

## Durchführung eines „Water Audit“ nach IWA/AWWA-Methodik in Herceg Novi, Montenegro

Ulf Hermel<sup>1</sup>, Djevad Koldzo<sup>2</sup>

### Einleitung

Im Rahmen des Programms *Wasserver- und Abwasserentsorgung Adriaküste III und IV*, einem Teil der deutschen Finanziellen Zusammenarbeit (FZ) mit Montenegro, wurden zwischen 2009 und 2012 die Wasserversorgungsunternehmen (WVU) der Küstenstädte Bar, Herceg Novi, Kotor und Tivat in verschiedenen Aspekten des technisch-operativen Betriebs und des kaufmännischen Managements durch eine Consulting –Arbeitsgemeinschaft (Sachsen Wasser GmbH – AHT Group AG) beraten und trainiert. Die Maßnahme, finanziert von der KfW Entwicklungsbank, wurde parallel zu einem umfangreichen Investitionsprogramm zur Verbesserung der Wasser- und Abwasserinfrastruktur durchgeführt.

Neben den Zielen der operativen und langfristig vollen Kostendeckung und der Anhebung der Hebe-Effizienz der kommunalen Wasserversorger (*Vodovod i Kanalizacije*, kurz ViK) sowie einer 24-Stunden-Wasserversorgung stand als wesentliches Ziel die Unterstützung zur Senkung der teilweise exzessiv hohen Wasserverluste („Non-Revenue Water“, NRW) der ViKs. Dazu wurde u.a. fehlende Ausrüstung zur Durchflussmessung und Leckortung beschafft, Pilotzonen in den vier Städten eingerichtet und hydraulisch modelliert und ein umfangreiches Trainingsprogramm zur Verlustreduzierung für zahlreiche Mitarbeiter der ViKs sowie technischer Experten des regionalen Wasser-Dienstleisters Vodacom d.o.o. (gleichzeitig Projektträger) durchgeführt.

In der Stadt Herceg Novi wurde im November 2011 zusätzlich und unter Beteiligung der trainierten ViK- und Vodacom-Mitarbeiter exemplarisch ein „Water Audit“ nach der Methodik der *International Water Association* (IWA) unter Nutzung einer frei zugänglichen Software der *American Water Works Association* (AWWA) durchgeführt, um den Anteil von scheinbaren und realen Wasserverlusten zu bestimmen und den weiteren Handlungsbedarf zu ermitteln. Im Frühjahr 2012 wurde in enger Zusammenarbeit zwischen ViK Herceg Novi, Vodacom und dem Consultant eine konzertierte Leckortungs- und Reparaturkampagne durchgeführt.

### Untersuchungsgebiet

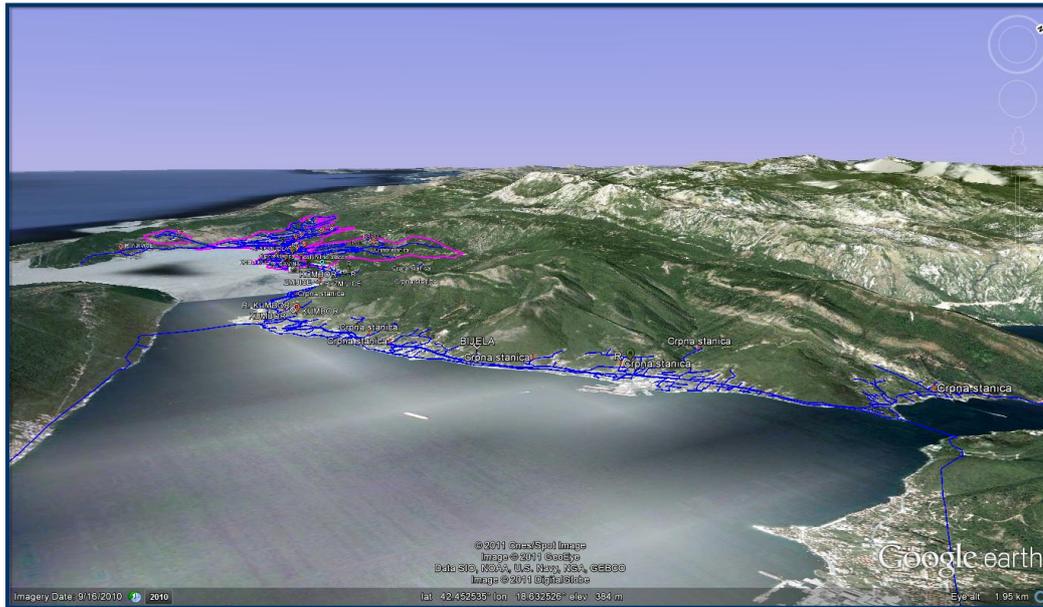
Die Stadt Herceg Novi (ca 30,000 Einwohner) liegt an der Adriaküste im Westen Montenegros am Eingang der Bucht von Kotor (**Abbildung 1**) und ist ein beliebter Urlaubsort. Die Wasserversorgung wird im Wesentlichen durch Oberflächenwasser des Bileća Systems (nach Aufbereitung im Wasserwerk *Mojdež*, Kapazität 600 l/s) sowie durch Grundwasser am Standort *Opačica* (Kapazität 160 l/s, nur im Sommer) gewährleistet. Jährlich werden ca. 12 Mio m<sup>3</sup> Trinkwasser bereitgestellt. Die Rohrnetzlänge beträgt rund 140 km, es gibt 15 Versorgungszonen.



Abbildung 1: Lage des Projektgebiets

<sup>1</sup> Sachsen Wasser GmbH, Leipzig, D

<sup>2</sup> Hydro-Engineering Institute Sarajevo (HEIS), BiH



**Abbildung 2: Google Earth 3D-Darstellung des Verteilungsnetzes von Herceg Novi (aus GIS MapInfo 10 eingespielte Rohrnetz-Daten)**

## Methodik und Ergebnisse

Im Rahmen des *Water Audit* wurden die wesentlichen Bestandteile der Wasserbilanz der *International Water Association* (IWA) bestimmt, die in der **Abbildung 3** (mit Übersetzung der gängigen DVGW-Terminologie nach W 392) dargestellt ist. Als Betrachtungszeitraum wurden die 12 Monate zwischen Dezember 2010 und November 2011 festgelegt. Zur Berechnung der Wasserbilanz wie auch weiterer ableitbarer Indikatoren (wie z.B. dem *Infrastructure Leakage Index, ILI*) wurde auf die Free Water Audit Software der *American Water Works Association* (AWWA) zurückgegriffen, eine Excel-basierte Applikation, die auf der AWWA Homepage verfügbar ist. Ergänzend wurden weitere eigene Auswertungen durchgeführt.

Zur Durchführung des *Water Audits* wurde ein „*Top-Down*“-Ansatz gewählt, das heißt es wurden keine originären Durchflussmessungen („*Bottom-Up*“-Ansatz) durchgeführt, sondern im Wesentlichen die Daten der bestehenden stationären Durchflussmesser, Kundenverbräuche und anderer ViK-Daten genutzt. Allerdings wurde die Genauigkeit der bestehenden Zähler überprüft und auch entsprechende Kontrollmessungen durchgeführt sowie die weiteren vorbereitenden Maßnahmen durchgeführt:

- Verifizierung / Aktualisierung des bestehenden Kartenmaterials des Netzes
- Überprüfung von Großwasserzählern und Produktionszählern
- Zusammenstellung und Verifizierung von Durchflussdaten, gemessener und in Rechnung gestellter Kundenverbräuche sowie Bestimmung / Abschätzung von nicht gemessenen Verbräuchen
- Überprüfung der Genauigkeit von Kundenwasserzählern

### Schritt 1: Bestimmung der Rohrnetzeinspeisung $Q_N$

In Herceg Novi wurden dazu Messdaten am Wasserwerk *Mojdež* (Endress+Hauser MID am Ausgang DN 600) sowie die Daten der Produktionszähler in *Opačica* genutzt. Da der Ausgangszähler am Wasserwerk nicht einwandfrei installiert war, wurden mit einem portablen Krohne Ultraschall-Durchflussmesser Kontrollmessungen durchgeführt und im Ergebnis der Durchfluss um 2,8% nach unten korrigiert. Innerhalb des Untersuchungszeitraums wurden in Herceg Novi abzüglich von marginalen Wasserexporten 12,06 Mio. m<sup>3</sup> Wasser eingespeist, d.h. ca. 1,08 Mio. m<sup>3</sup> durchschnittlich pro Monat.

<b>System Input Volume</b> $Q_i$  <b>Rohrnetzeinspeisung</b> $Q_N$  <u>HN: 12,060,783 m<sup>3</sup></u> <i>(korrigiert um Wasserexport)</i>	<b>Authorised Consumption</b> $Q_A$  <b>Rohrnetzabgabe</b> $Q_A$  <u>HN: 3,328,436 m<sup>3</sup></u>	<b>Billed authorised consumption</b> $Q_{BA}$  <b>In Rechnung gestellte Rohrnetzabgabe</b> $Q_{AI}$	<i>Billed metered consumption</i> In Rechnung gestellte & gemessene Rohrnetzabgabe	<b>Revenue Water</b>  <b>In Rechnung Gestellte Wasserabgabe</b> $Q_{IR}$  <u>HN: 2,849,000 m<sup>3</sup></u>
		<b>Unbilled authorised consumption</b> $Q_{UA}$ <b>Nicht in Rechnung gestellte Rohrnetzabgabe</b> $Q_{AN}$	<i>Unbilled unmetered consumption</i> Nicht in Rechnung gestellte & ungemessene Rohrnetzabgabe	
	<b>Water Losses</b> $Q_L$  <b>Wasserverluste</b> $Q_V$  <u>HN: 8,732,347 m<sup>3</sup></u>	<b>Apparent Losses</b> $Q_{AL}$ <b>Scheinbare Wasserverluste</b> $Q_{VS}$  <u>HN: 789,948 m<sup>3</sup></u>	<i>Unauthorised consumption</i> Wasserdiebstahl	<b>Non-Revenue Water</b>  <b>Nicht in Rechnung gestellte Wasserabgaben</b> $Q_{NR}$  <u>HN: 9,211,783 m<sup>3</sup></u>
			<b>Real Losses</b> $Q_{RL}$ <b>Reale Wasserverluste</b> $Q_{VR}$  <u>HN: 7,942,399 m<sup>3</sup></u>	
		<i>Leakage and overflows at storage tanks</i> Behälter		

Abbildung 3: Standard IWA Wasserbilanz mit Übersetzung in DVGW-Terminologie (W 392)

### Schritt 2: Bestimmung der gemessenen und in Rechnung gestellten Rohrnetzabgabe $Q_{AI}$

Laut der Kundendatenbank von ViK Herceg Novi werden die Verbräuche von 13,065 Kunden durch Wasserzähler gemessen; ein Teil der insgesamt verzeichneten 14,128 Zähler ist somit inaktiv. 22% der gesamten Wasserzähler lagen über die Eichfrist. Innerhalb des Systems sind 23 stationäre Durchflussmesser zur Messung der Produktion und des Ausflusses von den Wasserspeichieranlagen in die verschiedenen Versorgungszonen vorhanden (**Abbildung 4**). Im Rahmen der Untersuchung wurden für die 15 Versorgungszonen einzeln die gemessenen und in Rechnung gestellten Kundenverbräuche (Quelle: Verbrauchsabrechnung ViK Herceg Novi) ermittelt und direkt mit den Ergebnissen der Rohrnetzeinspeisung in die jeweilige Zone verglichen (siehe **Abbildung 5**).

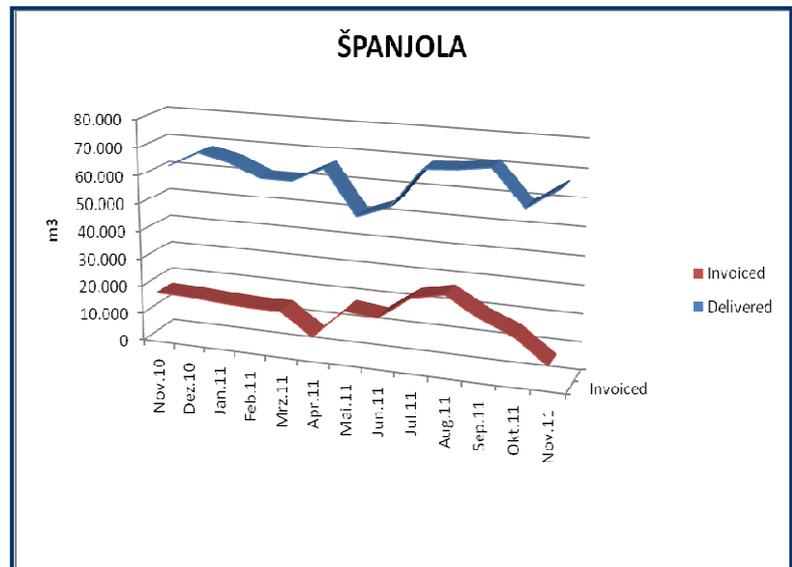


In den einzelnen Zonen wurden zur Überprüfung der Genauigkeit der stationären Großwasserzähler Kontrollmessungen mit Ultraschall-Durchflussmessern durchgeführt und im Fall von signifikanten Abweichungen die Messungen entsprechend korrigiert (im Fall der Zone *Podi* z.B. Korrektur um -30% Einspeisung).

Abbildung 4: Durchflussmesser am Speicherbehälter Igalo 1

Um der Anzahl von nicht kalibrierten Zählern und der Tatsache Rechnung zu tragen, dass Wasserzähler mit der Zeit zunehmend weniger Durchfluss anzeigen, wurden die Kundenverbräuche um 3% nach oben korrigiert. Im Dezember wurde probeweise ein Hauswasserzähler getestet (**Abbildung 6**), allerdings ohne alarmierende Ergebnisse.

Im Ergebnis wurde die gemessene und in Rechnung gestellte Rohernetzabgabe im Untersuchungszeitraum mit 2,85 Mio. m<sup>3</sup> bestimmt.



**Abbildung 5: Verhältnis von Rohrnetzeinspeisung und in Rechnung gestelltem Wasser, Zone Španjola**



**Abbildung 6: Wasserzähler-Test Dezember 2011**

### **Schritt 3: Bestimmung der autorisierten, nicht in Rechnung gestellten Rohrnetzabgabe $Q_{AN}$**

Im Wesentlichen wurden vier Arten der autorisierten, aber nicht in Rechnung gestellten Wasserabgabe berücksichtigt, die sich auf ca. 0,48 Mio. m<sup>3</sup> für den Untersuchungszeitraum summierten:

- Für *Löschwasser-Hydranten* (insgesamt 337) wurde eine durchschnittliche Betriebsdauer von 10 Minuten pro Jahr bei einem Durchfluss von 5 l/s angenommen, also gesamt ca. 1,000 m<sup>3</sup>/Jahr.
- Aufgrund einer kommunalen Richtlinie darf ViK Herceg Novi *Kundenverbräuche von mehr 7,0 m<sup>3</sup> pro Monat* und Mitglied eines Haushalts nicht in Rechnung stellen. Laut Auskunft der Buchhaltung des ViK betraf das im Monat Oktober (2011) 4,785 m<sup>3</sup>. Da Angaben zu anderen Monaten nicht verfügbar waren, wurden die Mengen für die davorliegenden Monate geschätzt.
- Am Speicherbehälter *Kumbor* wird seit Jahren bewusst ein *Überlauf* von 15 l/s zugelassen, um Druck in den unterhalb gelegenen zentralen Versorgungszonen zu vermindern.
- Der *Eigenverbrauch* des ViKs für Spülungen, Reinigungen, Tests wurde mit 30 m<sup>3</sup> pro Versorgungszone und Jahr eingestellt.

#### Schritt 4: Bestimmung der nicht in Rechnung gestellten Wasserabgaben $Q_{NR}$

##### a) Scheinbare Wasserverluste $Q_{vs}$

Zur besseren Einschätzung der scheinbaren Wasserverluste wurde in der Teilzone *Ratiševina* (171 registrierte Kunden) eine Bestandsaufnahme von Anschlüssen und Kundenwasserzählern durchgeführt. Es zeigte sich, dass 15 Kunden mit Wasserzähler nicht in der Datenbank registriert waren, 9 Anschlüsse ohne Zähler waren, und 21 Anschlüsse / Zähler sichtbare Defekte aufwiesen. Diese Kontrollmaßnahme gab ViK Herceg Novi Anlass zu schnellem Handeln (z.B. mit Registrierungen, Absperrungen, Reparaturen).

Für die Bestimmung der scheinbaren Verluste wurden Angaben über illegale Anschlüsse der letzten 12 Monate pro Versorgungszone sowie Angaben zu fehlenden Datensätzen / Kundenregistrierungen mit einem durchschnittlichen Durchfluss multipliziert. Für Mess- und Ablesefehler wurden pauschal 3% auf die gemessenen Verbrauch aufgeschlagen. **Abbildung 7** zeigt die somit errechneten Scheinbaren Wasserverluste, die sich auf knapp 0,8 Mio. m<sup>3</sup> für den Untersuchungszeitraum summierten.

APPARENT LOSSES									
Nb.	ZONE	UNAUTHORISED CONSUMPTION			DATA BASE MISTAKES			CUSTOMER METERING INACCURACIES	TOTAL PER ZONE
		Number	Average Flow (m3/year)	TOTAL (m3/day)	Number	Average Flow (m3/year)	Total (m3/year)	Average Flow (m3/year)	(m3/year)
1	Sutorina	51,50	400,00	20.600,00	30,90	240,00	7.416,00	2.165,25	30.181,25
2	Sušćepan	18,70	400,00	7.480,00	11,22	241,00	2.704,02	435,12	10.619,14
3	Gomila	60,00	400,00	24.000,00	36,00	242,00	8.712,00	4.570,68	37.282,68
4	Igalo I (stari)	98,30	400,00	39.320,00	58,98	243,00	14.332,14	9.511,31	63.163,45
5	Igalo II (novi)	56,80	400,00	22.720,00	34,08	244,00	8.315,52	5.144,90	36.180,42
6	Topla (1)	28,20	400,00	11.280,00	16,92	245,00	4.145,40	3.147,09	18.572,49
7	Topla (2)	0,00	400,00	0,00	0,00	246,00	0,00	0,00	0,00
8	Bajer I	6,00	400,00	2.400,00	3,60	247,00	889,20	504,12	3.793,32
9	Bajer II (1)	38,90	400,00	15.560,00	23,34	248,00	5.788,32	3.487,50	24.835,82
10	Bajer II (2)	0,00	400,00	0,00	0,00	249,00	0,00	0,00	0,00
11	Španjola	69,50	400,00	27.800,00	41,70	250,00	10.425,00	6.864,66	45.089,66
12	Nulta	690,90	400,00	276.360,00	414,54	251,00	104.049,54	41.450,59	421.860,13
13	Podi	70,80	400,00	28.320,00	42,48	252,00	10.704,96	2.469,66	41.494,62
14	Savina	74,40	400,00	29.760,00	44,64	253,00	11.293,92	5.721,36	46.775,28
15	Njivice	15,90	400,00	6.360,00	9,54	254,00	2.423,16	1.316,31	10.099,47
	TOTAL PER TYPE OF USE	1.279,90	6.000,00	<b>511.960,00</b>	767,94	3.705,00	<b>191.199,18</b>	<b>86.788,55</b>	
	<b>GRAND TOTAL</b>								<b>789.947,73</b>

Abbildung 7: Errechnete Scheinbare Wasserverluste Herceg Novi

## b) Reale Wasserverluste $Q_{VR}$

Die realen Wasserverluste ergaben sich rechnerisch und wurden im Rahmen des *Water Audits* nicht weiter heruntergebrochen. Im Rahmen des Projektes wurde jedoch das Betreiberpersonal der 4 ViKs sowie Vodacom-Mitarbeiter in der Durchführung entsprechender Messungen (Wassermengenbilanzierung, Nachtverbrauchsmessung) sowie auch in der Anwendung von Korrelatoren und elektroakustischem Leckortungsgerät eingehend geschult (**Abbildung 8**).



**Abbildung 8: Nachtverbrauchsmessung**

Für die Realen Wasserverluste wurde für den Untersuchungszeitraum eine Summe von 7,9 Mio. m<sup>3</sup> errechnet. Dadurch wurden die angenommenen exzessiv hohen Wasserverluste bestätigt.

### Schritt 5: Datenanalyse mit der AWWA Free Water Audit Software

Über die AWWA Free Water Audit Software wurden auf Grundlage der Wasserbilanz u.a. die jährlichen Kosten der scheinbaren und realen Wasserverluste errechnet, die realen Verluste in Beziehung zur Anzahl der Hausanschlüsse gesetzt (*ca. 1,540 l/d pro Anschluss*) sowie der *Infrastructure Leakage Index* (ILI) bestimmt. Er ist eine dimensionslose Größe, der sich aus dem Quotient der *aktuellen jährlichen realen Verluste* (CARL) und den *unvermeidbaren jährlichen realen Verluste* (UARL) ergibt. Der ILI gibt an, um das Wievielfache die jährlichen Verluste über den unvermeidbaren jährlichen Verlusten liegen.

Bei den unvermeidbaren jährlichen Verlusten (UARL) handelt es sich um einen theoretischen Wert, der über die nebenstehende Formel berechnet wird.

Im Ergebnis wurde ein ILI von 27,82 errechnet. Während es durchaus auch auf längere Sicht vertretbar ist, einen ILI-Wert von > 8 zu haben, muss jedoch bei einem so hohen Wert die grundsätzliche Frage nach dem Umgang mit der Ressource Wasser gestellt werden.

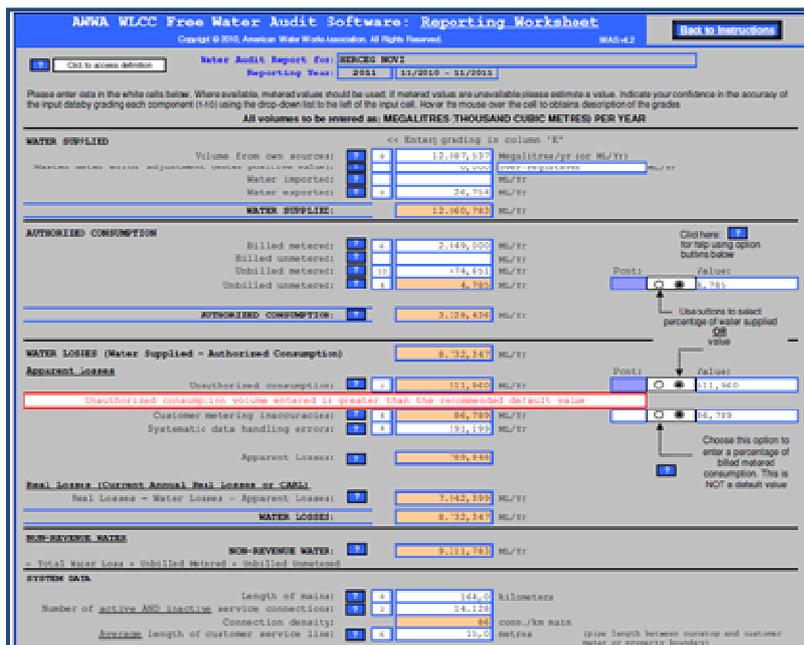
#### Berechnung der UARL

$$\text{UARL} = (18 * L_m + 0,8 * N_c + 25 * L_p) * P$$

$L_m$  = Länge der Haupt- und Versorgungsleitungen (km)  
 $N_c$  = Anzahl der Hausanschlüsse  
 $L_p$  = Gesamtlänge aller Hausanschlussleitungen von der Grundstücksgrenze bis zum Wasserzähler (km)  
 $P$  = durchschnittliche Versorgungsdruckhöhe (m)

### Schlussfolgerungen

Der durchgeführte *Water Audit* bestätigte die *sehr hohen Verluste* in Herceg Novi und zeigte einen großen Handlungsbedarf auf. Der Audit selbst lieferte bereits einen Beitrag zur Sensibilisierung der Entscheidungsträger bei dem kommunalen Wasserversorger und erwirkte erste punktuelle Verbesserungen (z.B. Reparaturen an Anschlussleitungen und vertragliche Bindung von zuvor nicht registrierten „Kunden“).



Die dem Water Audit zugrundeliegende Datenqualität wurde als insgesamt *befriedigend* eingestuft, die Bewertung der Datengüte / Konfidenz wurde über die AWWA Software mit 68 von 100 möglichen Punkten errechnet (Abbildung 9). Es besteht Verbesserungspotenzial bei der Messgenauigkeit der Zähler an den Speicherbehältern und der Kundenwasserzähler, sowie im Hinblick auf die komplette Verzählung der Kunden.

Abbildung 9: „Reporting Worksheet“ der AWWA Water Audit Software

Dem ViK Herceg Novi – wie auch den anderen beteiligten Wasserunternehmen – wurden durch die Tätigkeiten innerhalb des Programmes eine Vielzahl von Instrumenten an die Hand gegeben, um die Leistungsfähigkeit u.a. im Bereich Wasserverlustreduzierung zu erhöhen. Neben entsprechender Ausrüstung, Software (Hydraulisches Modell, GIS, Benchmarking-System, Work Order System, Datenbank Schadenstatistik), Schaffung von funktionellen Voraussetzungen und passgenauer Definition von relevanten Prozeduren, Einrichtung einer Pilot-Zone (*Bijela-Kamenari*) wurde ein umfangreiches Trainingsprogramm durchgeführt; alle beschriebenen Schritte des *Water Audit* wurden in enger Zusammenarbeit mit dem lokalen Betriebspersonal durchgeführt.

### Leckortungs- und Reparatur-Kampagne

Als kurzfristige Maßnahme zur Reduzierung der realen Wasserverluste wurde im Frühling 2012 in enger Zusammenarbeit zwischen ViK Herceg Novi, Vodacom und dem Consultant eine Leckortungs- und Reparatur-Kampagne („*Basic Leak Detection and Rapid Repair Campaign*“) durchgeführt. Ziel war es, vor allem einfach zu identifizierende Leckagen zu lokalisieren und diese zeitnah zu reparieren, und dies auch außerhalb der Dazu wurde von ViK Herceg Novi ein Programmleiter benannt sowie ein Leckortungs-Team und zwei Reparatur-Teams zusammengestellt. Verschiedene Netzabschnitte wurden visuell inspiziert, Hinweise der Bevölkerung zu beobachteten Leckagen entgegengenommen, einzelne Durchflussmessungen (mit mobilen Geräten) durchgeführt sowie Geophone und Korrelatoren eingesetzt. Mit der Anwendung waren die Teams durch die vorangegangenen Schulungen bereits vertraut.

Nach zwei Monaten waren insgesamt 31 identifizierte Defekte repariert, die sowohl an Verbindungsstücken, an Schiebern, einzelnen Rohrabschnitten sowie an Anschlussleitungen registriert wurden. Dadurch konnte ViK Herceg Novi durch eine relativ einfache Maßnahme reale Verluste um *ca. 30 l/s (oder 8% der Produktion)* senken (Abbildung 10). Es ist jedoch klar, dass dieses nur eine Kurzfrist-Maßnahme darstellt und langfristig die Empfehlungen zur präventiven Instandhaltung greifen müssen.

Leckortungs- und Reparatur-Kampagne Herceg Novi, April / Mai 2012	April 2012	Mai 2012	Gesamt
Arbeitstage der Teams	7	16	23
Inspizierte Rohrnetz-Länge (km)	40	51	91

Anzahl der festgestellten Defekte	13	18	31
Anzahl der reparierten Defekte	12	19	31
Wassereinsparung durch Reparatur (l/s)	8	22	30

**Abbildung 10: Eckdaten der Leckortungs- und Reparaturkampagne**