

# Innovative Technologien zur Wasserförderung und -verteilung in Gebirgsregionen

Der Beitrag thematisiert das BMBF-geförderte Projekt „KaWa-Tech“, welches auf die Entwicklung und Umsetzung innovativer Wasserförder- und -verteilungskonzepte für sub-/tropische (Karst-) Regionen abzielt. Unter anderem wird in der Provinz Ha Giang eine Pilotwasserförderanlage realisiert, welche die Versorgung von ca. 10 000 Menschen sicherstellen soll. Als Bypasslösung für Wasserkraftanlagen dient sie der Nutzbarmachung der für den Turbinenbetrieb nicht effizient verwertbaren Restwassermengen während der Trockenzeit über ein wasserkraftbetriebenes Pumpsystem. Neben der Implementierung der Maschinentechnik wurden umfassende Sanierungsmaßnahmen an der wasserbaulichen Infrastruktur umgesetzt. In diesem Zusammenhang wurden auch baustofftechnologische Untersuchungen zu optimierten Betonrezepturen auf Basis lokaler Ausgangsstoffe durchgeführt.

Das geförderte Wasser wird in einen zentralen Hochbehälter eingespeist und den umliegenden Siedlungen und der Distrikthauptstadt gravitär zur Verfügung gestellt. Um eine gerechte Verteilung zu ermöglichen, wurde ein flexibles Verteilungskonzept zur Berücksichtigung dynamischer Dargebotsschwankungen entwickelt. Zudem wurde die Angliederung des neuen Verteilsystems an das bestehende Leitungsnetz der Distrikthauptstadt mittels eines adaptiven Druckmanagements entworfen.

**Keywords** Wasserförderung; Wasserverteilung; Turbine, Pumpe als; Baustofftechnologie; Betonrezeptur

## 1 Hintergrund

Mehr als 25% der Weltbevölkerung leben auf Karbonatgestein bzw. sind auf die Wasserversorgung aus Karstgrundwasserleitern angewiesen. Aufgrund hoher Versickerungsraten und fehlender Oberflächenspeicher sind Karstregionen oftmals durch erheblichen Wassermangel geprägt. Gleichzeitig existieren teils enorme Vorkommen in unterirdischen Höhlensystemen, deren Nutzbarmachung jedoch aufgrund räumlicher und zeitlicher Dargebotsschwankungen mit erheblichem Aufwand verbunden

## Innovative technologies for water supply and distribution in mountainous regions

This report addresses the BMBF-funded joint-project “Karst Water Technologies (KaWaTech)”, which concentrates on the development and implementation of innovative water pumping and distribution concepts for subtropical and tropical (karst) regions. Among others, a pilot pumping system is realized in the province Ha Giang, Northern Vietnam, which shall secure the water supply of several thousand people in a sustainable way. As a bypass solution for hydropower plants this facility aims to utilize residual flows during the dry season through a hydro-power-driven pumping system, which cannot be used efficiently for the operation of water turbines. Beside the implementation of the machinery, comprehensive reconstruction and optimization measures have been carried out at the hydraulic infrastructure. In this context comprising investigations regarding adapted building materials have been accomplished in order to develop optimized concrete recipes based on locally available materials.

The supplied water is fed into a centralized reservoir from where it is distributed to the surrounding settlements as well as to the district capital by gravity. In order to accomplish a fair water distribution a flexible distribution concept was developed which considers dynamic fluctuations of the water yield. Here, a new type of distribution tank, containing an innovative multi-chamber-system, enables a yield-dependent but demand-oriented water supply.

Furthermore, the connection of the new distribution system to the existing pipe network of the district’s capital was designed. The deficient condition, which among others results from the intermittent operation, required this measure in order to avoid further damages of the infrastructure as well as to ensure the supply with sufficient network pressure.

**Keywords** water pumping; water supply; pump as turbine; building technology; concrete recipes

ist. Hinzu kommt die schlechte Wasserqualität aufgrund der geringen Filterwirkung des Karstgesteins.

Vor diesem Hintergrund arbeiten im Rahmen des seitens des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Vorhabens „Karstwassertechnologien (KaWaTech) Vietnam“ deutsche und vietnamesische Partner aus Universitäten, Industrie und Behörden zusammen, um gemeinsam am Beispiel des Dong Van Karst Plateaus in Nordvietnam innovative Technologien für die Wasserförderung und -verteilung zu entwickeln und ex-

emparisch zu implementieren. Unter Federführung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) konzentriert sich der Verbund auf eine unmittelbare Verbesserung der Lebensqualität der Bewohner der Region sowie die Bereitstellung von praxisorientierten Erfahrungswerten für künftige Multiplikationsvorhaben.

Im Hinblick auf die Konzeption und Anwendung angepasster Technologien für nachhaltiges Karstwassermanagement verfügt das KIT über mehr als 15 Jahre Erfahrung aus BMBF-geförderten FuE-Vorhaben in Indonesien. Hierbei wurde u. a. ein Betonsperwerk mit integriertem, wasserkraftbetriebenem Pumpsystem in einem 100 m unter der Oberfläche gelegenen Höhlensystem realisiert, wodurch eine Teilmenge des Karsthöhlenabflusses in einen 220 m höher gelegenen Verteilspeicher gefördert werden kann [1–3]. Seit der Inbetriebnahme im Jahr 2011 werden durch diese Anlage über 70 000 Menschen in den umliegenden Siedlungen mit Wasser versorgt.

## 2 Das Projektgebiet

Der KaWaTech-Verbund konzentriert sich auf das Dong Van Karst Plateau (Bild 1) in der Provinz Ha Giang, Nordvietnam. Diese Region ist gekennzeichnet durch Karstkegelformationen mit steilen Hängen, tiefen Tälern und Gebirgshöhen bis 2000 m +NN sowie durch subtropisches Klima mit ausgeprägten Regen- (Mai–Oktober) und Trockenzeiten (November–April). Neben den topografischen und klimatischen Gegebenheiten führen auch die hydrogeologischen Bedingungen dazu, dass die Bewohner unter teils erheblichem Wassermangel leiden [4]. Denn etwa die Hälfte der Provinz besteht aus Kalkstein, welches aufgrund seiner hohen Porosität zu einer Verlagerung des Abflussgeschehens in unterirdische Höhlensysteme führt (Bild 1). In Gebieten mit andersartiger Geologie wie bspw. Silt-, Ton- oder Sandstein sind zwar weitere Wasserressourcen anzutreffen. Diese befinden sich jedoch teils Hunderte m unterhalb der Siedlungen, wodurch bei der Nutzbarmachung große Förderhöhen und Förderdistanzen überwunden werden müssen. In

Verbindung mit der für sub-/tropische Regionen typischen Konzentration des Niederschlags auf wenige Monate führt dies insbesondere in der Trockenzeit zu einer stark defizitären Wasserversorgung.

Die Bevölkerung lebt vornehmlich in räumlich weit verteilten Siedlungen in den Bergregionen sowie in einzelnen urbanen Gebieten (v. a. die Distrikthauptstädte) und ist hauptsächlich auf die Landwirtschaft zur Existenzsicherung angewiesen. In den ländlichen Gebieten erfolgt die Wasserversorgung über dezentrale und individuelle Ansätze, was stets mit großem Aufwand verknüpft ist [5]. Während der Regenzeit sammeln die Menschen bspw. Regenwasser, in der Trockenzeit transportieren sie Quellwasser in Kanistern zu den Haushalten (Bild 2). Zur Verbesserung der Versorgungssituation setzt die Regierung vielerorts auf den Einsatz zentraler, flach ausgebildeter Wassersammelreservoirs, sogenannte „Hanging Pools“ (Bild 2). Die dort verfügbaren Wasserressourcen sind jedoch neben der begrenzten Menge auch durch eine sehr eingeschränkte Wasserqualität aufgrund natürlicher (Verkeimung) und anthropogener Einflüsse (bspw. Nutzung der Becken als Waschplatz) gekennzeichnet. Als weitere Nachteile sind die erheblichen Baukosten, hohe Verdunstungsraten sowie konstruktive Mängel zu nennen.

Ein zentrales leitungsgebundenes Versorgungssystem existiert lediglich in der Distrikthauptstadt Dong Van City [5]. Die dortige Versorgung erfolgt primär durch eine Karstquelle, welche typischerweise durch variable Schüttungsraten und eingeschränkte Wasserqualität gekennzeichnet ist. Wie in derlei Regionen üblich, erfolgt die Wasserversorgung aufgrund des begrenzten Dargebots in Verbindung mit einem maroden Netzzustand (Bilder 2, 12) intermittierend, um Wasserverluste möglichst gering zu halten. Diese Betriebsweise führt neben der zeitlich limitierten Versorgung auch unmittelbar zur weiteren Verschlechterung der Wasserqualität durch Eintrag von Verunreinigungen sowie zu einer erhöhten Belastung des Verteilnetzes bspw. durch Lufteintrag und Druckschwankungen.



**Bild 1** Lage des Projektgebiets (links), zerklüftetes Landschaftsbild (Mitte), unterirdische, weitverzweigte Höhlensysteme (rechts)  
Location of the project area (left), scattered landscape (mid), underground, widely branched cave systems (right)



**Bild 2** Individueller Wassertransport durch Kinder und Frauen (links), offene Wassersammelstelle („Hanging Pool“, Mitte), marode Infrastruktur im leitungsgebundenen Verteilsystem von Dong Van City (rechts)  
 Individual water transport by children and women (left), open water reservoir (“hanging pool“, mid), critical infrastructure of the pipe-bounded supply system of Dong Van City (right)

Im Hinblick auf die Wasserversorgung ergeben sich weitere Schwierigkeiten durch den regionalen Tourismus. So ist in den vergangenen Jahren ein exponentieller Anstieg der Besucherzahlen zu verzeichnen, was u. a. auf die Aufnahme des Dong Van Karst Plateaus in das UNESCO Global Geopark Network im Jahr 2010 zurückzuführen ist. Wenngleich dieser Umstand Chancen zur wirtschaftlichen Entwicklung bietet, so führt er auch unweigerlich zu einer Verschärfung der Versorgungsproblematik im Wassersektor.

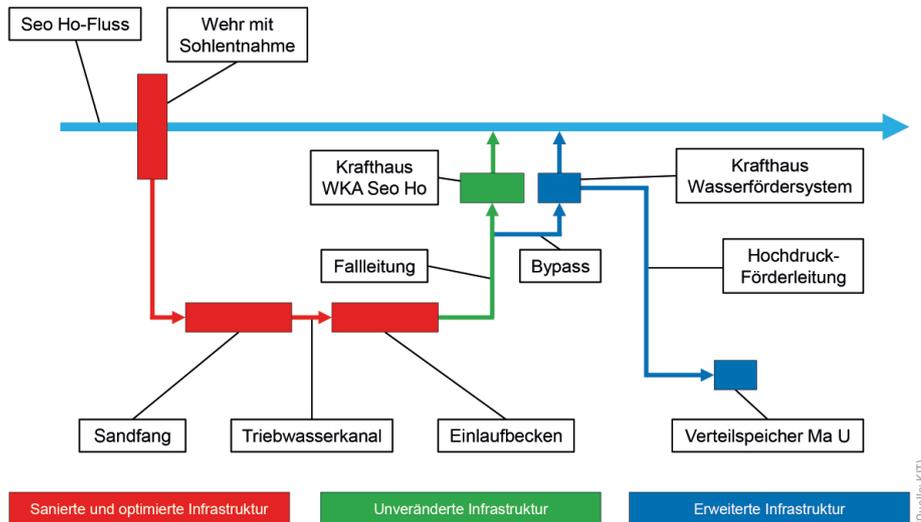
### 3 Die Pilotanlage Seo Ho

#### 3.1 Adaptives Wasserfördermodul zur Restwassernutzung an Wasserkraftanlagen

Da die Wasserförderung aus großer Tiefe mit hohem Energiebedarf einhergeht, stellt in entlegenen Gebieten mit eingeschränkter Elektrifizierung die Nutzung von Wasserkraft einen sinnvollen Ansatz zur Bereitstellung der Antriebsenergie für Pumpsysteme dar. Auch in der Provinz Ha Giang gibt es aufgrund enormer Höhendiffe-



**Bild 3** Infrastruktur der Hochdruckanlage Seo Ho und des innovativen Wasserfördersystems (oben), Einlaufbecken, Falleitung und Krafthaus vor Beginn der Implementierungsphase (unten)  
 Infrastructure of the high-pressure plant Seo Ho and of the innovative water supply system (top), inlet pool, penstock and powerhouse prior to the implementation measures (bottom)



(Quelle: KTT)

**Bild 4** Schematische Darstellung der baulichen Bestandteile der Hochdruckwasserkraftanlage Seo Ho  
Schematic view on the infrastructure of high-pressure hydropower plant Seo Ho

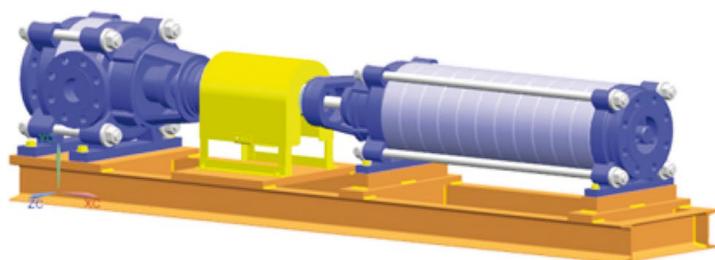
renzen große Wasserkraftpotenziale, welche bisher lediglich durch einzelne Kleinwasserkraftanlagen genutzt werden.

Eines dieser Kraftwerke ist die in den 1990er-Jahren errichtete, mit zwei Pelton-turbinen (Fallhöhe 195 m, installierte Ausbauleistung von ca. 700 kW) ausgestattete Hochdruckanlage Seo Ho (Bild 3). Für deren Betrieb wird dem Seo-Ho-Fluss Triebwasser über ein Wehr mit Sohlentnahme entnommen und über Sandfang, Triebwasserkanal, Einlaufbecken und Falleitung zum Krafthaus geleitet (Bild 4).

Generell ist die Bemessung von Wasserkraftanlagen (WKA) im sub-/tropischen Raum aufgrund der ausgeprägten Regen- und Trockenzeiten und der damit verbundenen zeitlichen Dargebotsschwankungen von Oberflächengewässern mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Da die Dimensionierung der Turbinen in der Regel auf die vergleichsweise hohen Abflüsse während der Regen- und Übergangszeit abzielt, kann ein wirtschaftlicher Betrieb aufgrund des reduzierten Leistungspotenzials und

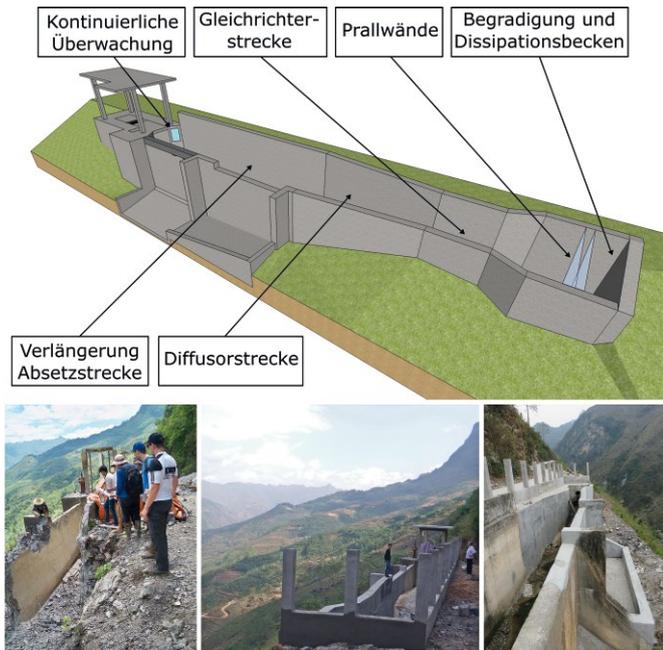
abfallender Turbinenwirkungsgrade im unteren Teillastbereich oftmals nicht aufrechterhalten werden. Im Falle der WKA Seo Ho hat dies in den trockenen Monaten teils mehrwöchigen Stillstand zur Folge, während gleichzeitig die Bevölkerung unter erheblichem Wassermangel leidet.

Vor diesem Hintergrund wurde ein Förderkonzept entwickelt und an der WKA Seo Ho exemplarisch implementiert. Dieses sieht die Nutzbarmachung der für den Turbinenbetrieb nicht effizient verwertbaren Niedrigwassermengen durch ein adaptives Wasserfördermodul vor (Bild 5) [6]. Dieses besteht aus einer mechanisch gekoppelten Einheit einer „Pumpe als Turbine“ (PAT) als kostengünstiger Turbinenersatz und einer Förderpumpe. Dieser Aufbau zeichnet sich durch hohe Robustheit sowie geringen Betriebs- und Wartungsaufwand aus [7]. Die somit rein durch Wasserkraft geförderte Wassermenge von bis zu 18 l/s wird über eine Druckleitung und einer Gesamtförderhöhe von 390 m in einen zentralen Behälter eingespeist und den umliegenden Siedlungen gravitär zur Verfügung gestellt (s. Abschn. 5).



(Quelle: KTT)

**Bild 5** CAD-Modell eines Wasserfördermoduls mit MTC 65/2 6.1 als PAT und MTC 50/12 4.1 als Förderpumpe (links), Installation des Pilotsystems an der Hochdruckanlage Seo Ho  
CAD model of a water supply module with MTC 65/2 6.1 as PAT and MTC 50/12 4.1 as feed pump (left), installation of the pilot system at the high-pressure plant Seo Ho



**Bild 6** CAD-Modell des Einlaufbeckens (oben), Umsetzung der Optimierungsmaßnahmen (unten)  
CAD model of the intake pool (top), implementation of the optimization measures (bottom)

### 3.2 Sanierung und Optimierung der baulichen Infrastruktur

Aufgrund des langjährigen Betriebs und unzureichender Wartung war eine umfassende Sanierung der Bauwerke der WKA Seo Ho erforderlich (s. Abschn. 4). Zudem waren durch die Entnahme des Triebwassers aus einem natürlichen Fließgewässer bauwerkseitig Vorkehrungen zum Schutz von PAT und Förderpumpe vor dem Eintrag der mitgeführten Feststofffracht zu treffen. Hierzu wurde eine hydraulische Optimierung der bestehenden Infrastruktur realisiert, um die vorgegebenen Grenzwerte bzgl. Schwebstofffracht (20 mg/l) und Grenzkorndurchmesser (0,25 mm) einzuhalten.

Am Beispiel des Einlaufbeckens soll dies verdeutlicht werden. Da sich das Absetzverhalten mit zunehmender Turbulenz verschlechtert, wurden folgende Anpassungen zur Reduktion des Turbulenzeintrags umgesetzt (Bild 6):

- Begradigung der Zuströmung und Erweiterung um ein Dissipationsbecken
- Einbau von Prallwänden zur Reduktion des Impulseintrags
- Integration einer Beschleunigungsstrecke zur Strömungsgleichrichtung
- Erweiterung um eine Diffusorstrecke zur allmählichen Verzögerung
- Verlängerung der Absetzstrecke
- Kontinuierliche Überwachung der Feststofffracht mittels Trübungssonde

Seitens des KIT wurde ein intuitiv bedienbares Monitoring- und Alarmsystem entwickelt (Bild 7), welches zur Erfassung der wesentlichen Betriebskenngrößen sowie zur sofortigen

Meldung von Grenzwertüberschreitungen im Dauerbetrieb eingesetzt wird. Neben der Trübung und Leitfähigkeit umfasst dieses System auch die Triebwasser- und Fördermenge, den Vordruck sowie die Maschinendrehzahl.

## 4 Baustofftechnologischer Untersuchungen

### 4.1 Problemstellung Hydroabrasionsverschleiß

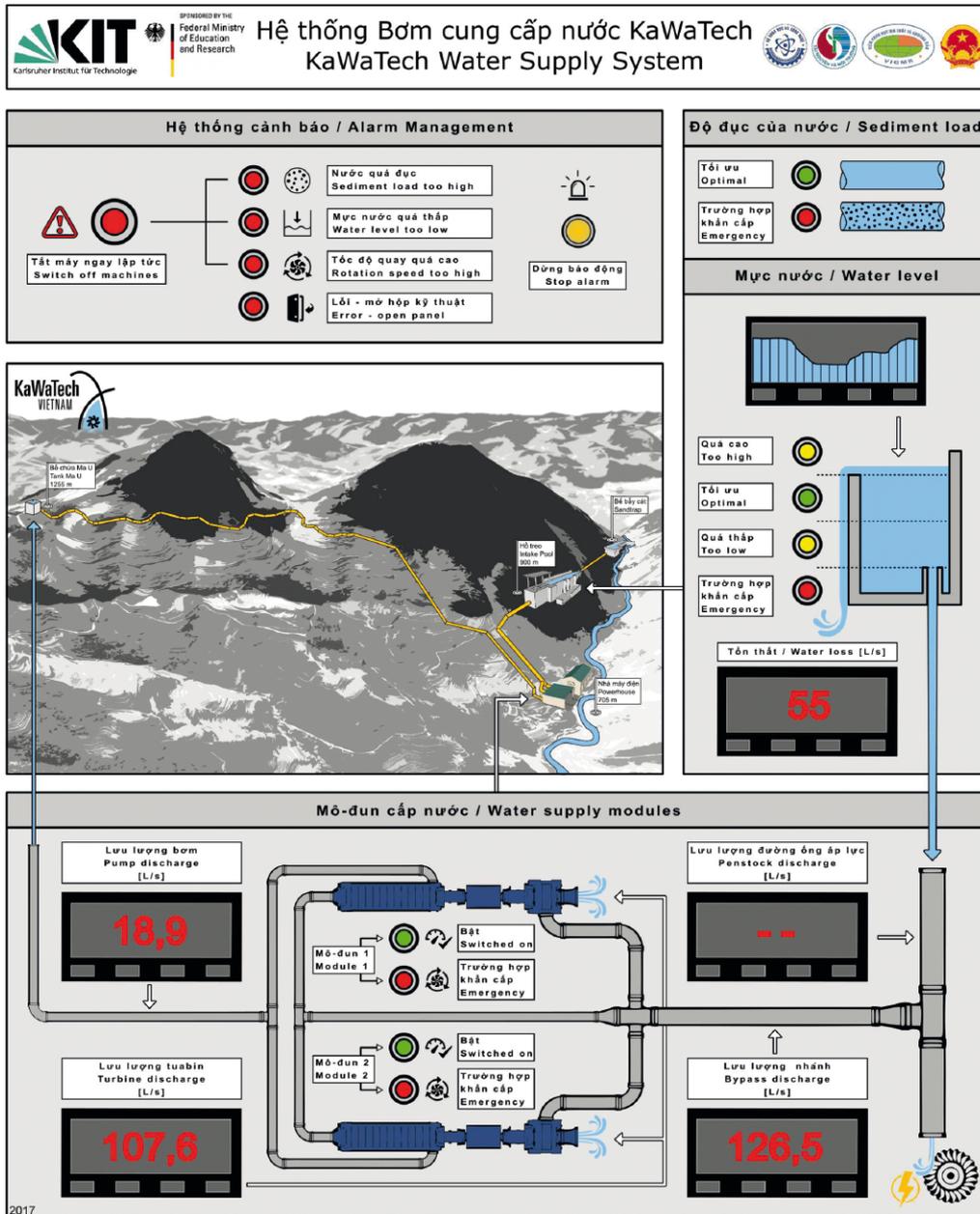
Die Instandhaltung von Hochdruckwasserkraftanlagen in entlegenen, schwer zugänglichen Gebirgsregionen ist mit enormen Herausforderungen verknüpft. Diese ergeben sich insbesondere durch den Hydroabrasionsverschleiß, welcher eine wesentliche dauerhaftigkeitsrelevante Beanspruchung wasserbaulicher Anlagen darstellt und aus der im Wasser mitgeführten Feststofffracht resultiert [8]. Maßgebliche Einflussgrößen sind Beanspruchungsdauer, Fließgeschwindigkeit und mitgeführte Feststoffmenge, der Anströmwinkel sowie die Härte der Feststoffe. Der Widerstand des Betons hängt von der Art, Form und Festigkeit der Gesteinskörnung, der Festigkeit der Zementsteinmatrix sowie dem Verbund zwischen Matrix und Korn ab. Bild 8 zeigt exemplarisch das Ausmaß des Hydroabrasionsverschleißes am Wehr der WKA Seo Ho.

### 4.2 Lokal verfügbare Baustoffe und Technologien

Zur Ausarbeitung geeigneter Maßnahmen für die Instandsetzung der WKA Seo Ho wurden zunächst lokal verfügbare Baustoffe und die Art der Bauausführung analysiert. Letztere ist i. d. R. geprägt durch einfachste Methoden und eine möglichst günstige Bauweise. Bei der Betonherstellung folgt der Mischungsentwurf nach dem Prinzip der Volumenanteile, zumeist dem geläufigen Ansatz ein Teil Zement auf zwei Teile feine und drei Teile grobe Gesteinskörnung. Als Gesteinskörnung kommt vorwiegend der lokale Kalkstein zum Einsatz. Dieser wird händisch zerkleinert und durch Backenbrecher in Schotter- und Splittfraktionen aufgebrochen (Bild 9). Als feine Fraktion wird quarzitischer Flusssand aus der Provinzhauptstadt Ha Giang verwendet (Bild 9). Aus Kostengründen wird jedoch häufig auf Kalksteinsplitt als Ersatz zurückgegriffen.

Auch wenn es in Vietnam zahlreiche Zementwerke in der Hand global operierender Produzenten gibt, kommen im Projektgebiet hauptsächlich Portlandkompositzemente CEM II/B-M (P-L) 32,5N oder 42,5N einheimischer Hersteller zum Einsatz. Betonzusatzmittel (z. B. Fließmittel) oder -zusatzstoffe (z. B. Flugasche) finden nur bei sehr anspruchsvollen Baumaßnahmen Anwendung.

Allgemein weichen die lokalen Ausführungsstandards erheblich vom internationalen Stand der Technik ab. Der hohe Anteil an Material- und Maschinenkosten bei geringen Lohnkosten und niedrigem Ausbildungsniveau ist ein entscheidender Faktor, der die Bauausführung bestimmt. Daher lag die wesentliche Herausforderung darin, bestehende Bauweisen so zu modifizieren, dass mit vor Ort



**Bild 7** Nutzerschnittstelle des intuitiv bedienbaren Monitoring- und Alarmsystems  
Interface of the intuitively operable monitoring and alarm system



**Bild 8** Hydroabrasionsverschleiß an der Wehranlage Seo Ho: Übersicht (links) und Detail (rechts)  
Hydro abrasive wear at Seo Ho weir: overview (left) and detail (right)



**Bild 9** Brechen von Kalkstein (links) und Siebung von Sand (rechts)  
Crushing of limestone (left) and sand sieving (right)

verfügbaren Ressourcen eine Steigerung der Dauerhaftigkeit bei konkurrenzfähigen Kosten erreicht wird.

### 4.3 Entwicklung und Prüfung dauerhafter Betone

Zur wirklichkeitsnahen Simulation des Hydroabrasionsverschleißes konnte sich auf nationaler Ebene bislang kein einheitliches Prüfverfahren durchsetzen. Mit den international existierenden Verfahren lässt sich der in der Praxis meist kombiniert auftretende Schleif-, Roll- und Prallverschleiß nicht zufriedenstellend abbilden [9, 10]. Daher wurde am KIT eine Prüfvorrichtung entwickelt, die eine Verschleißprüfung an kleinformatigen Betonproben ermöglicht [11]. Die sogenannte „Karlsruher Verschleißtrommel“ zeichnet sich durch eine kurze Prüfdauer und vielseitig veränderbare Versuchsrandbedingungen aus. Darauf aufbauend erfolgte im Rahmen des KaWa-Tech-Vorhabens die Weiterentwicklung zur „Karlsruher Verschleißtrommel 2.0“ (Bild 10). Neben zahlreichen Verbesserungen wie z. B. der Fertigung aus Edelstahl wurde u. a. auch ein Frequenzumrichter zur zielgenauen Regelung der Abrasionsgeschwindigkeit integriert.

Für die damit durchgeführten Untersuchungen wurden 3 t von den zur Betonherstellung in der Projektregion üblicherweise eingesetzten Materialien beschafft und am KIT eingehend charakterisiert. Um damit eine bessere Betonzusammensetzung zu erreichen, war eine Packungsdichteoptimierung das primäre Ziel. Hierbei wurde ein am KIT entwickelter Algorithmus angewandt, welcher auf dem Kompressions- und Interaktions-Packungsmodell (CIPM) basiert und die Berechnung der Packungsdichte für beliebige Mischungen granularer Feststoffe ermöglicht [12, 13].

Neben dem im Projektgebiet etablierten Mischungsentwurf und einer Referenzmischung mit deutschen Ausgangsstoffen ergaben sich als Ergebnis der Packungsdichteoptimierung Mischungsentwürfe, bei denen die Zusammensetzung der Gesteinskörnung, die Zementart oder der Zementleimgehalt variiert wurde. Zudem erfolgte der Einsatz eigens hergestellter Stahlfasern aus lokal verfü-

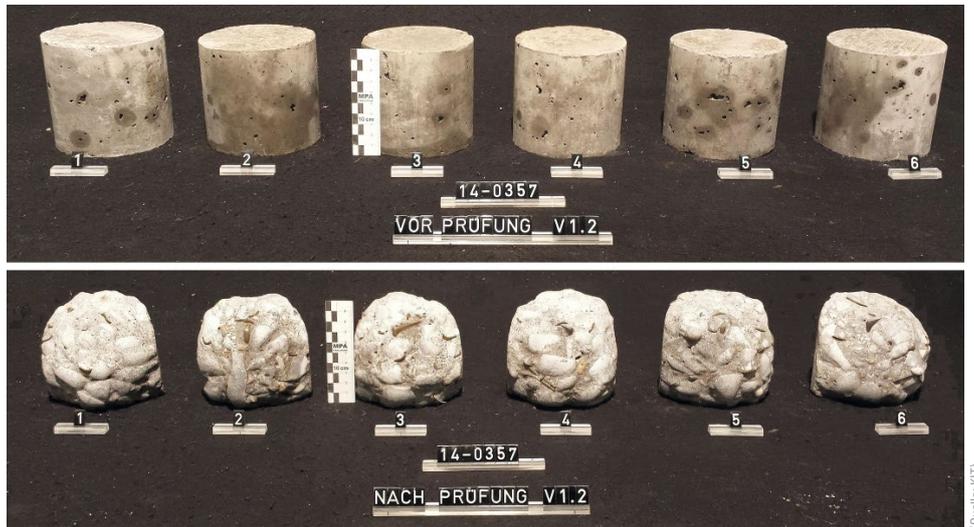


**Bild 10** „Karlsruher Verschleißtrommel 2.0“  
„Karlsruhe wear drum 2.0“

barem Bindedraht, um deren Eignung als kostengünstiger Ersatz für industriell optimierte Produkte zu prüfen. Die Verschleißuntersuchungen erfolgten an Betonzylindern ( $d = 10 \text{ cm}$ ,  $h = 10 \text{ cm}$ ) (Bild 11).

Die experimentellen Untersuchungen mit vietnamesischen Ausgangsstoffen ergaben, dass packungsoptimierte Mischungen bei gleichwertigen Frisch- und Festbetoneigenschaften den Ersatz des Sands durch Kalksteinsplitt zur Kostenreduktion um 15% zulassen. Dabei sind die lokal verfügbaren Portlandkompositzemente zur Reduzierung des Zementklinkergehalts prinzipiell gut geeignet. Weiter kann mit einer Zugabe von nur 0,5 Vol.-% Stahlfasern die Hydroabrasionsbeständigkeit um bis zu 10% gesteigert werden, wenn deren Einbettung durch eine erhöhte Zementleimmenge gewährleistet wird.

Die am KIT entwickelten Betonrezepturen wurden an die vietnamesischen Projektpartner (Behörden, Ingenieurbüros,



**Bild 11** Betonabtrag nach 22-stündiger Versuchsdauer an zylinderförmigen Prüfkörpern  
Concrete wear of cylindrical samples after 22 h of exposure

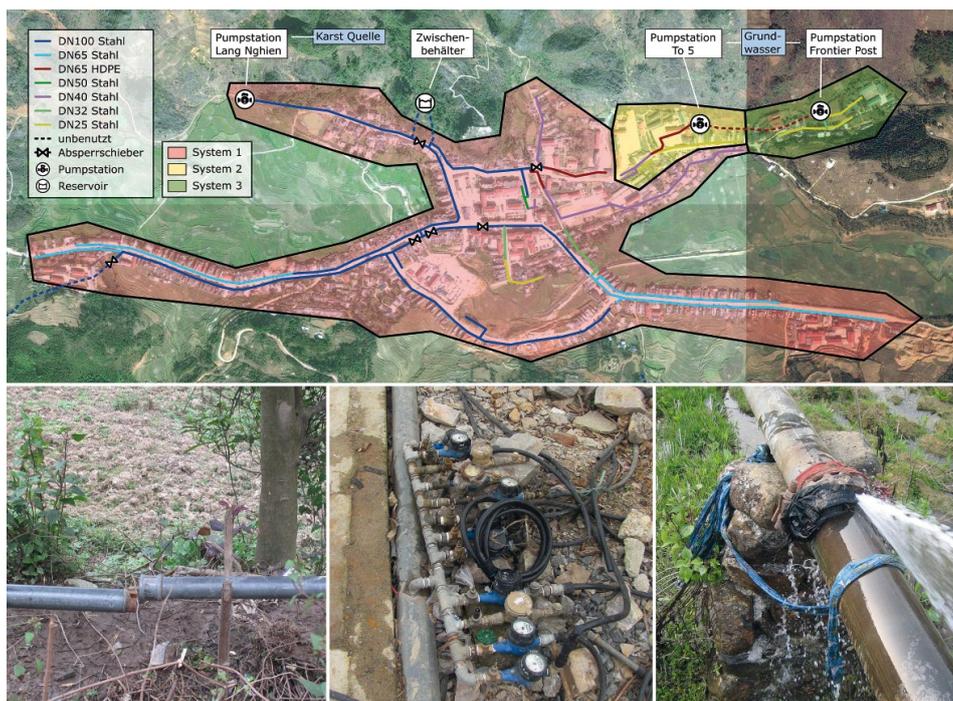
ausführende Bauunternehmen) weitergegeben und bei der Planung der Sanierungsmaßnahmen an der WKA Seo Ho berücksichtigt. Künftig können diese nun nach Bedarf modifiziert und für weitere Bauvorhaben eingesetzt werden.

## 5 Angepasste Wasserverteilungskonzepte für ländliche und urbane Gebiete

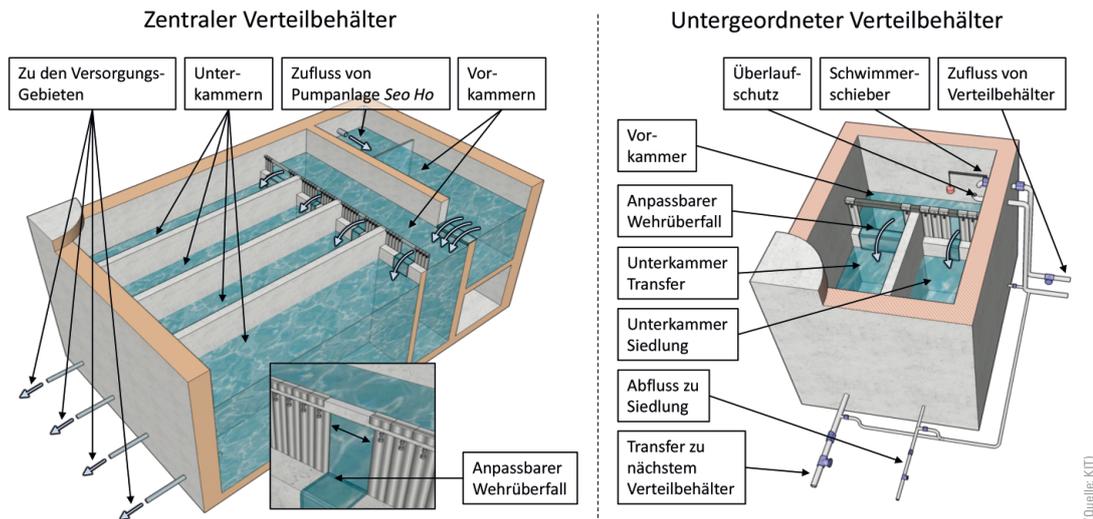
### 5.1 Situation der Wasserversorgung im Projektgebiet

In Industrienationen findet die Wasserversorgung üblicherweise kontinuierlich und bedarfsdeckend statt. Das heißt, den an ein Verteilsystem angeschlossenen Haushal-

ten bzw. Abnehmern wird zu jeder Zeit und an jedem Ort ausreichend Wasser zur Verfügung gestellt. Grundlegend sind hierfür ganzjährig ausreichende Wasservorkommen sowie geeignete Fördertechnologien und Verteilinfrastrukturen. Entwicklungs- und Schwellenländer sehen sich im Gegensatz hierzu aufgrund naturräumlicher bzw. klimatischer Randbedingungen vielfach mit begrenzten Wasserressourcen konfrontiert. Erschwert wird die Versorgungssituation durch zumeist marode Infrastrukturen, wodurch eine dauerhafte Deckung des Wasserbedarfs oftmals nicht sichergestellt werden kann. Um die begrenzten Ressourcen nicht zusätzlich durch Wasserverluste aufgrund von Leckagen im Verteilnetz zu reduzieren, findet die Versorgung i. Allg. intermittierend statt.



**Bild 12** Bestehende Leitungsinfrastruktur in der Distrikthauptstadt Dong Van City mit Beispielen kritischer Rohrabschnitte  
Existing pipe infrastructure in the district capital Dong Van City with examples of critical pipe segments



**Bild 13** CAD-Modelle der Verteilbehälter mit Mehrkammersystem und justierbaren Wehrüberfällen  
CAD models of the distribution tanks with multi chamber system and adjustable weir overflows

Das Leitungssystem wird also nur für eine begrenzte Zeitspanne mit Wasser befüllt und steht nicht dauerhaft unter Druck. Diese Betriebsweise geht jedoch unweigerlich mit negativen Folgen wie bspw. einer ungerechten Verteilung des Wassers, Druckschwankungen und erhöhtem Verschmutzungsrisiko einher. Langfristig führt der intermittierende Betrieb daher meist zu einer zunehmenden Verschlechterung der Infrastruktur sowie der Versorgungssituation im Gesamten.

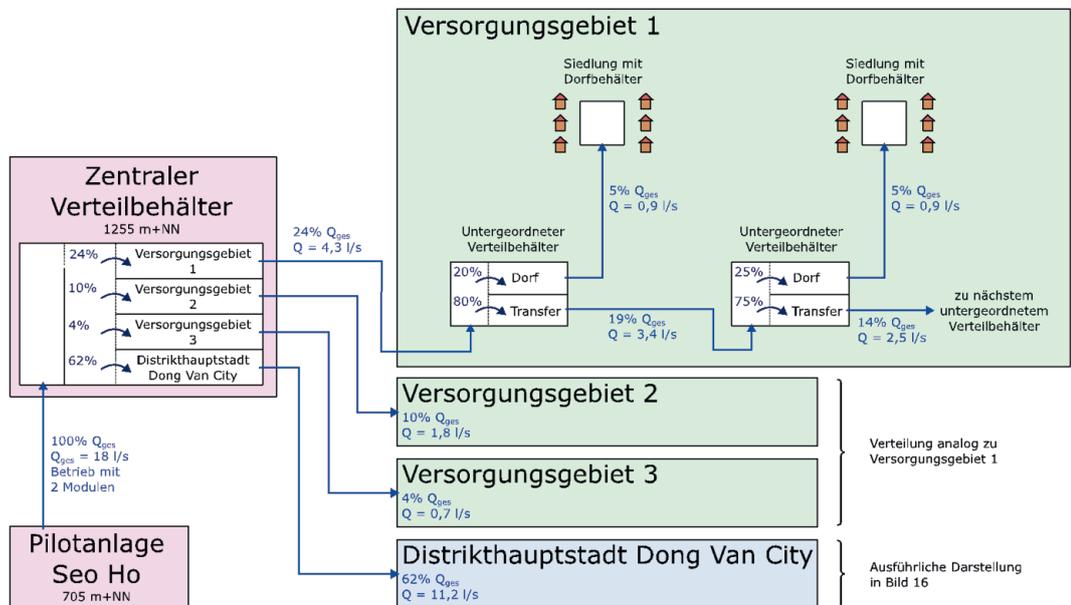
Die o. g. Rahmenbedingungen führen auch in der Projektregion zu einer stark defizitären Wasserversorgung in der Distrikthauptstadt sowie in den umliegenden Siedlungen (s. Abschn. 2). Insbesondere während der Trockenzeit kommt es zu extremem Wassermangel und ungerechter Verteilung der limitierten Wassermenge aufgrund der heterogenen Siedlungsstruktur. Infolge des Druckgefälles im Leitungssystem können Nutzer mit zunehmender Nähe zur Einspeisequelle mehr Wasser entnehmen als

weiter entfernt liegende Haushalte. Durch die starken Dargebotsschwankungen wird zudem der Verfall der bestehenden Verteilstrukturen weiter beschleunigt (bspw. durch druckinduzierte Schäden aufgrund von Entleerungs- und Füllvorgängen).

Das zentrale Versorgungssystem der Distrikthauptstadt musste infolge des immer schlechter werdenden Zustands und der damit verbundenen unzureichenden Versorgung in drei hydraulisch getrennte Systeme mit jeweils eigener Einspeisung untergliedert werden (Bild 12). Auch diese Teilnetze werden zur Reduktion von Wasserverlusten intermittierend betrieben, wobei die Versorgung z. T. nur jeden 2. d erfolgt. Im ländlichen Bereich existieren ebenfalls kleinere Leitungssysteme, die einzelne Quellen mit Siedlungen verbinden. Hier hat die ungerechte Verteilung des Wassers jedoch zu massiven Nutzungskonflikten geführt, infolge derer ganze Verteilstrukturen illegal manipuliert und letztlich unbrauchbar gemacht wurden.



**Bild 14** Bauarbeiten am zentralen Verteilbehälter (links: März 2017, rechts: Juni 2017)  
Construction of the centralized distribution tank (left: March 2017, right: June 2017)



**Bild 15** Schematische Darstellung des angepassten Verteilungssystems mit beispielhafter Aufteilung der Wassermenge (bei Volllastbetrieb der Pilotanlage Seo Ho) entsprechend den Einwohnerzahlen  
Schematic view of the adapted distribution system with exemplary subdivision of the water yield (considering full-load operation of the pilot plant Seo Ho) with due respect to the number of inhabitants

## 5.2 Innovative Mehrkammersysteme zur dargebotsangepassten Wasserverteilung

Ein wesentliches Ziel war neben der Bereitstellung von Wasser auch die Sicherstellung einer gerechten Verteilung der geförderten Menge. Daher wurde ein angepasstes Verteilkonzept zur Berücksichtigung dynamischer Dargebots- und Bedarfsschwankungen entwickelt und implementiert. Die Aufteilung der Wassermenge mittels neuartiger Verteilbauwerke soll dabei eine gerechte Zuteilung des Dargebots unabhängig von der Lage der Nutzer im Versorgungsgebiet ermöglichen.

Die Bauwerke wurden hierfür mit einem innovativen Mehrkammersystem, bestehend aus einer Vor- und mehreren Unterkammern, ausgestattet (Bild 13). Wasser, das in die Vorkammer fließt, wird über justierbare Wehrüberfälle in die Unterkammern aufgeteilt. Die so entstehenden Teilströme werden in die angeschlossenen Versorgungsgebiete bzw. zu den einzelnen Siedlungen weitergeleitet (Bild 15).

Das von der Pilotanlage Seo Ho geförderte Wasser wird im zentralen Verteilbehälter (Bilder 13, 14) auf vier Versorgungsgebiete aufgeteilt. Durch die individuelle Anpassung der Wehbreiten über Lamellen wird definiert, welcher Anteil der Gesamtwassermenge den einzelnen Versorgungsgebieten zusteht. Die Festlegung kann bspw. abhängig vom konkreten Bedarf des jeweiligen Versorgungsgebiets bzw. anteilig über die Einwohnerzahlen erfolgen. Übersteigt der Wasserbedarf in den Versorgungsgebieten das jeweilige Wasserdargebot (z. B. in der Trockenzeit), wird das verfügbare Wasser somit unabhängig von der Dargebotsmenge jederzeit gerecht aufgeteilt.

Innerhalb der Versorgungsgebiete erfolgt die weitere Aufteilung des Wassers durch untergeordnete Verteilbehälter

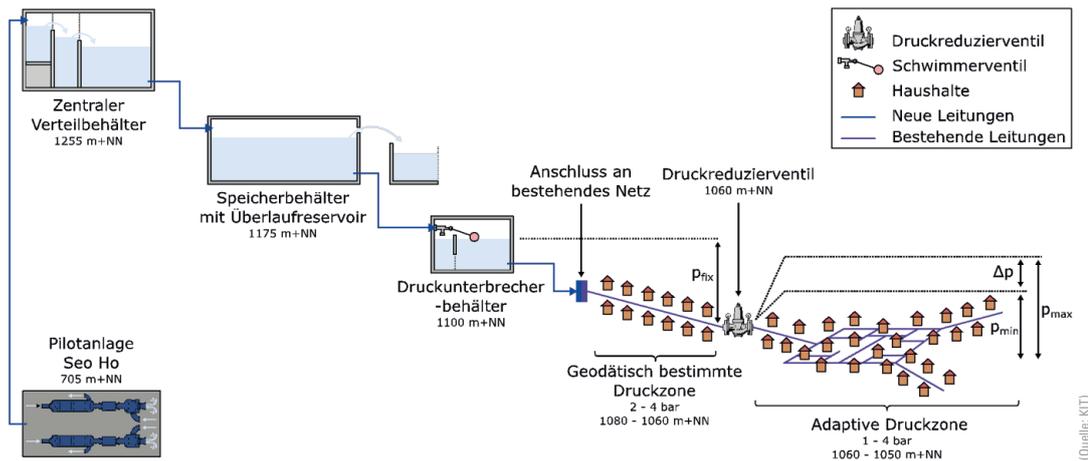
(Bilder 13, 15). Im Mehrkammersystem dieser Behälter wird das Wasser in zwei Teilströme aufgeteilt. Eine Teilmenge wird an die dem Verteilbehälter zugewiesene Siedlung, die andere an den nächsten Verteilbehälter weitergeleitet. Jede Siedlung erhält somit unabhängig von ihrer Lage im System einen definierten Anteil der Gesamtwassermenge. Möglichen Nutzungskonflikten zwischen den Siedlungen kann durch eine Anpassung der Wehbreiten und damit der Mengenzuteilung, ohne Beeinträchtigung des Betriebs, transparent und einfach entgegengewirkt werden.

Der Einsatz von Schwimmerventilen in allen Behältern der Versorgungsgebiete ermöglicht zusätzlich den Ausgleich von Bedarfsschwankungen. Unterschreitet der Bedarf eines Versorgungsgebiets bzw. einer Siedlung das jeweilig verfügbare Dargebot, erfolgt ein Rückstau des Wassers, der sich ggf. bis hin zum zentralen Verteilbehälter fortpflanzen kann. Die überschüssige, zu diesem Zeitpunkt nicht benötigte Wassermenge wird dann wiederum anteilig auf die übrigen Versorgungsgebiete bzw. Siedlungen aufgeteilt.

## 5.3 Druckmanagement- und Sanierungskonzept für das urbane Verteilsystem

Ein weiteres Ziel war die Anbindung der neuen Wasserförderung an das Leitungssystem der Distrikthauptstadt, um den steigenden Bedarf der Bevölkerung zu decken. Hierfür wurde ein Druckmanagement- und Sanierungskonzept entwickelt, welches den Zusammenschluss bei gleichzeitigem Schutz der bestehenden, z. T. maroden Verteilstruktur ermöglicht.

Die der Distrikthauptstadt zustehende Wassermenge wird zum Ausgleich von Bedarfsschwankungen in einem



**Bild 16** Schematische Darstellung der Anbindung des bestehenden Verteilungssystems von Dong Van City an die neue Wasserförderung  
Schematic view of the existing distribution network of Dong Van City connected to the new water supply system

Speicherbehälter zwischengespeichert. Über die Kombination einer Druckreduzierung und Druckregelung ist der Speicherbehälter an das bestehende Leitungsnetz der Distrikthauptstadt angeschlossen (Bild 16). Aus Gründen der Sicherheit (Fail-Safe-System) und Wirtschaftlichkeit sowie zur Minimierung des Wartungsaufwands wird die Druckreduzierung über einen Druckunterbrecherbehälter realisiert. Dieser trennt die Leitungssysteme und baut den Druck auf einer definierten Höhe vollständig ab. Die Höhenlage des Druckunterbrecherbehälters wurde so gewählt, dass ein max. Systemdruck im Stadtgebiet von 5 bar nicht überschritten wird. Auf ein Druckreduzierventil wurde an dieser Stelle bewusst verzichtet, da im Gegensatz zum Druckunterbrecherbehälter im Versagensfall Leitungsdrücke von über 12 bar sowie erhebliche Schäden im Verteilungsnetz die Folge wären.

Die Druckregelung innerhalb des bestehenden Leitungssystems ist Teil eines adaptiven Druckmanagementkonzepts. Da hier eine justierbare Armatur zwingend erforderlich ist, kann die Druckregelung nur mithilfe eines Druckreduzierventils umgesetzt werden. Das Ventil unterteilt das Netz in eine fest vorgegebene, geodätisch bestimmte Druckzone und eine adaptive Druckzone mit regelbarem Leitungsdruck (Bild 16). Die kritischen Leitungsabschnitte befinden sich in der adaptiven Zone. Somit wird durch die Druckregelung der weiteren Zustandsverschlechterung der Verteilinfrastruktur entgegengewirkt. Weiter werden längere Versorgungsperioden bei geringerem Netzdruck erreicht, wodurch eine gleichmäßigere Verteilung bei gleichzeitiger Reduktion der Wasserverluste erzielt wird. Parallel zu diesen kurzfristigen Optimierungen ermöglicht das adaptive Druck-

management mittelfristig die Umsetzung eines Sanierungskonzepts zur sukzessiven Ertüchtigung der bestehenden Verteilinfrastruktur. Durch die schrittweise Erhöhung des Drucks werden Leckagen identifiziert und die entsprechenden Komponenten instand gesetzt, wodurch Wasserverluste weiter reduziert und die Versorgungssituation mittel- und langfristig signifikant verbessert wird.

## 6 Ausblick

Aufbauend auf den Errungenschaften des KaWaTech-Projekts sind wesentliche Aktivitäten des aktuellen FuE-Vorhabens „KaWaTech Solutions“ (Laufzeit bis Ende 2019) die betriebsbegleitende Validierung und ggf. weiterführende Optimierung des Wasserförder- und -verteilssystems sowie eine Langzeitanalyse der baustofftechnologischen Mischungsentwürfe im Rahmen von Feldversuchen.

Ergänzend sind die Entwicklung und Anwendung fotovoltaikbetriebener Pumpsysteme mit innovativer Verdränger-geometrie und Regelungstechnik, einer hydraulischen Regulierung zur Vermeidung von Entleerungsprozessen im Verteilssystem, eines Frühwarnsystems zur Erfassung der mikrobiellen Rohwasserqualität und Feststoffe im Triebwasser sowie angepasster Technologien zur Wasseraufbereitung unter Berücksichtigung der zeitlich stark schwankenden Wasserqualität und -menge vorgesehen.

Die beteiligten Partner danken dem BMBF für die Förderung der Verbundvorhaben „KaWaTech“ und „KaWaTech Solutions“.

## Literatur

- [1] NESTMANN, F.; OBERLE, P.; IKHWAN, M.; STOFFEL, D.: *Experiences Concerning the Implementation of Innovative Technologies and Management strategies in Emerging Countries: Example IWRM Indonesia*. Tagungsband IWRM Karlsruhe 2012, 21.-22. November 2012, S. 41-53.
- [2] OBERLE, P.; IKHWAN, M.; STOFFEL, D.; NESTMANN, F.: *Adapted hydropower-driven water supply system: assessment of an underground application in an Indonesian karst area*. SpringerOpen, Applied Water Science (2016), H. 6, S. 259. doi:10.1007/s13201-016-0425-0.

- [3] BREINER, R.; MÜLLER, H. S.: *The role of material engineering within the concept of an integrated water resources management*. SpringerOpen, Applied Water Science (2016), H. 6, S. 229. doi:10.1007/s13201-016-0428-x.
- [4] ENDER, A.; GÖPPERT, N.; GRIMMEISEN, F.; GOLDSCHIEDER, N.: *Evaluation of  $\beta$ -d-glucuronidase and particle-size distribution for microbiological water quality monitoring in Northern Vietnam*. Sci Total Environ (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.054>.
- [5] KLINGEL, P.; LAGROU, D.; CHUNG, H. T.; KUNZE, M.; OBERLE, P.; NESTMANN, F.; VAN, T. T.; DE BONTRIDDER, L.: *Sustainable technologies for karst water management for the Dong Van Karst Plateau: approach and first investigations*. Tagungsband 2<sup>nd</sup> Asia-Pacific Geoparks Network Symposium on Geopark and Geotourism for Regional Sustainable Development (APGNSymp2011), Hanoi, 16.–24. Juli 2011.
- [6] OBERLE, P.; STOFFEL, D.; FRITZ, J.; SCHMIDT, S.; RÖSLER, W.; NESTMANN, F.: *Development of sustainable water supply technologies by using pumps as turbines for the extension of existing hydro power plants*. Tagungsband 3<sup>rd</sup> International Rotating Equipment Conference, Düsseldorf, 14.–15. September 2016.
- [7] STOFFEL, D.: *Angepasste Technologien zur Wasserförderung in Karstregionen und deren Implementierung in Schwellen- und Entwicklungsländern*. Dissertation am Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Karlsruher Institut für Technologie, 2016.
- [8] ACI Committee 210: *Erosion of Concrete in Hydraulic Structures*. ACI 210R-87 (1987), ACI Materials Journal.
- [9] *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete (Underwater Method)*. ASTM C 1138M (2005).
- [10] *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete by Sandblasting*. ASTM C 418 (2005).
- [11] VOGEL, M.: *Schädigungsmodell für die Hydroabrasionsbeanspruchung zur probabilistischen Lebensdauerprognose von Betonoberflächen im Wasserbau*. Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Massivbau und Baustofftechnologie (IMB), 2011.
- [12] MOFFATT, J.: *Untersuchung der anwendungstechnischen Grenzen bei der Herstellung und Verwendung von Ökobeton*. Diplomarbeit, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Massivbau und Baustofftechnologie (IMB), 2013.
- [13] FENNIS, S.: *Design of Ecological Concrete by Particle Packing Optimization*. Dissertation, Technische Universität Delft, Niederlande, 2011.

#### Autoren

Dr.-Ing. Peter Oberle  
Karlsruher Institut für Technologie  
Institut für Wasser und Gewässerentwicklung,  
Fachbereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik  
Kaiserstraße 12  
76131 Karlsruhe  
peter.oberle@kit.edu

Dr.-Ing. Daniel Stoffel  
Karlsruher Institut für Technologie  
Institut für Wasser und Gewässerentwicklung,  
Fachbereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik  
Kaiserstraße 12  
76131 Karlsruhe  
daniel.stoffel@kit.edu

M.Sc. David Walter  
Karlsruher Institut für Technologie  
Institut für Wasser und Gewässerentwicklung,  
Fachbereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik  
Kaiserstraße 12  
76131 Karlsruhe  
david.walter@kit.edu

Dipl.-Ing. Raphael Breiner  
Karlsruher Institut für Technologie  
Institut für Massivbau und Baustofftechnologie,  
Abteilung Baustoffe und Betonbau  
Kaiserstraße 12  
76131 Karlsruhe  
raphael.breiner@kit.edu

Dr.-Ing. Michael Vogel  
Karlsruher Institut für Technologie  
Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Karlsruhe (MPA Karlsruhe)  
Kaiserstraße 12  
76131 Karlsruhe  
michael.vogel@mpa-karlsruhe.de

Prof. Dr.-Ing. Harald S. Müller  
Karlsruher Institut für Technologie  
Institut für Massivbau und Baustofftechnologie,  
Abteilung Baustoffe und Betonbau  
Kaiserstraße 12  
76131 Karlsruhe  
harald.mueller@kit.edu

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Franz Nestmann  
Karlsruher Institut für Technologie  
Institut für Wasser und Gewässerentwicklung,  
Fachbereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik  
Kaiserstraße 12  
76131 Karlsruhe  
franz.nestmann@kit.edu