen in Bereichen, die durch herkömmliche Technik nicht adäquat behandelt werden können. Fortschritte in der Datenverfügbarkeit unter extremen Bedingungen wird durch Redundanz von Messwerterfassung, Energieversorgung und Datenübertragung erreicht.

## **1 Aufgaben des Pegelnetzes**

Als Anleitung zur Errichtung und den Betrieb von gewässerkundlichen Pegeln steht in Deutschland die Pegelvorschrift [5] zur Verfügung, die von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), einem Zusammenschluss der für die Wasserwirtschaft und das Wasserrecht zuständigen Ministerien der Bundesländer und des Bundes, herausgegeben wird. Neben allgemeinen Prämissen für gewässerkundliche Beobachtungen und Auswertungen im Stammtext der Vorschrift werden in fünf Anlagen Anweisungen zum Bau, zur technischen Ausrüstung, zum Beobachten und Warten, zur Festlegung und Erhaltung der Pegel in ihrer Höhenlage sowie zum Messen und Ermitteln von Abflüssen und Durchflüssen gegeben. Damit liegt ein Standard vor, der in Deutschland in Bezug auf die grundsätzlichen Fragen der gewässerkundlichen Beobachtung eine einheitliche Herangehensweise ermöglicht.

Darüber hinaus gibt die LAWA mit [6] und [7] weitere Hinweise und Empfehlungen zu Rahmenbedingungen, Aufgaben, Anforderungen und Abgrenzungen für den Mess- und Beobachtungsdienst in Bezug auf Pegel und Pegelnetze.

Gewässerkundliche Pegel müssen neben vielen anderen Aspekten geeignet sein, sowohl die regionale Vielfalt der Einzugsgebiete unter Berücksichtigung ihrer variierenden meteorologischen, morphologischen und geologischen Verhältnisse zu erfassen, als auch Daten in einer den Aufgaben entsprechenden hohen Qualität und Zuverlässigkeit zu liefern. Nur damit kann die Voraussetzung für eine Übertragbarkeit der punktuell

erhobenen Daten auf unbeobachtete Gewässerquerschnitte im Sinne einer Regionalisierung geschaffen werden.

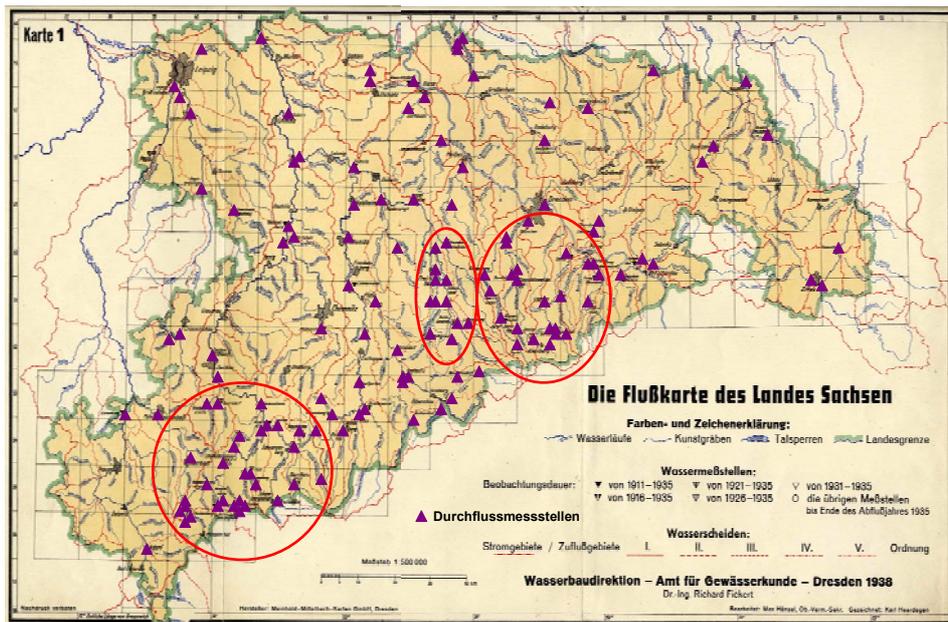
Aus dem möglichen Aufgabenspektrum gewässerkundlicher Pegel gehören in Sachsen traditionell die Bereitstellung von Wasserstands- und Abflussdaten zur Bemessung und Bedienung von Anlagen, zur Festlegung des Umfangs von Ausbaumaßnahmen sowie für wasserrechtliche Festlegungen in Aus- und Einleitungsfragen zu den herausragenden Anforderungen. Die Einrichtung des staatlichen Messnetzes zu Beginn des 20. Jahrhunderts und sein Betrieb finden ihren Grund jedoch nicht zuletzt in der Notwendigkeit zur Datenerhebung für den Hochwassernachrichtendienst.

## **2 Entwicklung des Pegelnetzes**

Das hydrologische Messnetz in Sachsen hat unter den oben genannten Gesichtspunkten eine historische Entwicklung erfahren, die zum einen durch lokale Erfordernisse und zum anderen durch die Verfügbarkeit geeigneter, den Forderungen der jeweils gültigen Pegelvorschrift entsprechender Standorte geprägt ist.

Beginnend mit sporadischen Beobachtungen seit dem 18. Jahrhundert war für die Entwicklung eines modernen Pegelnetzes in Sachsen das Hochwasser im Sommer des Jahres 1897 von besonderem Ausschlag [3]. Im Zusammenhang mit der Herausbildung spezialisierter Wasserwirtschaftsbehörden kam es 1903 zur Einrichtung einer Vielzahl von Lattenpegeln an gut zugänglichen Gewässerstellen (besonders Brücken) unabhängig von eventuell bestehenden Umfluten in Form von Mühlgräben. Zweck dieser Pegel war das schnelle Erkennen beginnender Hochwassergefahren („Hochwasserpegel“), wozu zweimal täglich die Ablesung des Wasserstandes erfolgte. In Kenntnis der Nichteignung dieser Standorte für Durchflussmessungen und der an diesen Pegeln erhobenen Daten für statistische Auswertungen wurden ab 1908 so genannte „Messstellen mit Schreibpegeln“ an unbeeinflussten Standorten errichtet. In [2] wird darauf verwiesen, dass es „bei der fast lückenlosen Ausnutzung des Flusswassers zur Kraftgewinnung in Sachsen ziemlich schwierig (war), geeignete, durch Wehrstau unbeeinflusste Stellen zu finden.“

Der Aufbau des Pegelnetzes (Abb. 1) war Anfang der 1920er Jahre in seinen Grundzügen abgeschlossen [3], wobei aktuelle hydrologisch-wissenschaftliche Gesichtspunkte, wie z. B. die Skalenproblematik hydrologischer Prozesse oder naturräumliche Aspekte bei Standortfestlegungen nur eine untergeordnete Rolle spielten. Verständlich wird dies zum einen durch die oben erwähnten Schwierigkeiten und Erfordernisse und zum anderen durch den zu dieser Zeit noch fehlenden Wissensstand.

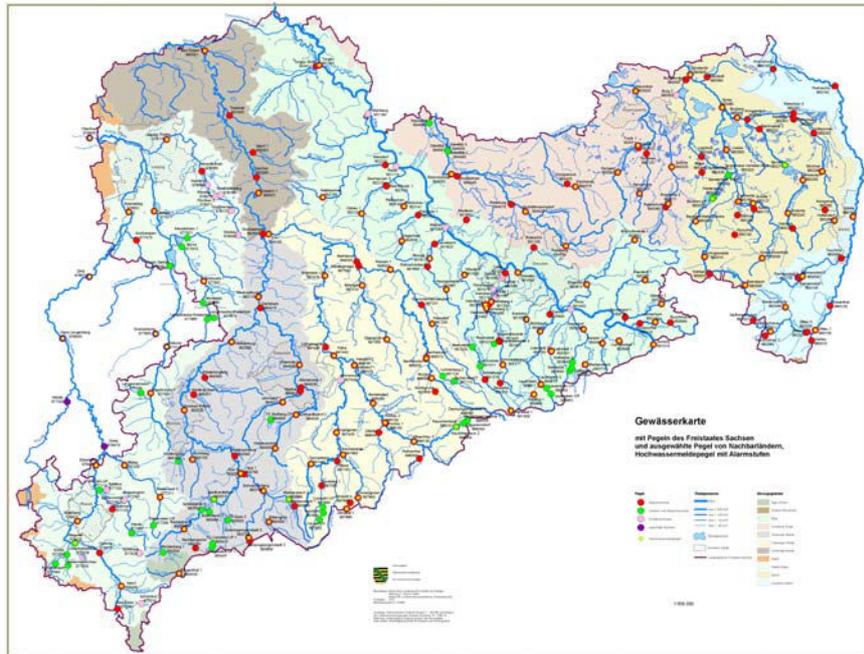


**Abb. 1:** Verteilung der Durchflusssmessstellen (Wassermessstellen) in Sachsen im Jahr 1938

Im Jahr 1938 (Abb. 1) zeigen sich die Durchflusssmessstellen noch ungleichmäßig über das damalige sächsische Territorium verteilt, wobei drei Gebiete mit Konzentrationen von Durchflusssmessstellen auffallen: Hierbei handelt es sich um das von starken Hochwassern betroffene Gebiet der Elbenebenflüsse im Osterzgebirge und das von bergmännischer Wasserwirtschaft geprägte Gebiet um Freiberg. Die Häufung von Durchflusssmessstellen im Westerzgebirge resultiert aus Untersuchungen, die zu dieser Zeit zur Erkundung von Talsperrenstandorten durchgeführt wurden.

Mit zeitlichem Fortschritt veränderte sich das Pegelnetz im Zuge des Erkennens von Standortschwächen und erforderlicher Beobachtungen bei speziellen Fragestellungen, so dass sich ein sehr heterogenes Bild in den Beobachtungslängen der Pegel ergibt.

Aktuell zeigt sich eine im wesentlichen gleichmäßige Verteilung der Pegel (Abb. 2), die nur in Ausnahmen keine Durchflusssmessstellen sind.



**Abb. 2:** Aktuelles hydrologisches Messnetz in Sachsen

Zusammenfassend ergibt sich folgendes zahlenmäßiges Bild:

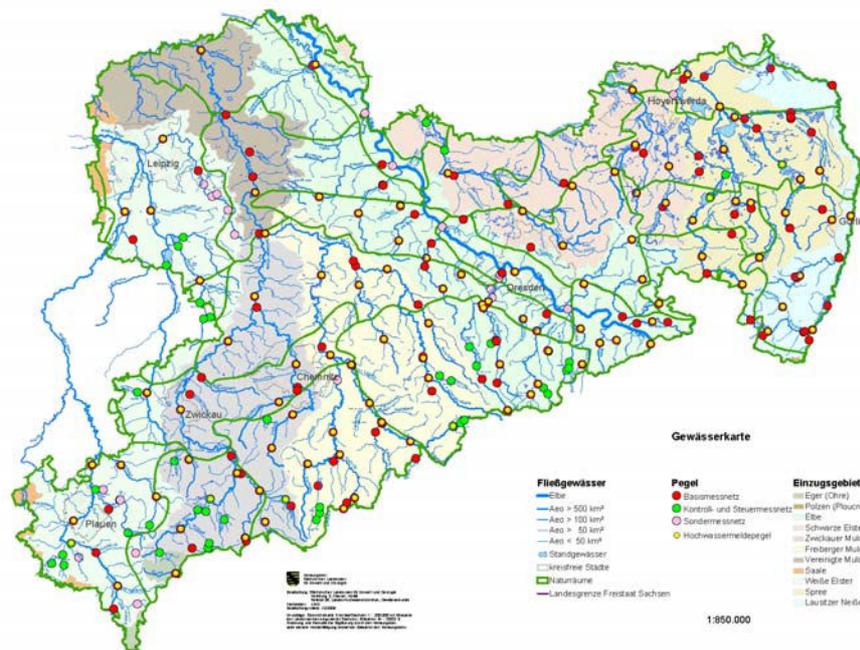
- 1927: 138 km<sup>2</sup>/Durchflussmessstelle (Sachsen in den Grenzen von 1813)
- 1979: 95 km<sup>2</sup>/Durchflussmessstelle (Gebiet der Wasserwirtschaftsdirektion Obere Elbe/Neiße)
- 2006: 102 km<sup>2</sup>/Durchflussmessstelle (Sachsen nach Neubildung des Freistaats Sachsen)

Obwohl ein direkter Vergleich aufgrund der unterschiedlichen territorialen Grenzen nicht möglich ist, lässt sich feststellen, dass sich seit etwa 80 Jahren die Größenordnung der Anzahl der Durchflussmessstellen in Sachsen nicht geändert hat.

Mit dem verbreiteten Einsatz von Modellen zur Lösung wasserwirtschaftlicher Fragestellungen jeglicher Art, insbesondere auch für operationelle Hochwasservorhersagen, stellt sich im Zusammenhang mit Parametrisierungen und Kalibrierungen immer deutlicher die Frage nach Repräsentativität und Qualität der mit dem vorhandenen Messnetz erhobenen Daten. Während letzteres direkt vom Fortschritt der Entwicklung der Messtechnik und den gegebenen hydraulischen Standorteigenschaften abhängt, sind Neuanlagen von Pegeln zur Verbesserung der Datenübertragbarkeit infolge hydraulischer Bedingungen, anthropogener

Beeinflussungen (z. B. durch Nutzungen zur Energieerzeugung), naturschutzfachlichen Belangen, der Grundstücksverfügbarkeit und nicht zuletzt der anfallenden Kosten Grenzen gesetzt.

Als mittelfristiges Ziel der Weiterentwicklung des Pegelnetzes ist demzufolge seine Optimierung unter Beachtung der Dominanz einzelner Abflusskomponenten in verschiedenen Skalen zu definieren. Mit der naturräumlichen Gliederung, die die speziellen Gebietseigenschaften insbesondere in Bezug auf Pedologie, Geologie und Morphologie integriert, kann eine grobe Bedarfsanalyse erfolgen. Aus Abb. 3 wird überblickhaft deutlich, dass Potentiale für geringfügige Änderungen im Pegelnetz bestehen.



**Abb. 3:** Pegelnetz und Naturräume in Sachsen

Mit den seit den 1990er Jahren vorhandenen Möglichkeiten ist der Freistaat Sachsen bemüht, durch Pegelrekonstruktionen und -neubauten hohen qualitativen Forderungen gerecht zu werden und die Repräsentativität der erhobenen Daten zu erhöhen. Beispiele dafür sind in den folgenden Abschnitten zusammengestellt.

### **3 Bauliche Gestaltung**

Die Fließgewässer weisen aufgrund der geografischen Bedingungen in Sachsen, die von Tieflands- bis in Mittelgebirgslagen reichen, und anthropogenen Beeinflussungen ein breites Spektrum an Eigenschaften auf. Beispielhaft seien aufgeführt:

- stark schwankende Wasserstände und Abflüsse,
- große Unterschiede zwischen Niedrig- und Hochwasser,
- starke hydraulische Beanspruchungen infolge der Gefälleverhältnisse in den Gebirgslagen, die Geröll- und Geschiebeführung bewirken,
- Treibgutbewegungen bei Hochwasser,
- Vereisungen im Winter,
- Verkrautungen vor allem im Tiefland im Sommer.

Darüber hinaus erfolgt die Ausbildung der Hochwasserwellen infolge unterschiedlicher Gewässernetzstrukturen sehr verschiedenartig.

Unter diesen Randbedingungen stellen definierte und unveränderliche Messquerschnitte im Gewässer eine zentrale hydraulisch begründete Forderung bei der Errichtung oder Rekonstruktion von Pegelanlagen dar. Der dafür u. U. notwendige Gewässerausbau kann bei Erhalt der Fischdurchgängigkeit auf ein Mindestmaß beschränkt werden. Bewährt hat sich in diesem Zusammenhang die Befestigung der Ufer im Pegelbereich und bei Gewässerbreiten bis maximal 20 m der Einbau von 4 bis 6 m langen Sohlplatten aus Beton mit befestigter An- und Ablaufstrecke vor allem an gefällereichen Gewässerstrecken im Mittelgebirgs- und Hügellandbereich. In Abhängigkeit des Wasserspiegelgefälles kann ein geringfügiges Gegengefälle der Sohlplatte bis maximal 3 % eine Glättung des Wasserspiegels bewirken, die eine weitgehend exakte Bestimmung der Wassertiefe bei Durchflussmessungen gewährleistet, und noch keine Versandungserscheinungen zeigt. Diese Konstruktionen sind im Grunde eine Modifikation des PARSHALL-Messkanals nach [1], die an die natürlichen Gegebenheiten angepasst werden.

Die Erfahrungen spätestens aus dem August-Hochwasser 2002 haben gezeigt, dass die Sicherung der Gewässersohle wesentlich für die beständige Funktion einer Pegelanlage über längere Zeiträume ist. Folglich trägt auch eine stabile Wasserstands-Durchfluss-Beziehung zur permanenten Sicherung der Datenqualität bei.

Darüber hinaus stellt die Betriebssicherheit der Anlage bei Hochwasser einen wesentlichen Fakt dar, um den gesetzlichen Verpflichtungen zur Warnung der betroffenen Bevölkerung nachzukommen. Unter Abwägung der wirtschaftlichen

Machbarkeit wird bei Pegelneubauten und –rekonstruktionen in Sachsen versucht, die Anlage hinsichtlich ihres Bautenstandes und ihrer technischen Ausrüstung so hochwassersicher wie möglich zu gestalten. Dazu werden neben den üblichen extremwertstatistischen Angaben auch die Beobachtungen abgeflossener Hochwasser und deren Auswirkungen am Standort betrachtet.

Die Erfassung von Hochwasserabflüssen ist aus verschiedenen Gründen, insbesondere durch das gegebene Gefahrenpotential für Gesundheit und Leben bei Tätigkeiten in unmittelbarer Nähe starker Strömungen, oftmals problematisch, woraus in der Regel ungenügend mit Messungen belegte Wasserstands-Durchfluss-Beziehungen im Hochwasserbereich resultieren. Folglich ist auch die Datenqualität eingeschränkt. Um hier Verbesserungen zu erreichen, wurden seit 1992 in Sachsen 23 Seilkrananlagen an Pegeln mit großen Gewässerbreiten und 15 Messstege an kleineren Gewässern errichtet, deren Bau aufgrund fehlender Kapazitäten bis dahin nicht möglich war. Diese haben zu einer deutlichen Verbesserung der Datensituation und wesentlich zur Arbeitserleichterung des Messpersonals<sup>1</sup> beigetragen.

#### **4 Durchflussermittlung**

In Sachsen ist der hydrologische Messdienst standardmäßig mit hydrometrischen Flügeln ausgestattet. Unter bestimmten Bedingungen werden ergänzend magnetisch-induktive Messsonden und Salzverdünnungsmessgeräte eingesetzt.

Mit dem Einsatz von drei ADCP-Messbooten (Abb. 4) sowohl an Seilkrananlagen als auch von Brücken aus konnte seit 2002 die Anzahl der Durchflussmessungen bei Hochwasser infolge verkürzter Messdauern gegenüber Flügelmessungen vervielfacht werden. Das damit verbundene Messverfahren und die dazugehörige Software stellen jedoch an das Messpersonal einen höheren Qualifikationsanspruch.

---

<sup>1</sup> Das Pegelnetz in Sachsen wird durch die Staatliche Umweltbetriebgesellschaft (UBG) betrieben, die als Staatsbetrieb auch für den Pegelbau zuständig ist. Dem Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie obliegt die Fachaufsicht über die UBG.



**Abb. 4:** ADCP-Messboot

Die oben erwähnte Problematik der Verfügbarkeit geeigneter Pegelstandorte führt(e) in Einzelfällen zur Errichtung von Pegelanlagen in Rückstaubereichen, die u. U. erst beim Ablauf von Hochwassern offenkundig werden, sofern in der Planungsphase keine hydraulische Simulationen erfolgt sind. An diesen Standorten bieten sich stationäre Ultraschallmesssysteme in Form von Laufzeit-Differenz- oder Horizontal-ADCP-Anlagen an, die seit 2002 erstmals in Sachsen am Pegel Wolkenburg/Zwickauer Mulde im Einsatz sind und einer umfangreichen Testung unterzogen wurden. Dabei hat sich gezeigt, dass eine Verbesserung der Genauigkeit der ermittelten Durchflüsse durch verfeinerte Anlagenkalibrierung und Optimierung der Sensorstandorte auf Grundlage der Simulation der profil- und wasserstandsabhängigen Geschwindigkeitsverteilung mit Hilfe eines hochauflösenden Strömungsmodells [4] erreichbar ist.

## **5 Technische Ausrüstung**

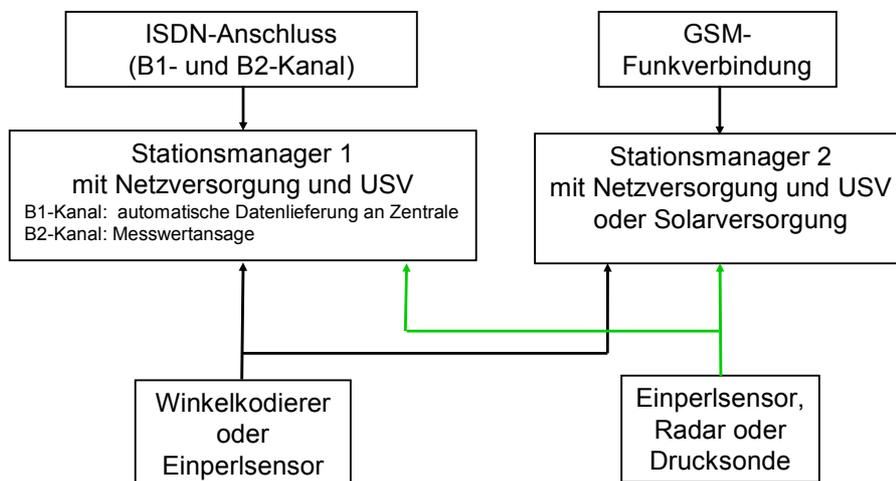
Im Hinblick auf die massiven Datenausfälle unter Katastrophenbedingungen während des August-Hochwassers 2002 waren im Kontext mit der baulichen Sicherheit der Pegelanlagen gegen Hochwassereinflüsse auch Überlegungen zur weitgehend ausfallsicheren technischen Ausrüstung notwendig. Dazu wurde im Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie im Jahr 2003 eine Ausrüstungskonzeption erarbeitet, die für die wichtigsten Pegel des Messnetzes, insbesondere für Hochwassermelde- und Hochwasservorhersagemodell-Pegel, Redundanz sowohl für die Messwerterfassung (Sensortechnik) und deren Energieversorgung als auch für die

Datenübertragung vorsieht. In diesem Zusammenhang erfolgte eine Priorisierung der technisch möglichen Ausrüstung bezüglich der einzelnen Kompartimente, die im wesentlichen für die

- Wasserstandsmessung das Schwimmerprinzip vor Einperl- und Radarsensorik,
- Energieversorgung in der Reihenfolge Festnetzanschluss, Solarstromversorgung oder Akku-/Brennstoffzellenbetrieb,
- Datenübertragung das Telefon-Festnetz vor GSM-Netz, Bündelfunk und Satellitenübertragung

festlegt.

Abb. 5 zeigt schematisch die redundante Datenerfassung und –übertragung mit gekreuzten Datenwegen im Pegel.



**Abb. 5:** Redundante Pegeltechnik

Zur Verhinderung von Überspannungsschäden an den elektronischen und elektrotechnischen Einrichtungen der Pegel sind umfangreiche Maßnahmen erforderlich.

Trotz weit reichender Vorkehrungen sind nicht nur im Katastrophenfall sowohl die Unterbrechung der Datenverbindung als auch die Zerstörung der technischen

Einrichtungen nicht ausschließbar. Für solche Fälle kann auf den ehrenamtlichen Pegelbeobachter nicht verzichtet werden, der eine Datenerfassung und -übermittlung in eingeschränktem Maße aufrecht erhalten kann.

### **Literatur**

- [1] DIN EN ISO 772: Hydrometrische Festlegungen – Begriffe und Zeichen, Beuth Verlag 2004
- [2] Fickert, Richard: Forschungsarbeiten des Sächsischen Amtes für Gewässerkunde. Der Kulturtechniker 1927, H. 3
- [3] Fügner, Dieter: Die historische Entwicklung des hydrologischen Meßwesens in Sachsen. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 34 (1990), H. 5/6
- [4] Kölling, Christian: Hochwasserkalibrierung der von der UBG Leipzig geplanten stationären H-ADCP-Durchflussmessanlage Leisnig/Freiburger Mulde. Internationales Seminar „Akustische Doppler Geräte (ADCPs) in der Hydrometrie – Möglichkeiten einer innovativen Technik“, Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz 2005 (<http://www.isar-consult.de>)
- [5] LAWA: Pegelvorschrift – Stammtext. 4. überarbeitete Auflage, Berlin/Bonn: Kulturbuchverlag 1997
- [6] LAWA: Leitlinien eines zukunftsfähigen gewässerkundlichen Mess- und Beobachtungsdienstes. Schwerin 2000
- [7] LAWA: Gewässerkundliche Pegel – Aufgaben, Anforderungen, Abgrenzungen. Schwerin 2001