

Kontinuierliche Messung des Wasserspiegel- gefälles zur Durchflusserfassung in der staugeregelten Ruhr bei Fröndenberg

Gerd Morgenschweis, Ruhrverband Essen
und Torsten Dose, Bergische Universität Wuppertal

11 Kontinuierliche Messung des Wasserspiegelgefälles zur Durchfluss- erfassung in der staugeregelten Ruhr bei Fröndenberg

11.1 Veranlassung

Nach § 2 des Ruhrverbandsgesetzes vom 7.2.1990 (RuhrVG) sind in der Ruhr vorgegebene Mindestabflüsse an Kontrollquerschnitten in der unteren Ruhr bei Hattingen und in der mittleren Ruhr bei Villigst jederzeit einzuhalten, um die Wasserversorgung des rechtsrheinisch-westfälischen Industriegebietes sicherzustellen. Der 1990 für den Pegel Villigst festgelegte Grenzwert von $8,4 \text{ m}^3/\text{s}$, der sich als fortschreitendes arithmetisches Mittel aus fünf aufeinander folgenden Tagen errechnet, hat sich seit Inkrafttreten des RuhrVG als besonders stringent erwiesen. Die Anzahl der zuschusspflichtigen Tage in Villigst war seit 1991 in jedem Abflussjahr höher, in einigen Jahren sogar deutlich höher, als für den Kontrollquerschnitt Ruhrmündung. So wurden z.B. im Abflussjahr 2000 für Villigst 108 zuschusspflichtige Tage ermittelt, für die Ruhrmündung dagegen nur 28. Dies bedeutet, dass das Talsperrensystem zur Aufrechterhaltung des vorgegebenen Mindestabflusses am Pegel Villigst deutlich stärker beansprucht wird als an den übrigen Kontrollquerschnitten.

Betrachtet man die Entnahmesituation in der mittleren Ruhr, so ist in Bild 18 zu erkennen, dass von Wasserwerken in diesem Flussabschnitt an insgesamt acht Stellen Wasser aus der Ruhr entnommen wird. Er ist damit neben der unteren Ruhr der Flussabschnitt mit der höchsten Anzahl an bedeutenden Wasserentnahmen. Die statistische Auswertung der Wasserentnahmezahlen zeigt darüber hinaus, dass ein Großteil des entnommenen Wassers in benachbarte Einzugsgebiete „exportiert“ und so der Ruhr entzogen wird. Mit ca. 80 % der Entnahmemengen liegt dieser Anteil im Bereich der mittleren Ruhr deutlich höher als im Gesamteinzugsgebiet. Analysiert man die Entziehungswassermengen, also den Anteil, der im Wesentlichen durch Zuschusswasser aus den Talsperren ersetzt werden muss, detaillierter, so zeigt sich, dass heute (Stand: Abflussjahr 2000) mit $3,9 \text{ m}^3/\text{s}$ 45 % der Gesamtentziehung im Einzugsgebiet der Ruhr ($8,6 \text{ m}^3/\text{s}$) im Bereich bis zum Kontrollquerschnitt Villigst entnommen werden. Das heißt, dass annähernd die Hälfte der Entziehungswassermenge des gesamten Ruhreinzugsgebietes bis Villigst aus der Ruhr entnommen wird.

Da nur ein Teil der Talsperrenkapazität, nämlich die Talsperren der Nordgruppe (Möhne-, Sorpe- und Hennetalsperre), für Zuschussleistungen für diesen Flussabschnitt zur Verfügung steht, liegt in Villigst – wie schon in den Ruhrwassermengenberichten der letzten Jahre mehrfach erläutert – der Engpass des Gesamtsystems. Da andererseits – wie aus Bild 18 zu

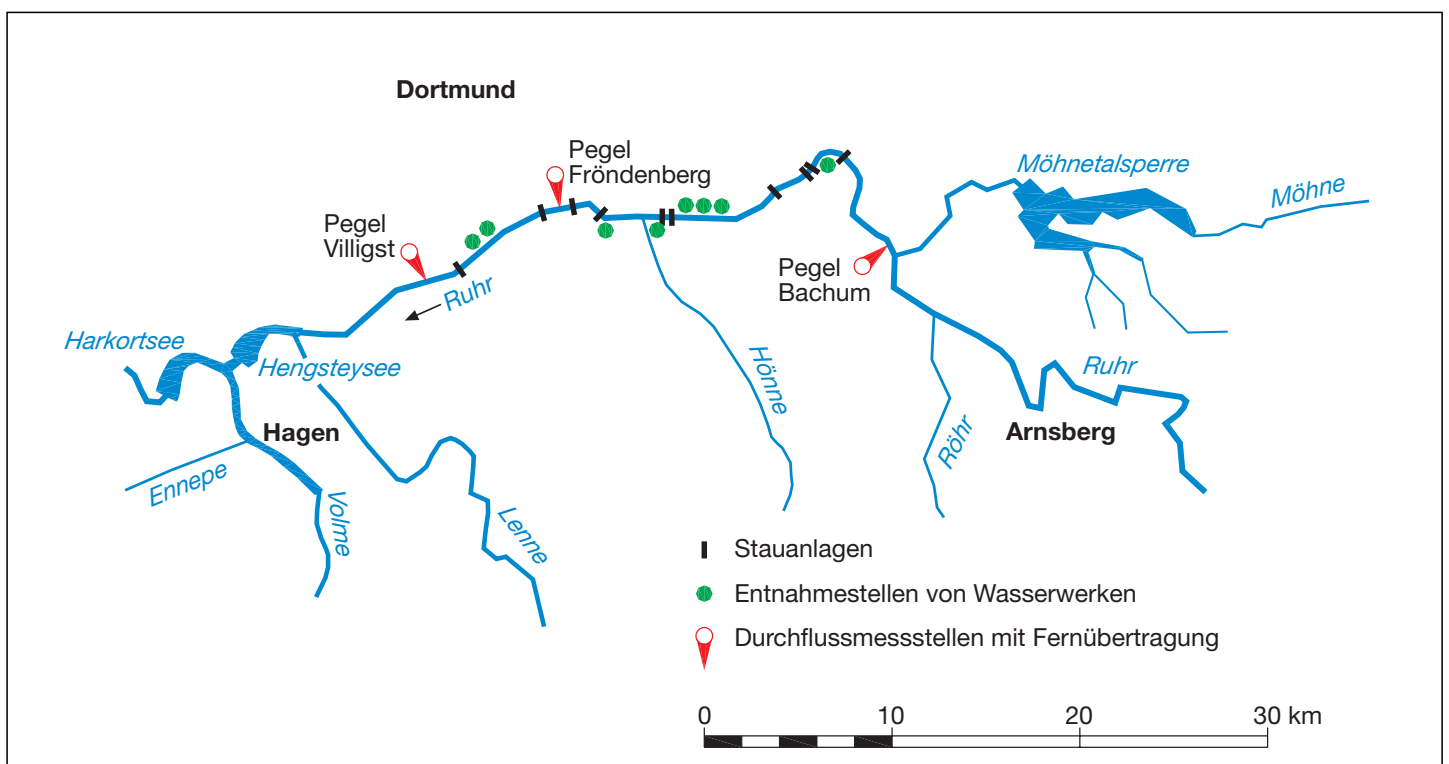


Bild 18: Mittlere Ruhr zwischen Möhneeinmündung und Villigst mit Stauhaltungen, Wasserwerken und Abflussmessstellen

Fig. 18: View of the middle reaches of the Ruhr River between the mouth of the Möhne River and Villigst showing the impounded structures, the water works and discharge gauging stations

ersehen ist – auf der 41,2 km langen Fließstrecke zwischen der Möhneeinmündung und Villigst lediglich die beiden vom Staatlichen Umweltamt Lippstadt betriebenen Abflussmessstellen Pegel Bachum und Pegel Villigst vorhanden sind, bestand seit Jahren die Forderung nach einer zusätzlichen Messstelle in diesem Flussabschnitt, um die Talsperrensteuerung weiter optimieren zu können.

Diese Forderung konnte bisher nicht erfüllt werden, da die herkömmliche gewässerkundliche Messtechnik, bei der der Wasserstand kontinuierlich registriert und dann nachträglich über eine mit Hilfe von Flügelmessungen aufgestellte funktionale Beziehung (Abflusskurve) in Durchflusswerte umgewandelt wird, **freien Abfluss** zwingend erfordert. Diese Voraussetzung ist in der mittleren Ruhr jedoch nicht oder nur an wenigen Stellen gegeben, da – wie Bild 18 belegt – der Flussabschnitt aus einer Kette von Stauhaltungen besteht, die seit vielen Jahrzehnten zur Wasserkraftnutzung und/oder Ableitung von Rohwasser aus der Ruhr für die Trinkwasseraufbereitung betrieben werden. Im staugeregelten Bereich nimmt jedoch der Wasserstand nicht nur infolge veränderter Durchflussmengen zu oder ab, sondern auch in Abhängigkeit der Stauhöhe an einem unterhalb gelegenen Wehr.

Eine weitere Problematik besteht bei instationären Abflussvorgängen. Hierbei ändert sich innerhalb kurzer Zeit der Durchfluss, z. B. bei einer Hochwasserwelle oder infolge von Schwall- und Sunk-Erscheinungen, wie sie durch eine Wasserkraftanlage verursacht werden. Im zunehmenden bzw. abfallenden Bereich einer solchen Welle stellen sich für den gleichen Durchfluss unterschiedliche Wasserstände ein (Hysterese), so dass umgekehrt bei Anwendung der Abflusskurve fehlerhafte Messergebnisse für den Durchfluss ermittelt werden.

Daher ist das oben erläuterte indirekte Verfahren für staugeregelte Fließgewässer ungeeignet.

11.2 Durchfluss-Messverfahren für staugeregelte Flusstrecken

Aufgrund der raschen Entwicklung der Mikroelektronik wurde es in den letzten Jahren möglich, weitere physikalische Prinzipien für die gewässerkundliche Messpraxis nutzbar zu machen.

Zur kontinuierlichen Durchflussmessung in staugeregelten Bereichen eignen sich prinzipiell alle Verfahren, bei denen die Fließgeschwindigkeit des Gewässers direkt gemessen wird, da sich nach der Kontinuitätsgleichung der Durchfluss Q als Produkt von durchflossenem Querschnitt A und mittlerer Fließgeschwindigkeit v_m ergibt:

$$Q = v_m \cdot A$$

In der Praxis haben sich zwei Entwicklungspfade durchgesetzt:

- 1) **Ultraschallanlagen**, bei denen die Fließgeschwindigkeit kontinuierlich erfasst wird. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen
 - a) Ultraschallanlagen, die nach dem Laufzeitverfahren und
 - b) Ultraschallanlagen, die nach dem Doppler-Prinzip arbeiten.

Typ a) ist in der Praxis am häufigsten im Einsatz; so auch beim Ruhrverband, der zurzeit an den Pegeln Werden, Mülheim und im Grundablass der Biggetalsperre dieses Messprinzip erfolgreich nutzt. Zum Verständnis soll das Messprinzip (siehe Bild 19) kurz erläutert werden:

Ein Ultraschallsignal wird in einem Winkel schräg zur Hauptfließrichtung von einem zum anderen Ufer gesendet. Die Schallgeschwindigkeit überlagert sich mit der Geschwindigkeitskomponente der Strömung im Messstrahl, so dass der Ultraschallimpuls in Fließrichtung die festgelegte Strecke schneller zurücklegt als flussaufwärts. Aus der Differenz der Laufzeiten mit und entgegen der Strömung kann schließlich die mittlere Fließgeschwindigkeit in der Messebene bestimmt werden.

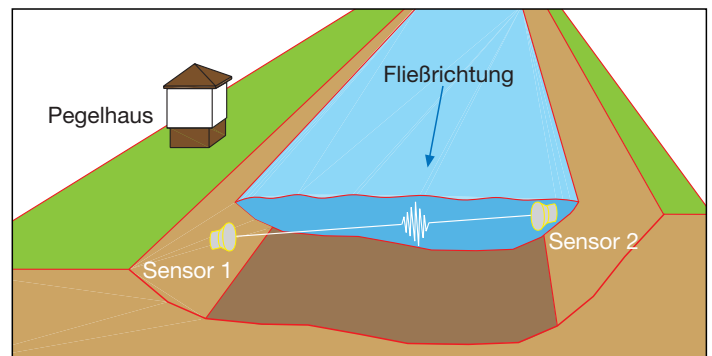


Bild 19: Prinzip einer Ultraschallanlage nach dem Laufzeitverfahren
Fig. 19: Sketch illustrating the principle of an ultrasonic measurement unit using the travel-time method

- 2) **hydraulische Verfahren**, die auf den Gesetzmäßigkeiten der Fluidmechanik bestehen. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen

- a) Ausbau eines Fließquerschnitts mit hydraulisch definierten **Messbauwerken**, wie z.B. Wehr, Venturikanal etc.

Wegen des notwendigen starken Eingriffs in das Gewässer und den damit verbundenen hohen Baukosten sind diese Konstruktionen in der Regel auf kleinere bis mittlere Gewässer beschränkt. Beim Ruhrverband sind solche Strukturen daher lediglich an den Zu- und Abflüssen von Talsperren (z.B. am Pegel Treckinghausen/Verse oder am Pegel Walkmühle/Ennepe) im Einsatz.

b) Messung von hydraulischen **Einflussgrößen**, wie z.B. das Wasserspiegelgefälle. Diese Verfahren können für unverbaute und rückgestaute Fließquerschnitte und somit auch für größere Gewässer angewandt werden.

Nach eingehender Überprüfung der heute auf dem Markt verfügbaren Messtechnik und der Randbedingungen von geeigneten Messstellen in dem genannten Flussabschnitt wurde entschieden, das auf hydraulischen Gesetzmäßigkeiten basierende ΔW -Verfahren einzusetzen und zu erproben.

11.3 Auswahl der Messstelle

Die Messstelle sollte nach Möglichkeit zwischen den beiden vorhandenen Durchfluss-Messstellen Bachum und Villigst (siehe Bild 18) liegen.

Als geeignete Messstrecke bot sich ein über 1.000 m gradliniger Ruhrabschnitt in Höhe der Ruhrverbands-Pumpstation Fröndenberg-Dellwig (siehe Bild 20) an. Hier bestand die Möglichkeit, die Messstelle mit einem Strom- und Telefonanschluss zu versorgen. Außerdem sind hier beidseits der Ruhr die Dortmunder Stadtwerke Grundstückseigentümer, was den oft schwierigen Abschluss von liegenschaftsrechtlichen Vereinbarungen erheblich erleichterte.

Als Standortnachteil musste jedoch in Kauf genommen werden, dass sich die Messstelle im Rückstau der 2,9 km flussabwärts gelegenen Wehranlage Hengsen der Dortmunder Energie und Wasser AG befindet (siehe Bild 18). Dieser Nachteil erschien jedoch aufgrund der im vorhergehenden Abschnitt erläuterten neueren Entwicklung der Durchflussmesstechnik für rückgestaute Flussbereiche von nicht entscheidender Bedeutung, zumal aufgrund der starken anthropogenen Überformung der Ruhr in diesem Bereich kein alternativer Standort vorhanden war.



Bild 20: Ruhr bei Fröndenberg mit Messstrecke und Halterung für einen Ausperltopf

Fig. 20: The Ruhr River at Fröndenberg showing the measurement site and the bubble orifices

11.4 Messprinzip des ΔW -Verfahrens

Beim hydraulisch basierten ΔW -Verfahren macht man sich zunutze, dass der Durchfluss Q in einem Gerinne außer vom Wassertiefe h , der Geometrie und der Rauheit des Gerinnetts auch von der Neigung I_W des Wasserspiegels WSP abhängt. Das Messprinzip ist in Bild 21 dargestellt. An zwei Stellen mit dem Abstand L wird jeweils die Höhe h'_1 bzw. h'_2 der darüber befindlichen Wassersäule gemessen. Der oberwasserseitige Wasserstand ergibt sich aus der Addition von Pegelnullpunkt PNP und h'_1 , die Wassertiefe aus der Differenz zwischen Wasserstand und Flusssohle. Die Wasserspiegelneigung bestimmt sich zu:

$$I_W = (h'_1 - h'_2) / L$$

Voruntersuchungen ergaben, dass bei Durchflüssen im Niedrigwasserbereich ($Q = 8 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $10 \text{ m}^3/\text{s}$) auf einer Strecke von 100 m nur sehr geringe Wasserspiegeldifferenzen im Millimeterbereich auftraten. Daraus resultierte die Forderung nach einer Messtechnik, die den Wasserstand mit einer Genauigkeit von etwa einem Zehntel Millimeter erfassen kann. Eine so genaue Wasserstandserfassung ist de facto nur im Labor, aber nicht bei einem Feldversuch erreichbar. Nach Rücksprache mit dem renommierten Messgerätehersteller Ott wurde daraufhin eine Druckdifferenzmessanlage gewählt, die nach dem bewährten Einperlverfahren den Wasserstand bzw. den hydrostatischen Druck einer Wassersäule an zwei Punkten im Gewässer misst und über einen Differenzdruckaufnehmer die Wasserstandsdifferenz ermittelt.

Um die erforderliche Messgenauigkeit zu erreichen, wurde zusätzlich die Entfernung zwischen den beiden Einperltöpfen auf $L = 208 \text{ m}$ vergrößert und wurden die Einperltöpfe mit jeweils zwei Druckleitungen verbunden, damit Impuls- und Einperlleitungen separat zur Verfügung stehen (siehe Bild 21).

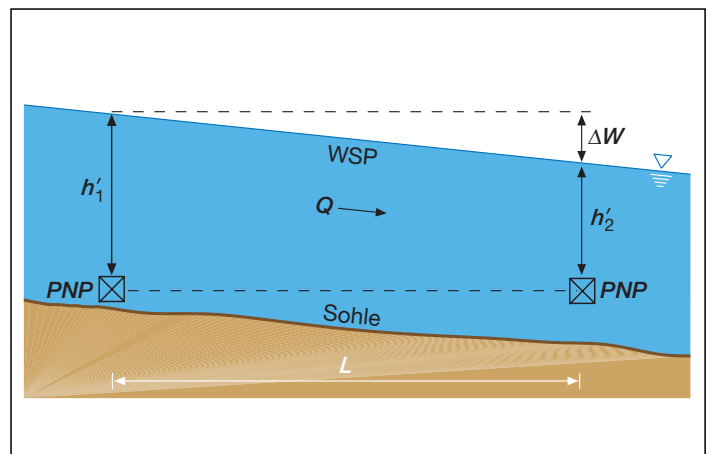


Bild 21: Messprinzip des ΔW -Verfahrens

Fig. 21: Sketch illustrating the principle of the ΔW method

11.5 Installation der ΔW -Messtechnik

Zur exakten Messung des Wasserstandes an den beiden Messpunkten wurden Einperlsysteme der Firma Ott installiert. Die für den Betrieb der beiden Druckluftpegel erforderlichen **Ausperltöpfe** (siehe Bild 22) wurden am Ende von zwei ca. 3 m langen U-Profilen aus Aluminium montiert und auf einer Betonunterkonstruktion im Uferbereich der Ruhr in einer Tiefe von ca. 40 cm unter Niedrigwasser fixiert.

Die Betonunterkonstruktion bilden zwei im Abstand von ca. 2 m in die Böschung eingesetzte Betonrohre DN 300, die unter der Wasseroberfläche mit Schotter bzw. über der Wasseroberfläche mit Beton verfüllt wurden und auf die dann etwa in der Böschungsneigung ein vorgefertigter ca. 4 m langer Betonbalken im Querschnitt 30 x 30 cm aufgelegt und verankert wurde. Die Ausperltöpfe sind jeweils über einen Druckschlauch mit einer Druckmessdose und der Druckluftversorgung verbunden. Bild 20 zeigt die Messstrecke sowie im Vordergrund die solide Halterung eines Ausperltopfes. Durch die kontinuierliche Luftzufuhr wird der Schlauch wasserfrei gehalten, so dass sich der Wasserdruck an der Öffnung aufgrund der konstanten Druckverteilung eines Gases bis zu einem im Pegelhaus montierten ersten Druckmessaufnehmer überträgt. Dieser wandelt den Druck in ein elektrisches Signal um, welches schließlich ein Maß für die Höhe der Wassersäule darstellt.

Am Pegel Fröndenberg sind am linken Ufer zwei Ausperltöpfe im Abstand von $L = 208$ m befestigt. Um die Wasserspiegeldifferenz direkt zu messen und so eine möglichst hohe Genauigkeit zu erzielen, ist ein hochwertiger Differenzdruckaufnehmer zwischen beide Ausperltöpfe angeschlossen. Bei der Einrichtung wurden neben der Höhenlage (geodätische Einmessung in mm-Genauigkeit) und der Entfernung der Ausperltöpfe L die beiden dort befindlichen Querprofile aufgemessen, um die Fließquerschnittsfläche in Abhängigkeit des Wasserstandes zu ermitteln.

In einem Datensammler (Typ Ott-Hydrosens) werden die vom Transmitter gelieferten analogen Druckdifferenzdaten in digitale Wasserstandsdifferenzen umgewandelt und gespeichert. Der ebenfalls erforderliche Wasserstand wird von einer in das Drucksystem des OW-Pegel integrierten Drucksonde ermittelt und ebenfalls im Datensammler abgelegt. Die Druckluftversorgung erfolgt über einen Kompressor mit Ausgleichsbehälter. Die gesamte Anlage wurde in einem als Fertigteil angelieferten Holzhaus mit den Grundmaßen 2,0 m x 2,5 m untergebracht. Bild 23 gibt einen Überblick über die im Pegelhaus installierte Messtechnik.

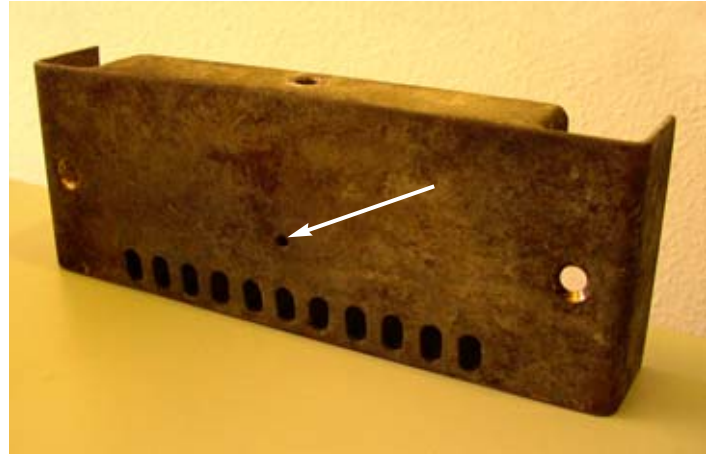


Bild 22: Ausperltopf (Pfeil kennzeichnet die Ausperlöffnung)
Fig. 22: Bubble orifice (the dash indicates the bubble outlet)

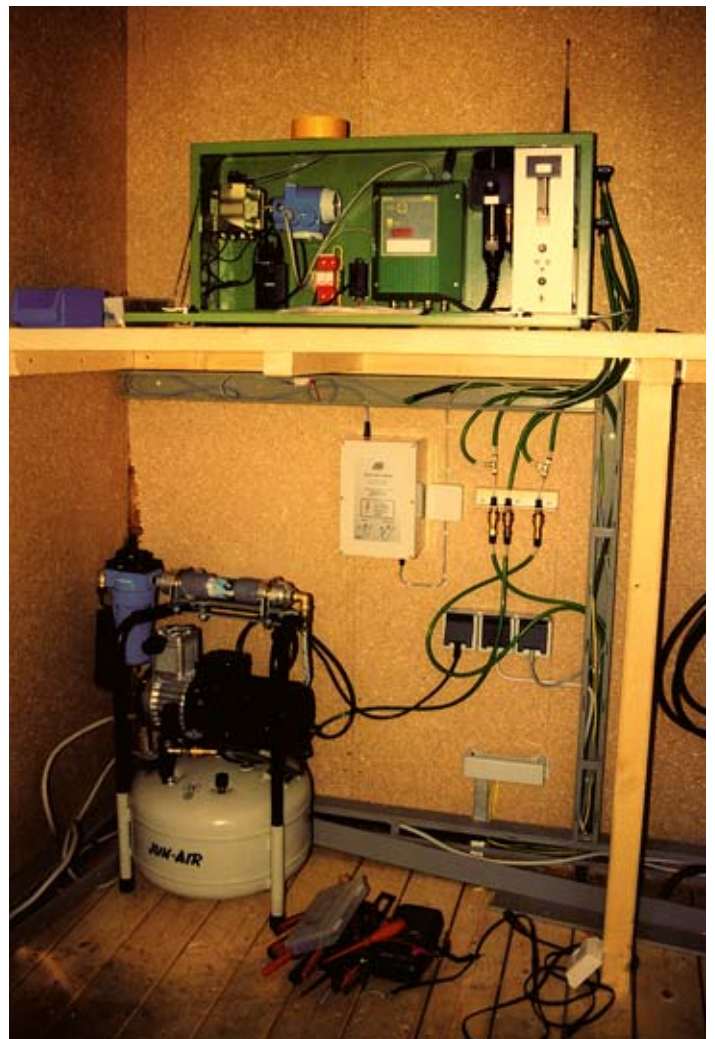


Bild 23: Pegelhaus mit installierter Messtechnik
Fig. 23: View into the instrument house of the gauging station showing the installed measurement technique

Das gesamte Messsystem besteht im Einzelnen aus folgenden Elementen:

- Drucksonde zur Wasserstandsmessung
- Differenzdrucktransmitter
- 2 Ausperltöpfe mit Halterungen und Fundamenten
- 218 m Druckleitung
- Druckluftversorgung (Kompressor mit Druckbehälter)
- Mehrkanal-Datensammler mit Datenfernübertragung
- Notstromversorgung
- Pegelhaus

Zur **Kalibrierung** und Überprüfung der Durchflussergebnisse der Druckdifferenzanlage wurde ein zweites, vom Druckdifferenzverfahren völlig unabhängig arbeitendes Messsystem installiert. Die Wahl fiel hier auf eine Ultraschallanlage nach dem Laufzeitprinzip der Firma Quantum-Hydrometrie aus Berlin, die die Anlage zu Testzwecken zur Verfügung stellte. Die für die Ultraschall-Messanlage erforderliche Unterquerung der Ruhr mit einem Datenkabel vom gegenüberliegenden Ultraschallsensor zum Messgerät im Pegelhaus konnte im Zuge einer Dükerverlegung der Firma Wingas bewerkstelligt werden. Die Ergebnisse dieser Messanlage werden auch im Datensammler gespeichert und stehen so gemeinsam mit den Werten der Druckdifferenz-Messanlage zum Abruf über ein installiertes GPS-Modem zur Verfügung.

Bild 24 zeigt die Anordnung der beiden Messeinrichtungen am Pegel Fröndenberg

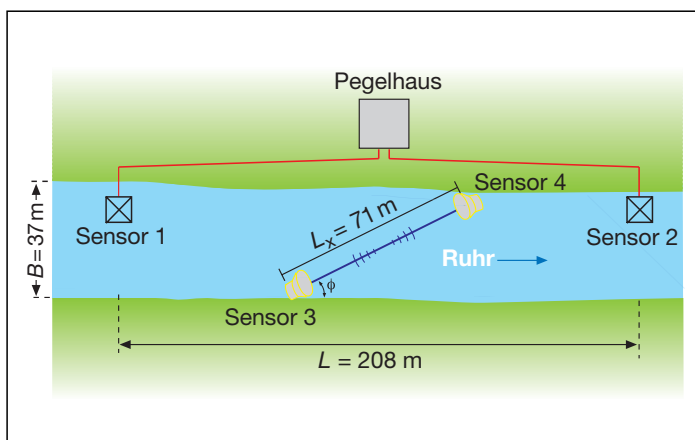


Bild 24: Grundriss der Messeinrichtungen am Pegel Fröndenberg
Fig. 24: Layout plan of the measurement equipment installed at the Fröndenberg discharge gauging station

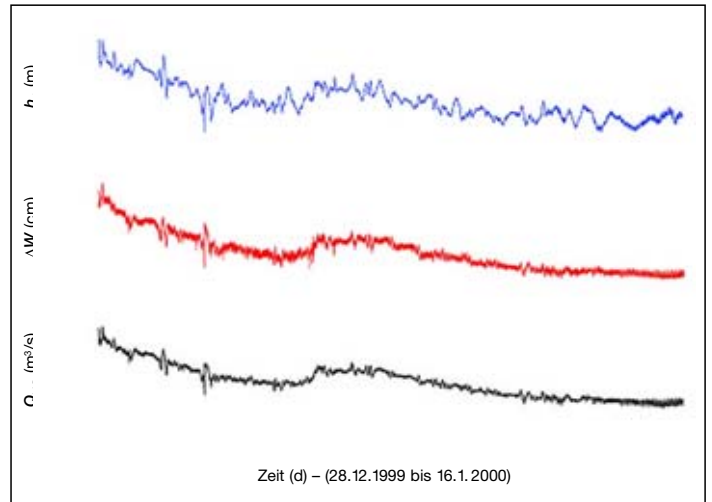


Bild 25: Datenreihen der Messeinrichtung am Pegel Fröndenberg
Fig. 25: Data series measured at the Fröndenberg gauging station

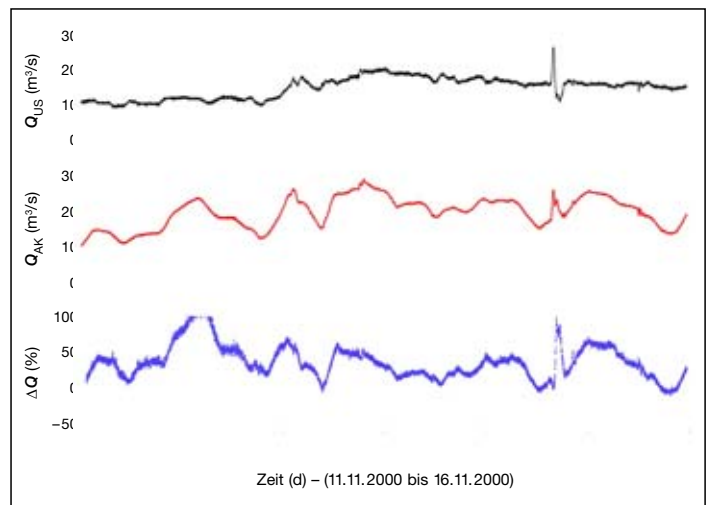


Bild 26: Vergleich zwischen dem Messergebnis der Ultraschallanlage und der Ableitung über eine einfache Abflusskurve
Fig. 26: Comparison between data measured with the ultrasonic unit with derived via a simple discharge rating curve

11.6 Erste Ergebnisse

11.6.1 Messdaten

Für das in Zusammenarbeit mit dem Lehr- und Forschungsgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft der Bergischen Universität Gesamthochschule Wuppertal (IGAW) durchgeführte Projekt wurden die im vorangegangenen Abschnitt erläuterte Druckdifferenzanlage und vorübergehend zusätzlich eine Ultraschallanlage zur Kalibrierung und zur Kontrolle des ΔW -Verfahrens installiert.

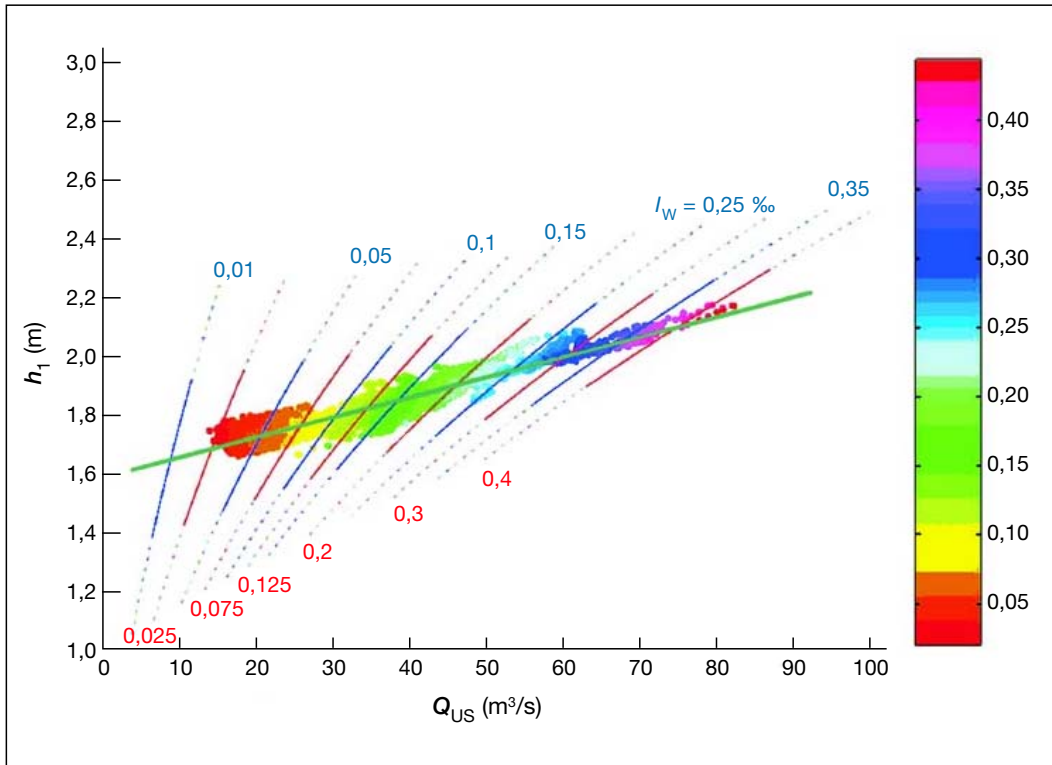


Bild 27: Erweiterte Abflusskurve
Fig. 27: Extended discharge rating curve

Für die Dauer des Projekts standen somit drei Datenreihen zur Verfügung: Die Wassertiefe h (Sensor 1), die Wasserstands-differenz ΔW bzw. die Wasserspiegelneigung I_W (Sensor 1 und 2) und der Durchfluss Q_{US} (Sensor 3 und 4). Bild 25 zeigt einen Ausschnitt der Datenreihen für einen Zeitraum von 20 Tagen.

11.6.2 Auswertung mit konventioneller Abflusskurve

Im Kapitel 11.1 wurde bereits erläutert, dass die an den meisten Pegeln angewandte Beziehung zwischen Wasserstand und Durchflussmenge in gestauten Flussabschnitten zu nicht akzeptablen Werten führt. Bild 26 zeigt dies eindrucksvoll durch einen Vergleich zwischen den Messwerten Q_{US} und der mit einer angenäherten Abflusskurve (Ausgleichskurve durch die Wertepaare h und Q_{US}) bestimmten Durchflussmenge Q_{AK} . Dies gilt vor allem für kleine Durchflussmengen, in denen der Stau einfluss besonders deutlich wird. Es treten Abweichungen von mehr als 100 % auf, wie die untere Ganglinie in Bild 26 zeigt.

11.6.3 Auswertung mit erweiterter Abflusskurve

Unter Berücksichtigung der Wasserspiegelneigung lässt sich auch für gestaute Flussbereiche eine brauchbare Abflusskurve, genauer gesagt, eine Kurvenschar, aufstellen. In Bild 27 wurde jedem Wertepaar aus h und Q_{US} eine bestimmte, der gemessenen Wasserspiegelneigung entsprechende Farb-information zugeordnet (siehe Legende).

Für jede Wasserspiegelneigung lässt sich somit eine eigene Abflusskurve aufstellen. Zum Vergleich ist auch die im vorangegangenen Abschnitt verwendete Ausgleichskurve in grün eingetragen, die die Kurvenschar schneidet. Für sehr große Wasserspiegelneigungen bzw. Durchflüsse nähert sich die Kurvenschar der Ausgleichsgeraden an, d.h. der Einfluss der Wasserspiegelneigung auf das Messergebnis nimmt ab. Für kleine Durchflüsse hat dagegen die Wassertiefe einen untergeordneten Einfluss. Die mit der Kurvenschar durchgeführte Durchflussbestimmung erzielt bereits eine sehr gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Ultraschallanlage.

Bei ausgeprägt instationären Vorgängen (siehe Bild 26), wie sie am Pegel Fröndenberg infolge oberhalb gelegener Wasserkraftanlagen auftreten, sollte allerdings die im nächsten Abschnitt beschriebene instationäre Auswertung angewendet werden.

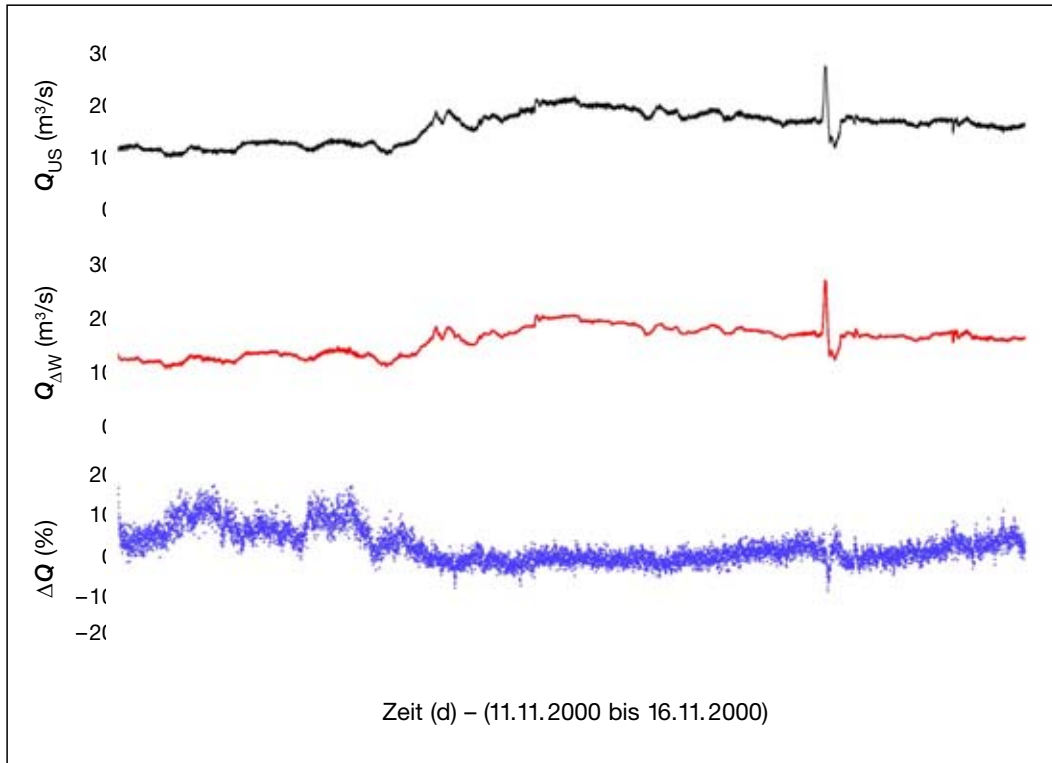


Bild 28: Vergleich zwischen den Messergebnissen der Ultraschallanlage und dem ΔW -Verfahren (niedrige Wasserführung)

Fig. 28: Comparison of data measured with the ultrasonic unit and data obtained via the ΔW method (low-flow situation)

11.6.4 Instationäre Auswertung und Kalibrierung

Auf Grundlage des Differentialgleichungssystems von Saint-Venant zur Beschreibung von Hochwasserwellen wurde ein Berechnungsalgorithmus hergeleitet, mit welchem auch instationäre Abflussvorgänge erfasst werden können. Dabei werden die Messwerte Wasserstand W und Wasserstands-differenz ΔW , die geometrischen Größen L (Abstand der Ausperltöpfe), A und D (Fließquerschnitt und hydraulischer Durchmesser als Funktion vom Wasserstand) sowie die äquivalente Sandrauheit k_S verwendet. Die Messwerte und die geometrischen Größen können bei entsprechender Sorgfalt mit hoher Genauigkeit bestimmt werden. Schwierigkeiten bestehen allerdings bei der Festlegung der Rauheit und bei der Einmessung der Höhendifferenz der Ausperltöpfe, da diese im eingebauten Zustand nur schwer zugänglich sind. Daher wurde eine Kalibrierung durchgeführt, welche auf den Messwerten der Referenzanlage basiert, d.h. die äquivalente Sandrauheit k_S und ein Korrekturwert für die Höhendifferenz wurden so bestimmt, dass sich eine minimale Abweichung zwischen den Messwerten der Ultraschallanlage und den Ergebnissen aus der Auswertung nach dem ΔW -Verfahren ergab.

Obwohl mit der Zeit durchaus Veränderungen der Verhältnisse im Bereich der Pegelstelle auftreten können, wurden beide Parameter jeweils über große Zeitbereiche konstant gewählt.

Dadurch treten bei der Auswertung größere Abweichungen im Vergleich zu einer häufigen Neukalibrierung auf, wie sie in der Praxis durchaus üblich ist.

11.6.5 Darstellung der Ergebnisse

Wird für den Zeitraum aus Bild 26 das (instationäre) ΔW -Verfahren angewendet, so erhält man die in Bild 28 dargestellten Ergebnisse. Das obere Diagramm enthält den mit der Ultraschallanlage gemessenen Durchfluss Q_{US} , darunter ist das Messergebnis der Differenzdruckanlage $Q_{\Delta W}$ aufgetragen. Das dritte Diagramm stellt die prozentuale Abweichung ΔQ der beiden Messreihen dar. Selbst sehr schnelle Abflussänderungen bei kleinen Durchflüssen werden hervorragend erfasst. Es ist nicht nur eine deutliche Verbesserung gegenüber dem konventionellen indirekten Verfahren zu verzeichnen; dem Verfahren kann bei Abweichungen von bereichsweise weniger als 5 % zu den Ergebnissen der Ultraschallanlage bereits Praxistauglichkeit bescheinigt werden. Sogar bei den sehr kleinen Durchflüssen von $10 \text{ m}^3/\text{s}$, bei denen das ΔW -Verfahren prinzipbedingt eine größere Messunsicherheit besitzt, sind die Ergebnisse sehr zufriedenstellend.

Bild 29 zeigt einen Zeitraum mit größeren Durchflüssen. Auch hier ist der Vergleich zwischen Ultraschallanlage und dem Ergebnis des ΔW -Verfahrens sehr überzeugend.

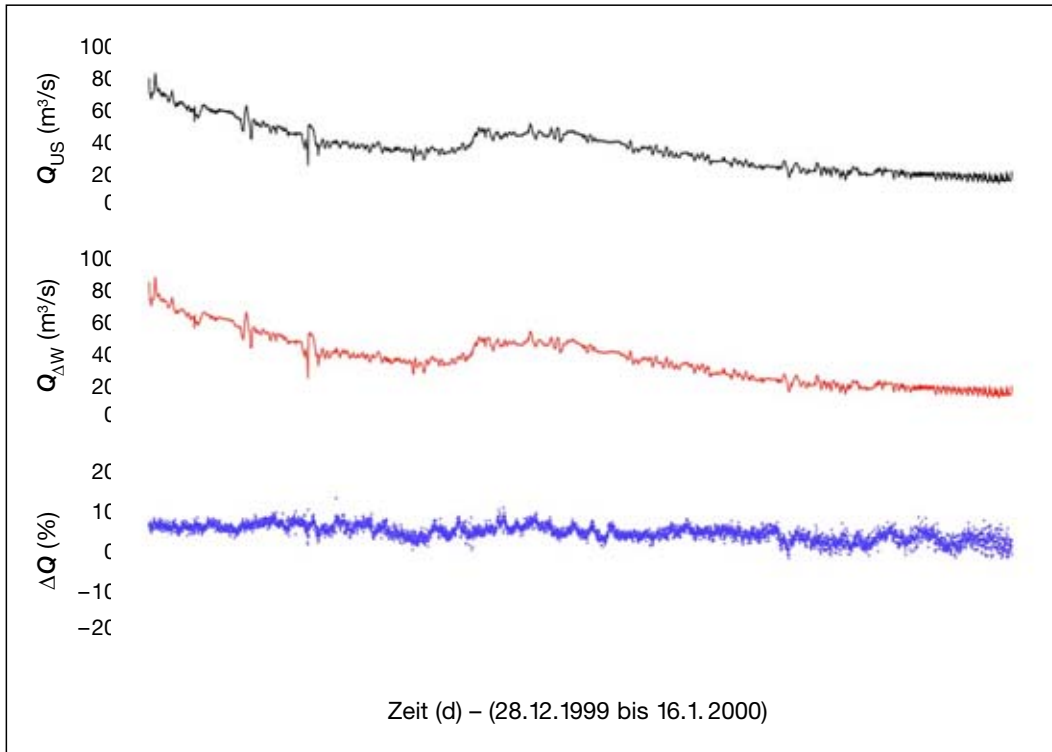


Bild 29: Vergleich zwischen den Messergebnissen der Ultraschallanlage und dem ΔW -Verfahren (hohe Wasserführung)

Fig. 29: Comparison of data measured with the ultrasonic unit and data obtained via the ΔW method (high flow situation)

11.7 Bewertung und Ausblick

Die Erfahrungen mit dem ΔW -Verfahren am Pegel Fröndenberg sind sehr positiv. Das eingesetzte Messsystem arbeitet mit Ausnahme eines durch Nagetiere und Korrosion verursachten Ausfalls sehr präzise und zuverlässig.

Bereits bei stationärer Auswertung wird durch die zusätzlich gemessene Messgröße ΔW ein hinreichend genaues Ergebnis erzielt. Für die Abflusssituation am Pegel Fröndenberg wurden aufgrund der instationären Verhältnisse weitergehende Berechnungen durchgeführt. Dadurch konnten insbesondere für kleine, stark variierende Durchflüsse deutliche Verbesserungen erzielt werden. Die nun vorliegenden Ergebnisse und Kenntnisse bestätigen die Praxistauglichkeit des ΔW -Verfahrens.

Die **Vorteile** liegen zum einen in der preisgünstigen und zuverlässigen Messtechnik und der einfachen Installation, da nur ein Ufer zugänglich sein muss. Zum anderen steht nun ein System zur Verfügung, welches für Staubereiche geeignet ist, ohne dass es Einschränkungen im Hinblick auf die Wasserqualität oder störende Signalquellen gibt.

Einschränkungen bestehen bezüglich der erreichbaren Messgenauigkeit. Daher sind die Verhältnisse an einer potentiellen Pegelstelle vor der Installation des Messsystems zu analysieren. Sehr breite und tiefe Flachlandflüsse sind generell weniger gut geeignet als zum Beispiel Mittelgebirgsflüsse wie die Ruhr.



Bild 30: Neu entwickelter strömungsgünstiger Ausperltopf
Fig. 30: Newly developed bubble orifice

Um die Einrichtung bzw. Kalibrierung des Systems zu erleichtern und die Präzision der Messergebnisse weiter zu verbessern, wurde in Zusammenarbeit mit dem Hersteller der Messtechnik ein neuer Ausperltopf entwickelt, der mit einer Einmesshilfe ausgestattet ist (Bild 30). Außerdem wird ein neuer Datensammler mit integrierter Auswerteelektronik die Zuverlässigkeit des Systems erhöhen. Beide Weiterentwicklungen werden in naher Zukunft installiert.

Nachdruck – auch auszugsweise
– nur mit Quellenangabe gestattet.



Abteilung Mengenwirtschaft
und Morphologie
Kronprinzenstraße 37, 45128 Essen
Postfach 10 32 42, 45032 Essen
Telefon (02 01) 178-26 50
Fax (02 01) 178-26 05