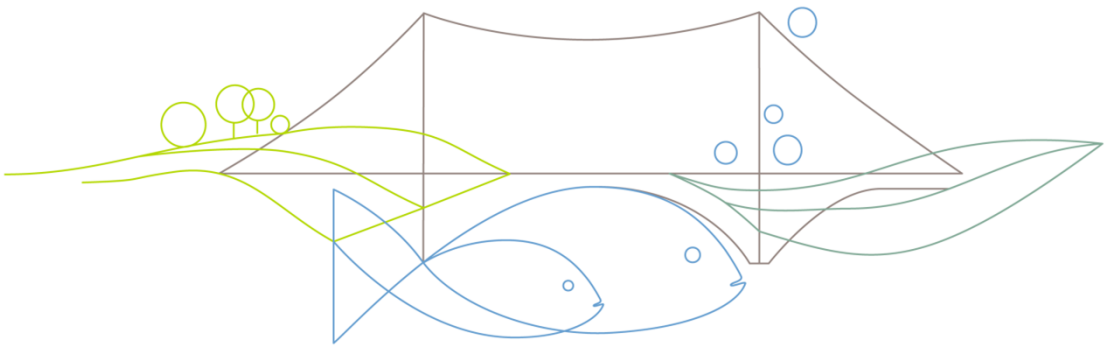
BfG-2071

Bericht

8. ADCP Anwendertreffen zur Qualitätssicherung von Durchflussdaten am 05. September 2018 in Koblenz

Uwe Nicodemus



Inhaltsverzeichnis

1. Veranlassung und Ziel 7

2. Methodik 8

2.1. Teilnehmende Geräte 9
2.2. Vergleichsbedingungen 11
2.2.1. Vergleichsquerschnitt 11
2.2.2. Hydrologische Bedingungen 13
2.3. Untersuchte Parameter 13
2.4. Untersuchungsmethoden der Ringtests 14
2.4.1. Referenz und Vergleich 14
2.4.2. Normierungsmethode 15
2.4.3. Definition der Klassen in den Häufigkeitshistogrammen 15

3. Ergebnisse und Diskussion 17

3.1. Messungenauigkeiten für den Parameter "Durchfluss" 17
3.2. Vergleich der mittleren Fließgeschwindigkeit v_m 23
3.3. Messungenauigkeiten für den Parameter "Querschnittsfläche A" 25
3.4. Messungenauigkeiten für den Parameter "Querschnittsbreite b" 27
3.5. Messungenauigkeiten für den Parameter "mittlere Wassertiefe h_m" 29
3.6. Messungenauigkeiten für den Parameter "maximale Wassertiefe H_{max}" 31
3.7. Messungenauigkeiten für den Parameter "Entfernung Start-Stopp (made good) " 33
3.8. Messungenauigkeiten für den Parameter "Fließrichtung" 35
3.8.1. Mittlere Fließrichtung 35
3.8.2. Abweichung der Fließrichtung in Abhängigkeit der Messfahrtrichtung 37
3.8.3. Mittlere Fließrichtung der Messfahrten links-rechts 39
3.8.4. Mittlere Fließrichtung der Messfahrten rechts-links 41
3.9. Kombinierter Vergleich ausgewählter Parameter 43
3.10. Überprüfung der Firmware-Versionen der ADCP-Geräte im Ringversuch 45

4. Schlussfolgerung 47

5. Anhang Tabellen 49

5.1. Auswertungsergebnisse der Durchflüsse 49
5.2. Auswertungsergebnisse der Parameter v_m, A, b und h 52
5.3. Auswertungsergebnisse der Parameter mittlere Fließrichtung und made good 55

6. Anhang Fotos 60

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vergleichsquerschnitt (blau), Hauptströmungsrichtung (blau, fett) und Messstrecke (rot) im Lageplan. 11

Abbildung 2: Messstrecke im Luftbild (Hintergrundbild: Luftbild, Dienstleistungszentrum des Bundes für Geoinformation und Geodäsie) 12

Abbildung 3: Änderungen des Wasserstandes am Pegel Koblenz über die Zeit der Vergleichsmessungen. 13

Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung der Messungenauigkeiten für den Durchfluss QAgila,n 18

Abbildung 5: Betrag und Häufigkeit der Messungenauigkeiten für den Durchfluss QWinRiver,n 19

Abbildung 6: Abweichung der berechneten Durchflüsse Q 19

Abbildung 7 : Betrag und Häufigkeit der Messungenauigkeiten für die mittlere Fließgeschwindigkeit vm. 23

Abbildung 8: Betrag und Häufigkeit der Messungenauigkeiten für die normierte Querschnittsfläche A 25

Abbildung 9 : Betrag und Häufigkeit der Messungenauigkeiten für die Querschnittsbreite B 27

Abbildung 10 : Betrag und Häufigkeit der Messungenauigkeiten für die normierte mittlere Wassertiefe hm 29

Abbildung 11: Betrag und Häufigkeit der Messungenauigkeiten für die normierte maximalen Wassertiefe H_{max} 31

Abbildung 12 : Betrag und Häufigkeit der Messungenauigkeiten für die Entfernung Start-Stopp (mg) 33

Abbildung 13: Betrag und Häufigkeit der Messungenauigkeiten für die Hauptfließrichtung im Messquerschnitt (gemittelt aus allen Messfahrten) 35

Abbildung 14: Abweichung beim Parameter „Hauptfließrichtung“ zwischen Hin- und Rückfahrt 37

Abbildung 15: Betrag und Häufigkeit der Messungenauigkeiten für die Hauptfließrichtung im Messquerschnitt bei Messfahrten vom linken zum rechten Ufer 39

Abbildung 16: Betrag und Häufigkeit der Messungenauigkeiten für die Hauptfließrichtung im Messquerschnitt bei Messfahrten vom rechten zum linken Ufer 41

Abbildung 17: Teilnehmer des ADCP-Anwendertreffens vor dem Hauptgebäude der BfG 60

Abbildung 18: Fachlicher Austausch 60

Abbildung 19: Warten auf den Einsatz 61

Abbildung 20: Kurze Pause am Steiger 61

Abbildung 21: Kurze Pause 2 am Steiger 62

Abbildung 22: Die Teilnehmer stellen sich auf 62

Abbildung 23: Geräteführung geschleppte Variante 63

Abbildung 24: Geräteführung seitwärts 64

Abbildung 25: Messgerät in Wartestellung 64

Abbildung 26: Kranen der Boote im Wasserbauhafen des WSA Koblenz, hier im Beispiel das Boot des IB Schmid 65

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Messteams des Ringversuchs und ihre technische Ausstattung 9

Tabelle 2: Zusammenfassung der beteiligten ADCP-Messgeräte 10

Tabelle 3: Definition der Klassen in den Häufigkeitshistogrammen bei Durchflussmesswerten 16

Tabelle 4: Abweichungen der ermittelten Durchflüsse QAgila normiert vom Referenzwert [956 m³/s] 20

Tabelle 5: Abweichungen der ermittelten Durchflüsse QWinRiver,normiert vom Referenzwert [957 m³/s] 21

Tabelle 6: Differenzen der Durchflüsse QAGILA zu QWinRiver 22

Tabelle 7: Abweichungen der mittleren Fließgeschwindigkeit v_m vom Referenzwert [1,06 m/s] 24

Tabelle 8: Abweichungen der ermittelten Querschnittsflächen vom Referenzwert [899 m²] 26

Tabelle 9: Abweichungen der ermittelten Querschnittsbreiten vom Referenzwert [315 m] 28

Tabelle 10: Abweichungen der ermittelten normierten mittleren Wassertiefen vom Referenzwert [2,86 m] 30

Tabelle 11: Abweichungen der ermittelten maximalen Wassertiefen vom Referenzwert [3,51 m] 32

Tabelle 12: Abweichungen der ermittelten Entfernungen Start-Stopp (made good) vom Referenzwert [320m] 34

Tabelle 13: Abweichungen der ermittelten Fließrichtung vom Referenzwert (gemittelt jeweils aus allen Messfahrten) 36

Tabelle 14: Abweichung beim Parameter „Hauptfließrichtung“ zwischen Hin- und Rückfahrt 38

Tabelle 15: Abweichungen der ermittelten Fließrichtung (Messfahrten links-rechts) vom Referenzwert 40

Tabelle 16: Abweichungen der ermittelten Fließrichtung (Messfahrten rechts-links) vom Referenzwert 42

Tabelle 17: Abweichung bei den Parametern Q_{Agila}, $H_{m,normiert}$, $A_{normiert}$, B und V_m 44

Tabelle 18: Installierte Firmware-Versionen der Geräte im Ringversuch und aktuelle Firmware-Versionen 45

Tabelle 19: Stand aktuelle Firmware der beteiligten Geräte 46

Tabelle 20: Auswertungsergebnisse Durchfluss für die Parameter QAGILA und QWinRiver, jeweils auch normiert auf den gemittelten Wasserstand (QAGILA,n und QWinRiver,n) 49

Tabelle 21: Auswertungsergebnisse für die Parameter Vm, A, B und h (z.T. normierte Werte) 52

Tabelle 22: Auswertungsergebnisse für die Parameter Fließrichtung, Made Good und Zeitfenster der Messung 55

Tabelle 23: Detaillierte Auswertung der Fließrichtungen 58

1. Veranlassung und Ziel

Bei den Wasserstraßen- und Schifffahrtsämtern (WSÄ) ist die Messung mit akustischen Doppler-Geräten (ADCP) seit langem das Standardverfahren zur Durchflussmessung. Jedes Jahr werden an den Bundeswasserstraßen etwa 2000 Strömungs- und Durchflussmessungen mit ADCPs ausgeführt. Die Daten der ADCP-Messungen gehen dann als essentielle Grundlage in die Bestimmung von Schlüsselkurven zur kontinuierlichen Berechnung von Durchflüssen ein.

Um die Qualität zu sichern und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu überprüfen sind Ringversuche eine sehr praktikable Lösung. Dabei messen unterschiedliche Messteams mit unterschiedlichen ADCP-Systemen (z.B. Boote, USVs oder Trimarane) und -geräten nacheinander im gleichen Querschnitt unter möglichst stationären Durchflussbedingungen die Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten und -richtungen, die Querschnittsgeometrie und damit den Durchfluss. Die Ergebnisse der einzelnen ADCP-Messungen werden untereinander verglichen. Fehlfunktionen, abweichende Messmethodik oder falsche Einstellungen können so leicht erkannt werden. Eine teure und aufwändige Routineuntersuchung aller Geräte bei den Herstellern in den USA kann dadurch entfallen.

Im Gegensatz zu Kalibrierungen im Eichkanal kann bei solchen Vergleichstests nicht nur die Gerätequalität und -genauigkeit bestimmt werden, sondern auch die Arbeit der Messteams und deren Ausstattung in den Vergleich einbezogen werden. Dadurch werden weitere Unsicherheitsquellen berücksichtigt, eine Ausdifferenzierung ist ggf. aber nicht möglich.

Auf Einladung der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) fand in Koblenz am 05.09.2018 das 8. ADCP-Anwendertreffen statt. Wichtigster Zweck der Veranstaltung war die Funktions- und Qualitätskontrolle von akustischen Doppler-Geräten zur Durchflussmessung, die in der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) eingesetzt werden. Dem Praxistest angeschlossen hatten sich 22 Messtrupps, um mit insgesamt 32 Ultraschall Doppler Geräten bei Rhein-km 590,3 die Strömung und den Durchfluss zu messen. Die ADCP-Nutzer kamen aus der WSV, den Bundesländern, dem Ruhrverband, dem niederländischen Rijkswaterstaat, dem Waterbouwkundig Laboratorium Vlaanderen, der französischen DREAL und einem Ingenieurbüro. Zielgröße des Vergleichs waren der Durchfluss Q, die Strömungsgeschwindigkeiten und -richtungen und die Querschnittsparameter. Nützlicher Nebeneffekt war der Vergleich der installierten Peripheriegeräte (z.B. Kompass), Software und Messroutinen der Messteams. Mit einer Messteamanzahl von 22 konnte die Größe vorangegangener Ringversuche übertroffen werden - das bisherige Maximum lag bei 19 Messtrupps im Jahr 2013.

2. Methodik

Der Vergleichstest beruht auf Durchflussmessungen mittels ADCP im gleichen Querschnitt und bei stationären Bedingungen. Außer der wichtigsten Zielgröße, dem Durchfluss Q, wurden auch die mittlere Fließgeschwindigkeit v_m, die Hauptströmungsrichtung, sowie die Querprofilgeometrie beschreibende Parameter ausgewertet, z.B. die mittlere Wassertiefe, die Querschnittsbreite und Querschnittstiefe. Die Auswahl der verschiedenen Vergleichsparameter beruht auf der Anwendung der Kontinuitätsgleichung zur Bestimmung des Durchflusswertes $\mathbf{Q = v_m * A}$, wobei A die Querschnittsfläche darstellt.

Durchfluss

Dem Vergleich des Durchflusswertes kommt in diesem Ringversuch eine herausgehobene Bewertung zu, da der Durchflusswert die operationelle Zielgröße der ADCP Messung ist. Gleichzeitig integriert der Durchfluss auch über andere Parameter (wie Fließgeschwindigkeit, Wassertiefe, Querschnittsbreite, etc.), da er sich aus den verschiedenen weiteren Größen zusammensetzt. Dabei ist der Durchflusswert selbst ein berechneter Wert, der auf zwei unterschiedliche Arten erhalten werden kann:

1. Berechnung der Durchflüsse mit der Methode AGILA

AGILA projiziert die Messungen auf einen senkrecht zur Hauptströmungsrichtung orientierten Bezugsquerschnitt und berechnet den Durchfluss nach dem Geschwindigkeitsflächenverfahren, die Auswertemethode für Flügelmessungen (Pegelvorschrift Anhang D (1991 herausgegeben von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und dem Bundesminister für Verkehr (BMV)). Die Projektion der Messdaten setzt einen korrekt funktionierenden Kompass voraus. Mehr als 100 ADCP-Anwender der WSV, von Wasserbehörden und Universitäten aus Deutschland und dem europäischen Ausland verarbeiten ihre Messdaten mit der **Software AGILA** der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG).

2. Berechnung der Durchflüsse mit der Methode WinRiver

WinRiver berechnet die Durchflüsse als Vektorprodukt von Boots- und Fließbewegung pro Zelle (Betrag und Richtung) und Aufsummierung aller Zellendurchflüsse. Diese Methode der Durchflussberechnung ist vom Kompass unabhängig und hat damit eine mögliche Fehlerquelle weniger.

Die Messdaten werden jeweils auf prinzipiell andere Weise verarbeitet. Folglich wurde auch getestet, inwieweit sich die berechneten Durchflüsse nach AGILA (Verfahren der Bundesanstalt für Gewässerkunde) und nach WinRiver (Verfahren des Geräteherstellers RDInstruments) unterscheiden.

Hauptströmungsrichtung:

Die Ermittlung der Hauptströmungsrichtung ist unter anderem von der korrekten Funktion und Genauigkeit der eingebauten Kompasse abhängig. Gerade bei Hochwasser kann der systematische Messfehler infolge bewegter Sohle (moving bed) nur mit einem ADCP korrigiert werden, das über einen funktionierenden Kompass verfügt. Dies gilt für beide möglichen Korrekturverfahren, die Schleifenfahrt (loop method) und den Ersatz des „bottom track“ durch DGPS. Generell ist ein funktionsfähiger Kompass

auch immer dann notwendig, wenn es um die zutreffende Ermittlung von Strömungsrichtungen im geographischen Koordinatensystem geht. Auch die Auswertung der Durchflüsse mit der Software AGILA setzt einen korrekt funktionierenden Kompass voraus.

Querschnittsparameter:

Der Vergleich der Querschnittsparameter (Breite, Tiefe, Querschnittsfläche) gibt Aufschluss über die korrekte Funktionsweise des ADCP-Gerätes und des verbauten GNSS-Systems, sowie die korrekte Schätzung der Uferabstände. Auch über die Güte der Sohlbestimmung und damit der Wassertiefe über den Flussquerschnitt, die von unterschiedlichen Sohlbeschaffenheiten und unterschiedlichen Messfrequenzen abhängig ist.

2.1. Teilnehmende Geräte

Im Gegensatz zu früheren Treffen waren neben verschiedenen Modellen der in der WSV etablierten Geräte von RDInstruments auch mehrere RiverSurveyor M9 des Herstellers SonTek/Xylem vertreten (Tabelle 1, Spalte Messgerät). Die überwiegende Mehrzahl der Geräte waren vom Typ RDI RioGrande mit 1200 kHz Messfrequenz, die derzeit von dem Nachfolgermodell RiverPro abgelöst werden. 6 von 32 Geräten wiesen eine für Binnengewässer eher weniger gut geeignete Messfrequenz auf. Somit steht für den Ringversuch eine interessante, weil recht breite Auswahl an Messsystemen zur Verfügung. Tabelle 2 fasst die verschiedenen ADCP-Typen noch einmal zusammen.

Tabelle 1: Messteams des Ringversuchs und ihre technische Ausstattung

	Bezeichnung der ADCP-Einheit	**Geräteträger/Boot**	**Messgerät**	**Frequenz**
1	RWS Maastricht	Boot „Observant“	Broadband ADCP	600
2	WSA Freiburg	Boot „Eisvogel“	RioGrande 1200	1200
3	IB Schmied	Boot „Corrida“	RioGrande 1200	1200
4	WSA Saarbrücken	Boot „Drohne“	RioGrande 600	600
5	WSA Koblenz	Boot „Aquarius“	RioGrande 1200	1200
6	WSA Duisburg	Boot „Fluctus“	RioGrande 1200	1200
7	WSA Bingen	Boot „Nemo“	RioGrande 600	600
8	BfG	Boot „M1“	RioGrande 600	600
9	WSA Heidelberg	Boot „Möwe“	RiverPro	1200
10	DREAL	TorrentBoard	SCHWARTZ M9 Nr. 6228	1000/3000
11	WSA Mannheim	Riverboat	RioGrande 1200	1200
12	BE Waterbouwkundig	Boot (Aluboot)	RioGrande 1200	1200
13	RWS Arnhem	Riverboat	RioGrande 1200	1200

	Bezeichnung der ADCP-Einheit	Geräteträger/Boot	Messgerät	Frequenz
14	WSA Koblenz	Riverboat	RioGrande 1200	1200
15	BfG RioGrande	Riverboat	RioGrande 1200	1200
16	WSA Heidelberg	Riverboat	RioGrande 1200	1200
17	RWS Arnhem	Riverboat	RiverRay	600
18	WVER	Riverboat	RioGrande 1200	1200
19	WSA Brandenburg	Riverboat	RioPro	1200
20	WSA Brandenburg	Riverboat	RiverRay	600
21	WSA Aschaffenburg	Riverboat	RiverPro	1200
22	BfG	TorrentBoard	M9 Nr. 2382	1000/3000
23	DREAL	TorrentBoard	BLAU M9 Nr. 4629	1000/3000
24	WSA Dresden	Riverboat	RioPro	1200
25	Ruhrverband	TorrentBoard	M9 Nr. 3499	1000/3000
26	Ruhrverband	TorrentBoard	M9 Nr. 5622	1000/3000
27	WSA Magdeburg	Riverboat	RioGrande 1200	1200
28	WSA Meppen	Riverboat	RioGrande 1200	1200
29	WSA Hann.-Münden	Riverboat	RioGrande 1200	1200
30	WSA Schweinfurt	Riverboat	RiverRay	600
31	WSA Schweinfurt	Riverboat	RioPro	1200
32	WSA Hann.-Münden Edertal	Riverboat	RioPro	1200

Tabelle 2: Zusammenfassung der beteiligten ADCP-Messgeräte

Anzahl	Messgerät
14	Workhorse Rio Grande 1200 kHz
3	Workhorse Rio Grande 600 kHz
5	RiverSurveyor M9 1000/3000 kHz (Sontek)
2	RiverPro
4	RioPro
3	River Ray 600 kHz
1	Broadband ADCP 600 kHz

2.2. Vergleichsbedingungen

2.2.1. Vergleichsquerschnitt

Die Vergleichsmessungen fanden direkt in Koblenz bei Rhein-km 590,3 statt, etwa 1,8 km stromauf der Moselmündung in den Rhein. In diesem Bereich befindet sich am linken Ufer bei ca. km 590,370 ein Steiger der BfG, welcher zum Zusteigen auf die Messboote genutzt werden konnte. Am rechten Ufer bei km 590,28 befindet sich ein weiterer Steiger. Diese beiden Steiger wurden als Fixpunkte benutzt, um den Start- und Endpunkt der Messfahrten festzulegen und so deren Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Die damit festgelegte Messstrecke weicht leicht vom eigentlichen Querschnitt 590,3 ab (s. Abbildung 1Abbildung 1), was aber wegen der prinzipiellen Unabhängigkeit der ADCP-Messung vom Messweg kein Problem darstellt. Abbildung 2 zeigt den Messweg im Luftbild.

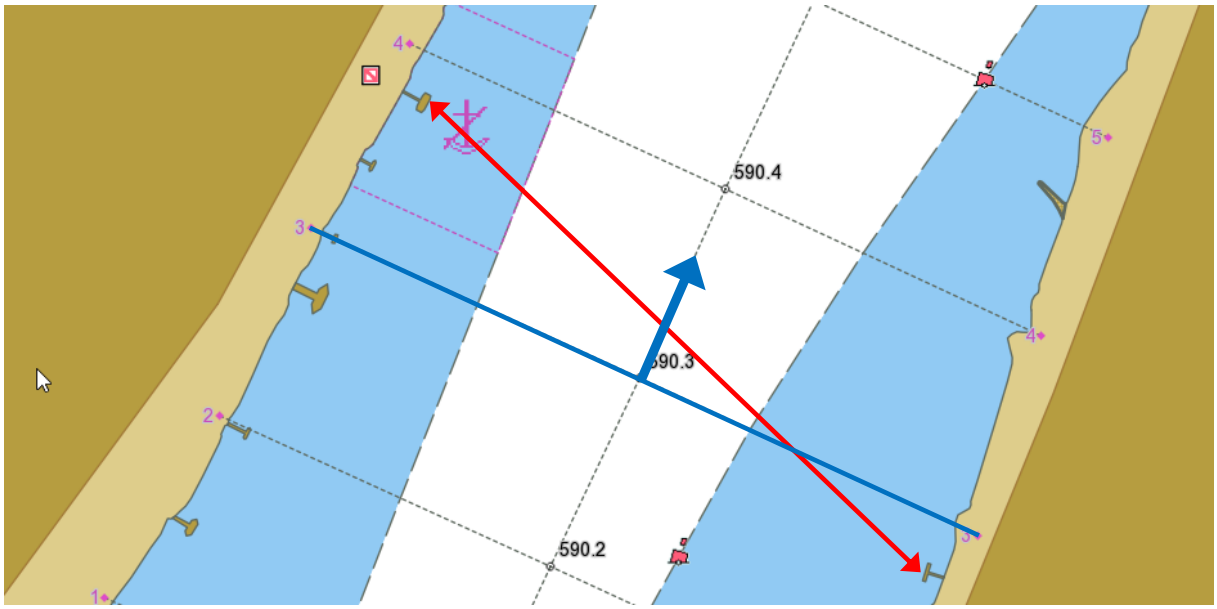


Abbildung 1: Vergleichsquerschnitt (blau), Hauptströmungsrichtung (blau, fett) und Messstrecke (rot) im Lageplan. Quelle (Inland ENC, Dienstleistungszentrum des Bundes für Geoinformation und Geodäsie)

Start und Endpunkt der Messfahrten war jeweils ein Steiger an beiden Ufern. Nach Ausmessen auf der Karte beträgt die Entfernung zwischen den Steigern 326 m (Abbildung 2).

Da aufgrund des vorgefundenen Zustandes (abstehende Teile) am rechten Steiger kein Anlegen möglich war, und wegen der ungünstigen lokalen Strömung auch kein dichtes Heranfahren, endeten die Messfahrten der bemannten Boote in ca. 6 m Abstand zum Steiger.

Abbildung 2: Messstrecke im Luftbild (Hintergrundbild: Luftbild, Dienstleistungszentrum des Bundes für Geoinformation und Geodäsie)

2.2.2. Hydrologische Bedingungen

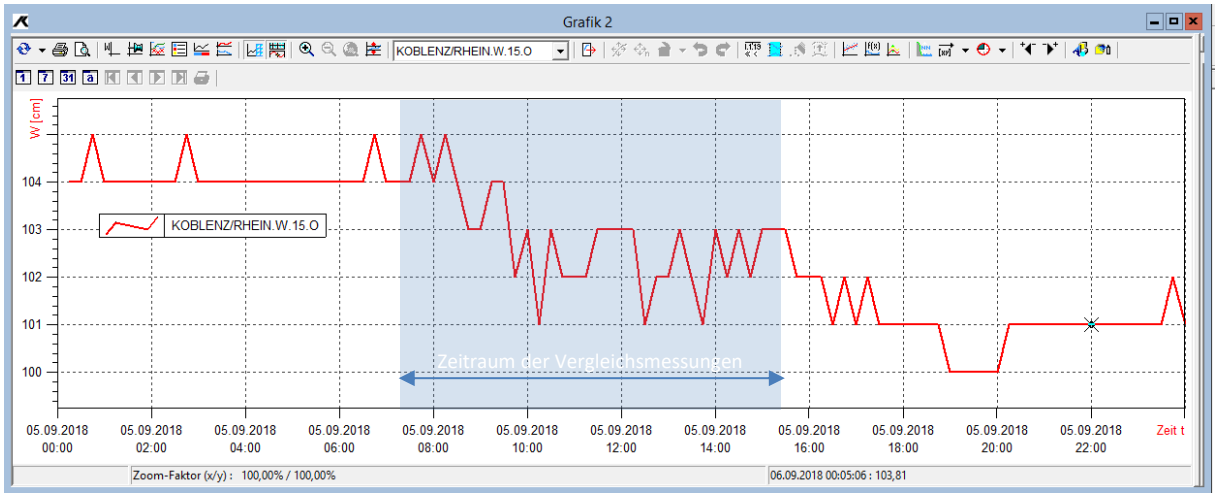


Abbildung 3: Änderungen des Wasserstandes am Pegel Koblenz über die Zeit der Vergleichsmessungen. Zeitangaben MEZ (Quelle: WISKI 6, BfG-Datenbank, WSV Daten)

Die Messungen wurden bei nahezu stationären Bedingungen nacheinander zwischen 08:45 und 15:37 (MESZ) am 5. September 2018 ausgeführt. Die Wasserstandsschwankungen beliefen sich in dieser Zeit lediglich auf 4 cm zwischen 101 cm und 104 cm (s. Abbildung 3). Diese Schwankungen wurden bei den betroffenen Vergleichsgrößen berücksichtigt. Sie wurden, wie in Abschnitt 0 erläutert, auf den über die Dauer der Messkampagne gemittelten Wasserstand von 103 cm „normiert“.

2.3. Untersuchte Parameter

Die wichtigste untersuchte Messgröße ist der Durchfluss Q. Des Weiteren wurden folgende Parameter der einzelnen Messungen verglichen und die Ergebnisse bewertet:

- Mittlere Fließgeschwindigkeit $\mathbf{v_m}$: Diese wird aus dem Durchfluss Q_{Agila} und der Querschnittsfläche A berechnet ($v_m = Q/A$)
- Querschnittsfläche **A**: Die Querschnittsfläche ist eine der hydraulischen Basisgrößen in der Kontinuitätsgleichung $\mathbf{Q = v_m * A}$. Die Querschnittsfläche wird aus dem in AGILA durch Projektion ermittelten Querprofil berechnet.
- Messprofilbreite **b**: Die Messprofilbreite ergibt sich aus der Breite des in den Bezugsquerschnitt projizierten Messweges, zuzüglich der eingegebenen Uferabstände.
- Mittlere Wassertiefe $\mathbf{h_m}$: Wird bestimmt aus der Querschnittsfläche ($\mathbf{h_m = A / b}$). Die mittlere Wassertiefe wird direkt beeinflusst durch die in der Gerätekonfiguration eingegebene Eintauchtiefe des ADCP. Ein Fehler der eingegebenen Eintauchtiefe wirkt sich auch direkt auf die Durchflusskurve aus (Ein Fehler von einem cm bedeutet einen Fehler von einem cm in der Durchflusskurve). Daher ist es sehr wichtig, diesen Parameter zu überprüfen.
- Maximale Wassertiefe $\mathbf{h_{max}}$: wird bestimmt als größte aufgetretene Wassertiefe im Verlauf der Messfahrt. Dieser Wert wird auch wie h_m von der eingegebenen Eintauchtiefe des ADCP

beeinflusst. Dazu kommt, dass abhängig vom gewählten Weg unterschiedliche Werte $\mathbf{h_{max}}$ auftreten können.

- Die **mittlere Fließrichtung** hängt direkt von der Qualität der Kompassdaten ab. Ein Vergleich der Werte lässt also Aussagen über die Funktion der in den Geräten eingebauten Kompasse zu. Dabei spielen auch eingegebene Offset-Werte zum Ausgleich der magnetischen Variation an der Messstelle eine Rolle. Darüber hinaus sollten sich die Einzelwerte der mittleren Fließrichtung eines Messsystems nicht stark voneinander unterscheiden. Wenn ein systematischer Unterschied zwischen den Fahrtrichtungen links-rechts und rechts-links auftritt, ist das ein Hinweis auf einen nicht ordnungsgemäß funktionierenden Kompass.
- **Made good** ist die direkte Entfernung der äußeren Punkte einer Messfahrt (Anfangs- und Endpunkt). Die hier angegebenen Werte made good sind die Mittelwerte der einzelnen Fahrten einer Messeinheit. Made good ist unabhängig vom tatsächlich gefahrenen Weg.

2.4. Untersuchungsmethoden der Ringtests

2.4.1. Referenz und Vergleich

1. Referenzwert des Durchfluss Q

Der Referenzwert für den Durchfluss wurde als Mittelwert aller im Ringversuch ermittelten Durchflüsse angenommen mit **956 m³/s**. Bei der Berechnung dieses Mittelwerts wurde die einzige stark abweichende Messung ausgenommen.

2. Referenzwert der mittleren Fließrichtung

Die Lage der Profilfestpunkte kann ein Hilfsmittel sein, um eine ermittelte Fließrichtung zu plausibilisieren. Die Profilfestpunkte des Testprofils bei Rhein-km 590,3 bilden einen Winkel von 114,8° bezogen auf die Nordrichtung (Abbildung 1, blaue Linie). Unter der Annahme, dass die Fließrichtung zu diesem Querschnitt senkrecht ausgerichtet ist und ein gerader Streckenabschnitt vorliegt, ergäbe sich eine Fließrichtung von 24,8°.

Für die Auswertungen des Ringversuchs wurde der Referenzwert der Fließrichtung als vektorieller Mittelwert der 11 Messsysteme ermittelt, bei denen die Fließrichtung zwischen der Fahrt links-rechts und rechts-links um weniger als 1,5° abweicht (li-re/reli < ±1,5°). Dies vorausgesetzt ist die Annahme erlaubt, dass die gemessenen Richtungen hinreichend genau sind. Die übrigen Messungen wurden bei der Ermittlung des Referenzwertes nicht berücksichtigt. Daraus ergibt sich eine mittlere Fließrichtung von **25,7°N** als plausibler Referenzwert.

3. Referenzwert der übrigen Parameter

Für alle übrigen Parameter wurde der Referenzwert analog zur Ermittlung des Referenzwertes für den Durchfluss bestimmt als arithmetischer Mittelwert aller beteiligten Messungen mit Ausnahme der beim Durchfluss stark abweichenden Messung.

2.4.2. Normierungsmethode

Die Messungen wurden im gleichen Querschnitt und bei nahezu stationären Bedingungen nacheinander ausgeführt. Die geringen Schwankungen des Wasserstandes (s. Abbildung 3) wurden bei den Durchflusswerten Q_{AGILA}, $Q_{WINRIVER}$, bei der Querschnittsfläche A, sowie bei den Tiefen H_m und H_{max} berücksichtigt. Diese Größen wurden anhand der Abweichung des Wasserstandes „normiert". Aufgrund der ähnlichen Breite und eines ähnlichen Querprofils zwischen beiden Querschnitten wurde angenommen, dass die Wasserstandsschwankungen am Pegel Koblenz (etwa 1,2 km stromab) auf den Wasserstand des Flussquerschnitts der Messfahrt übertragen werden können. Für die Normierung wurde zunächst der mittlere Wasserstand über die Zeit der Messfahrten ermittelt. Dann wurde die Differenz des Wasserstandes zum Zeitpunkt der jeweiligen Messfahrt verwendet, um die vorgenannten Ergebnisse zu korrigieren, bzw. auf den mittleren Wasserstand zu „normieren". Die Korrekturen des Durchflusses, der Querschnittsfläche und der Wassertiefen erfolgten über die Formeln

$$Q_{normiert} = Q + \frac{W - W_{mittel}}{100} * v_m * b$$

$$A_{normiert} = A + \frac{W - W_{mittel}}{100} * b$$

$$h_{normiert} = h + \frac{W - W_{mittel}}{100}$$

$Q_{normiert}$	normierter Durchfluss (gilt für Q_{AGILA} und für $Q_{WinRiver}$)	[m³/s]
Q	Gemessener Durchfluss (Q_{AGILA} oder $Q_{WinRiver}$)	[m³/s]
W	Wasserstand zum Zeitpunkt der Messung	[cm]
W_{mittel}	Mittlerer Wasserstand während der Zeit der Messfahrten	[cm]
v_m	Mittlere Fließgeschwindigkeit	[m/s]
b	Wasserspiegelbreite gemäß Projektion der Messfahrt	[m]
$A_{normiert}$	Normierte Querschnittsfläche	[m²]
A	Gemessene Querschnittsfläche	[m²]
$h_{normiert}$	normierte Wassertiefe (gilt für h_m und für h_{max})	[m]
h	gemessene Wassertiefe (h_m oder h_{max})	[m]

2.4.3. Definition der Klassen in den Häufigkeitshistogrammen

In den folgenden Darstellungen der Ergebnisunterschiede werden zur besseren Übersicht die Abweichungen der ermittelten Parameter vom jeweils ermittelten Referenzwert in Häufigkeits-Histogrammen dargestellt. Die dafür verwendete Klasseneinteilung ist in Tabelle 3 definiert.

Abweichungen bis 3% beim Messparameter Durchfluss wurden in Anlehnung an die bisherigen Erfahrungen früherer Ringversuche als zuverlässige Messergebnisse angesehen. Abweichungen der Durchflussmessergebnisse von mehr als 5% (bzw. mehr als 5° bei Richtungsangaben) sind in den Tabellen und Häufigkeitshistogrammen rot markiert.

Tabelle 3: Definition der Klassen in den Häufigkeitshistogrammen bei Durchflussmesswerten (Abweichungen vom Referenzwert in % vom jeweiligen Referenzwert oder bei Winkelangaben in °)

Klasse	Grenzen in % bzw.	Bewertung
< -6,5	schlechter als -6,5	falsche Einstellungen oder Gerätedefekt, rot markiert
-6	-6,5 bis -5,5	wahrscheinlich falsche Einstellungen oder Gerätedefekt, rot markiert
-5	-5,5 bis -4,5	Mäßige Übereinstimmung, möglicherweise falsche Geräteeinstellungen, ab 5 % rot markiert
-4	-4.5 bis -3,5	Mäßige Übereinstimmung, möglicherweise falsche Geräteeinstellungen
-3	-3,5 bis -2,5	Gute Übereinstimmung
-2	-2,5 bis -1,5	Gute Übereinstimmung
-1	-1,5 bis -0,5	Sehr gute Übereinstimmung
0	-0,5 bis 0,5	Sehr gute Übereinstimmung
1	0,5 bis 1,5	Sehr gute Übereinstimmung
2	1,5 bis 2,5	Gute Übereinstimmung
3	2,5 bis 3,5	Gute Übereinstimmung
4	3,5 bis 4,5	Mäßige Übereinstimmung, möglicherweise falsche Geräteeinstellungen
5	4,5 bis 5,5	möglicher Weise falsche Einstellungen oder Gerätedefekt, ab 5 % rot markiert
6	5,5 bis 6,5	wahrscheinlich falsche Einstellungen oder Gerätedefekt, rot markiert

3. Ergebnisse und Diskussion

Zur Orientierung in den Tabellen der Auswertungsergebnisse sind in Tabelle 1 *alle 32 ADCP-Geräte spezifiziert (Gerätetyp und Frequenz) und jeweils* zusammen mit dem verwendeten Geräteträger und Betreiber aufgelistet. Die Kurzbezeichnungen der ADCP-Einheiten in der zweiten Spalte finden sich in den weiteren Tabellen des Berichtes zwecks Zuordnung der Auswertungsergebnisse wieder. Tabelle 2 gibt eine Übersicht der beteiligten Geräte und die jeweilige Anzahl.

Zur Bestimmung des Referenzwerts für den Durchfluss wurden alle Ergebnisse in einem ersten Schritt über den gering schwankenden Wasserstand „normiert“ (s. 0). Dabei wurden die Schwankungen des Wasserstandes um 3 cm am Pegel während der Messungen berücksichtigt und die Durchflussergebnisse sowie die vom Wasserstand abhängigen geometrischen Parameter entsprechend korrigiert. Der **Referenzwert** wurde sodann als arithmetischer Mittelwert der Ergebnisse der beteiligten Systeme gebildet (s. 2.4.1). Ein Messsystem, was offensichtlich falsch gemessen hatte, wurde dabei nicht einbezogen.

Die Überprüfung der Firmware der ADCPs im Ringversuch ergab, dass gut die Hälfte der Geräte nicht mit den neuesten Versionen arbeiten, die von den Herstellern kostenlos zum Download zur Verfügung gestellt werden. Eine Übersicht über installierte und aktuelle Firmware-Versionen wird in Abschnitt 3.10 gezeigt

3.1. Messungenauigkeiten für den Parameter "Durchfluss"

Bei den nach der AGILA-Methode ermittelten Durchflüssen lagen alle Messungen bis auf eine innerhalb der 5 % Grenze um den normierten Wert. 13 Messungen lagen im Bereich von ±1%. Der niedrigste Durchflusswert mit – 21,8 % Abweichung wurde vom WSA Schweinfurt mit einem RioPro auf dem Geräteträger RiverBoat gemessen. Die höchsten Werte haben das WSA Saarbrücken und das WSA Bingen mit jeweils +4,3 % gemessen.

Herauszuheben hierbei ist die Tatsache, dass die geringen Abweichungen im Rahmen des Ringversuchs dabei unabhängig von der Messfrequenz, dem Gerätehersteller und dem Messteam erzielt wurden. Bei eingehender Analyse der Q_{AGILA}-Daten (Tabelle 4) zeigt sich auch, dass die fünf Geräte des Typs Sontek M9 tendenziell einen etwas geringeren Durchfluss (Mittelwert M9-Geräte: 934,2 m^3/s) messen, als die RDI-Geräte (Mittelwert 961 m^3/s). Zudem bemessen die älteren 600 kHz-Geräte einen höheren Durchfluss (995 m^3/s) als die übrigen Geräte. Interessanter weise trifft dies nicht auf die Geräte vom Type RDI RiverRay mit 600 kHz zu.

Allerdings liegen fast alle Messwerte in einem sehr engen Wertebereich und eine Auswertung sollte diese Unterschiede nicht überbewerten, bzw. müssen bei so geringen Unterschieden, kurzfristige, natürliche Variabilitäten im Strömungsverhalten in die Interpretation berücksichtig werden.

Bei den Ergebnissen der nach der WinRiver-Methode ermittelten Durchflüsse (Tabelle 5) lagen alle Messungen bis auf einen innerhalb der 5 % Grenze. 16 Messungen lagen im Bereich von ±1%. Der niedrigste Durchflusswert mit – 8,2 % Abweichung wurde vom WSA Schweinfurt mit einem RioPro auf dem Geräteträger RiverBoat gemessen. Die höchsten Werte haben das WSA Saarbrücken (+3,6 %) und das WSA Bingen (+3,8 %) gemessen.

Beim Vergleich der beiden Diagramme Abbildung 4 und Abbildung 5 wird sichtbar, dass die Berechnung des Durchflusses nach der WinRiver-Methode weniger vom Referenzwert abweichende Werte ergibt, diese Methode also robuster als die Berechnungsmethode nach AGILA ist. Insgesamt ist die Streuung der Werte niedriger als bei der Auswertung nach der AGILA-Methode. Grund dafür ist, dass die Berechnung nach dem AGILA-Verfahren hohe Anforderungen an die Qualität der Kompassdaten stellt.

Neben dem eigentlichen Gerätetest wurde auch geprüft, inwieweit sich die berechneten Abflüsse Q nach AGILA (Verfahren der Bundesanstalt für Gewässerkunde) und nach WinRiver (Verfahren des Geräteherstellers RDInstruments bzw. Sontek) unterscheiden. Die Messdaten werden jeweils auf prinzipiell andere Weise verarbeitet. Wie die Häufigkeitsverteilung der Abweichungen zeigt, sind die Ergebnisse in 13 Fällen und damit mehr als der Hälfte praktisch identisch. Bei weiteren 11 Geräten weichen die Ergebnisse um ±1% ab. Nur ein Gerät (WSA Duisburg, Fluctus) hat eine Abweichung von 2 %.

Wie die Häufigkeitsverteilung der Abweichungen (Abbildung 6, Tabelle 6**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) zeigt, sind die Ergebnisse in dreiviertel der Fälle (24) praktisch identisch; die maximale Abweichung liegt bei -2,5%. Ein Gerät misst fehlerhaft. Der gemittelte Durchfluss der beiden Auswertemethoden nach AGILA und nach WinRiver unterschied sich nach der Mittelung aller Messungen nur um ein Promille (1 m^3/s). Wenn es Abweichungen gibt, ist der Wert nach der WinRiver-Methode als zuverlässiger anzusehen als bei der Auswertung nach der AGILA-Methode.

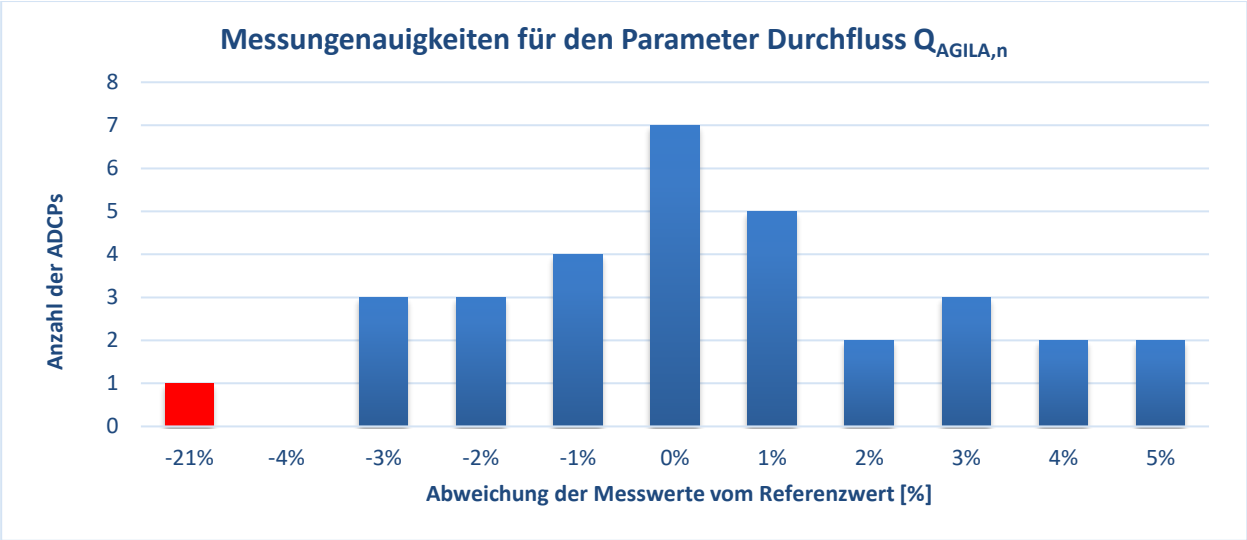


Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung der Messungenauigkeiten für den Durchfluss QAgila,n (Werte über W normiert, Weg über Grund „Bottom Track“ referenziert, roter Balken markiert schlechter als +/- 5 % Ungenauigkeit)

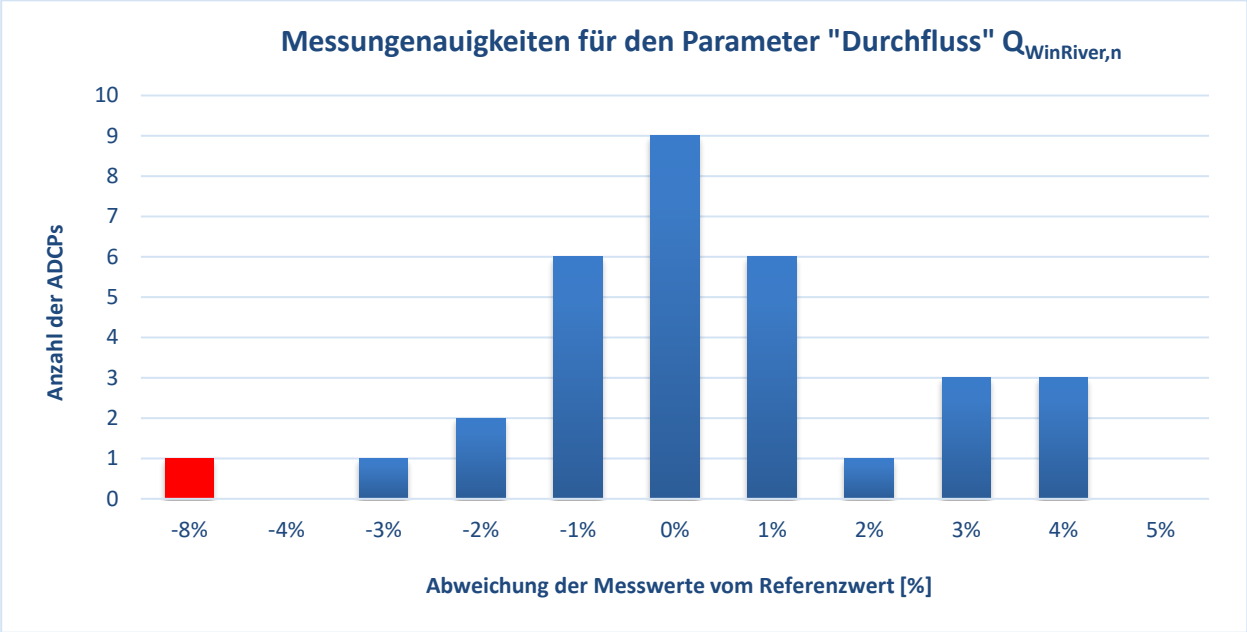


Abbildung 5: Betrag und Häufigkeit der Messungenauigkeiten für den Durchfluss QWinRiver,n (Werte über W normiert, Weg über Grund „Bottom Track“ referenziert)

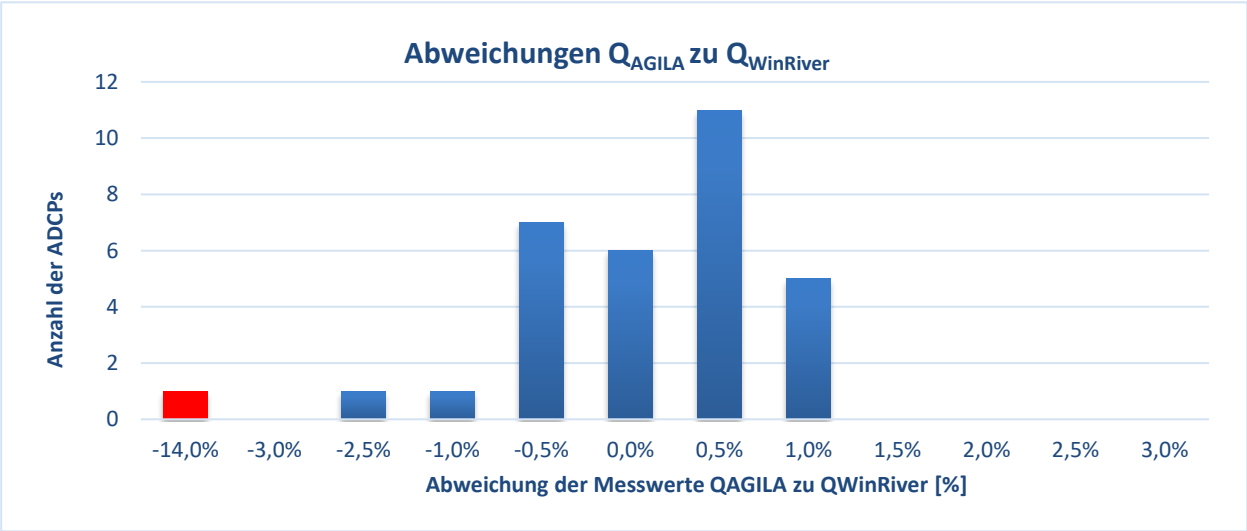


Abbildung 6: Abweichung der berechneten Durchflüsse Q nach AGILA (Verfahren der Bundesanstalt für Gewässerkunde) und nach WinRiver (Verfahren der Gerätehersteller)

Tabelle 4: Abweichungen der ermittelten Durchflüsse QAgila normiert vom Referenzwert [956 m³/s]

ADCP-Einheit	$Q_{Agila,normiert}$ [m³/s]	Δ $Q_{Agila,normiert}$ Abw. vom Referenzwert
WSA Schweinfurt RioPro	747	-21,8%
Ruhrverband M9 Nr. 5622	921	-3,7%
DREAL SCHWARTZ M9 Nr. 6228	924	-3,3%
WSA Brandenburg RioPro	926	-3,1%
WSA Hann.-Münden Edertal RioPro	928	-3,0%
IB Schmied RioGrande 1200	930	-2,7%
DREAL BLAU M9 Nr. 4629	932	-2,6%
Ruhrverband M9 Nr. 3499	942	-1,5%
WSA Meppen RioGrande 1200	943	-1,4%
WSA Mannheim RioGrande 1200	944	-1,3%
WSA Koblenz Riverboat RioGrande 1200	947	-1,0%
WSA Aschaffenburg RiverPro	948	-0,9%
WSA Dresden RioPro	949	-0,8%
WSA Hann.-Münden RioGrande 1200	949	-0,7%
WSA Schweinfurt RiverRay	949	-0,7%
WSA Heidelberg RioGrande 1200	950	-0,6%
BfG M9 Nr. 2382	952	-0,5%
WSA Brandenburg RiverRay	952	-0,4%
RWS Arnhem RiverRay	958	0,2%
WVER RioGrande 1200	959	0,2%
RWS Maastricht Broadband ADCP	961	0,5%
WSA Magdeburg RioGrande 1200	962	0,6%
RWS Arnhem RioGrande 1200	965	0,9%
WSA Heidelberg RiverPro	968	1,2%
WSA Duisburg RioGrande 1200	970	1,5%
WSA Koblenz Aquarius RioGrande 1200	978	2,2%
WSA Freiburg RioGrande 1200	982	2,6%
BfG RioGrande 1200	985	3,0%
BE Waterbouwkundig RioGrande 1200	987	3,2%
BfG M1 RioGrande 600	991	3,6%
WSA Saarbrücken RioGrande 600	997	4,3%
WSA Bingen RioGrande 600	998	4,3%

Tabelle 5: Abweichungen der ermittelten Durchflüsse QWinRiver,normiert vom Referenzwert [957 m³/s]

ADCP-Einheit		$\Delta Q_{WinR,normiert}$ Abw. vom Referenzwert
WSA Schweinfurt RioPro	879	-8,2%
Ruhrverband M9 Nr. 5622	926	-3,3%
WSA Hann.-Münden Edertal RioPro	933	-2,6%
IB Schmied RioGrande 1200	934	-2,5%
DREAL BLAU M9 Nr. 4629	941	-1,8%
DREAL SCHWARTZ M9 Nr. 6228	941	-1,7%
WSA Koblenz Riverboat RioGrande 1200	943	-1,5%
WSA Heidelberg RioGrande 1200	945	-1,3%
WSA Mannheim RioGrande 1200	947	-1,1%
WSA Schweinfurt RiverRay	948	-1,0%
WSA Meppen RioGrande 1200	948	-1,0%
WSA Hann.-Münden RioGrande 1200	948	-1,0%
Ruhrverband M9 Nr. 3499	948	-1,0%
BfG M9 Nr. 2382	948	-1,0%
WSA Aschaffenburg RiverPro	953	-0,5%
WSA Brandenburg RioPro	953	-0,5%
WSA Brandenburg RiverRay	953	-0,5%
RWS Arnhem RiverRay	954	-0,3%
WSA Dresden RioPro	955	-0,3%
RWS Maastricht Broadband ADCP	958	0,0%
RWS Arnhem RioGrande 1200	958	0,0%
WSA Magdeburg RioGrande 1200	960	0,3%
WVER RioGrande 1200	961	0,4%
WSA Duisburg RioGrande 1200	966	0,9%
WSA Heidelberg RiverPro	967	1,0%
WSA Koblenz Aquarius RioGrande 1200	973	1,7%
BfG RioGrande 1200	980	2,3%
WSA Freiburg RioGrande 1200	982	2,6%
BfG M1 RioGrande 600	986	2,9%
BE Waterbouwkundig RioGrande 1200	989	3,3%
WSA Saarbrücken RioGrande 600	992	3,6%
WSA Bingen RioGrande 600	994	3,8%

Tabelle 6: Differenzen der Durchflüsse QAGILA zu QWinRiver

ADCP-Einheit	Q_{AGILA}-Q_{WinR} [m³/s]	Q_{AGILA}-Q_{WinR} [%]
WSA Schweinfurt RioPro	-132	-15,0%
WSA Brandenburg RioPro	-27	-2,8%
DREAL SCHWARTZ M9 Nr. 6228	-17	-1,8%
DREAL BLAU M9 Nr. 4629	-9	-0,9%
Ruhrverband M9 Nr. 3499	-7	-0,7%
WSA Meppen RioGrande 1200	-5	-0,6%
WSA Dresden RioPro	-5	-0,6%
WSA Aschaffenburg RiverPro	-5	-0,5%
Ruhrverband M9 Nr. 5622	-5	-0,5%
WSA Hann.-Münden Edertal RioPro	-5	-0,5%
IB Schmied RioGrande 1200	-3	-0,4%
WVER RioGrande 1200	-2	-0,3%
WSA Mannheim RioGrande 1200	-2	-0,3%
BE Waterbouwkundig RioGrande 1200	-2	-0,2%
WSA Brandenburg RiverRay	-1	-0,1%
WSA Freiburg RioGrande 1200	-1	-0,1%
WSA Hann.-Münden RioGrande 1200	1	0,1%
WSA Heidelberg RiverPro	1	0,1%
WSA Schweinfurt RiverRay	2	0,2%
WSA Magdeburg RioGrande 1200	2	0,2%
RWS Maastricht Broadband ADCP	3	0,4%
WSA Bingen RioGrande 600	4	0,4%
WSA Koblenz Riverboat RioGrande 1200	4	0,4%
BfG M9 Nr. 2382	4	0,4%
RWS Arnhem RiverRay	4	0,4%
WSA Koblenz Aquarius RioGrande 1200	4	0,4%
WSA Duisburg RioGrande 1200	5	0,5%
WSA Heidelberg RioGrande 1200	5	0,5%
BfG RioGrande 1200	5	0,5%
WSA Saarbrücken RioGrande 600	6	0,6%
BfG M1 RioGrande 600	6	0,6%
RWS Arnhem RioGrande 1200	7	0,7%

3.2. Vergleich der mittleren Fließgeschwindigkeit v_m

Der Parameter mittlere Fließgeschwindigkeit v_m weist bei der Vergleichsmessung nur geringe Unterschiede auf. Der Referenzwert lag bei 1,06 m/s, die größten absoluten Abweichungen wurden mit -0,10 m/s bzw. plus 0,05 m/s verzeichnet. 18 Messungen lagen im Bereich von ±1%. Die größte Abweichung hatte ein Gerät vom WSA Schweinfurt mit -9,7% (0,1 m/s). Alle anderen Geräte lagen zwischen -3,2 % und 4,4 % (Abbildung 7, Tabelle 7).

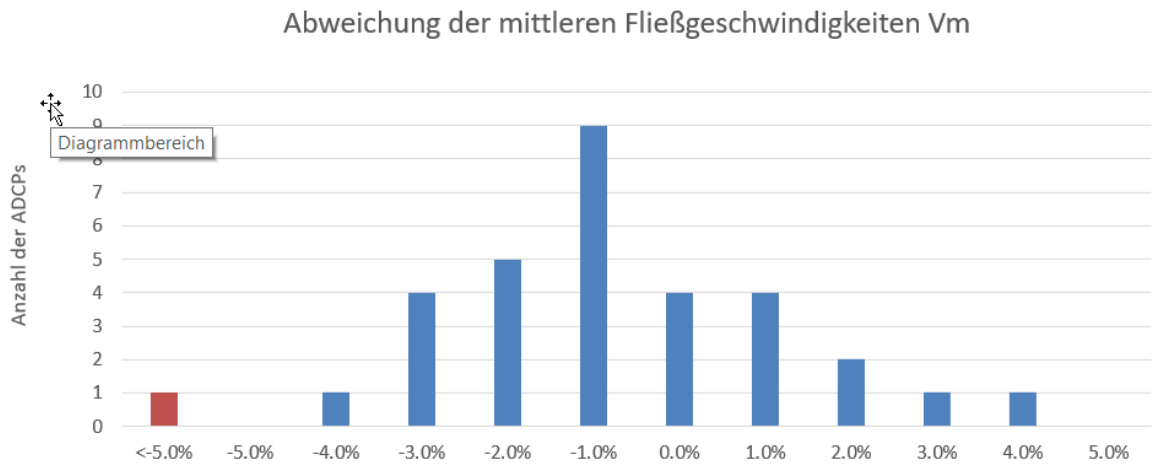


Abbildung 7 : Betrag und Häufigkeit der Messungenauigkeiten für die mittlere Fließgeschwindigkeit vm.

Tabelle 7: Abweichungen der mittleren Fließgeschwindigkeit v_m vom Referenzwert [1,06 m/s]

ADCP-Einheit	V_m [m/s]	ΔV_m Abw. vom Referenzwert
WSA Schweinfurt RioPro	0,96	-9,7%
WSA Hann.-Münden Edertal RioPro	1,03	-3,2%
DREAL SCHWARTZ M9 Nr. 6228	1,04	-2,2%
WSA Brandenburg RioPro	1,04	-2,2%
BfG M9 Nr. 2382	1,04	-2,2%
Ruhrverband M9 Nr. 5622	1,04	-2,2%
IB Schmied RioGrande 1200	1,05	-1,3%
WSA Saarbrücken RioGrande 600	1,05	-1,3%
DREAL BLAU M9 Nr. 4629	1,05	-1,3%
WSA Dresden RioPro	1,05	-1,3%
Ruhrverband M9 Nr. 3499	1,05	-1,3%
RWS Maastricht Broadband ADCP	1,06	-0,3%
WSA Mannheim RioGrande 1200	1,06	-0,3%
WSA Koblenz Riverboat RioGrande 1200	1,06	-0,3%
WSA Heidelberg RioGrande 1200	1,06	-0,3%
WSA Aschaffenburg RiverPro	1,06	-0,3%
WSA Magdeburg RioGrande 1200	1,06	-0,3%
WSA Meppen RioGrande 1200	1,06	-0,3%
WSA Hann.-Münden RioGrande 1200	1,06	-0,3%
WSA Schweinfurt RiverRay	1,06	-0,3%
BE Waterbouwkundig RioGrande 1200	1,07	0,6%
RWS Arnhem RioGrande 1200	1,07	0,6%
RWS Arnhem RiverRay	1,07	0,6%
WVER RioGrande 1200	1,07	0,6%
WSA Freiburg RioGrande 1200	1,08	1,5%
WSA Heidelberg RiverPro	1,08	1,5%
BfG RioGrande 1200	1,08	1,5%
WSA Brandenburg RiverRay	1,08	1,5%
WSA Koblenz Aquarius RioGrande 1200	1,09	2,5%
WSA Duisburg RioGrande 1200	1,09	2,5%
WSA Bingen RioGrande 600	1,10	3,4%
BfG M1 RioGrande 600	1,11	4,4%

3.3. Messungenauigkeiten für den Parameter "Querschnittsfläche A"

Die Querschnittfläche A wird normiert nach dem mittleren Wasserstand verglichen (s. 0). Die Fläche gibt Hinweise auf die korrekte Bestimmung der Sohle (Wassertiefe und Breite) über das Bottomtrack-Signal. Die Messungenauigkeiten waren für diesen Parameter im Vergleich zu anderen Parametern relativ klein (Abbildung 8, Tabelle 8): Nur zwei Messungen lagen mit der ermittelten Querschnittsfläche nicht innerhalb der 5 % Grenze. Dies ist eine Messung mehr als bei dem Parameter Q. Ursächlich ist auch ein höherer h_m-Wert, aber unter dem Referenzwert bei der äquivalenten Messtiefe h_m. 18 Messungen lagen im Bereich von ±1 %. Die niedrigste Querschnittsfläche mit – 13,1 % Abweichung ermittelte das WSA Schweinfurt mit dem RioPro auf dem Geräteträger RiverBoat. Der höchste Wert wurde vom WSA Saarbrücken mit +5,5 % gemessen. Unterschiede, die auf den Gerätetypus, oder die Messfrequenz zurückgeführt werden könnten, wurden nicht gefunden.

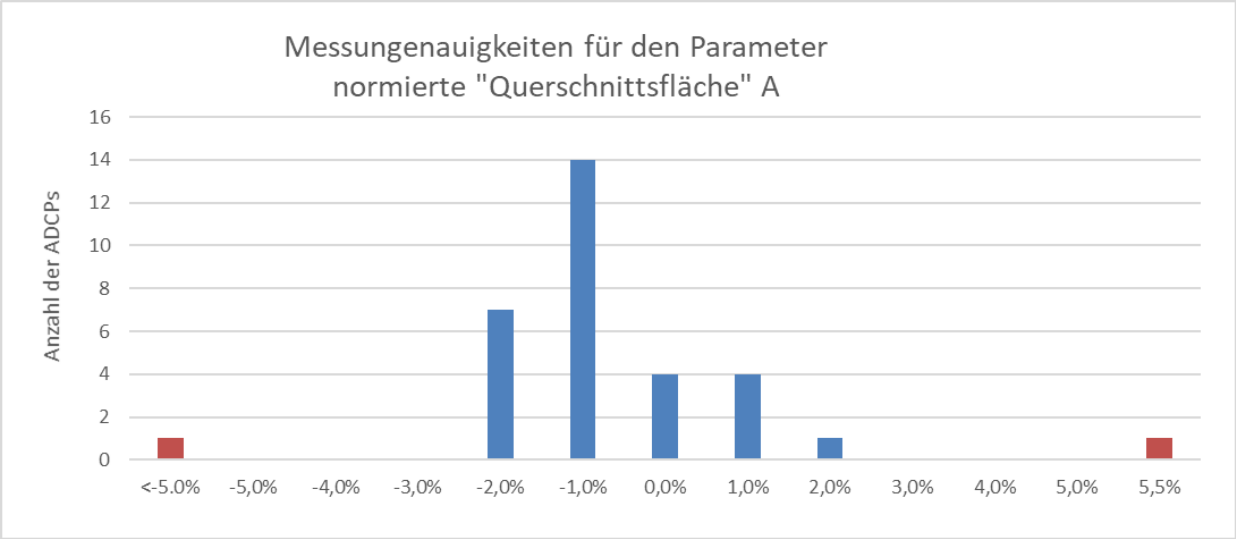


Abbildung 8: Betrag und Häufigkeit der Messungenauigkeiten für die normierte Querschnittsfläche A

Tabelle 8: Abweichungen der ermittelten Querschnittsflächen vom Referenzwert [899 m²]

ADCP-Einheit	$A_{normiert}$ [m²]	$\Delta A_{normiert}$ Abw. vom Referenzwert
WSA Schweinfurt RioPro	781	-13,1%
WSA Brandenburg RiverRay	885	-1,7%
DREAL SCHWARTZ M9 Nr. 6228	887	-1,3%
WSA Meppen RioGrande 1200	888	-1,2%
WSA Brandenburg R	889	-1,2%
WSA Mannheim RioGrande 1200	889	-1,1%
IB Schmied RioGrande 1200	889	-1,1%
Ruhrverband M9 Nr. 5622	889	-1,1%
DREAL BLAU M9 Nr. 4629	891	-1,0%
WSA Duisburg RioGrande 1200	892	-0,9%
WSA Aschaffenburg RiverPro	892	-0,9%
WSA Hann.-Münden RioGrande 1200	894	-0,6%
WSA Schweinfurt RiverRay	895	-0,5%
WSA Koblenz Riverboat RioGrande 1200	895	-0,5%
BfG M1 RioGrande 600	896	-0,4%
Ruhrverband M9 Nr. 3499	896	-0,4%
WSA Heidelberg RioGrande 1200	896	-0,4%
RWS Arnhem RiverRay	896	-0,4%
WVER RioGrande 1200	897	-0,3%
WSA Koblenz Aquarius RioGrande 1200	897	-0,3%
WSA Hann.-Münden Edertal RioPro	898	-0,2%
WSA Heidelberg RiverPro	899	0,0%
RWS Arnhem RioGrande 1200	902	0,3%
RWS Maastricht Broadband ADCP	903	0,4%
WSA Dresden RioPro	903	0,4%
WSA Magdeburg RioGrande 1200	907	0,8%
WSA Freiburg RioGrande 1200	910	1,2%
WSA Bingen RioGrande 600	911	1,2%
BfG RioGrande 1200	915	1,7%
BfG M9 Nr. 2382	915	1,7%
BE Waterbouwkundig RioGrande 1200	919	2,1%
WSA Saarbrücken RioGrande 600	949	5,5%

3.4. Messungenauigkeiten für den Parameter "Querschnittsbreite b"

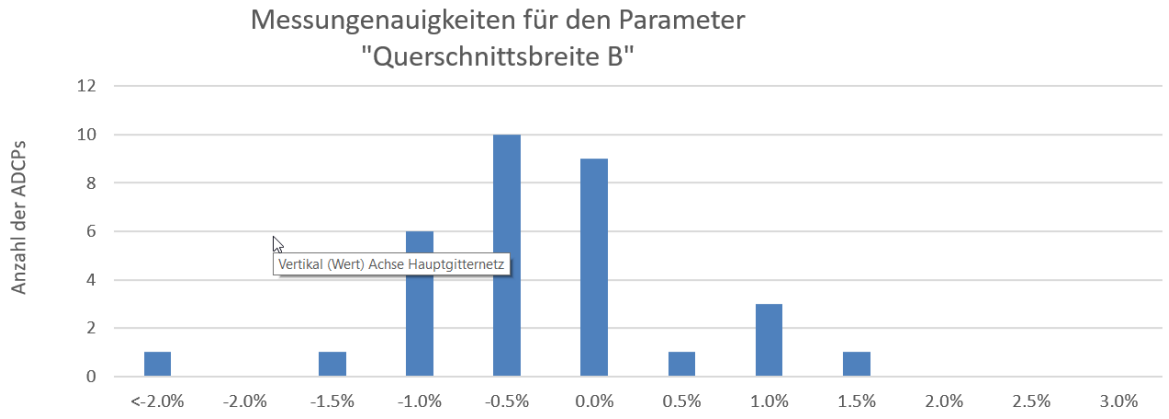


Abbildung 9 : Betrag und Häufigkeit der Messungenauigkeiten für die Querschnittsbreite B

Wie bei der Querschnittsfläche wurden ähnlich geringe Messunterschiede gefunden. 27 Messungen lagen im Bereich von ±1 % (Abbildung 9, Tabelle 9). Die geringste Breite wurde vom WSA Schweinfurt mit RioPro (-14,2 %), die größte Breite mit 1,8 % Abweichung von der BfG mit dem RiverSurveyor M9 gemessen. Interessant an diesem Parameter ist die Mischung aus Messung und menschlicher Schätzung (der Randabstände). Die sehr geringen Unterschiede bei dem Parameter spiegeln somit auch eine sehr ähnliche Schätzung der Randabstände wieder. Hierbei darf allerdings nicht außer Acht gelassen werden, dass durch das Vergleichssetting auch eine sofortige gegenseitige Kontrolle der Schätzung untereinander erfolgen konnte.

Tabelle 9: Abweichungen der ermittelten Querschnittsbreiten vom Referenzwert [315 m]

ADCP-Einheit	B [m]	Δ B Abw. vom Referenzwert
WSA Schweinfurt RioPro	270	-14,2%
WSA Brandenburg RioPro	312	-1,0%
WSA Meppen RioGrande 1200	312	-0,8%
WSA Dresden RioPro	312	-0,8%
WSA Duisburg RioGrande 1200	313	-0,7%
WSA Schweinfurt RiverRay	313	-0,7%
WSA Mannheim RioGrande 1200	313	-0,7%
RWS Arnhem RiverRay	313	-0,6%
DREAL BLAU M9 Nr. 4629	314	-0,3%
DREAL SCHWARTZ M9 Nr. 6228	314	-0,3%
WSA Bingen RioGrande 600	314	-0,3%
WSA Koblenz Riverboat RioGrande 1200	314	-0,2%
BE Waterbouwkundig RioGrande 1200	314	-0,2%
WVER RioGrande 1200	314	-0,2%
WSA Aschaffenburg RiverPro	314	-0,1%
WSA Saarbrücken RioGrande 600	314	-0,1%
Ruhrverband M9 Nr. 5622	315	-0,1%
RWS Maastricht Broadband ADCP	315	-0,1%
WSA Brandenburg RiverRay	315	0,1%
WSA Heidelberg RioGrande 1200	315	0,1%
WSA Heidelberg RiverPro	315	0,1%
IB Schmied RioGrande 1200	315	0,1%
RWS Arnhem RioGrande 1200	315	0,1%
WSA Freiburg RioGrande 1200	315	0,2%
BfG M1 RioGrande 600	315	0,2%
WSA Koblenz Aquarius RioGrande 1200	315	0,2%
WSA Magdeburg RioGrande 1200	316	0,3%
WSA Hann.-Münden Edertal RioPro	317	0,7%
BfG RioGrande 1200	318	1,1%
WSA Hann.-Münden RioGrande 1200	318	1,2%
Ruhrverband M9 Nr. 3499	319	1,2%
BfG M9 Nr. 2382	320	1,8%

.

3.5. Messungenauigkeiten für den Parameter "mittlere Wassertiefe h_m"

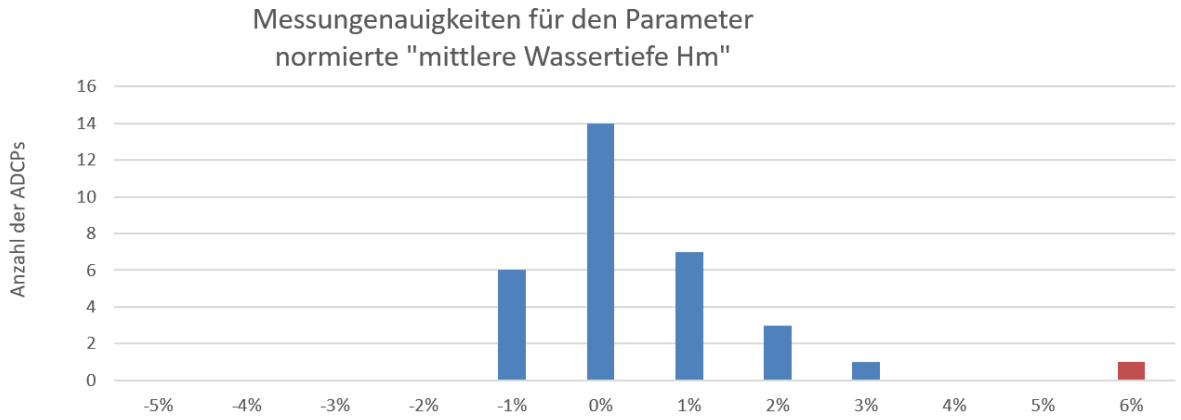


Abbildung 10 : Betrag und Häufigkeit der Messungenauigkeiten für die normierte mittlere Wassertiefe hm

Auch der Parameter mittlere Wassertiefe h_m weist bei der Vergleichsmessung nur geringe Unterschiede zwischen den Einzelmessungen auf. Der Referenzwert lag bei 2,86 m, die größten absoluten Abweichungen wurden mit -5 cm bzw. plus 16 cm ausgezeichnet. 21 Messungen lagen im Bereich von ±1%. Die größte Abweichung hatte das Gerät vom WSA Saarbrücken mit +5,5 % (16 cm). Alle anderen Geräte lagen zwischen -1,9 % und 2,3 % (Abbildung 10, Tabelle 10). Neben der Qualität des Bottom-track-Signals und der Sohlbestimmung sind Differenzen zwischen den Messsystemen auch in fehlerhaften Annahmen über die verbauten ADCP-Sensortiefen zu suchen. Hier sind insbesondere bei den Messystemen mit den größten Abweichungen Nachmessungen anzuraten, wenn möglich auch bei unterschiedlichem Beladungsgewicht (Tankfüllstand und Besatzungsmitgliedern an Bord).

Tabelle 10: Abweichungen der ermittelten normierten mittleren Wassertiefen vom Referenzwert [2,86 m]

ADCP-Einheit	$H_{m,normiert}$ [m]	$\Delta H_{m,normiert}$ Abw. vom Referenzwert
WSA Brandenburg RiverRay	2,81	-1,9%
WSA Hann.-Münden RioGrande 1200	2,81	-1,9%
Ruhrverband M9 Nr. 3499	2,82	-1,5%
IB Schmied RioGrande 1200	2,83	-1,2%
DREAL SCHWARTZ M9 Nr. 6228	2,83	-1,2%
Ruhrverband M9 Nr. 5622	2,83	-1,2%
BfG M1 RioGrande 600	2,84	-0,8%
WSA Aschaffenburg RiverPro	2,84	-0,8%
DREAL BLAU M9 Nr. 4629	2,84	-0,8%
WSA Hann.-Münden Edertal RioPro	2,84	-0,8%
WSA Koblenz Aquarius RioGrande 1200	2,85	-0,5%
WSA Mannheim RioGrande 1200	2,85	-0,5%
WSA Heidelberg RioGrande 1200	2,85	-0,5%
WSA Meppen RioGrande 1200	2,85	-0,5%
WSA Duisburg RioGrande 1200	2,86	-0,1%
WSA Koblenz Riverboat RioGrande 1200	2,86	-0,1%
WVER RioGrande 1200	2,86	-0,1%
WSA Heidelberg RiverPro	2,86	-0,1%
WSA Brandenburg RioPro	2,86	-0,1%
BfG M9 Nr. 2382	2,86	-0,1%
RWS Arnhem RioGrande 1200	2,87	0,2%
RWS Arnhem RiverRay	2,87	0,2%
WSA Magdeburg RioGrande 1200	2,87	0,2%
WSA Schweinfurt RiverRay	2,87	0,2%
RWS Maastricht Broadband ADCP	2,88	0,6%
BfG RioGrande 1200	2,88	0,6%
WSA Freiburg RioGrande 1200	2,89	0,9%
WSA Bingen RioGrande 600	2,90	1,3%
WSA Schweinfurt RioPro	2,90	1,3%
WSA Dresden RioPro	2,90	1,3%
BE Waterbouwkundig RioGrande 1200	2,93	2,3%
WSA Saarbrücken RioGrande 600	3,02	5,5%

3.6. Messungenauigkeiten für den Parameter "maximale Wassertiefe H_{max}"

Der Parameter maximale Wassertiefe H_{max} liefert andere Abweichungen als die mittleren Wassertiefen. Zwar sind die technischen Fehlerquellen beider Parameter ähnlich, H_{max} ist aber stärker vom wirklichen Messweg beeinflusst, den die Messteams gefahren sind. Beim Auftreten der größten Wassertiefe während der Messfahrt spielt der Zufall eine größere Rolle. Daher ist der Parameter in der Vergleichsbewertung weniger aussagekräftig. Trotzdem lagen 19 Messungen im Bereich von ±1% (Abbildung 11, Tabelle 11). Alle anderen Geräte lagen zwischen -2,6 % und +2,8 und zeigten damit einen sehr ähnlichen und verlässlichen Messwert.

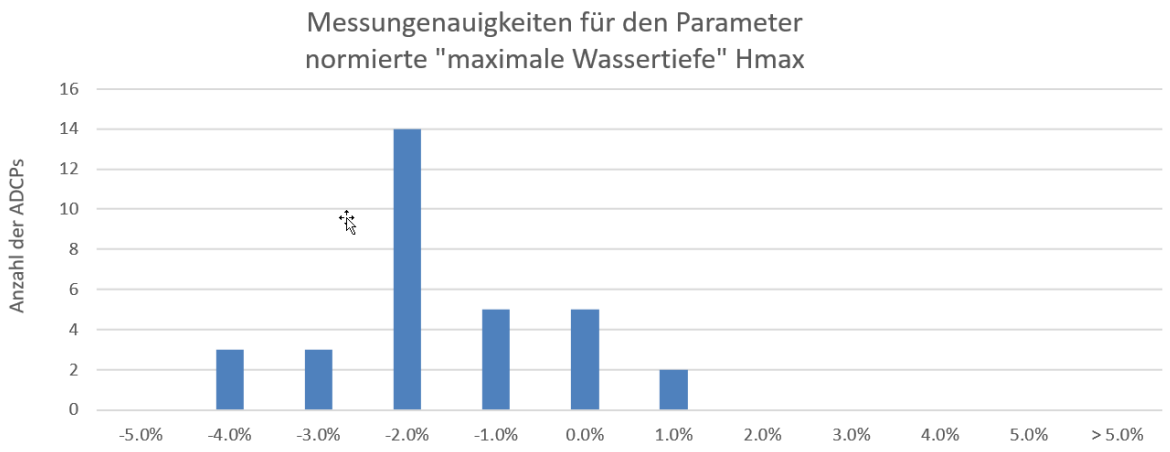


Abbildung 11: Betrag und Häufigkeit der Messungenauigkeiten für die normierte maximalen Wassertiefe H_{max}

Tabelle 11: Abweichungen der ermittelten maximalen Wassertiefen vom Referenzwert [3,51 m]

ADCP-Einheit	$H_{max,\ norm.}$ [m]	$\Delta H_{max,\ normiert}$ Abw. vom Referenzwert
WSA Duisburg RioGrande 1200	3,42	-2,6%
WSA Brandenburg RiverRay	3,44	-2,0%
WSA Meppen RioGrande 1200	3,44	-2,0%
WSA Koblenz Riverboat RioGrande 1200	3,45	-1,7%
IB Schmied RioGrande 1200	3,47	-1,1%
WSA Schweinfurt RioPro	3,47	-1,1%
WSA Koblenz Aquarius RioGrande 1200	3,48	-0,9%
BfG M1 RioGrande 600	3,48	-0,9%
WSA Heidelberg RioGrande 1200	3,48	-0,9%
RWS Arnhem RiverRay	3,48	-0,9%
WSA Brandenburg RioPro	3,48	-0,9%
BfG M9 Nr. 2382	3,48	-0,9%
DREAL BLAU M9 Nr. 4629	3,49	-0,6%
BfG RioGrande 1200	3,50	-0,3%
RWS Arnhem RioGrande 1200	3,51	0,0%
WSA Hann.-Münden RioGrande 1200	3,51	0,0%
WSA Heidelberg RiverPro	3,51	0,0%
DREAL SCHWARTZ M9 Nr. 6228	3,51	0,0%
BE Waterbouwkundig RioGrande 1200	3,51	0,0%
WSA Dresden RioPro	3,51	0,0%
WSA Mannheim RioGrande 1200	3,52	0,3%
RWS Maastricht Broadband ADCP	3,53	0,6%
WSA Aschaffenburg RiverPro	3,54	0,8%
Ruhrverband M9 Nr. 3499	3,54	0,8%
WSA Magdeburg RioGrande 1200	3,54	0,8%
WVER RioGrande 1200	3,56	1,4%
Ruhrverband M9 Nr. 5622	3,56	1,4%
WSA Bingen RioGrande 600	3,57	1,7%
WSA Freiburg RioGrande 1200	3,57	1,7%
WSA Hann.-Münden Edertal RioPro	3,58	2,0%
WSA Schweinfurt RiverRay	3,59	2,3%
WSA Saarbrücken RioGrande 600	3,61	2,8%

3.7. Messungenauigkeiten für den Parameter "Entfernung Start-Stopp (made good) "

Start und Endpunkt der Messfahrten war jeweils ein Steiger an beiden Ufern. Nach Ausmessen auf der Karte im Geoportal der WSV beträgt die Entfernung zwischen den Steigern 326 m. Da aufgrund des vorgefundenen Zustandes (abstehende Teile) am rechten Steiger kein Anlegen möglich war, und wegen der ungünstigen lokalen Strömung auch kein dichtes Heranfahren, endeten die Messfahrten der bemannten Boote in ca. 6 m Abstand zum Steiger. Dadurch wäre der Sollwert der "Entfernung Start-Stopp (made good)“ 320. Die hinter einem bemannten Boot geschleppten Geräteträger konnten am Seil näher an den Steiger geführt werden. Ein System (RiverSurveyor M9 der BfG) hat den maximalen Wer von 326m erreicht. Da Start und Endpunkt bei der Vergleichsfahrt zuvor festgelegt waren, gibt der Wert "Entfernung Start-Stopp (made good)“ vor allem an, wie gut die Boote diese Maßgabe umsetzen konnten. Dabei spielt die Variante, wie die Messsensorik im Geräteträgersystem über den Fluss gezogen wird, eine Rolle: direkt verbaut, geschleppt, oder seitlich geführt (Abbildung 12, Tabelle 12). 17 Messungen lagen im Bereich von ±1%. WSA Schweinfurt, RioPro hatte eine Abweichung von -53,4 %. Eine weitere Messung lag schlechter als 5% (BfG M9 Nr. 2382 mit +5,3 %).

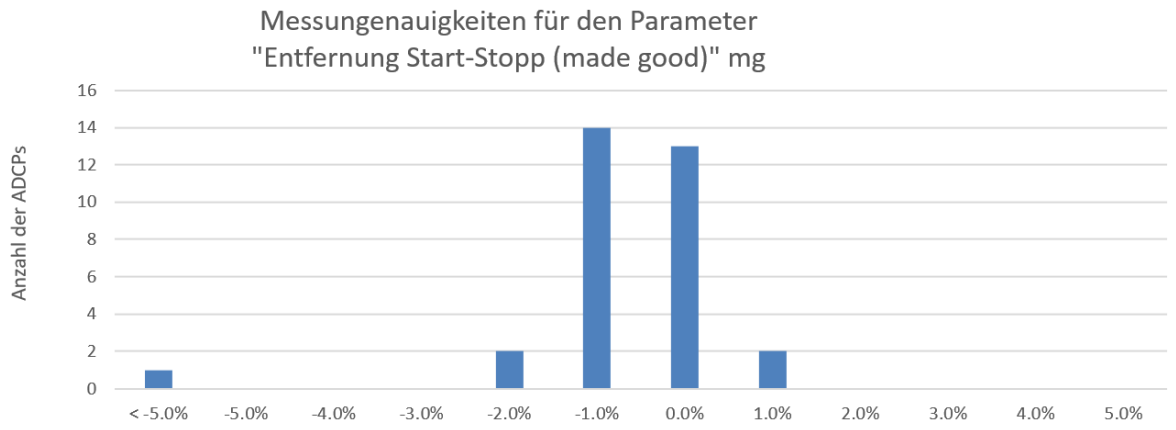


Abbildung 12 : Betrag und Häufigkeit der Messungenauigkeiten für die Entfernung Start-Stopp (mg)

Tabelle 12: Abweichungen der ermittelten Entfernungen Start-Stopp (made good) vom Referenzwert [320m]

ADCP-Einheit	mg [m]	Δ mg [m] Abw. vom Referenzwert
WSA Schweinfurt RioPro	267	-53,4
WSA Dresden RioPro	316	-4,2
WSA Meppen RioGrande 1200	317	-3,4
WSA Hann.-Münden RioGrande 1200	318	-2,3
WSA Duisburg RioGrande 1200	318	-2,2
WSA Bingen RioGrande 600	319	-1,8
WSA Schweinfurt RiverRay	319	-1,6
RWS Arnhem RiverRay	319	-1,4
WSA Koblenz Riverboat RioGrande 1200	320	-0,8
WSA Brandenburg RioPro	320	-0,8
RWS Maastricht Broadband ADCP	320	-0,7
DREAL BLAU M9 Nr. 4629	320	-0,7
WSA Saarbrücken RioGrande 600	320	-0,6
BE Waterbouwkundig RioGrande 1200	320	-0,5
WSA Hann.-Münden Edertal RioPro	320	-0,1
WSA Mannheim RioGrande 1200	320	0,0
DREAL SCHWARTZ M9 Nr. 6228	320	0,0
WSA Aschaffenburg RiverPro	320	0,1
WVER RioGrande 1200	321	0,1
WSA Heidelberg RiverPro	321	0,2
BfG M1 RioGrande 600	321	0,3
WSA Magdeburg RioGrande 1200	321	0,3
WSA Koblenz Aquarius RioGrande 1200	321	0,4
RWS Arnhem RioGrande 1200	321	0,5
IB Schmied RioGrande 1200	321	1,0
WSA Heidelberg RioGrande 1200	322	1,2
BfG RioGrande 1200	322	1,3
Ruhrverband M9 Nr. 5622	322	1,9
WSA Freiburg RioGrande 1200	322	1,9
WSA Brandenburg RiverRay	323	2,9
Ruhrverband M9 Nr. 3499	324	3,9
BfG M9 Nr. 2382	326	5,3

3.8. Messungenauigkeiten für den Parameter "Fließrichtung"

3.8.1. Mittlere Fließrichtung

Der Vergleich der Fließrichtungen (Hauptfließrichtung) zeigt eine ähnliche Qualität wie der integrierende Parameter Q auf: 16 Messungen lagen im Bereich von ±1 ° (Abbildung 13, Tabelle 13). WSA Schweinfurt, RioPro hatte eine Abweichung von 52,0 °. Dies deutet auf einen Gerätedefekt hin (interner Kompass). Alle übrigen Messungen lagen besser als ±3,5.

Gerätetypus bedingte Gruppierung bei der Messgenauigkeit, wie sie beim Durchflusswert gefunden werden konnten, traten nicht auf.

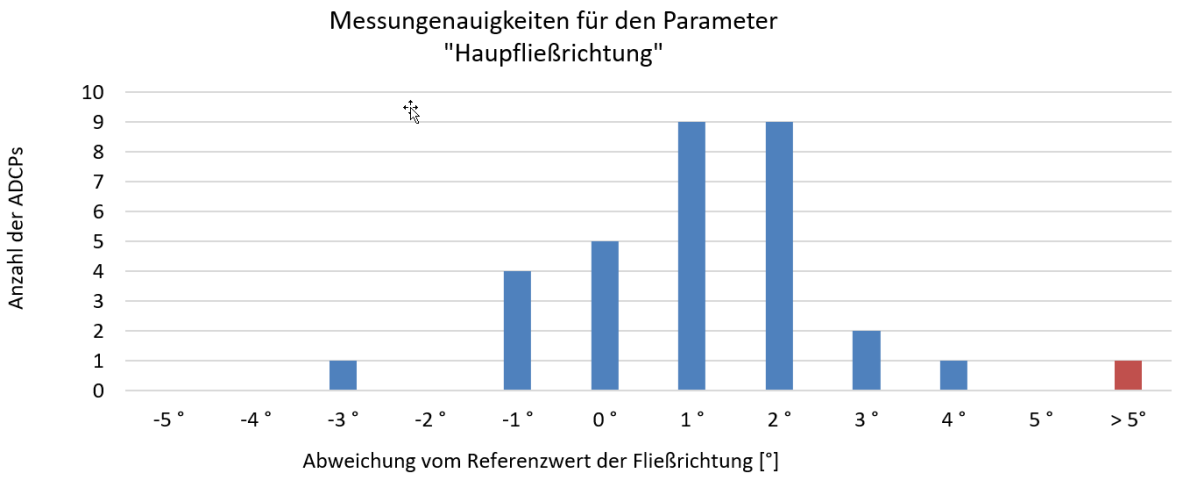


Abbildung 13: Betrag und Häufigkeit der Messungenauigkeiten für die Hauptfließrichtung im Messquerschnitt (gemittelt aus allen Messfahrten)

Tabelle 13: Abweichungen der ermittelten Fließrichtung vom Referenzwert (gemittelt jeweils aus allen Messfahrten)

ADCP-Einheit	mittl. Fliessricht	mittl. Fließricht. Abw. vom Referenzwert	
Ruhrverband M9 Nr. 5622	21,8 °	-3,5 °	
BE Waterbouwkundig RioGrande 1200	23,3 °	-2,0 °	
WSA Hann.-Münden RioGrande 1200	23,4 °	-1,9 °	
RWS Arnhem RiverRay	23,8 °	-1,5 °	
WSA Magdeburg RioGrande 1200	24,2 °	-1,1 °	
RWS Arnhem RioGrande 1200	24,5 °	-0,7 °	
WSA Meppen RioGrande 1200	24,7 °	-0,6 °	
WSA Koblenz Riverboat RioGrande 1200	24,7 °	-0,6 °	
WSA Aschaffenburg RiverPro	24,9 °	-0,4 °	
WSA Brandenburg RioPro	25,0 °	-0,3 °	
DREAL SCHWARTZ M9 Nr. 6228	25,5 °	0,2 °	
WSA Freiburg RioGrande 1200	25,5 °	0,2 °	
WVER RioGrande 1200	25,5 °	0,3 °	
WSA Schweinfurt RiverRay	25,5 °	0,2 °	
WSA Heidelberg RioGrande 1200	25,5 °	0,2 °	
BfG RioGrande 1200	25,9 °	0,6 °	
WSA Mannheim RioGrande 1200	26,0 °	0,7 °	
IB Schmied RioGrande 1200	26,2 °	1,0 °	
DREAL BLAU M9 Nr. 4629	26,3 °	1,0 °	
WSA Heidelberg RiverPro	26,3 °	1,0 °	
WSA Dresden RioPro	26,3 °	1,0 °	
BfG M9 Nr. 2382	26,4 °	1,1 °	
WSA Duisburg RioGrande 1200	26,4 °	1,1 °	
WSA Saarbrücken RioGrande 600	26,5 °	1,3 °	
BfG M1 RioGrande 600	26,6 °	1,4 °	
Ruhrverband M9 Nr. 3499	26,7 °	1,4 °	
WSA Hann.-Münden Edertal RioPro	26,8 °	1,5 °	
WSA Bingen RioGrande 600	27,0 °	1,7 °	
WSA Koblenz Aquarius RioGrande 1200	27,5 °	2,3 °	
WSA Brandenburg RiverRay	28,2 °	3,0 °	
RWS Maastricht Broadband ADCP	28,5 °	3,2 °	
WSA Schweinfurt RioPro	77,3 °	52,0 °	

3.8.2. Abweichung der Fließrichtung in Abhängigkeit der Messfahrtrichtung

Die ermittelten Fließrichtungen weisen oft Ungenauigkeiten bzw. Ablenkungen auf, welche systematisch mit der Fahrtrichtung des Messbootes zusammenzuhängen scheinen. Dieses Phänomen konnte in der Vergangenheit immer wieder beobachtet werden, ohne dass bisher eine Erklärung dafür gefunden wurde. Selbst bei der Nutzung eines GNSS-Kompasses - wie beim Messboot M1 der Bundesanstalt für Gewässerkunde - anstatt des im ADCP eingebauten Magnetkompasses, tritt dieser Effekt auf. Ein GNSS-Kompass ermittelt die Richtung über 2 GNSS-Antennen und ist von magnetischen Einflüssen unabhängig. Die Abweichung der Fließrichtung zwischen Hin- und Rückfahrt beträgt bei diesem Messsystem -1,6 °, bei den Systemen mit reiner Magnetkompassnutzung ist der Unterschied meist höher, zwei weitere Systeme lagen mit Magnetkompass jedoch gleich, 11 Systeme lagen besser, 9 Messungen lagen im Bereich von ±1°.

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. Abweichungen größer als 5 ° traten beim WSA Koblenz Aquarius RioGrande 1200 mit +7,8 °, BE Waterbouwkundig RioGrande 1200 mit +7,9 °, WSA Brandenburg RioPro mit -9,2 °, RWS Arnhem RiverRay mit -6,4 °, WSA Brandenburg RiverRay mit -6,3 ° und RWS Maastricht Broadband ADCP mit -6,1 auf. Größere Ausreißer wurden beim WSA Dresden RioPro mit -12,7 ° und WSA Schweinfurt RioPro mit +42,5 verzeichnet.

Diese teilweise großen Unterschiede sind bei einer Messfahrt im operationellen Betrieb nicht auffallend, da sich der Messfehler durch die Mehrfachmessungen ausgleicht. Trotzdem sollte durch weitere Maßnahmen und Untersuchungen die Diskrepanz in den Hauptfließrichtungen in Abhängigkeit von der Messfahrtrichtung in Zukunft minimiert werden.

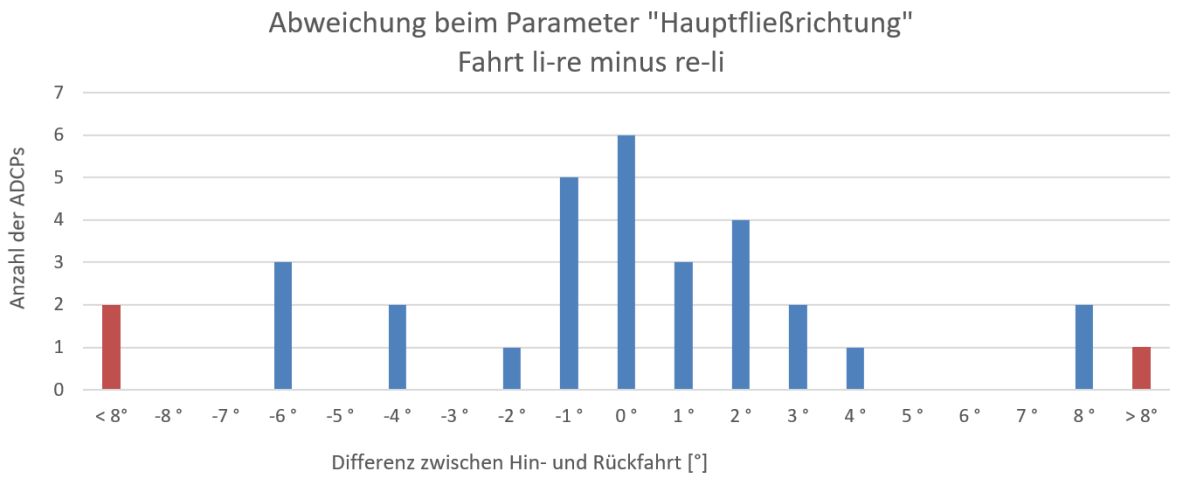


Abbildung 14: Abweichung beim Parameter „Hauptfließrichtung“ zwischen Hin- und Rückfahrt (vom linken zum rechten Ufer und umgekehrt)

Tabelle 14: Abweichung beim Parameter „Hauptfließrichtung“ zwischen Hin- und Rückfahrt (vom linken zum rechten Ufer und umgekehrt)

ADCP-Einheit	li-re minus re-li
WSA Dresden RioPro	-12,7 °
WSA Brandenburg RioPro	-9,2 °
RWS Arnhem RiverRay	-6,4 °
WSA Brandenburg RiverRay	-6,3 °
RWS Maastricht Broadband ADCP	-6,1 °
DREAL BLAU M9 Nr. 4629	-4,8 °
IB Schmied RioGrande 1200	-4,0 °
WSA Heidelberg RiverPro	-2,1 °
WVER RioGrande 1200	-1,9 °
RWS Arnhem RioGrande 1200	-1,7 °
BfG M1 RioGrande 600	-1,6 °
DREAL SCHWARTZ M9 Nr. 6228	-1,6 °
WSA Magdeburg RioGrande 1200	-1,3 °
WSA Duisburg RioGrande 1200	-0,7 °
WSA Hann.-Münden Edertal RioPro	-0,7 °
WSA Bingen RioGrande 600	-0,3 °
WSA Heidelberg RioGrande 1200	-0,3 °
WSA Mannheim RioGrande 1200	-0,1 °
Ruhrverband M9 Nr. 5622	0,0 °
WSA Schweinfurt RiverRay	0,5 °
WSA Hann.-Münden RioGrande 1200	0,8 °
WSA Koblenz Riverboat RioGrande 1200	0,9 °
WSA Saarbrücken RioGrande 600	1,1 °
WSA Freiburg RioGrande 1200	1,6 °
WSA Meppen RioGrande 1200	1,8 °
BfG RioGrande 1200	1,9 °
Ruhrverband M9 Nr. 3499	2,7 °
WSA Aschaffenburg RiverPro	2,8 °
BfG M9 Nr. 2382	4,0 °
WSA Koblenz Aquarius RioGrande 1200	7,8 °
BE Waterbouwkundig RioGrande 1200	7,9 °
WSA Schweinfurt RioPro	42,5 °

°

3.8.3. Mittlere Fließrichtung der Messfahrten links-rechts

13 Messungen lagen im Bereich von ±1 °. Extremer Ausreißer war WSA Schweinfurt RioPro mit +73,3 ° Abweichung. Abweichungen größer 5 ° bei WSA Dresden RioPro mit -5,3 °, und WSA Koblenz, Aquarius RioGrande mit +6,2 °.

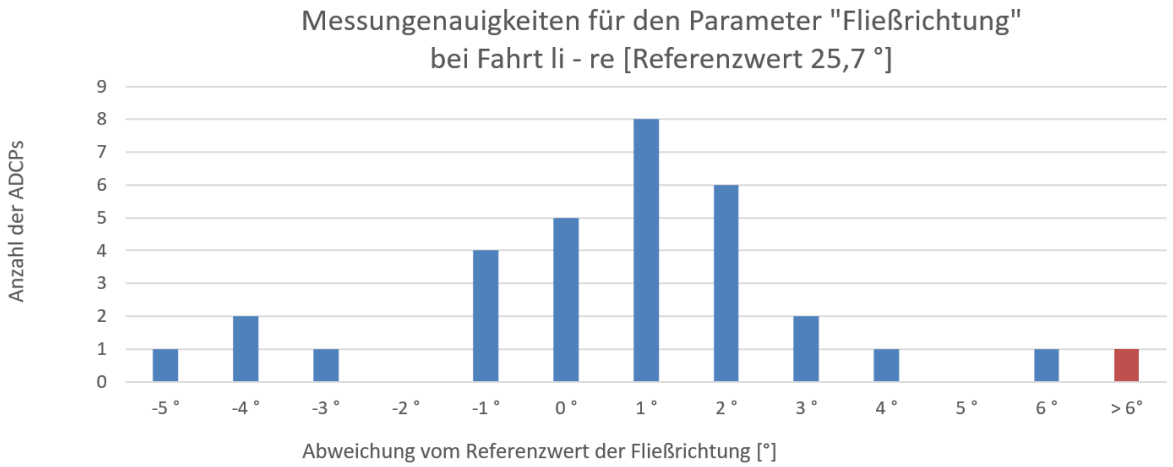


Abbildung 15: Betrag und Häufigkeit der Messungenauigkeiten für die Hauptfließrichtung im Messquerschnitt bei Messfahrten vom linken zum rechten Ufer

Tabelle 15: Abweichungen der ermittelten Fließrichtung (Messfahrten links-rechts) vom Referenzwert [25,7°]

ADCP-Einheit	li-re	Δ li-re Abw. vom Referenzwert	
WSA Dresden RioPro	20,0 °	-5,3 °	
WSA Brandenburg RioPro	20,4 °	-4,9 °	
RWS Arnhem RiverRay	20,6 °	-4,7 °	
Ruhrverband M9 Nr. 5622	21,8 °	-3,5 °	
WSA Magdeburg RioGrande 1200	23,6 °	-1,7 °	
RWS Arnhem RioGrande 1200	23,7 °	-1,6 °	
WSA Hann.-Münden RioGrande 1200	23,8 °	-1,5 °	
DREAL BLAU M9 Nr. 4629	23,9 °	-1,4 °	
IB Schmied RioGrande 1200	24,3 °	-1,0 °	
WVER RioGrande 1200	24,6 °	-0,7 °	
DREAL SCHWARTZ M9 Nr. 6228	24,7 °	-0,6 °	
WSA Brandenburg RiverRay	25,1 °	-0,2 °	
WSA Koblenz Riverboat RioGrande 1200	25,2 °	-0,1 °	
WSA Heidelberg RiverPro	25,3 °	0,0 °	
WSA Heidelberg RioGrande 1200	25,4 °	0,1 °	
RWS Maastricht Broadband ADCP	25,5 °	0,2 °	
WSA Meppen RioGrande 1200	25,6 °	0,3 °	
BfG M1 RioGrande 600	25,7 °	0,4 °	
WSA Schweinfurt RiverRay	25,8 °	0,5 °	
WSA Mannheim RioGrande 1200	26,0 °	0,7 °	
WSA Duisburg RioGrande 1200	26,1 °	0,8 °	
WSA Freiburg RioGrande 1200	26,3 °	1,0 °	
WSA Aschaffenburg RiverPro	26,3 °	1,0 °	
WSA Hann.-Münden Edertal RioPro	26,5 °	1,2 °	
WSA Bingen RioGrande 600	26,8 °	1,5 °	
BfG RioGrande 1200	26,8 °	1,5 °	
WSA Saarbrücken RioGrande 600	27,1 °	1,8 °	
BE Waterbouwkundig RioGrande 1200	27,3 °	2,0 °	
Ruhrverband M9 Nr. 3499	28,1 °	2,8 °	
BfG M9 Nr. 2382	28,4 °	3,1 °	
WSA Koblenz Aquarius RioGrande 1200	31,5 °	6,2 °	
WSA Schweinfurt RioPro	98,6 °	73,3 °	

3.8.4. Mittlere Fließrichtung der Messfahrten rechts-links

11 Messungen (Tabelle 16) lagen im Bereich von ±1 °. Extremer Ausreißer war WSA Schweinfurt RioPro mit +30,8 ° Abweichung. Abweichungen größer 5 ° bei WSA Dresden RioPro mit +7,4 °, RWS Maastricht BB ADCP mit +6,3 ° , WSA Brandenburg RiverRay mit + 6,1 ° und BE Waterbouwkundig RioGrande 1200 mit -5,9 °.

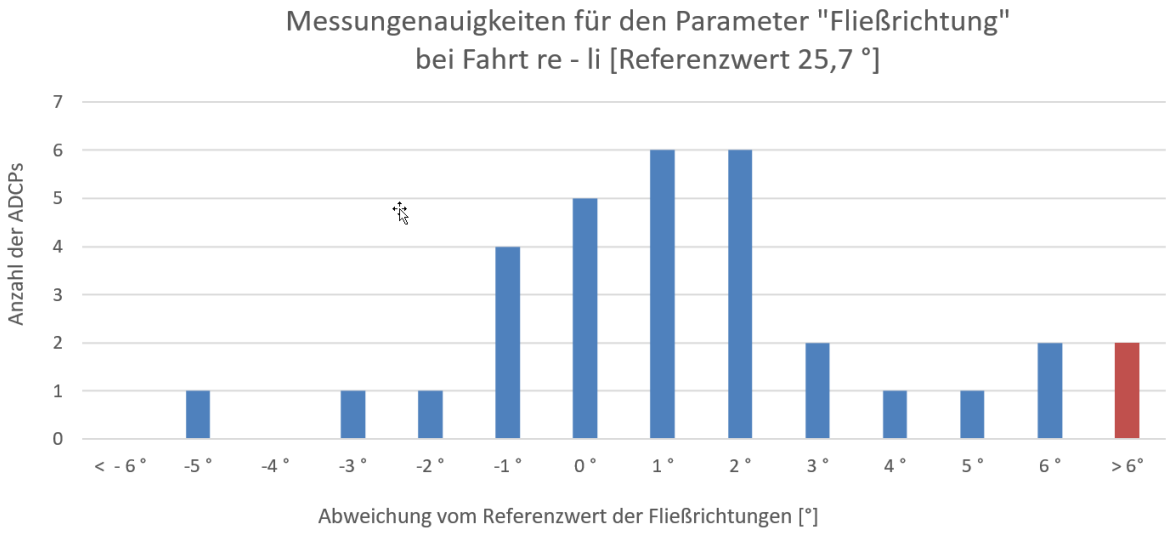


Abbildung 16: Betrag und Häufigkeit der Messungenauigkeiten für die Hauptfließrichtung im Messquerschnitt bei Messfahrten vom rechten zum linken Ufer

Tabelle 16: Abweichungen der ermittelten Fließrichtung (Messfahrten rechts-links) vom Referenzwert [25,7°]

ADCP-Einheit	re-li	Δ re-li Abw. vom Referenzwert
BE Waterbouwkundig RioGrande 1200	19,4 °	-5,9 °
Ruhrverband M9 Nr. 5622	21,8 °	-3,5 °
WSA Hann.-Münden RioGrande 1200	23,0 °	-2,3 °
WSA Aschaffenburg RiverPro	23,5 °	-1,8 °
WSA Koblenz Aquarius RioGrande 1200	23,7 °	-1,6 °
WSA Meppen RioGrande 1200	23,8 °	-1,5 °
WSA Koblenz Riverboat RioGrande 1200	24,3 °	-1,0 °
BfG M9 Nr. 2382	24,4 °	-0,9 °
WSA Freiburg RioGrande 1200	24,7 °	-0,6 °
BfG RioGrande 1200	24,9 °	-0,4 °
WSA Magdeburg RioGrande 1200	24,9 °	-0,4 °
WSA Schweinfurt RiverRay	25,3 °	0,0 °
RWS Arnhem RioGrande 1200	25,4 °	0,1 °
Ruhrverband M9 Nr. 3499	25,4 °	0,1 °
WSA Heidelberg RioGrande 1200	25,7 °	0,4 °
WSA Saarbrücken RioGrande 600	26,0 °	0,7 °
WSA Mannheim RioGrande 1200	26,1 °	0,8 °
DREAL SCHWARTZ M9 Nr. 6228	26,3 °	1,0 °
WVER RioGrande 1200	26,5 °	1,2 °
WSA Duisburg RioGrande 1200	26,8 °	1,5 °
RWS Arnhem RiverRay	27,0 °	1,7 °
WSA Bingen RioGrande 600	27,1 °	1,8 °
WSA Hann.-Münden Edertal RioPro	27,2 °	1,9 °
BfG M1 RioGrande 600	27,3 °	2,0 °
WSA Heidelberg RiverPro	27,4 °	2,1 °
IB Schmied RioGrande 1200	28,3 °	3,0 °
DREAL BLAU M9 Nr. 4629	28,7 °	3,4 °
WSA Brandenburg RioPro	29,6 °	4,3 °
WSA Brandenburg RiverRay	31,4 °	6,1 °
RWS Maastricht Broadband ADCP	31,6 °	6,3 °
WSA Dresden RioPro	32,7 °	7,4 °
WSA Schweinfurt RioPro	56,1 °	30,8 °

3.9. Kombinierter Vergleich ausgewählter Parameter

In Tabelle 17 sind die Geräte aufsteigend nach der gemessenen Durchflussmenge sortiert. Man kann eine Aufteilung in drei Bereiche vornehmen, nämlich

1. Messungen mit geringerem Durchflussergebnis
2. Messungen mit einem Resultat in der Nähe des Referenzwertes mit bis zu ±1 % Abweichung und
3. Messungen mit höherem Messergebnis

In weiteren Spalten der Tabelle sind die Abweichungen bei bestimmten geometrischen Parametern sowie bei v_m angegeben. Es lässt sich folgender Zusammenhang erkennen: Bei den Messungen mit geringerem Durchflussergebnis werden sowohl die Querschnittsfläche als auch v_m geringer bestimmt. In diese Gruppe fallen auch fast alle Sontek M9 Geräte, aber nicht ausschließlich. Bei der zweiten Gruppe von Messungen mit Durchfluss nahe dem Referenzwert kann wieder in 2 Gruppen unterschieden werden: a) solche mit durchweg geringen Abweichungen vom jeweiligen Referenzwert, und b) solche bei denen auftretende Abweichungen bei Einzelparametern durch gegenläufige Abweichungen bei einem anderen Parameter kompensiert werden. Bei letzterem werden beispielweise Abweichungen beim Querschnitt durch entgegengesetzte Abweichung bei der Fließgeschwindigkeit kompensiert. Bei den Messungen, bei denen ein höherer Durchflusswert ermittelt wurde, liegen tendenziell höhere Fließgeschwindigkeiten sowie auch ein größerer Querschnitt vor. Wenn eine Abweichung bei der Querschnittsfläche und eine mit gleichem Vorzeichen bei H_m vorliegt, kommt als Fehlerursache in erster Linie die eingestellte Eintauchtiefe des ADCP in Betracht. Bei den Messungen mit höherem Durchfluss fällt zudem auf, dass die ältesten Systeme, bzw. die 600 kHz RDI Systeme die größten positiven Abweichungen beim Durchfluss zeigen. Bei zwei Systemen sind diese Abweichungen auf eine zu hohe Bestimmung der Fließgeschwindigkeit zurück zu führen, bei einem System auf größere Abweichungen bei der Querschnittsflächenbestimmung.

Tabelle 17: Abweichung bei den Parametern Q_{Agila}, $H_{m,normiert}$, $A_{normiert}$, B und V_m

ADCP-Einheit	$Q_{Agila,normiert}$ [m³/s]	Δ $Q_{Agila,normiert}$ Abw. vom Referenzwert	Δ $H_{m,normiert}$ Abw. vom Referenzwert	Δ $A_{normiert}$ Abw. vom Referenzwert	Δ B Abw. vom Referenzwert	Δ V_m Abw. vom Referenzwert
WSA Schweinfurt RioPro	747	-21,8%	1,3%	-13,1%	-14,2%	-9,7%
Ruhrverband M9 Nr. 5622	921	-3,7%	-1,2%	-1,1%	-0,1%	-2,2%
DREAL SCHWARTZ M9 Nr. 6228	924	-3,3%	-1,2%	-1,3%	-0,3%	-2,2%
WSA Brandenburg RioPro	926	-3,1%	-0,1%	-1,2%	-1,0%	-2,2%
WSA Hann.-Münden Edertal RioPro	928	-3,0%	-0,8%	-0,2%	0,7%	-3,2%
IB Schmied RioGrande 1200	930	-2,7%	-1,2%	-1,1%	0,1%	-1,3%
DREAL BLAU M9 Nr. 4629	932	-2,6%	-0,8%	-1,0%	-0,3%	-1,3%
Ruhrverband M9 Nr. 3499	942	-1,5%	-1,5%	-0,4%	1,2%	-1,3%
WSA Meppen RioGrande 1200	943	-1,4%	-0,5%	-1,2%	-0,8%	-0,3%
WSA Mannheim RioGrande 1200	944	-1,3%	-0,5%	-1,1%	-0,7%	-0,3%
WSA Koblenz Riverboat RioGrande 1200	947	-1,0%	-0,1%	-0,5%	-0,2%	-0,3%
WSA Aschaffenburg RiverPro	948	-0,9%	-0,8%	-0,9%	-0,1%	-0,3%
WSA Dresden RioPro	949	-0,8%	1,3%	0,4%	-0,8%	-1,3%
WSA Hann.-Münden RioGrande 1200	949	-0,7%	-1,9%	-0,6%	1,2%	-0,3%
WSA Schweinfurt RiverRay	949	-0,7%	0,2%	-0,5%	-0,7%	-0,3%
WSA Heidelberg RioGrande 1200	950	-0,6%	-0,5%	-0,4%	0,1%	-0,3%
BfG M9 Nr. 2382	952	-0,5%	-0,1%	1,7%	1,8%	-2,2%
WSA Brandenburg RiverRay	952	-0,4%	-1,9%	-1,7%	0,1%	1,5%
RWS Arnhem RiverRay	958	0,2%	0,2%	-0,4%	-0,6%	0,6%
WVER RioGrande 1200	959	0,2%	-0,1%	-0,3%	-0,2%	0,6%
RWS Maastricht Broadband ADCP	961	0,5%	0,6%	0,4%	-0,1%	-0,3%
WSA Magdeburg RioGrande 120	962	0,6%	0,2%	0,8%	0,3%	-0,3%
RWS Arnhem RioGrande 1200	965	0,9%	0,2%	0,3%	0,1%	0,6%
WSA Heidelberg RiverPro	968	1,2%	-0,1%	0,0%	0,1%	1,5%
WSA Duisburg RioGrande 1200	970	1,5%	-0,1%	0,9%	-0,7%	2,5%
WSA Koblenz Aquarius RioGrande 1200	978	2,2%	-0,5%	-0,3%	0,2%	2,5%
WSA Freiburg RioGrande 1200	982	2,6%	0,9%	1,2%	0,2%	1,5%
BfG RioGrande 1200	985	3,0%	0,6%	1,7%	1,1%	1,5%
BE Waterbouwkundig RioGrande 1200	987	3,2%	2,3%	2,1%	-0,2%	0,6%
BfG M1 RioGrande 600	991	3,6%	-0,8%	-0,4%	0,2%	4,4%
WSA Saarbrücken RioGrande 600	997	4,3%	5,5%	5,5%	-0,1%	-1,3%
WSA Bingen RioGrande 600	998	4,3%	1,3%	1,2%	-0,3%	3,4%

3.10. Überprüfung der Firmware-Versionen der ADCP-Geräte im Ringversuch

Beim Betrieb der ADCPs sollten die Betreiber auf aktuelle Firmware-Versionen achten. Tabelle 18 kann entnommen werden, ob jeweils die neueste Version installiert ist. Tabelle 19 gibt einen Überblick über die zum Zeitpunkt des Ringversuchs gültige und die derzeit aktuelle Firmware- Versionsnummer.

Tabelle 18: Installierte Firmware-Versionen der Geräte im Ringversuch und aktuelle Firmware-Versionen

Betreiber	Boot bzw. Geräteträger	Messgerät	installierte Firmware	aktuelle Firmware	Aktuelle Firmware installiert?
RWS Maastricht	Observant	Broadband ADCP	51.40	51.41	Nein
WSA Freiburg	Eisvogel	RioGrande 1200	10.17	10.17	Ja
IB Schmied	Corrida	RioGrande 1200	10.17	10.17	Ja
WSA Saarbrücken	Drohne	RioGrande 600	10.14	10.17	Nein
WSA Koblenz	Aquarius	RioGrande 1200	10.17	10.17	Ja
WSA Duisburg	Fluctus	RioGrande 1200	10.17	10.17	Ja
WSA Bingen	Nemo	RioGrande 600	10.17	10.17	Ja
BfG	M1	RioGrande 600	10.17	10.17	Ja
WSA Heidelberg	Möwe	RiverPro	56.04	56.06	Nein
DREAL	TorrentBoard	Schwartz M9 Nr. 6228	4.02	4.10	Nein
WSA Mannheim	Riverboat	RioGrande 1200	10.17	10.17	Ja
BE Waterbouwkundig	Aluboot	RioGrande 1200	10.17	10.17	Ja
RWS Arnhem	Riverboat	RioGrande 1200	10.17	10.17	Ja
WSA Koblenz	Riverboat	RioGrande 1200	10.17	10.17	Ja
BfG RioGrande	Riverboat	RioGrande 1200	10.17	10.17	Ja
WSA Heidelberg	Riverboat	RioGrande 1200	10.14	10.17	Nein
RWS Arnhem	Riverboat	RiverRay	44.19	44.21	Nein
WVER	Riverboat	RioGrande 1200	10.14	10.17	Nein
WSA Brandenburg	Riverboat	RioPro	56.04	56.06	Nein
WSA Brandenburg	Riverboat	RiverRay	44.16	44.21	Nein
WSA Aschaffenburg	Riverboat	RiverPro	56.04	56.06	Nein
BfG	TorrentBoard	M9 Nr. 2382	4.02	4.10	Nein

DREAL	TorrentBoard	Blau M9 Nr. 4629	4.02	4.10	Nein
WSA Dresden	Riverboat	RioPro	56.04	56.06	Nein
Ruhrverband	TorrentBoard	M9 Nr. 3499	4.10	4.10	Ja
Ruhrverband	TorrentBoard	M9 Nr. 5622	4.10	4.10	Ja
WSA Magdeburg	Riverboat	RioGrande 1200	10.17	10.17	Ja
WSA Meppen	Riverboat	RioGrande 1200	10.16	10.17	Nein
WSA Hann.-Münden	Riverboat	RioGrande 1200	10.17	10.17	Ja
WSA Schweinfurt	Riverboat	RiverRay	44.16	44.21	Nein
WSA Schweinfurt	Riverboat	RioPro	56.04	56.06	Nein
WSA Hann.-Münden Edertal	Riverboat	RioPro	56.04	56.06	Nein

Tabelle 19: Stand aktuelle Firmware der beteiligten Geräte

Produkt	**Firmware zum Zeitpunkt des Ringversuchs**	**Firmware zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes** **(Veröffentlichungsdatum)**
RDInstruments BB ADCP	51.40	51.42 (17.06.2020)
Workhorse RioGrande	10.17	10.17 (23.10.2009)
RiverRay	44.21	44.22 (März 2020)
RiverPro / RioPro Anmerkung: RiverPro ist das aktuellste Modell des Herstellers. Das Modell RioPro ist ein Workhorse RioGrande nach dem Upgrade der Elektronik	56.06	56.08 (März 2020)
Sontek RiverSurveyor M9	4.10	4.10 (17.08.2018)

4. Schlussfolgerung

Das Anwendertreffen wurde mit dem Ziel des Vergleichs der ADCP- Messsysteme inklusive der Überprüfung der ADCPs, ihrer Installationen auf den Geräteträgern und der Parametrierungen (Eintauchtiefen, Modes, usw.) durchgeführt.

Während Längen und Flächen im Allgemeinen gut reproduziert wurden, zeigten sich bei einigen ADCPs enorme Ungenauigkeiten bei der Ermittlung der Hauptströmungsrichtung, was auf fehlerhafte Kompasse zurückzuführen ist. Bei den betroffenen Geräten sollte eine Kompasskalibrierung durchgeführt werden. Da ein gestörter Kompass nur bei bewegter Sohle, also im Allgemeinen nur bei Hochwasser systematische Fehler bei der Durchflussermittlung bewirkt, waren die ermittelten Durchflüsse beim Ringversuch nicht beeinflusst, denn es herrschte praktisch kein Geschiebetrieb.

Insgesamt kann das Ergebnis überzeugen. 27 der 32 getesteten Ultraschallgeräte lieferten Durchflussdaten, die maximal um +/-3 % vom Referenzwert abweichen (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Vier Systeme bleiben innerhalb der 5%-Toleranz. Ein Gerät hat eine Abweichung von mehr 20 % und muss als fehlerhaft eingestuft werden. Da die Messungen immer von Störungen, z.B. durch vorbeifahrende Frachtschiffe, beeinflusst sind, können diese Ergebnisse als sehr zufriedenstellend angesehen werden.

Nicht nur die Messgeräte sind größtenteils vergleichbar, auch zeigten sich nur geringe Abweichungen bei der Durchführung der Messungen. Hier ist allerdings zu bemerken, dass mögliche Unterschiede in der Durchführung der Messungen durch den zwingend notwendigen, standardisierten Vergleichsaufbau minimiert wurden und einer gewissen „sozialen“ Kontrolle durch den direkten Austausch mit den Kollegen unterliegt.

Die gefundenen geringen Differenzen, die vermutlich auf den Gerätetypus, die Frequenz und die Art der ADCP Führung zurückzuführen sind, sollten in weiteren Studien herausgearbeitet werden.

Damit hat das Anwendertreffen wieder wichtige Grundlagenkenntnisse für die weitere operationelle und Weiterentwicklungsarbeit gelegt:

1) Die Vergleichbarkeit der ADCP Messergebnisse ist gegeben

2) Die Bedeutung des Kompasses und der Kompasseignung gerade bei Nutzung des Q_{AGILA} Wertes ist erneut deutlich worden.

3) Geräte und anwendungstypische Unterschiede müssen weiter untersucht werden.

4) Die Messteams sind aufgefordert, ihre Systeme weiterhin gut zu warten, zu kalibrieren, upzudaten und die Eintauchtiefen der ADCPs bei unterschiedlichen Lastzuständen zu kennen.

5. Anhang Tabellen

5.1. Auswertungsergebnisse der Durchflüsse

Tabelle 20: Auswertungsergebnisse Durchfluss für die Parameter QAGILA und QWinRiver, jeweils auch normiert auf den gemittelten Wasserstand (QAGILA,n und QWinRiver,n)

ADCP-Einheit	Mittlere Zeit	W [cm]	Q_{AGILA} [m³]	$Q_{WinRiver}$ [m³]	Q_{AGILA}-$Q_{WinRiver}$ [m³/s]	Q_{AGILA}-$Q_{WinRiver}$ [%]	$Q_{AGILA,n}$ [m³/s]	Δ $Q_{AGILA,n}$ [m³]	Δ $Q_{AGILA,n}$ [%]	$Q_{WinRiver,n}$ [m³/s]	Δ $Q_{WinRiver,n}$ [m³/s]	Δ $Q_{WinRiver,n}$ [%]
Mittel		**103**	**956**	**957**	**-5**	**-0,6%**	**956**			**957**		
Min		101	749	881	-132	-15,0%	747	-209	-21,8%	879	-78	-8,2%
Max		104	999	996	7	0,7%	998	41	4,3%	994	37	3,8%
RWS Maastricht Broadband ADCP	08:54:42	103	963	959	3	0,4%	961	5	0,5%	958	0	0,0%
WSA Freiburg RioGrande 1200	09:28:01	104	987	987	-1	-0,1%	982	25	2,6%	982	25	2,6%
IB Schmied RioGrande 1200	09:48:10	102	929	932	-3	-0,4%	930	-26	-2,7%	934	-24	-2,5%
WSA Saarbrücken RioGrande 600	09:55:50	103	999	993	6	0,6%	997	41	4,3%	992	34	3,6%
WSA Koblenz Aquarius RioGrande 1200	10:14:07	101	972	968	4	0,4%	978	21	2,2%	973	16	1,7%
WSA Duisburg RioGrande 1200	10:26:01	103	972	967	5	0,5%	970	14	1,5%	966	8	0,9%
WSA Bingen RioGrande 600	10:27:54	103	999	996	4	0,4%	998	41	4,3%	994	37	3,8%
BfG M1 RioGrande 600	10:37:19	103	993	987	6	0,6%	991	35	3,6%	986	28	2,9%
WSA Heidelberg RiverPro	10:53:16	102	966	965	1	0,1%	968	12	1,2%	967	9	1,0%

ADCP-Einheit	Mittlere Zeit	W [cm]	Q_{AGILA} [m³]	$Q_{WinRiver}$ [m³]	Q_{AGILA}-$Q_{WinRiver}$ [m³/s]	Q_{AGILA}-$Q_{WinRiver}$ [%]	$Q_{AGILA,n}$ [m³/s]	Δ $Q_{AGILA,n}$ [m³]	Δ $Q_{AGILA,n}$ [%]	$Q_{WinRiver,n}$ [m³/s]	Δ $Q_{WinRiver,n}$ [m³/s]	Δ $Q_{WinRiver,n}$ [%]
DREAL SCHWARTZ M9 Nr. 6228	10:56:33	102	923	940	-17	-1,8%	924	-32	-3,3%	941	-16	-1,7%
WSA Mannheim RioGrande 1200	10:59:06	102	942	945	-2	-0,3%	944	-12	-1,3%	947	-11	-1,1%
BE Waterbouwkundig RioGrande 1200	11:14:20	102	985	987	-2	-0,2%	987	30	3,2%	989	31	3,3%
RWS Arnhem RioGrande 1200	11:24:32	103	966	959	7	0,7%	965	8	0,9%	958	0	0,0%
WSA Koblenz Riverboat RioGrande 1200	11:33:51	103	948	945	4	0,4%	947	-10	-1,0%	943	-14	-1,5%
BfG RioGrande 1200	11:46:03	103	987	981	5	0,5%	985	29	3,0%	980	22	2,3%
WSA Heidelberg RioGrande 1200	11:55:32	103	952	947	5	0,5%	950	-6	-0,6%	945	-12	-1,3%
RWS Arnhem RiverRay	12:18:59	103	960	956	4	0,4%	958	2	0,2%	954	-3	-0,3%
WVER RioGrande 1200	12:24:58	101	954	956	-2	-0,3%	959	2	0,2%	961	4	0,4%
WSA Brandenburg RioPro	12:42:15	102	925	951	-27	-2,8%	926	-30	-3,1%	953	-4	-0,5%
WSA Brandenburg RiverRay	13:17:39	103	954	955	-1	-0,1%	952	-4	-0,4%	953	-4	-0,5%
WSA Aschaffenburg RiverPro	13:20:18	103	949	954	-5	-0,5%	948	-9	-0,9%	953	-5	-0,5%
BfG M9 Nr. 2382	13:39:26	102	950	947	4	0,4%	952	-4	-0,5%	948	-9	-1,0%
DREAL BLAU M9 Nr. 4629	13:42:27	101	927	936	-9	-0,9%	932	-24	-2,6%	941	-17	-1,8%
WSA Dresden RioPro	13:52:02	102	947	953	-5	-0,6%	949	-7	-0,8%	955	-3	-0,3%
Ruhrverband M9 Nr. 3499	13:55:12	102	940	946	-7	-0,7%	942	-15	-1,5%	948	-9	-1,0%
Ruhrverband M9 Nr. 5622	14:23:31	102	919	924	-5	-0,5%	921	-35	-3,7%	926	-31	-3,3%
WSA Magdeburg RioGrande 1200	14:25:14	103	964	962	2	0,2%	962	6	0,6%	960	3	0,3%
WSA Meppen RioGrande 1200	14:55:50	103	944	950	-5	-0,6%	943	-14	-1,4%	948	-9	-1,0%

ADCP-Einheit	Mittlere Zeit	W [cm]	Q_{AGILA} [m³]	$Q_{WinRiver}$ [m³]	Q_{AGILA}-$Q_{WinRiver}$ [m³/s]	Q_{AGILA}-$Q_{WinRiver}$ [%]	$Q_{AGILA,n}$ [m³/s]	Δ $Q_{AGILA,n}$ [m³]	Δ $Q_{AGILA,n}$ [%]	$Q_{WinRiver,n}$ [m³/s]	Δ $Q_{WinRiver,n}$ [m³/s]	Δ $Q_{WinRiver,n}$ [%]
WSA Hann.-Münden RioGrande 1200	14:56:20	103	951	950	1	0,1%	949	-7	-0,7%	948	-9	-1,0%
WSA Schweinfurt RiverRay	14:57:42	103	951	949	2	0,2%	949	-7	-0,7%	948	-10	-1,0%
WSA Schweinfurt RioPro	15:15:37	103	749	881	-132	-15,0%	747	-209	-21,8%	879	-78	-8,2%
WSA Hann.-Münden Edertal RioPro	15:26:09	103	929	934	-5	-0,5%	928	-29	-3,0%	933	-25	-2,6%

5.2. Auswertungsergebnisse der Parameter v_m, A, b und h

Tabelle 21: Auswertungsergebnisse für die Parameter Vm, A, B und h (z.T. normierte Werte)

ADCP-Einheit	Zeit	W [cm]	V_m [m/s]	Δ V_m [%]	A_n [m²]	Δ A_n [%]	B [m]	Δ B [%]	$H_{m,n}$ [m]	Δ $H_{m,n}$ [cm]	$H_{max,n}$ [m]	Δ $H_{max,n}$ [cm]
Mittel		**103**	**1,06**		**900**		**315**		**2,86**		**3,51**	
Min		**101**	**0,96**	**-0,10**	**781**	**-13,1%**	**270**	**-14,2%**	**2,81**	**-5**	**3,42**	**-9**
Max		**104**	**1,11**	**0,04**	**949**	**5,5%**	**320**	**1,8%**	**3,02**	**16**	**3,61**	**10**
RWS Maastricht Broadband ADCP	08:54:42	103	1,06	-0,3%	903	0,4%	315	-0,1%	2,88	2	3,53	2
WSA Freiburg RioGrande 1200	09:28:01	104	1,08	1,5%	910	1,2%	315	0,2%	2,89	3	3,57	6
IB Schmied RioGrande 1200	09:48:10	102	1,05	-1,3%	889	-1,1%	315	0,1%	2,83	-3	3,47	-4
WSA Saarbrücken RioGrande 600	09:55:50	103	1,05	-1,3%	949	5,5%	314	-0,1%	3,02	16	3,61	10
WSA Koblenz Aquarius RioGrande 1200	10:14:07	101	1,09	2,5%	897	-0,3%	315	0,2%	2,85	-1	3,48	-3
WSA Duisburg RioGrande 1200	10:26:01	103	1,09	2,5%	892	-0,9%	313	-0,7%	2,86	0	3,42	-9
WSA Bingen RioGrande 600	10:27:54	103	1,10	3,4%	911	1,2%	314	-0,3%	2,90	4	3,57	6
BfG M1 RioGrande 600	10:37:19	103	1,11	4,4%	896	-0,4%	315	0,2%	2,84	-2	3,48	-3
WSA Heidelberg RiverPro	10:53:16	102	1,08	1,5%	899	0,0%	315	0,1%	2,86	0	3,51	0

ADCP-Einheit	Zeit	W [cm]	V_m [m/s]	Δ V_m [%]	A_n [m²]	Δ A_n [%]	B [m]	Δ B [%]	$H_{m,n}$ [m]	Δ $H_{m,n}$ [cm]	$H_{max,n}$ [m]	Δ $H_{max,n}$ [cm]
DREAL SCHWARTZ M9 Nr. 6228	10:56:33	102	1,04	-2,2%	887	-1,3%	314	-0,3%	2,83	-3	3,51	0
WSA Mannheim RioGrande 1200	10:59:06	102	1,06	-0,3%	889	-1,1%	313	-0,7%	2,85	-1	3,52	1
BE Waterbouwkundig RioGrande 1200	11:14:20	102	1,07	0,6%	919	2,1%	314	-0,2%	2,93	7	3,51	0
RWS Arnhem RioGrande 1200	11:24:32	103	1,07	0,6%	902	0,3%	315	0,1%	2,87	1	3,51	0
WSA Koblenz Riverboat RioGrande 1200	11:33:51	103	1,06	-0,3%	895	-0,5%	314	-0,2%	2,86	0	3,45	-6
BfG RioGrande 1200	11:46:03	103	1,08	1,5%	915	1,7%	318	1,1%	2,88	2	3,50	-1
WSA Heidelberg RioGrande 1200	11:55:32	103	1,06	-0,3%	896	-0,4%	315	0,1%	2,85	-1	3,48	-3
RWS Arnhem RiverRay	12:18:59	103	1,07	0,6%	896	-0,4%	313	-0,6%	2,87	1	3,48	-3
WVER RioGrande 1200	12:24:58	101	1,07	0,6%	897	-0,3%	314	-0,2%	2,86	0	3,56	5
WSA Brandenburg RioPro	12:42:15	102	1,04	-2,2%	889	-1,2%	312	-1,0%	2,86	0	3,48	-3
WSA Brandenburg RiverRay	13:17:39	103	1,08	1,5%	885	-1,7%	315	0,1%	2,81	-5	3,44	-7
WSA Aschaffenburg RiverPro	13:20:18	103	1,06	-0,3%	892	-0,9%	314	-0,1%	2,84	-2	3,54	3
BfG M9 Nr. 2382	13:39:26	102	1,04	-2,2%	915	1,7%	320	1,8%	2,86	0	3,48	-3
DREAL BLAU M9 Nr. 4629	13:42:27	101	1,05	-1,3%	891	-1,0%	314	-0,3%	2,84	-2	3,49	-2
WSA Dresden RioPro	13:52:02	102	1,05	-1,3%	903	0,4%	312	-0,8%	2,90	4	3,51	0

ADCP-Einheit	**Zeit**	**W [cm]**	**V_m [m/s]**	**Δ V_m [%]**	**A_n [m²]**	**Δ A_n [%]**	**B [m]**	**Δ B [%]**	**$H_{m,n}$ [m]**	**Δ $H_{m,n}$ [cm]**	**$H_{max,n}$ [m]**	**Δ $H_{max,n}$ [cm]**
Ruhrverband M9 Nr. 3499	13:55:12	102	1,05	-1,3%	896	-0,4%	319	1,2%	2,82	-4	3,54	3
Ruhrverband M9 Nr. 5622	14:23:31	102	1,04	-2,2%	889	-1,1%	315	-0,1%	2,83	-3	3,56	5
WSA Magdeburg RioGrande 1200	14:25:14	103	1,06	-0,3%	907	0,8%	316	0,3%	2,87	1	3,54	3
WSA Meppen RioGrande 1200	14:55:50	103	1,06	-0,3%	888	-1,2%	312	-0,8%	2,85	-1	3,44	-7
WSA Hann.-Münden RioGrande 1200	14:56:20	103	1,06	-0,3%	894	-0,6%	318	1,2%	2,81	-5	3,51	0
WSA Schweinfurt RiverRay	14:57:42	103	1,06	-0,3%	895	-0,5%	313	-0,7%	2,87	1	3,59	8
WSA Schweinfurt RioPro	15:15:37	103	0,96	-9,7%	781	-13,1%	270	-14,2%	2,90	4	3,47	-4
WSA Hann.-Münden Edertal RioPro	15:26:09	103	1,03	-3,2%	898	-0,2%	317	0,7%	2,84	-2	3,58	7

5.3. Auswertungsergebnisse der Parameter mittlere Fließrichtung und made good

Tabelle 22: Auswertungsergebnisse für die Parameter Fließrichtung, Made Good und Zeitfenster der Messung

ADCP-Einheit	Zeit	W [cm]	Fliessricht. [°]	Δ Fliessricht. [°]	mg [m]	Δ mg [m]	Δ mg [%]	Zeit_von	Zeit_bis
Mittel		**103**	**25,7**	**2,0**	**320**				
Min		**101**	**21,8**	**-3,5**	**267**	**-53,4**	**-16,7%**		
Max		**104**	**77,3**	**52,0**	**326**	**5,3**	**1,7%**		
RWS Maastricht Broadband ADCP	08:54:42	103	28,5	3,2	320	-0,7	-0,2%	08:45:32	09:09:38
WSA Freiburg RioGrande 1200	09:28:01	104	25,5	0,2	322	1,9	0,6%	09:16:51	09:42:43
IB Schmied RioGrande 1200	09:48:10	102	26,2	1,0	321	1,0	0,3%	09:43:28	09:56:09
WSA Saarbrücken RioGrande 600	09:55:50	103	26,5	1,3	320	-0,6	-0,2%	09:44:53	10:14:22
WSA Koblenz Aquarius RioGrande 1200	10:14:07	101	27,5	2,3	321	0,4	0,1%	10:03:10	10:28:50
WSA Duisburg RioGrande 1200	10:26:01	103	26,4	1,2	318	-2,2	-0,7%	10:17:08	10:40:19
WSA Bingen RioGrande 600	10:27:54	103	27,0	1,7	319	-1,8	-0,6%	10:16:55	10:41:48
BfG M1 RioGrande 600	10:37:19	103	26,6	1,4	321	0,3	0,1%	10:27:27	10:54:32
WSA Heidelberg RiverPro	10:53:16	102	26,3	1,0	321	0,2	0,0%	10:42:39	11:10:34
DREAL SCHWARTZ M9 Nr. 6228	10:56:33	102	25,5	0,2	320	0,0	0,0%	10:47:25	11:11:35
WSA Mannheim RioGrande 1200	10:59:06	102	26,0	0,8	320	0,0	0,0%	10:49:43	11:13:15
BE Waterbouwkundig RioGrande 1200	11:14:20	102	23,3	-1,9	320	-0,5	-0,1%	11:03:13	11:34:30

ADCP-Einheit	Zeit	W [cm]	Fliessricht. [°]	Δ Fliessricht. [°]	mg [m]	Δ mg [m]	Δ mg [%]	Zeit_von	Zeit_bis
RWS Arnhem RioGrande 1200	11:24:32	103	24,5	-0,8	321	0,5	0,2%	11:16:53	11:36:44
WSA Koblenz Riverboat RioGrande 1200	11:33:51	103	24,7	-0,5	320	-0,8	-0,3%	11:26:41	11:46:37
BfG RioGrande 1200	11:46:03	103	25,9	0,6	322	1,3	0,4%	11:43:50	11:52:45
WSA Heidelberg RioGrande 1200	11:55:32	103	25,5	0,3	322	1,2	0,4%	11:47:06	12:09:40
RWS Arnhem RiverRay	12:18:59	103	23,8	-1,5	319	-1,4	-0,5%	12:10:42	12:35:04
WVER RioGrande 1200	12:24:58	101	25,5	0,2	321	0,1	0,0%	12:15:38	12:38:43
WSA Brandenburg RioPro	12:42:15	102	25,0	-0,3	320	-0,8	-0,2%	12:33:24	12:57:37
WSA Brandenburg RiverRay	13:17:39	103	28,2	3,0	323	2,9	0,9%	13:03:59	13:35:37
WSA Aschaffenburg RiverPro	13:20:18	103	24,9	-0,4	320	0,1	0,0%	13:12:10	13:35:20
BfG M9 Nr. 2382	13:39:26	102	26,4	1,1	326	5,3	1,7%	13:26:28	13:57:52
DREAL BLAU M9 Nr. 4629	13:42:27	101	26,3	1,0	320	-0,7	-0,2%	13:34:20	13:54:58
WSA Dresden RioPro	13:52:02	102	26,3	1,1	316	-4,2	-1,3%	13:43:41	14:04:45
Ruhrverband M9 Nr. 3499	13:55:12	102	26,7	1,4	324	3,9	1,2%	13:46:47	14:08:27
Ruhrverband M9 Nr. 5622	14:23:31	102	21,8	-3,5	322	1,9	0,6%	14:16:01	14:36:56
WSA Magdeburg RioGrande 1200	14:25:14	103	24,2	-1,1	321	0,3	0,1%	14:17:32	14:37:49
WSA Meppen RioGrande 1200	14:55:50	103	24,7	-0,6	317	-3,4	-1,1%	14:46:09	15:11:09
WSA Hann.-Münden RioGrande 1200	14:56:20	103	23,4	-1,9	318	-2,3	-0,7%	14:46:02	15:09:05

ADCP-Einheit	Zeit	W [cm]	Fliessricht. [°]	Δ Fliessricht. [°]	mg [m]	Δ mg [m]	Δ mg [%]	Zeit_von	Zeit_bis
WSA Schweinfurt RiverRay	14:57:42	103	25,5	0,3	319	-1,6	-0,5%	14:51:09	15:09:40
WSA Schweinfurt RioPro	15:15:37	103	77,3	52,0	267	-53,4	-16,7%	15:07:51	15:27:44
WSA Hann.-Münden Edertal RioPro	15:26:09	103	26,8	1,6	320	-0,1	0,0%	15:18:43	15:37:00

Tabelle 23: Detaillierte Auswertung der Fließrichtungen

	Fließrichtung bei Fahrt von…	Abweichung vom Ref.-wert	Fließrichtung bei Fahrt von…	Abweichung vom Ref.-wert	Diff. d. bei Fahrten li-re minus re-li	mittl. Fließricht.				
ADCP-Einheit	**li-re**	**Δ li-re**	**re-li**	**Δ re-li**	**Δ in [°]**	**Mittel**	**Δ in [°]**	**Min**	**Max**	**Max-Min**
RWS Maastricht Broadband ADCP	25,5 °	0,2 °	31,6 °	6,3 °	-6,1	28,5 °	3,2	25,0	32,0	7,0
WSA Freiburg RioGrande 1200	26,3 °	1,0 °	24,7 °	-0,6 °	1,6	25,5 °	0,2	23,9	26,4	2,5
IB Schmied RioGrande 1200	24,3 °	-1,0 °	28,3 °	3,0 °	-4,0	26,3 °	1,0	24,2	28,7	4,5
WSA Saarbrücken RioGrande 600	27,1 °	1,8 °	26,0 °	0,7 °	1,1	26,5 °	1,3	25,7	27,2	1,5
WSA Koblenz Aquarius RioGrande 1200	31,5 °	6,2 °	23,7 °	-1,6 °	7,8	27,6 °	2,3	23,5	32,0	8,5
WSA Duisburg RioGrande 1200	26,1 °	0,8 °	26,8 °	1,5 °	-0,7	26,4 °	1,2	25,7	27,2	1,5
WSA Bingen RioGrande 600	26,8 °	1,5 °	27,1 °	1,8 °	-0,3	27,0 °	1,7	25,8	28,5	2,7
BfG M1 RioGrande 600	25,7 °	0,4 °	27,3 °	2,0 °	-1,6	26,6 °	1,4	25,2	27,4	2,2
WSA Heidelberg RiverPro	25,3 °	0,0 °	27,4 °	2,1 °	-2,1	26,3 °	1,0	25,0	27,4	2,4
DREAL SCHWARTZ M9 Nr. 6228	24,7 °	-0,6 °	26,3 °	1,0 °	-1,6	25,5 °	0,2	24,5	27,2	2,7
WSA Mannheim RioGrande 1200	26,0 °	0,7 °	26,1 °	0,8 °	-0,1	26,0 °	0,8	25,6	26,3	0,7
BE Waterbouwkundig RioGrande 1200	27,3 °	2,0 °	19,4 °	-5,9 °	7,9	23,3 °	-1,9	19,1	27,5	8,4
RWS Arnhem RioGrande 1200	23,7 °	-1,6 °	25,4 °	0,1 °	-1,7	24,5 °	-0,8	23,4	25,4	2,0

WSA Koblenz Riverboat RioGrande 1200	25,2 °	-0,1 °	24,3 °	-1,0 °	0,9	24,7 °	-0,5	23,7	25,2	1,5
BfG RioGrande 1200	26,8 °	1,5 °	24,9 °	-0,4 °	1,9	25,9 °	0,6	24,9	26,8	1,9
WSA Heidelberg RioGrande 1200	25,4 °	0,1 °	25,7 °	0,4 °	-0,3	25,5 °	0,3	25,1	25,8	0,7
RWS Arnhem RiverRay	20,6 °	-4,7 °	27,0 °	1,7 °	-6,4	23,8 °	-1,5	20,4	27,6	7,2
WVER RioGrande 1200	24,6 °	-0,7 °	26,5 °	1,2 °	-1,9	25,5 °	0,2	24,0	26,7	2,7
WSA Brandenburg RioPro	20,4 °	-4,9 °	29,6 °	4,3 °	-9,2	25,0 °	-0,3	20,2	30,2	10,0
WSA Brandenburg RiverRay	25,1 °	-0,2 °	31,4 °	6,1 °	-6,3	28,2 °	3,0	24,5	31,5	7,0
WSA Aschaffenburg RiverPro	26,3 °	1,0 °	23,5 °	-1,8 °	2,8	24,9 °	-0,4	23,3	26,6	3,3
BfG M9 Nr. 2382	28,4 °	3,1 °	24,4 °	-0,9 °	4,0	26,4 °	1,1	23,4	29,1	5,7
DREAL BLAU M9 Nr. 4629	23,9 °	-1,4 °	28,7 °	3,4 °	-4,8	26,3 °	1,0	23,7	29,1	5,4
WSA Dresden RioPro	20,0 °	-5,3 °	32,7 °	7,4 °	-12,7	26,3 °	1,1	19,0	32,9	13,9
Ruhrverband M9 Nr. 3499	28,1 °	2,8 °	25,4 °	0,1 °	2,7	26,7 °	1,4	24,7	28,1	3,4
Ruhrverband M9 Nr. 5622	21,8 °	-3,5 °	21,8 °	-3,5 °	0,0	21,8 °	-3,5	21,2	22,3	1,1
WSA Magdeburg RioGrande 1200	23,6 °	-1,7 °	24,9 °	-0,4 °	-1,3	24,2 °	-1,1	22,9	25,0	2,1
WSA Meppen RioGrande 1200	25,6 °	0,3 °	23,8 °	-1,5 °	1,8	24,7 °	-0,6	23,5	25,7	2,2
WSA Hann.-Münden RioGrande 1200	23,8 °	-1,5 °	23,0 °	-2,3 °	0,8	23,4 °	-1,9	22,9	23,8	0,9
WSA Schweinfurt RiverRay	25,8 °	0,5 °	25,3 °	0,0 °	0,5	25,5 °	0,3	24,3	26,3	2,0
WSA Schweinfurt RioPro	98,6 °	73,3 °	56,1 °	30,8 °	42,5	77,3 °	52,0	54,8	99,0	44,2
WSA Hann.-Münden Edertal RioPro	26,5 °	1,2 °	27,2 °	1,9 °	-0,7	26,8 °	1,6	26,4	27,2	0,8

6. Anhang Fotos

Abbildung 17: Teilnehmer des ADCP-Anwendertreffens vor dem Hauptgebäude der BfG

Abbildung 18: Fachlicher Austausch

Abbildung 19: Warten auf den Einsatz

Abbildung 20: Kurze Pause am Steiger

Abbildung 21: Kurze Pause 2 am Steiger

Abbildung 22: Die Teilnehmer stellen sich auf

Abbildung 23: Geräteführung geschleppte Variante

Abbildung 24: Geräteführung seitwärts

Abbildung 25: Messgerät in Wartestellung

Abbildung 26: Kranen der Boote im Wasserbauhafen des WSA Koblenz, hier im Beispiel das Boot des IB Schmid