

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Köhler, Uwe; Ott, Thomas; Glöckner, Christian**

## **Betrieb der Ultraschalldurchflussmessanlage Pegel Wolkenburg / Zwickauer Mulde**

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische  
Hydromechanik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103384>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Köhler, Uwe; Ott, Thomas; Glöckner, Christian (2015): Betrieb der Ultraschalldurchflussmessanlage Pegel Wolkenburg / Zwickauer Mulde. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Messen und Überwachen im Wasserbau und am Gewässer. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 53. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 241-252.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



## Betrieb der Ultraschalldurchflussmessanlage Pegel Wolkenburg/Zwickauer Mulde

Uwe Köhler, Thomas Otto, Christin Glöckner

Die Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft betreibt u.a. die staatlichen sächsischen Pegel des Basismessnetzes und die Hochwassermeldepegel. Die erhobenen gewässerkundlichen Rohdaten werden primärstatistisch ausgewertet und vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie nach Prüfung der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Der Betrieb der Pegel und die Auswertung der Daten erfolgen gemäß Pegelvorschrift des Bundesministeriums für Verkehr und der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (*LAWA 1988, 1997*).

Der 1960 in Betrieb gegangene Hochwassermeldepegel Wolkenburg an der Zwickauer Mulde wurde seit 1990 umfangreich aufgerüstet und verfügt über ein fast vollständiges Spektrum an derzeit verfügbaren Messsystemen für die Datenerhebung der Parameter Wasserstand und Durchfluss.

Mit erheblichem wasserbautechnischem Aufwand wurde der Pegel als Pilotanlage für die Installation der ersten stationären Ultraschalldurchflussmessanlage in Sachsen im Jahr 2001 umgebaut.

Aufgrund einer rückstaubedingten Beeinflussung durch eine unterhalb gelegene Wasserkraftanlage, die eine Aufstellung einer herkömmlichen Wasserstand-Durchfluss-Beziehung unmöglich macht, ist der Pegel mit einem Einebenen-Ultraschall-Laufzeitdifferenzsystem und einer Horizontal-Ultraschalldoppleranlage, die beide den Durchfluss kontinuierlich erfassen, ausgestattet. Für punktuelle Messungen zur Justierung der Anlagen verfügt er zudem über eine Seilkrananlage für die Durchflusserfassung mittels Messflügel oder ADCP-Messboot. Die Wasserstände werden redundant gemessen und per Datenfernübertragung weitergeleitet.

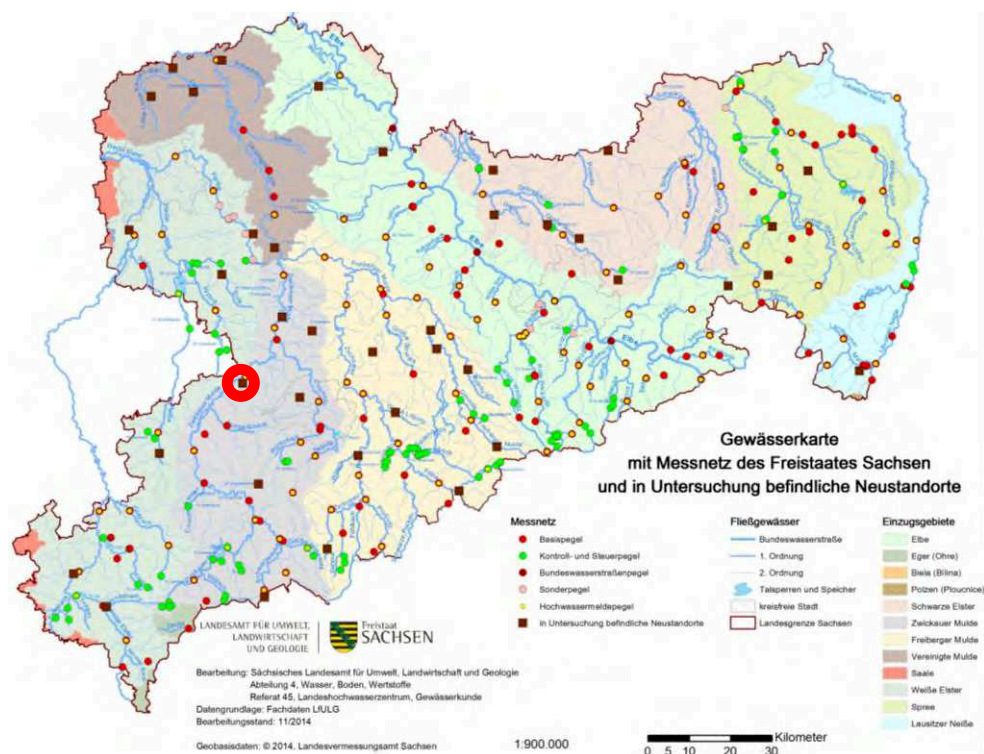
Für die Datenerhebung bei Hochwasserextremereignissen wurde für den Pegel ein hoch auflösendes Finite-Element-Strömungsmodell (SIMK<sup>®</sup>) von Kölling (2006) entwickelt, dessen K-Faktoren in die Ultraschalldurchflusssysteme implementiert sind.

Wie die Erfahrungen aus dem nunmehr 13-jährigen Betrieb zeigen, haben sich die unterschiedlichen Messsysteme auch unter den Bedingungen der extremen Hochwässer von 2002 und 2013 bewährt. Jedoch sind hydrologische und meteorologische Randbedingungen sowie die Einstellungsmodifikationen und Grenzen der Messsysteme zu beachten, da diese auch zu unterschiedlichen Messergebnissen führen können, die speziell interpretiert werden müssen.

Stichworte: Pegel, Ultraschall-Durchflussmessung, ADCP, Kalibrierung

## 1 Einleitung

Der Pegel Wolkenburg an der Zwickauer Mulde ist ein Pegel des Basismessnetzes Oberflächenwasser des Freistaates Sachsen und erfüllt die Funktion eines Hochwassermeldepegels (*HWNAV 2008*).



**Abbildung 1:** Lage des Pegels Wolkenburg (*LfULG 2014*)

Er wurde 1960 eingerichtet und hat folgende hydrologische Kennwerte (*LfULG 2010, BFUL 2014*):

**Tabelle 1** Hydrologische Kennwerte Pegel Wolkenburg Reihe 1994-2012

A <sub>E</sub>	1424 km <sup>2</sup>	Pegelnul PN	207,92 m NHN
Zur Mündung	49,5 km	Sohltiefe max.	209,27 m NHN (135 cmüPN)
Profilbreite	45 m (MW)	Profilbreite	155 m (HHW)
Ausuferung	Ab ca. 400 cm üPN	Profil	Homogen durchströmt, stabil
Wasserstände	[cm ü PN]	Abflüsse	[m <sup>3</sup> /s]
NNW	209 (14.03.1996)	NNQ	4,34 (04.01.2004)
MNW	241	MNQ	6,54
MW	267	MQ	19,3
MHW	392	MHQ	168
HW2002	603 (13.08.2002)	HQ2002	674 (13.08.2002)
HHW	626 (03.06.2013)	HHQ	(~ 703 (03.06.2013))*

\*... erste vorläufige Abschätzung des HHQ, die durch weitere Untersuchungen präzisiert werden wird

Der Pegel wurde wie nachstehend beschrieben ausgestattet:

- 1960 Errichtung mit Pegelhaus, Pegelschacht und Zulaufrohr sowie Pegelschreiber
- 1970 Einstellung aufgrund schwieriger Rückstauverhältnisse wegen Steuerung einer Wasserkraftanlage
- 1993 Reaktivierung durch ehemaliges StUFA Chemnitz
- 1994 Aufbau einer Seilkrananlage (vorher nur Bootsmessungen möglich)
- 1995 erste Datenfernübertragung
- 2001 Ultraschall-Laufzeit-Differenz-Durchflussmessanlage (LDA)
- 2004 zusätzliche Horizontal-ADCP-Durchflussmessanlage (HADCP)
- 2004 redundante Datenfernübertragungseinheit
- 2007 Erstellung eines SIMK-Modell
- 2013 neuer HADCP-Sensor und Parametrisierung der Anlage

Aufgrund von Staubeinflussungen durch eine 300 m unterhalb gelegene Wasserkraftanlage war es nicht möglich, eine stabile Wasserstand-Durchfluss-Beziehung (WQB) aufzubauen. Durch die Steuerung der Wasserkraftanlage traten bei gleichen Wasserständen unterschiedliche Durchflüsse auf. Mit der damals verfügbaren Technik war es somit nicht möglich, eine korrekte Jahresstatistik für den Abfluss aufzustellen. Der Pegel wurde deshalb 1970 als gewässerkundlicher Pegel eingestellt, jedoch nicht rückgebaut.

Aufgrund seiner Bedeutung im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde und als Hochwassermeldepegel wurde er 1993 durch das damalige StUFA Chemnitz reaktiviert. Mit der Installation einer mechanischen, handbetriebenen Seilkrananlage konnten ab 1994 erstmals auch bei höheren Wasserständen Durchflüsse gemessen werden. Es wurde bei Mittelwasserständen der negative Effekt der Wasserkraftanlagensteuerung wiederum nachgewiesen.

Um eindeutige und kontinuierlich-permanente Aussagen über den Durchfluss zu erhalten, wurde 1999 die Beschaffung einer Ultraschalldurchflussmessanlage (als Laufzeit-Differenz-Anlage LDA) als Pilotvorhaben initiiert. Die BfUL entschied sich zur Sensoranbringung für die Ausführung einer massiven Bauweise in Stahlbeton anstatt einer Installation der Sensoren mittels Rammverfahren in der Gewässersohle aufgrund folgender Randbedingungen:

- schwierige Geologie mit an der Gewässersohle ausstreichendem Festgestein
- hohe Fließgeschwindigkeiten im linken Uferrandbereich bei HW
- Beeinträchtigung der Sensoren bis zum Totalverlust bei HW aufgrund von Treibgut
- Verstellbarkeit der Sensoren muss gewährleistet werden aufgrund
  - o kleiner Sandbank im rechten Uferbereich
  - o Vereisung bis zu 50 cm möglich, daraus zu erwartender Eisversatz und Eisgang
- Wartung der Sensoren über Wartungstreppe ermöglichen

Das Vorhaben wurde 2000 ingenieurtechnisch geplant und 2001 bautechnisch ausgeführt (*Heinrich 2001*).



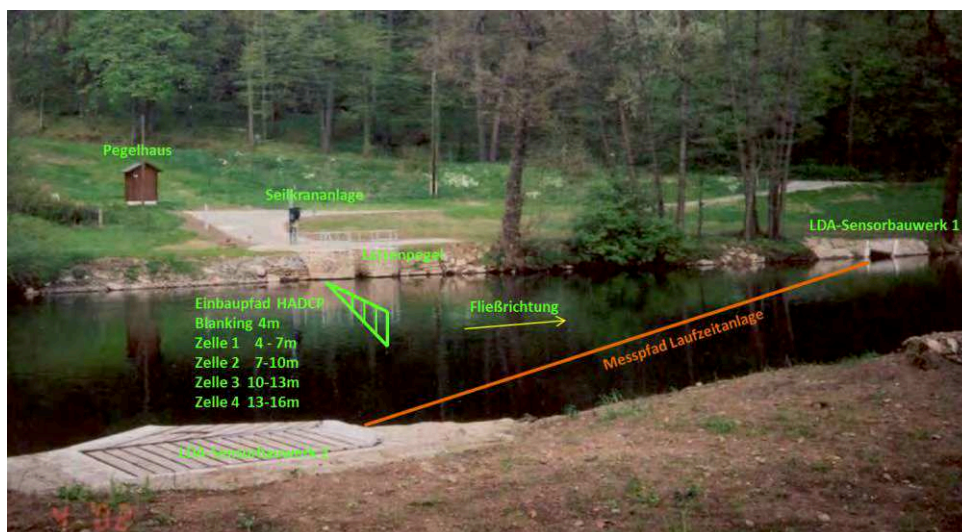
**Abbildung 2:**  
Herstellung Wartungstreppe Sensorbauwerk 1 (beide Abb.: *BFUL 2014*)



**Abbildung 3:**  
Wartungstreppe rechts mit Wartungsspindel und Laufzeit-Differenz-Sensor

## 2 Ultraschalldurchflusssysteme

Am Pegel Wolkenburg wurden nacheinander folgende Systeme zur Durchflussmessung installiert:



**Abbildung 4:** Schematischer Aufbau der Ultraschalldurchflusssysteme am Pegel Wolkenburg/ Zwickauer Mulde (*BFUL 2014*)

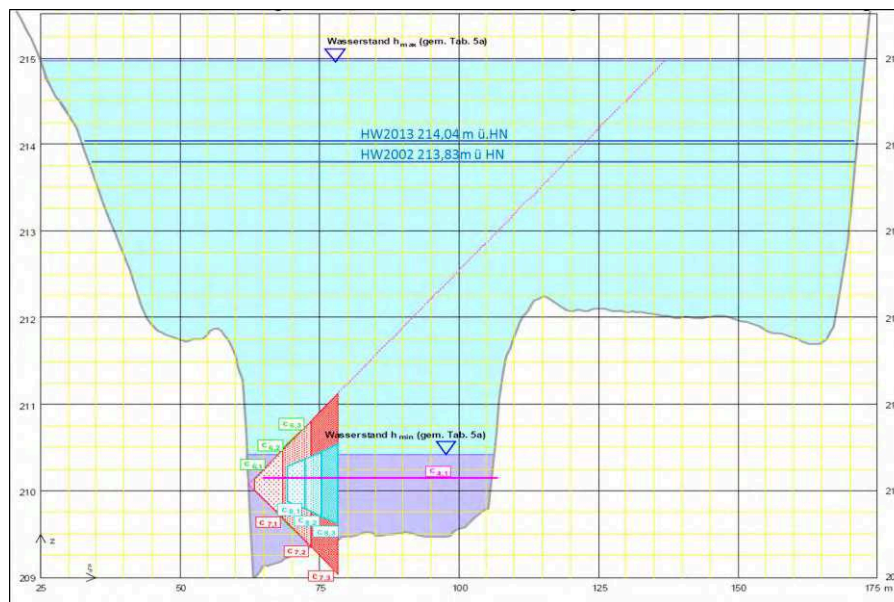
### 2.1 Ultraschall-Laufzeit-Differenz-Anlage (LDA)

- Inbetriebnahme im Mai 2002
- Typ Sonicflow, Fabrikat Ott, Kempten
- Einstreckenanlage, Frequenz 250 kHz, Pfadlänge 68 m, Pfadwinkel 39 °,
- Messung im Messpfad bei  $W=242$  cm, weiterhin kalibrierter Messpfad bei  $W=212$  cm

Die LDA wurde so eingebaut, dass sie sowohl bei einer Eisüberdeckung von 20 cm (mit Verstellmöglichkeit an der Spindel auf 50 cm Eisdecke) als auch über die kleine Sandbank messen kann. Aufgrund des Ausfalls der Anlage bei starker Trübung, bei der der Ultraschallstrahl absorbiert wird, wurde eine Horizontal-Akkustik-Doppler-Anlage als ergänzendes Messsystem eingebaut.

## 2.2 Horizontal- Akkustik-Doppler-Anlage (HADCP)

- Inbetriebnahme im August 2004; Ersatz des Sensors aufgrund Defekt 2014
- Typ 2004: Easy-v, Fabrikat Nortek; Typ 2014: SLD, Fabrikat OTT
- 2004: Einsensor-Anlage, Frequenz 600 kHz, 4 Zellen, Austrittswinkel Messstrahl 3,4 °
- (Zelle 4 ist aufgrund des gegebenen Austrittswinkel und daraus resultierender Reflexionen an Wasseroberfläche nicht geeignet.)
- 2014: Einsensor-Anlage, Frequenz 600 kHz, 4 Zellen, Austrittswinkel Messstrahl 2,4 °



**Abbildung 5:** Schematischer, stark überhöhter Querschnitt mit Einbauhöhen 2004 der Ultraschalldurchflussmesssysteme am Pegel Wolkenburg/Zwickauer Mulde (Kölling 2006), Höhen in mHN

## 2.3 Eichung der Messsysteme und k-Wertermittlung

Die erste Eichung und k-Wertermittlung erfolgte durch die *BFUL (2013)* anhand von Durchflussmessungen mittels Messflügel für die 2 Messhorizonte der LDA. Diese Kalibrierung erwies sich über den bisherigen Betriebszeitraum als sehr stabil. Die Ermittlung der k-Faktoren für die HADCP-Anlage erfolgte auf der Grundlage von Flügelmessungen und ADCP-Bootsmessungen unter Nutzung der Software Prodis (*Ott 2000, Prodis 2014*).

### 3 Messwertinterpretation, Kopplung SIMK<sup>®</sup>-Modell, Eichung

Die Messergebnisse beider Ultraschalldurchflusssysteme müssen zeitlich und messspezifisch getrennt interpretiert werden. Gründe hierfür sind die unterschiedlichen Messverfahren, aber auch die unterschiedlichen Messbedingungen.

#### 3.1 Laufzeit-Differenz-Anlage (LDA) Typ OTT-Sonicflow

Die mittlerweile vorliegenden 13-jährigen Messreihen als auch die Untersuchungen von Kölling (2006) zeigen, dass sich dieses Messsystem bewährt hat.

Zur Überprüfung der Anlage wurden in den ersten Jahren vorrangig Messungen mit dem Messflügel herangezogen:

**Tabelle 2** Vergleich Durchflussmessungen mittels Messflügel und Laufzeit-Differenz-Anlage (BFUL 2013)

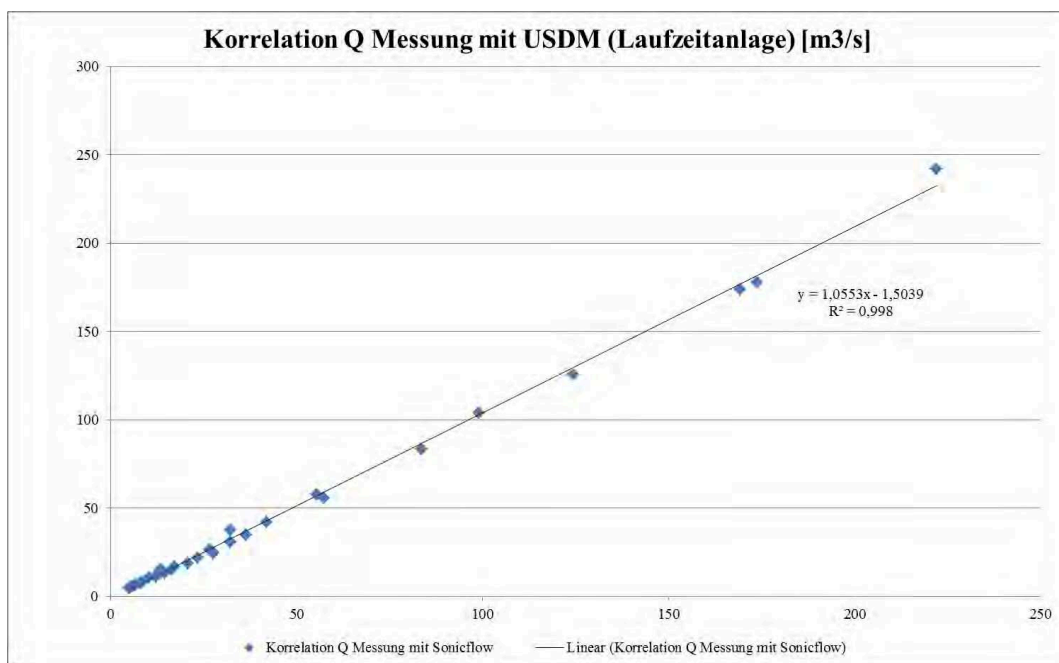
Datum	Uhrzeit	W <sub>Flügel</sub>	Q <sub>Flügel</sub>	Q <sub>USDM-LDA (Mittel)</sub>	Abw. USDM bzgl. Flügel (%)
12.06.2002	9:00– 11:00	266	13,9	14,72	5,9
20.06.2002	9:00– 11:00	264+	13,2	13,76	4,2
24.06.2002	11:15–12:55	263+	12,0	11,34	-5,5
01.07.2002	9:00– 11:00	263-	9,68	9,14	-5,6
10.07.2002	12:30-13:54	260,5	6,29	6,30	0,2
18.07.2002	12:30-15:00	285	27,0	28,95	7,2
07.08.2002	10:00-11:50	276	20,5	19,98	-2,6
23.01.2003	12:05-14:10	273	22,4	23,25	3,8
05.03.2003	13:05-14:50	271	19,7	21,06	6,9
13.05.2003	13:00-15:00	266	13,9	14,43	3,8
05.09.2003	11:15-13:10	264	4,97	4,90	-1,4
01.12.2003	14:00-16:00	265	5,84	6,35	8,8 (NW)

Der Vergleich ist dahingehend mit Unsicherheiten behaftet, weil die Messungen mittels Messflügel i. d. R. 2 Stunden andauern und bei entsprechender Regelung durch die unterhalb gelegene Wasserkraftanlage erhebliche Geschwindigkeitsunterschiede während der Messung auftreten können. Diese Einflüsse machen sich vorrangig bei Niedrigwasser bemerkbar. Die Mittelwertbildung ist deshalb

unsicher, auch wenn versucht wurde, den Messzeitpunkt mit dem Betreiber der WKA abzustimmen, um eine ungestörte Messung vornehmen zu können.

Die folgenden Untersuchungen und Messergebnisse mit ADCP-Messbooten bestätigten jedoch die Ergebnisse der Flügelmessungen. Das ADCP-Messboot wird in einer Zeit von etwa 5 Minuten über die Zwickauer Minute bewegt, so dass der Einfluss der Wasserkraftanlage vernachlässigt werden konnte.

Die Ergebnisse in Abb. 6 zeigen eine gute Übereinstimmung der Messergebnisse und Kalibrierung der Laufzeit-Differenz-Anlage im gesamten Zeitraum von 2004 bis 2014. Die Abweichungen liegen zwischen 0,1 und 13 %. Die höheren Abweichungen traten bei höheren Wasserständen über 2xMQ auf.



**Abbildung 6:** Korrelation der Durchflussmessergebnisse von ADCP-Messboot mit Laufzeit-Differenz-Anlage von 2004 bis 2014 (BFUL 2014)

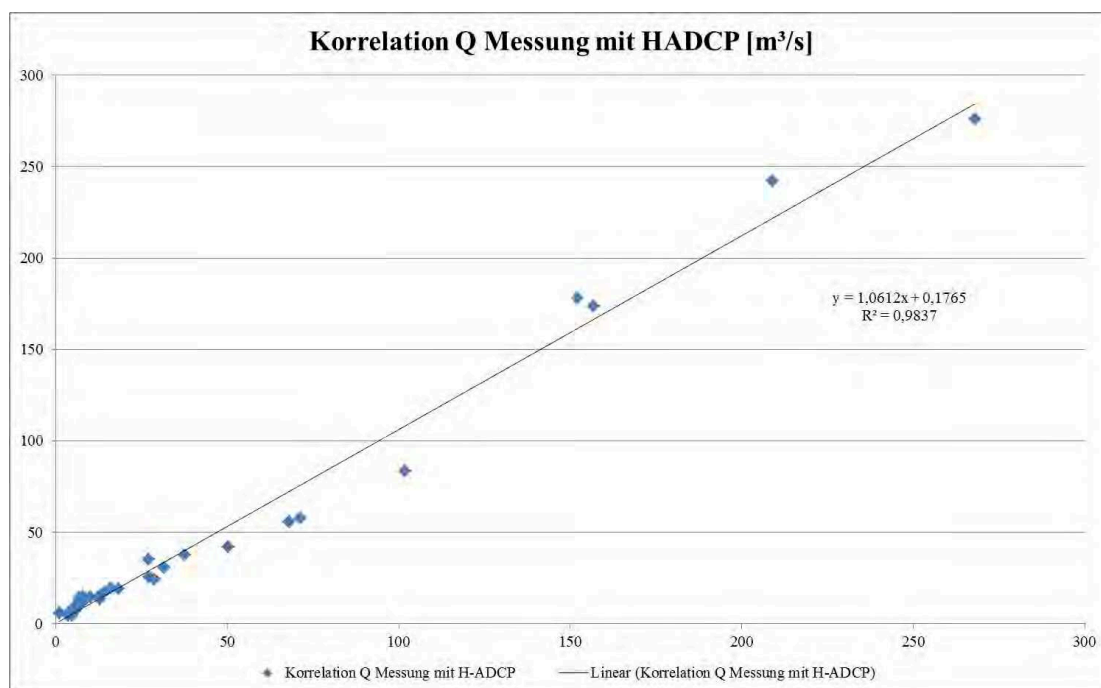
### 3.2 Horizontal-Akkustik-Doppler-Anlage (HADCP) Typ Nortek-Easy-v

Das HADCP wurde für den Fall installiert, wenn die LDA aufgrund zu starker Trübung ausfällt. Eine größere Ungenauigkeit aufgrund des Messverfahrens und der erforderlichen Anbringung des Sensors wurde von vornherein in Kauf genommen. Insoweit wurden auch die Untersuchungen von Kölling (2006) bestätigt, der eine Verwendung der nächsten Sensorgeneration mit kleinerem Schall-Austrittswinkel empfahl.



Im Verlaufes des Betriebes zeigte sich, dass die Zelle 1 nur wenige plausible Messergebnisse liefert, da sie zu nah im Uferrandbereich liegt und durch ufernahe Abrissströmungen beeinflusst wird. Für die Auswertung und gewässerkundlichen Betrachtungen werden deshalb vorrangig die Messzelle 2 und für den Extremhochwasserfall Messzelle 3 herangezogen.

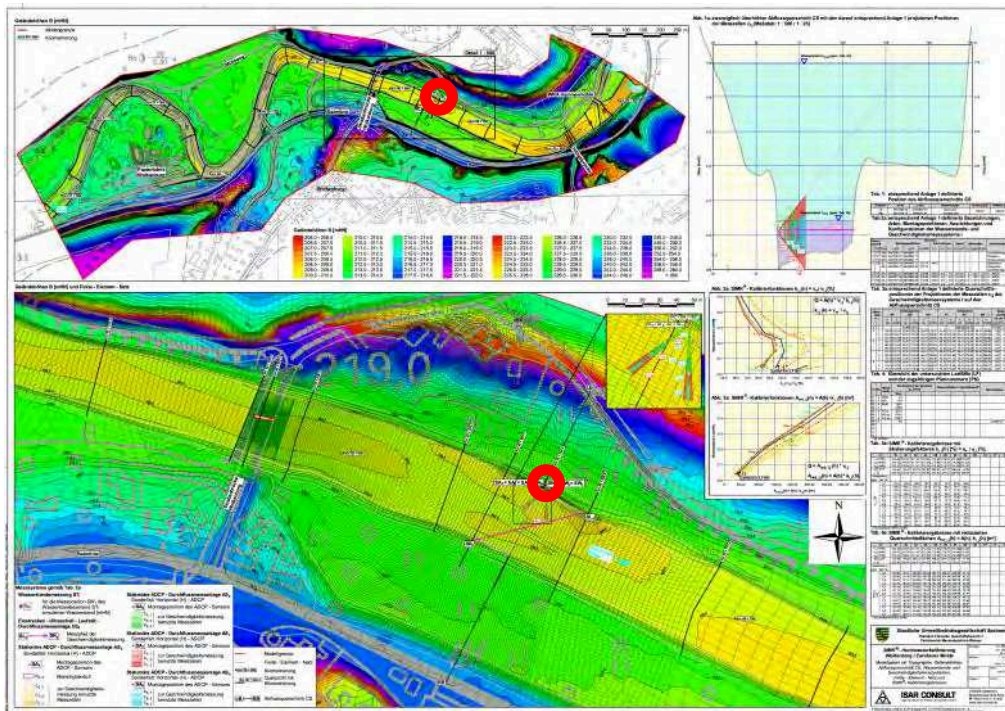
Die Zellen 2 und 3 sind aufgrund des großen Abstrahlwinkels ( $3,4^\circ$ ) allerdings für die Messwertverwertung von Niedrig- bis Mittelwasser kaum geeignet. Die HADCP-Anlage erfasste zudem einen Flussquerschnitt bis ca. 16 m vom Ufer, so dass der Abstand bis zum anderen Ufer, bei einer Gesamtbreite von ca. 45 m interpoliert werden muss. Abb. 7 zeigt die größeren Abweichungen der Durchflussmessungen zwischen ADCP-Bootsmessungen und HADCP-Anlage zum gleichen Messzeitpunkt im Unterschied zur Laufzeit-Differenz-Anlage. Die Differenzen bewegen sich im Messbereich über MQ zwischen 2 und 15 %, im Niedrigwasserbereich sind erwartungsgemäß Abweichungen bis 80 % aufgetreten. Demgegenüber sind die Abweichungen im Hochwasserbereich über 100  $\text{m}^3/\text{s}$  überaus gut und liegen im Bereich zwischen 2 und 9 %.



**Abbildung 7:** Korrelation der Durchflussmessergebnisse von ADCP-Messboot mit HADCP-Anlage von 2004 bis 2014 (BFUL 2014)

### 3.3 Kopplung SIMK<sup>®</sup>-Modell

Mittels eines SIMK<sup>®</sup>-Modells wurde von Kölling (2006) untersucht, ob eine Optimierung der Messebenen der beiden Messsysteme angezeigt ist. Weiterhin wurden k-Werte für die Verwendung im Extremhochwasserfall größer HQ<sub>20</sub> entwickelt, um beim Ausfall beider Ultraschallmesssysteme mithilfe des SIMK-Modells trotzdem Durchflusswerte zu erhalten.



**Abbildung 8:** Modellgebiet und Finite-Element-Netz der SIMK<sup>®</sup>-Modellierung (Kölling 2006), Pegel rot markiert.

Die Untersuchungen ergaben, dass das LDA-Messsystem optimal platziert ist und gute Ergebnisse liefert. Die HADCP-Anlage ist vor allem im HQ-Bereich geeignet, liefert allerdings keine ausreichend guten Ergebnisse im NQ-Bereich (Kölling 2006).

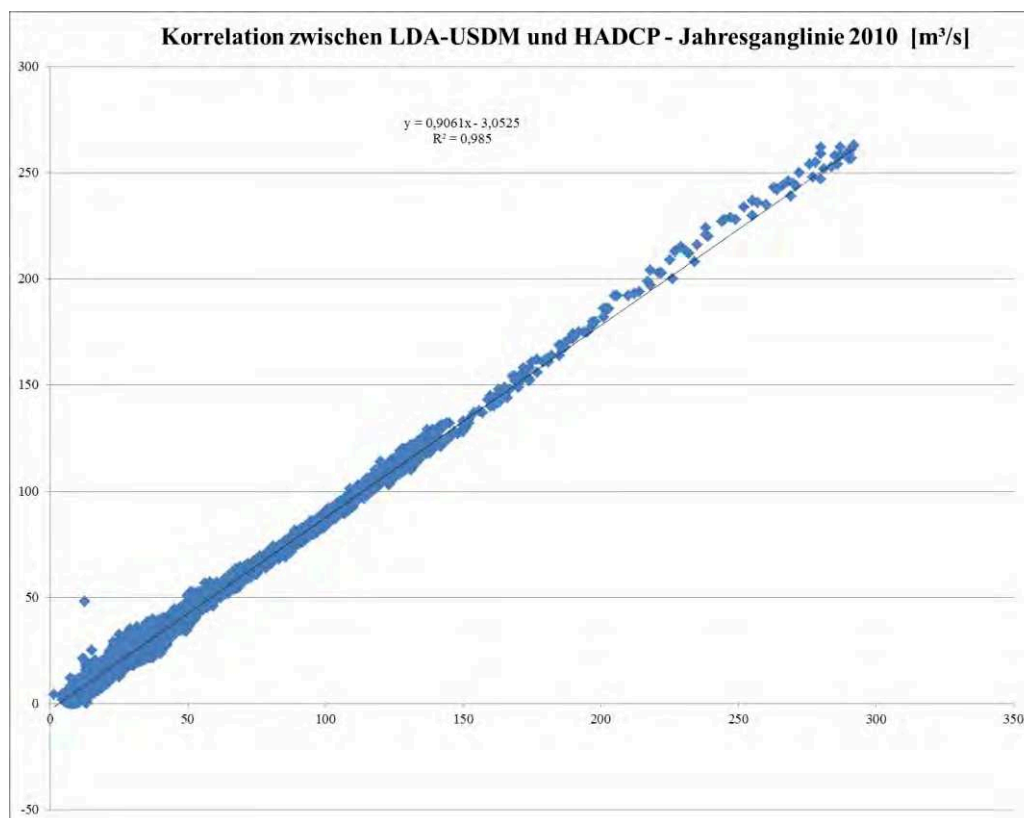
Die Ergebnisse des Extremhochwassers 2013, das am Pegel Wolkenburg sogar das Hochwasser 2002 übertraf, zeigten eine gute Übereinstimmung im HQ-Extrem zwischen HADCP-Zelle 3 und SIMK (s. Tab. 3). Weitere Auswertungen bis zum HHW laufen derzeit.

**Tabelle 3** Tabelle Vergleich Durchflussmessergebnisse LDA und Zellen des HADCP sowie SIMK zum Hochwasser Juni 2013 (BFUL 2013, Kölling 2006)

Datum	Zeit	Wasserstand W [cm]	LDA-USDM Q [m³/s]	H-ADCP Z1 Q [m³/s]	H-ADCP Z2 Q [m³/s]	H-ADCP Z3 Q [m³/s]	SIMK Q [m³/s]
02.06.2013	06:15	443	278,00	204,00	264,00	275,84	276,00
02.06.2013	08:00	486	ausgefallen	306,00	345,00	386,56	367,00
02.06.2013	16:30	597	ausgefallen	569,00	591,00	644,11	670,00

### 3.4 Betrachtung der Messreihen von Laufzeit-Differenz-Anlage und HADCP am Beispiel der Jahresganglinie 2010

Bei der Betrachtung der beiden verschiedenen Ultraschalldurchflusssysteme am Beispiel des Jahres 2010, in dem auch ein Hochwasserereignis mit ca. 290 m<sup>3</sup>/s Maximalabfluss stattfand, zeigt eine gute Korrelation ab etwa 50 m<sup>3</sup>/s. Generell ist die LDA bis in den Hochwasserbereich bei 200 m<sup>3</sup>/s gut eingestellt. Allerdings fällt sie trübungsbedingt meist eher aus. Die Installation und Eichung der HADCP-Anlage hat sich für den HQ-Bereich bewährt. Im NQ- bis MQ-Bereich wurde sie nicht verwendet.



**Abbildung 9:** Korrelation der Durchflussmessergebnisse von Laufzeit-Differenz-Anlage mit HADCP-Anlage mit den 15-Min-Werten des Jahres 2010 (*BFUL 2014*)

## 4 Erfahrungen im Betrieb, Auswirkungen der Extremhochwasser

Die Kopplung zweier unterschiedlicher Ultraschalldurchflusssysteme hat sich am Pegel Wolkenburg unter dessen speziellen Bedingungen bewährt. Die LDA misst das breite Spektrum bis etwa MHQ sicher und zuverlässig, dann

werden die Werte der Zelle 2 der HADCP-Anlage, im Extremhochwasserfall der Zelle 3, übernommen.

Grundlage für diesen Erfolg war die baulich massive Ausführung der Sensorbauwerke, die die Sensoren selbst bei den extremen Hochwässern 2002 und 2013 vor Schäden bewahrten. Der Pegel Wolkenburg konnte, auch aufgrund seiner redundanten Datenfernübertragung, selbst beim Hochwasser 2013, Daten sicher erfassen und dem Landeshochwasserzentrum lückenlos zur Verfügung stellen.

Allerdings muss festgestellt werden, dass der Betrieb dieser Anlagen nur mit höher qualifiziertem Personal zu bewältigen ist. Eine nivellitische Überwachung des Gewässerquerprofils ist genauso regelmäßig erforderlich wie die Prüfung der Anlagenkalibrierungen mittels Justiermessungen gemäß Pegelvorschrift (*LAWA 1997*). Insofern erfordern diese Anlagen für den gewässerkundlichen Messdienst und die Erstellung der gewässerkundlichen Statistik einen höheren Betreuungs- und Bearbeitungsaufwand als Pegel, die mit einer herkömmlichen Wasserstand-Durchfluss-Beziehung betrieben werden. Für spezielle hydrologische Messbedingungen (wie z. B. bei Rückstauerscheinungen) sind Ultraschallmesssysteme jedoch unverzichtbar.

## 5 Literatur

- BFUL (2014): Betriebsunterlagen und Stammbuch zum Pegel Wolkenburg, Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, unveröff., Chemnitz, 2014
- BFUL (2013): Interne Vorträge zu Bau, Betrieb und Kalibrierung der Ultraschalldurchflussmessanlagen Pegel Wolkenburg, Peggy Zinke, Thomas Fichtner, Thomas Otto, Uwe Köhler, unveröff., Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, 2005-2014.
- DIN (2011): DIN EN ISO 1100-1:2011 Entwurf: Hydrometrie – Durchflussmessung in offenen Gerinnen – Teil 1 Anleitung für Auswahl, Einrichtung und Betrieb einer Pegelstation, Beuth-Verlag, Berlin, 2011.
- DIN (2005): DIN EN ISO 6416: Hydrometrie – Messung des Abflusses mit dem Ultraschallverfahren (akustisches Verfahren), Beuth-Verlag, Berlin, 2005.
- Heinrich (2001): Bau der Ultraschalldurchflussmessanlage Pegel Wolkenburg, Genehmigungs- und Ausführungsplanungen, Dr.-Ing. Heinrich Ingenieurgesellschaft mbH, unveröff., Freiberg, 2000/ 2001.
- HWNAV (2008): Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft über den Hochwassernachrichten- und Alarmdienst im Freistaat Sachsen (HWNAV) vom 17. August 2004 (SächsGVBl. S. 472), geändert durch Verordnung vom 26. Juni 2008 (SächsGVBl. S. 452).
- Kölling (2004): SIMK<sup>®</sup>-Kalibrierung von Durchflussmessstellen in Flüssen und Kanälen, Internationales Seminar an der TU München, Dr. Christian Kölling, München, 2006.

- Kölling (2006): SIMK<sup>®</sup>-Hochwasserkalibrierung der Ultraschall-Durchflussmessanlage Wolkenburg, Schlussbericht, unveröff., Dr. Christian Kölling, Christian Tomsu, Michael Witt, Geretsried, 2006.
- LAWA (1997): Pegelvorschrift: Stammtext. 4. überarbeitete Auflage - Bundesministerium für Verkehr und Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Berlin und Bonn, Kulturbuchverlag, 1997.
- LAWA (1988): Pegelvorschrift-Anlage A: - Richtlinie für den Bau von Pegeln - Bundesministerium für Verkehr und Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Kiel und Bonn, 1988.
- LfULG (2010): Hydrologisches Handbuch – Materialien zur Wasserwirtschaft, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden , 2010.
- OTT (2000): OTT Hydromet - Produktkatalog OTT Meßtechnik GmbH 2000, Kempten, 2000, [www.ott.com](http://www.ott.com) .
- PRODIS (2014): PRODIS 2 – Anwendersoftware zur Einrichtung und Kalibrierung von Ultraschalldurchflussmessanlagen, Version 1.01.2, Fa. OTT Hydromet GmbH, Kempten, 2013.

Autoren:

Dipl.-Ing. Uwe Köhler

Thomas Otto

Staatliche Betriebsgesellschaft für  
Umwelt und Landwirtschaft  
Messnetzbetrieb Wasser und  
Meteorologie Chemnitz  
Pornitzstraße 3a  
09112 Chemnitz

Staatliche Betriebsgesellschaft für  
Umwelt und Landwirtschaft  
Messnetzbetrieb Wasser und  
Meteorologie Chemnitz  
Pornitzstraße 3a  
09112 Chemnitz

Tel.: +49 371 36934-61

Tel.: +49 371 3540381

Fax: +49 371 36934-63

Fax: +49 371 36934-63

E-Mail: [Uwe.Koehler@smul.sachsen.de](mailto:Uwe.Koehler@smul.sachsen.de)

E-Mail: [Thomas.Otto@smul.sachsen.de](mailto:Thomas.Otto@smul.sachsen.de)

Dipl.-Hydr. Christin Glöckner

Staatliche Betriebsgesellschaft für  
Umwelt und Landwirtschaft  
Messnetzbetrieb Wasser und  
Meteorologie Chemnitz  
Pornitzstraße 3a  
09112 Chemnitz

Tel.: +49 371 36934-47

Fax: +49 371 36934-63

E-Mail: [Christin.Gloeckner@smul.sachsen.de](mailto:Christin.Gloeckner@smul.sachsen.de)