

Integriertes Wasserressourcen-Management (IWRM) im indonesischen Karst

Marco Benner, Günter Schmitt und Martin Vetter

Zusammenfassung

Im Rahmen BMBF-geförderter Verbundaktivitäten der Universität Karlsruhe (TH) zur Bewirtschaftung unterirdischer Karstfließgewässer auf Java, Indonesien, mussten geometrische Grundlagen durch geodätische Arbeiten geschaffen werden. Dazu zählen 3D-Höhlenvermessungen zur Planung, die Bohrstellen- und Bauachsabsteckungen, die Festlegung eines einheitlichen Referenzsystems, die Einmessung des Wasserverteilungsnetzes und technischer Einrichtungen, der Aufbau und die Verwaltung eines Geoinformationssystems (GIS) sowie Spezialvermessungen (Staumauerüberwachung, Steuerung einer Vertikalbohrmaschine). Die Randbedingungen in der Zielregion stellten hierbei eine besondere Herausforderung dar und erforderten den Einsatz innovativer Methoden.

Summary

Geodetic subprojects were integrated into two different BMBF joint projects dealing with the water management in karst caves on Java, Indonesia. Special surveying works had to be carried out to realize the geometrical basis for several other subprojects. The particular contributions have been 3d cave measurements for visualization and planning, staking out of drilling points and construction axes, the definition of a common reference system, the surveying of the water distribution network and its technical facilities, the setting up and the management of a geographical information system (GIS) as well as different special measurements such as dam monitoring or controlling of a vertical drilling machine. A specific challenge was posed to the engineers by the constraints of the project area, which required the use of innovative methods.

1 Projektübersicht

1.1 Hintergrund

Die Region Gunung Sewu, was »Tausend Hügel« bedeutet, im Distrikt Gunung Kidul der Yogyakarta Special Province an der Südküste Mitteljavas, ist eine ca. 1400 Quadratkilometer große Karstlandschaft, die von einer Vielzahl miteinander vernetzter Höhlen durchzogen ist. Dieses Höhlennetz bildet regelrecht ein unterirdisches Flusssystem, in dem sich die schnell versickernden Niederschläge sammeln und nahezu ungenutzt in Quellen an der Küste zutage treten. Die Region, als »Armenhaus

Javas« bezeichnet, gilt wegen des hieraus resultierenden eklatanten Wassermangels als eines der ärmsten Gebiete ganz Indonesiens. In der Trockenzeit stehen den Menschen im Durchschnitt lediglich zehn Liter Wasser pro Person und Tag zur Verfügung, wobei allerdings die Möglichkeit besteht, zusätzliches Trinkwasser von Tankwagen zu kaufen, was aber recht teuer ist. Als Konsequenz der geringen Lebensqualität wandern viele Menschen ab, was zur Stagnation der regionalen Entwicklung führt.

In einigen Höhlen bestehen bereits Anstaus, wo durch über Diesellgeneratoren versorgte Pumpsysteme die unterirdischen Wasservorräte teilweise genutzt werden können, womit der momentane Bedarf für private Haushalte, Gewerbe und Landwirtschaft aber bei Weitem nicht gedeckt werden kann. Eine nachhaltige Wasserversorgung stellt jedoch die Grundlage für die Entwicklung der gesamten Region dar.

1.2 Projekt Gua Bribin

Eine grundlegende Idee zur Verbesserung der Versorgungssituation ist der partielle Einstau des unterirdischen Flusssystems durch ein Sperrbauwerk mit integrierter Wasserkraftanlage und der Fördermöglichkeit über ein wasserkraftbetriebenes Pumpsystem (Abb. 1). Im Vordergrund stehen also regenerative Energien und nachhaltige



Abb. 1: Schematischer Schnitt durch Höhle und Sperrbauwerk Bribin

Technologien, die, was vor allem Betrieb und Wartung angeht, von den Menschen vor Ort einfach bedient werden können.

1.2.1 Projektziele

Allgemeine Untersuchungen durch das Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) der Universität Karlsruhe, die im Rahmen einer Machbarkeitsstudie im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) in den Jahren 2000 bis 2002 durchgeführt wurden, zeigten, dass eine Realisierung der oben angesprochenen Idee eines unterirdischen Wasserspeichers aus sozioökonomischer und ökologischer Sicht sinnvoll und technisch machbar erscheint. Bezüglich der Lokation für ein solches Pilotprojekt stellte sich die Gua (Höhle) Bribin als besonders geeignet heraus. Hier wurde im Vorfeld ein Speichervolumen von ca. 400.000 m³ abgeschätzt bei einer potenziellen Einstauhöhe von mindestens 15 m. Auch in der Trockenzeit fließen hier noch mehr als 1000 l/s. Für die bautechnische Realisierung des Einstauwerks mit integrierter Kleinwasserkraftanlage konnte man einen idealen Standort finden. Eine Leistungsabschätzung für die geplante Anlage ergab, dass sich kontinuierlich eine Wassermenge von 70 l/s fördern ließe, womit in der Region 75.000 Menschen täglich mit 80 Liter Nutzwasser versorgt werden könnten. In einer Richtlinie der World Health Organization (WHO) werden 50 Liter pro Person und Tag als Mindeststandard empfohlen.

1.2.2 Teilprojektvernetzung

Vor dem Hintergrund der positiven Ergebnisse der Machbarkeitsstudie wurde das Verbundprojekt *»Erschließung und Bewirtschaftung unterirdischer Karstfließgewässer, Yogyakarta Special Province, Indonesien«* gestartet und vom BMBF in den Jahren 2003 bis 2006 gefördert. Zur Umsetzung der Zielvorgaben war eine interdisziplinäre Zusammenarbeit der Bereiche Wasserbau und Wasserwirtschaft, Geodäsie, Geochemie, Baustofftechnologie und Ingenieur-Holzbau erforderlich. Zu diesen Bereichen, alle an der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften der Universität Karlsruhe, kam noch die Soziologie/Sozioökonomie der Universität Gießen dazu, um die geplante Maßnahme zu bewerten und die Auswirkung auf die strukturelle Entwicklung der Region zu prognostizieren. Als Partner aus dem Bereich der Industrie, bei BMBF-Projekten unabdingbar, konnten die Firmen Herrenknecht AG (Schwanau) und KSB (Frankenthal) gewonnen werden. Die folgende Liste zeigt die einzelnen, am Verbund beteiligten Teilprojekte.

Teilprojekte Universität Karlsruhe:

- TP1 *»Wasser- und Energiebewirtschaftung unterirdischer Fließgewässer«*
 Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) – Prof. Franz Nestmann

- TP2 *»Wasser/Gestein-Wechselwirkungen, Verwitterungsresistenz und Wasserwegsamkeiten des Karstkörpers sowie Verbesserung der Wasserqualität«*
 Institut für Mineralogie und Geochemie (IMG) – Prof. Doris Stüben
- TP3 *»Detailvermessung und dreidimensionale Modellierung eines unterirdischen Flusssystems«*
 Geodätisches Institut (GIK) – Prof. Günter Schmitt
- TP4 *»Konstruktion und Herstellung dauerhafter unterirdischer Sperrwerke unter Berücksichtigung örtlich verfügbarer Baustoffe und Technologien«*
 Institut für Massivbau und Baustofftechnologie (IfMB) – Prof. Harald Müller
- TP5 *»Druckrohrleitungssysteme aus Holz«*
 Versuchsanstalt für Stahl, Holz, Steine (VA-SHS) – Prof. Hans Joachim Bläß

Teilprojekt Universität Gießen:

- TP6 *»Sozioökonomische Analyse der potentiellen Wassernutzer«*
 Institut für Geographie (IfG) – Prof. Ulrich Scholz

Teilprojekte Industriepartner:

- TP7 *»Vertikalvortriebsmaschinen für Karstgestein«*
 Herrenknecht AG, Schwanau
- TP8 *»Angepasste Turbinentechnologie«*
 KSB AG, Frankenthal

Partner auf indonesischer Seite sind an erster Stelle die Regierung der Yogyakarta Special Province mit Sultan Hamengku Bowono X an der Spitze, dann verschiedene Ministerien und behördliche Einrichtungen (z. B. die National Nuclear Agency (BATAN) und das Department of Public Work) sowie staatliche und private Universitäten in Yogyakarta, (z. B. die Gadjah Mada University (UGM)), Bandung, Surakarta und Jakarta. Besonders hervorzuheben ist die Unterstützung vieler Projektarbeiten durch den lokalen Speläologenverein (Höhlenforscherclub) als Non-Governmental Organization (NGO). Der für alle über- und unterirdischen Baumaßnahmen verantwortliche Industriepartner ist die Firma Wijaya Karya, Jakarta. Für weitere Informationen siehe www.hoehlenbewirtschaftung.de.

1.3 IWRM-Projekt

Nicht zuletzt aufgrund der Erfolge im Projekt Gua Bribin wurde im Anschluss ein neues BMBF-Verbundprojekt *»Integriertes Wasserressourcen-Management (IWRM) in Gunung Kidul, Java, Indonesien«* initiiert, in dem die Gesamtregion unter Einbeziehung der Stadt Wonosari und einer thematischen Erweiterung im Fokus der Untersuchungen steht (Abb. 2).

1.3.1 Projektziele

»Ein integriertes Wasserressourcen-Management muss alle Bereiche von der Trinkwassererschließung über die bauliche Infrastruktur zur Wasserverteilung bis hin zur Abwasserentsorgung unter Berücksichtigung der hydrologischen, hygienischen, ökologischen, sozialen und kulturellen sowie der betriebs- und volkswirtschaftlichen Randbedingungen und Folgewirkungen beinhalten«

Teilprojekte Universität Karlsruhe:

- TP1 »Nachhaltige Wasser- und Energiebewirtschaftung in tropischen Karstregionen«
 Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik (IWG-WK) – Prof. Franz Nestmann
- TP2 »Erstellung eines Geoinformationssystems und geodätische Begleitung des Vorhabens«
 Geodätisches Institut (GIK) – Prof. Günter Schmitt

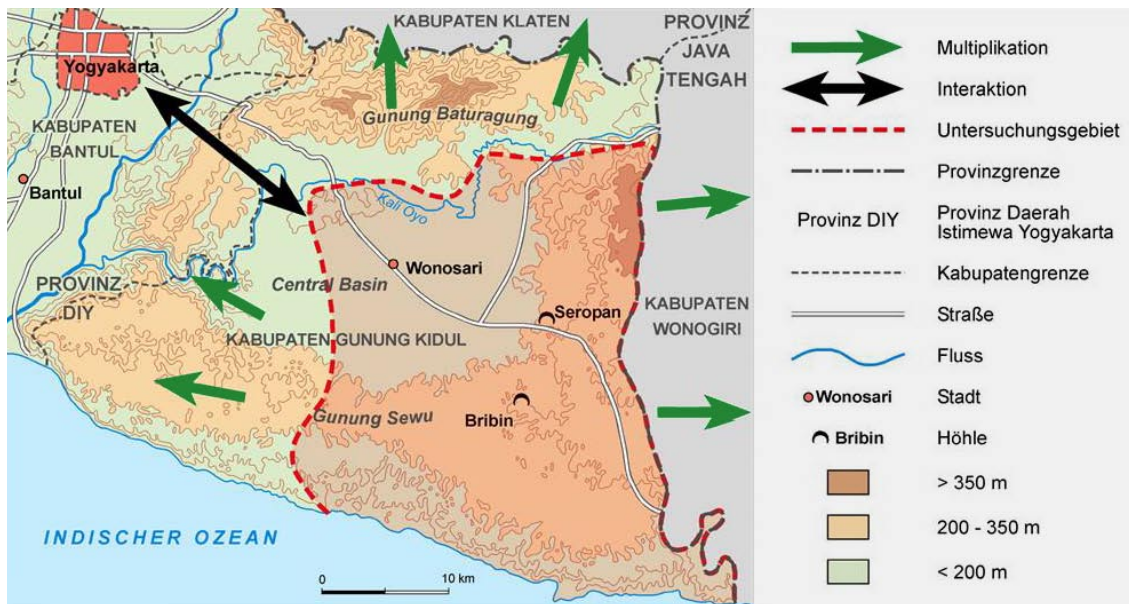


Abb. 2: IWRM-Modellregion Gunung Kidul

(Oberle et al. 2005). Erklärtes Ziel ist es, eine internationalen Standards entsprechende Versorgungssituation für die Mehrzahl der 250.000 Einwohner der Region zu erreichen, nicht nur was die Wassermenge, sondern auch was die Qualität angeht. Dies soll einhergehen mit Aufklärungsarbeit und Schulungen der Bevölkerung bezüglich eines nachhaltigen Umgangs mit der Ressource Wasser. Die Untersuchungen sollen sich nicht auf Trinkwasser beschränken, sondern auch Brauchwasser, z.B. für Handwerkscluster im städtischen Bereich, und Bewässerung im landwirtschaftlichen Bereich umfassen. Bei allen Maßnahmen sollen die Bedürfnisse der lokalen Bevölkerung ebenso berücksichtigt werden wie der Umweltschutz und der ökonomische Betrieb der implementierten Anlagen.

1.3.2 Teilprojektvernetzung

Um die oben genannten Ziele zu verwirklichen, sind die im Folgenden aufgelisteten Teilprojekte zum Verbund zusammengeschlossen. Die Aufgliederung erfolgt wieder nach dem Schema Teilprojekte der Universität Karlsruhe, des Forschungszentrums Karlsruhe, der Universität Gießen und der Industriepartner.

- TP3 »Geowissenschaftliche Exploration von unterirdischen Karstfließgewässern und Nutzung von Mineralischen Ressourcen zur Trinkwasseraufbereitung«
 Institut für Mineralogie und Geochemie (IMG) – PD Thomas Neumann
- TP4 »Kurz- und Langzeitverhalten von Karstgebirge in der Umgebung von unterirdischen druckwasserhaltenden Absperrbauwerken«
 Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik (IBF) – Prof. Theodoros Triantafyllidis
- TP5 »Optimierte bauliche Anlagen zur dauerhaften Speicherung, Verteilung und Aufbereitung von Wasser«
 Institut für Massivbau und Baustofftechnologie (IfMB) – Prof. Harald Müller
- TP6 »Bemessung und Herstellung einer Druckrohrleitung aus Holz zur Wasser- und Energiebewirtschaftung der Höhle Gua Seropan«
 Versuchsanstalt für Stahl, Holz, Steine (VA-SHS) – Prof. Hans Joachim Blaß
- TP9 »Entwicklung und Umsetzung angepasster Technologien zur Abwasser- und Abfallbehandlung«
 Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Siedlungswasserwirtschaft und Wassergüterwirtschaft (IWG-SWW) – Dr. Stephan Fuchs

Teilprojekte Forschungszentrum Karlsruhe:

- TP7 »Beitrag zur Hygienisierung des Trinkwassers und zur hygienischen Kontrolle von Rohwasser bis zum Verbraucher«
Institut für Technische Chemie (ITC) – Prof. Ursula Obst
- TP8 »Konzipierung und Implementierung einer angepassten Trinkwasseraufbereitung sowie der Versorgung und Abwasserentsorgung«
Institut für Technische Chemie (ITC) – Prof. W.H. Höll
- TP10 »Integrative Nachhaltigkeitsbetrachtung durch Systemanalyse und Technikfolgenabschätzung«
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse – Dr. Helmut Lehn

Teilprojekt Universität Gießen:

- TP11 »Sozioökonomische Analyse, Umsetzung partizipativer Ansätze und Wirkungsanalyse«
Institut für Geographie (IfG) – Prof. Ulrich Scholz

Teilprojekte Industriepartner:

- TP12 »Entwicklung und Umsetzung einer Wasserförderanlage«
KSB AG, Frankenthal
- TP13 »Entwicklung und Installation der Netzleittechnik zur Steuerung und Überwachung des Hauptverteilungsnetzes, Trinkwasserversorgung Bribin«
SAG IDS GmbH, Ettlingen
- TP14 »Erstellung eines Geoinformationssystems«
COS Systemhaus OHG, Ettlingen
- TP15 »System zur Erkundung und Dokumentation von Bohrungen im Karst«
Geotechnisches Ingenieurbüro Prof. Fecker und Partner GmbH, Ettlingen
- TP17 »Wasseraufbereitung, Containeranlage als Demonstrationsobjekt zur Trinkwasseraufbereitung«
CIP Chemisches Institut GmbH, Pforzheim
- TP18 »Co-Vergärung und Co-Kompostierung von Fäkal-schlamm und Bioabfällen in Semi-zentralen Anlagen«
Hans Huber AG, Berching

Die geplanten thematischen Arbeitsschwerpunkte sind wie folgt in sieben Work-Packages zusammengefasst, wobei in Klammern die Zuarbeit der einzelnen Teilprojekte ersichtlich ist.

WP1 Erkundung der Wasserressourcen/Wasserdargebot

- Erfassung und Bewertung der hydrologischen, hydraulischen und hydrogeologischen Randbedingungen hinsichtlich des Wasserdargebots (Niederschlags-/Abflussbildung, Fließwege, Abflusstransformation, Wasserrückhalt/-speicherung sowie Abgrenzung der Ein-

zugsgebiete potenzieller Wasserentnahmestellen, Interaktion GW-Aquifer Wonosari Plateau – Karstaquifer Gunung Sewu)

- Bewertung der (hydro-)geologischen Randbedingungen unter Einsatz geophysikalischer Verfahren
- Erkundung des unterirdischen Fließgewässernetzes mittels Speläo- und Tracertechnik
- Geodätische Erfassung der Geländetopographie/Volumenbestimmung begehbbarer Höhlensysteme
- Chemische und mikrobiologische Bewertung der Wasserqualität und Lokalisierung möglicher Kontaminationseinträge
- Stofftransport (Geschiebe, Schwebstoffe/Schlämme, gelöste Schadstoffe)
- Ausbau eines regionalen hydrologischen und hydrogeologischen Monitoringsystems

(TP1, TP2, TP3, TP4, TP15)

WP2 Wassermengenbewirtschaftung (Wasserspeicherung, Energieerzeugung, Wasserförderung)

- Erarbeitung geotechnischer Konzepte zur Wasserspeicherung im Karst (Nutzung vorhandener Karstkavitäten, unterirdische Sperrwerke, Abdichtungstechniken)
- Erarbeitung nachhaltiger Speicherbewirtschaftungskonzepte unter Einsatz regenerativer Energien und angepasster Bautechniken (Weiterentwicklung »Pumps as turbines«, Holzdruckrohrleitung, Betontechnik, Baubetrieb, Sedimentfrachten)
- Entwicklung eines Monitoringsystems zur Langzeit-Überwachung von Absperrbauwerken (Deformationen, Umläufigkeit) einschl. Auswerteverfahren und Definition von Kriterien zur Erkennung von kritischen Zuständen
- Mikrobiologisch-hygienische Bewertung der eingesetzten Technologien

(TP1, TP2, TP3, TP4, TP5, TP6, TP9, TP12, TP15)

WP3 Wasserverteilung, -aufbereitung, -gütesicherung

- Sanierung und Optimierung des Wasserverteilungsnetzes, ggf. unter Einbeziehung eines deutschen Wasserversorgungsunternehmens (Hydraulik, Steuer- und Regelungstechnik, Baustofftechnologie)
- Dezentrale Energierückgewinnung im Verteilungsnetz
- Entwicklung angepasster Technologien zur Aufbereitung, Verteilung und Nutzung von Trinkwasser
- Analyse, Bewertung und Weiterentwicklung technischer Anlagen zur Wasserversorgung und -aufbereitung
- Chemische und mikrobiologische Qualitätskontrolle und -bewertung der eingesetzten Techniken und des Wassers

(TP1, TP2, TP3, TP5, TP7, TP8, TP9, TP13, TP14, TP17)

WP4 Abwasser-/Abfallbehandlung

- Entwicklung angepasster Technologien zur Trennung, Aufbereitung, Nutzung und Rückführung von Abwasser- und Abfallströmen
- mikrobiologisch-hygienische Bewertung der eingesetzten Technologien
- Bilanzierung der wassergebundenen Stoffströme in den Versorgungsgebieten für den Ist-Zustand und verschiedene Szenarien der Wassernutzung und Abwasseraufbereitung
- Umsetzung der für das Gebiet ermittelten Vorzugsvariante

(TP5, TP7, TP8, TP9, TP18)

**WP5 Sozioökonomische Rahmenbedingungen/
Ökologische und betriebswirtschaftliche Bewertung/
Technikfolgenabschätzung**

- Analyse der gegenwärtigen wirtschaftlichen und sozialen Situation und der aktuellen Trinkwasserversorgungslage im Projektgebiet
- Erstellung eines grundlegenden Anforderungsprofils
- Entwurf und Bewertung alternativer Szenarien zur Wasserbereitstellung und Abwasser-/Abfallbehandlung durch eine umfassende Kosten-Nutzen-Analyse
- Verallgemeinerungsfähige Stofffluss- und Energiebedarfsmodellierung der Wasserver- und -entsorgungssysteme und der Wassernutzung
- Mehrkriterielle Bewertung der alternativen Wasserbewirtschaftungssysteme während Konzeption, Entwurf und Realisierung
- Durchführung der Verträglichkeitsprüfung aus ökologischer und betriebswirtschaftlicher Sicht
- Bestimmung der Verringerung der ökologischen Risiken durch das Gesamtprojekt im Sinne einer Vorher-Nachher-Analyse
- Forschung zur gesellschaftlichen Akzeptanz der zum Einsatz vorgesehenen Technologien
- Identifizierung weiterer Modellregionen für den Einsatz von umwelt- und sozialverträglichen Technologien der Trinkwasserversorgung

(TP1, TP5, TP6, TP7, TP8, TP9, TP10, TP11, TP12, TP13, TP14, TP17, TP18)

**WP6 Umsetzung/Technologie- und Know-how-Transfer
(Capacity-Building)**

- Umsetzung der Ergebnisse in Form von Demonstrations- und Lernobjekten
- Durchführung von Schulungen und Workshops auf den Ebenen von Forschungseinrichtungen, Behörden und Betriebspersonal im Rahmen des Capacity-Building mit dem Ziel der Beherrschung der eingesetzten Technologien durch die lokale Bevölkerung

- Sensibilisierung und Schulung der örtlichen Bevölkerung im Umgang mit den Ressourcen Wasser und Energie
- Förderung der lokalen Industrie, insbesondere mittelständischer Unternehmen

(alle Teilprojekte)

WP7 Koordination/Management

- Koordination der Projektpartner innerhalb und zwischen den »Work-Packages« (Synergieeffekte)
- Erstellung, Pflege und Bereitstellung einer gemeinsamen GIS-Datenbank
- Schnittstelle zu indonesischen Partnern

(TP1, TP2, TP11, TP13, TP14)

Ein technisches Projekt in diesem Verbund ist besonders erwähnenswert. In einer der bisher bereits bewirtschafteten Höhlen, Gua Seropan, ist die Konstruktion einer Holzdruckrohrleitung geplant. Mit der erzeugten Energie soll dann aus einer kleineren Wehranlage (Pumpensumpf) Wasser in ähnlicher Menge wie in der Gua Bribin gefördert werden, womit sich die Anzahl der versorgten Menschen verdoppeln könnte (Nestmann et al. 2009).

2 Geodätische Arbeiten

Im Rahmen der in Abschnitt 1 beschriebenen Verbundaktivitäten mussten durch vermessungstechnische Arbeiten geometrische Grundlagen geschaffen werden. Dazu zählen 3D-Höhlenvermessungen zur Planung, die Bohrstellen- und Bauachsabsteckungen, die Festlegung eines Referenzsystems, die Einmessung des bestehenden Wasserverteilungsnetzes und technischer Einrichtungen, der Aufbau und die Verwaltung eines Geoinformationssystems (GIS) sowie Spezialvermessungen (Staumauerüberwachung, Steuerung einer Vertikalbohrmaschine). Die Randbedingungen in der Zielregion stellten hierbei eine besondere Herausforderung dar und erforderten den Einsatz innovativer Methoden.

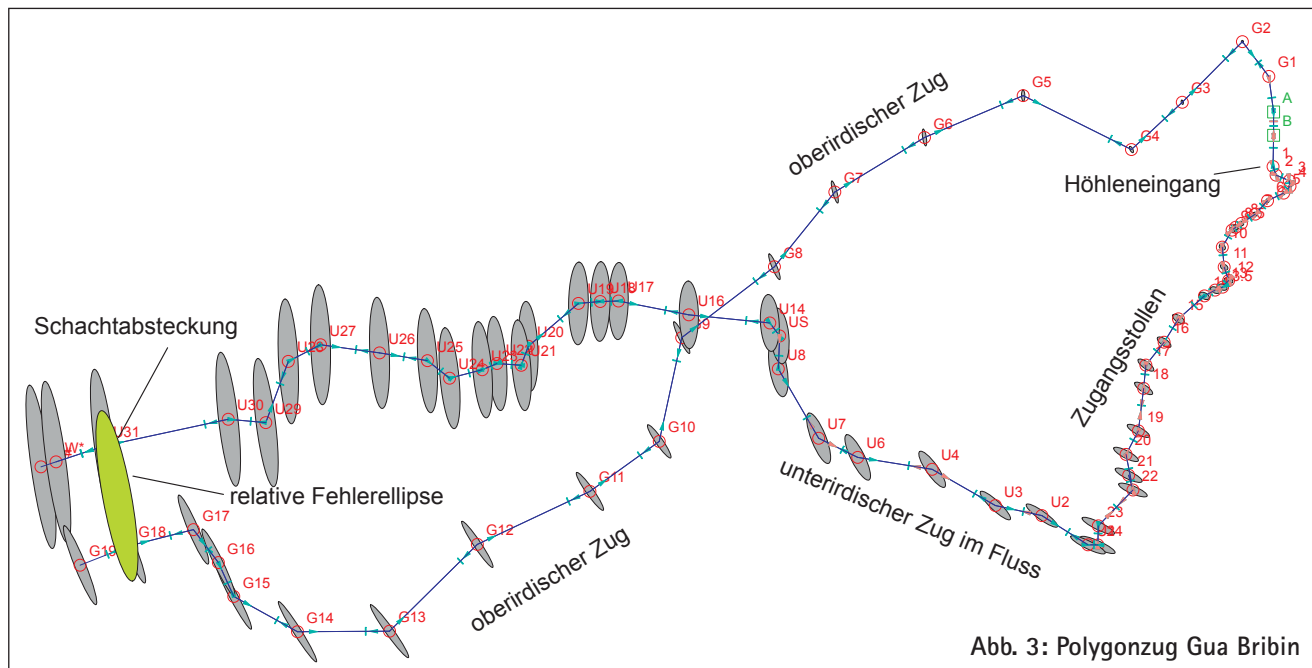
2.1 Dreidimensionale Höhlenvermessung

Eine präzise Vermessung der Höhlen, beginnend am Eingang des Zugangstollens, entlang des unterirdischen Flusses bis über die geplante Baustelle hinaus, ist die Grundlage für sämtliche Planungen und für weitergehende Arbeiten des Anlagenbaus. Die Arbeiten waren 2003 in der Höhle Bribin (Derenbach et al. 2007) und 2006 in Seropan hinsichtlich der Methodik identisch.

2.1.1 Vorarbeiten

Zunächst wurde mit der am GIK entwickelten Software NetzCG (Schmitt et al. 2006) eine Netzplanung durchgeführt, um die zu erwartende Genauigkeit abschätzen und das entsprechende Instrumentarium und Messverfahren auswählen zu können. Zu der geplanten unterirdischen Baustelle sollte ein Vertikalschacht abgeteufelt werden, der

der über dreiwöchigen Messung waren mindestens sechs Personen im Einsatz, die neben den Messarbeiten auch den Transport der Messausrüstung, der Akkubohrmaschine, des Vermarkungsmaterials und des Proviantes unter widrigen Bedingungen durchführen mussten. Hier war die Zusammenarbeit mit den Mitgliedern des ortsansässigen Speläologenvereins ASC, die auch über vermessungstechnisches Fachwissen verfügten, optimal.



die Höhle tangential anschneidet. Als Absteckgenauigkeit wurden 20 cm gefordert. Die Wahl des Messverfahrens fiel auf einen Polygonzug, der im Hin- und Rückweg zwangszentriert gemessen werden muss. Er bestand in Bribin aus ca. 65 Standpunkten, verteilt auf einer unterirdischen Gesamtlänge von ca. 1,5 km. Die kürzeste Polygonseite war knapp 4 m (Abb. 3). Als Instrumentarium wurden in Bribin ein Leica TCR1102 und in Seropan ein Leica TCRP1201 gewählt, deren Richtungsgenauigkeit bei ca. 0,5 mgon und die Streckengenauigkeit unter 2 mm lag.

Für die Messungen in sehr engen Höhlenbereichen (Höhe unter 50 cm) wurde ein Ministativ konstruiert und die Überbrückung der unterirdischen Seen erfolgte mit Hilfe selbst angefertigter Wandkonsolen (Abb. 4).



Abb. 4: Messkonsole im Seebereich Bribin

2.1.2 Messungen

Die Messungen erforderten drei Standardstative aus Aluminium, das Ministativ und die entsprechenden DreifüÙe und Reflektoren. Holzstative sind wegen der hohen Luftfeuchtigkeit ungeeignet. Die Stative wurden 2006 mit einem Laserlot zentriert, da das 2003 verwendete optische Lot in der extremen Luftfeuchtigkeit (bis 100%, kondensierend) innen beschlug und in der Höhle sehr zeitaufwendig zerlegt und gereinigt werden musste. Während

Die Messungen unter Tage fanden unter äußerst schwierigen Randbedingungen statt. In Seropan erschwerten zwei Wasserfälle die Messungen zusätzlich. Das Klima in der Höhle und der überall vorhandene, extrem feine Schlamm setzten vor allem der Feinmechanik (DreifüÙe, Stative) und der Optik (beschlagene Okulare, Objektive und Prismen) zu. Es konnte 2006 durch die Motorisierung und die automatische Anzielung »ATR« des TCRP1201 die Messzeit gegenüber der optischen Anzielung 2003 halbiert werden. Auch das Wegfallen der aufwendigen Ausleuchtung der Reflektoren für die optische Messung beschleunigte die Arbeiten 2006 erheblich. Das hervor-

ragende Energiekonzept des Instruments ermöglichte es, einen kompletten Messtag trotz permanentem Einsatz von Motor und Laserpointer ohne Akkuwechsel durchzustehen. Beide Geräte überstanden die Einsätze, deren Bedingungen weit außerhalb der Herstellerspezifikationen lagen, problemlos.

Während der Polygonzugmessung wurde die Höhle Bribin vollständig dreidimensional über reflektorlose Messung erfasst. Über den ca. 1 km langen Höhlenverlauf wurden rund 5500 Punkte aufgenommen. Die Messung der Wassertiefen in den Seebereichen erfolgte von Schlauchbooten aus mit Teleskopstäben. In Seropan wurden bisher lediglich einige Profile aufgenommen, um die Holzdruckrohrleitung planen zu können.

Die oberirdische Absteckung der Bohrstelle erfolgte 2003 über einen Polygonzug, 2006 mit Hilfe von differenziellem GPS im Echtzeitmodus (RTK). Drei in einem annähernd gleichseitigen Dreieck (ca. 60 m Seitenlänge) angeordnete Punkte oberhalb des Höhleneingangs dienten als Passpunkte zur Bestimmung der Transformationsparameter für die GPS-Absteckung. Diese Absteckung konnte mit zwei Personen innerhalb eines halben Tags durchgeführt werden, während 2003 für die Messung des oberirdischen Polygonzugs und die Absteckung noch vier Personen und zwei Tage nötig waren.

2.1.3 Ergebnisse

Die Auswertung der Messungen in Gua Bribin erfolgte wiederum mit NetzCG. Mit einer erreichten Punktgenauigkeit von 3 cm konnten die Vorgaben eingehalten werden (relative Fehlerellipse bei der Absteckung von 20 cm/4 cm mit 38% Wahrscheinlichkeit). Nach Abschluss der Schachtbohrung in Bribin 2005 bestand die seltene Möglichkeit, durch eine Lotung die tatsächlich erreichte Genauigkeit zu prüfen. Diese lag mit knapp 8 cm linearer Abweichung für die Lage des Schachts deutlich innerhalb der Vorgaben von 20 cm.

Die Polygonpunkte konnten im weiteren Verlauf der Arbeiten als Basis für Bauwerksabsteckungen und weitere Detailaufnahmen verwendet werden. Aus der Höhlenaufnahme wurde mit dem Programm Civil 3D der Firma Autodesk ein Höhlenmodell erzeugt, das zur Visualisierung und zur Volumenberechnung verwendet wurde (Schmitt et al. 2006).

2.2 Festlegung der Bezugssysteme

Im Rahmen der beiden Verbundprojekte wurden bis zum heutigen Zeitpunkt sehr viele Vermessungsaufgaben durchgeführt. Als Resultate all dieser überwiegend von einander unabhängigen Vermessungen entstanden Koordinaten und Höhen in unterschiedlichen Systemen, wie z. B. das GPS-System oder die lokalen Höhlensysteme.

Um diese Ergebnisse, wie auch die zukünftigen Vermessungen und die Daten aller anderen Projektpartner, zusammenhängend darstellen und nutzen zu können, war ein gemeinsames, einheitliches Bezugssystem festzulegen. Da die Punktgenauigkeit im vorhandenen indonesischen Grundlagennetz mit bis zu 5 m der geforderten cm-Genauigkeit nicht annähernd entsprach, wurde mittels eigener statischer GPS-Messungen ein neues, hoch-



Abb. 5: Wasserspeicher im Wasserverteilungssystem Bribin

genaues Referenzpunktnetz angelegt. Es ist die Grundlage für alle georeferenzierten Daten (Koordinaten, Höhen, Sachdaten) im Projekt.

Für die Lage wurde die Universale Transversale Mercatorabbildung (UTM) mit dem globalen GRS80-Ellipsoid als zugrundeliegende Referenzfläche gewählt. Referenzrahmen ist das International Terrestrial Reference Frame 2005 (ITRF2005). Die Gebrauchshöhen wurden in einem globalen Geoidmodell, dem Earth Gravitational Model 2008 (EGM08), festgelegt (<http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/>). Beide sind die zurzeit aktuellen, globalen Bezugssysteme mit der höchstmöglichen Genauigkeit (cm-Bereich). Sie ermöglichen die derzeit optimale Einpassung, Zusammenführung und Darstellung der verschiedenen Daten unterschiedlichster Qualität.

Die Auswahl der Punkte des neuen Grundlagennetzes richtete sich nach bestimmten Kriterien wie einer homogenen, flächenhaften Verteilung über das gesamte Projektgebiet, einem stabilen und unbeweglichen Untergrund, rundum freien Sichten wegen der Abschattungsproblematik bei GPS, einer möglichst langen Lebensdauer der Punkte und ihrer Vermarkung und einer guten Anfahrbarkeit mit dem Auto. Die meisten der Wasserbehälter der Leitungsnetze Bribin und Seropan (Abb. 5) erfüllen diese Kriterien und somit wurden die Netzpunkte auf den Flachdächern der Behälter vermarkt.

Für die statischen GPS-Messungen wurden Empfänger vom Leica-System 1200 nach einem optimierten Beobachtungsplan auf den Dächern aufgestellt, um mehrere Stunden Phasenmessungen der Satelliten aufzuzeichnen. Wie bereits in den Jahren davor erfolgte auch diese Auswertung der statischen Messungen mit dem kanadischen

Postprocessing-Online-Service CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning; (www.geod.nrcan.gc.ca). Die daraus resultierenden Genauigkeiten der geographischen Koordinaten (Breite und Länge im WGS84 bzw. GRS80, ITRF2005) lagen zwischen 1 und 3 cm und die der ellipsoidischen Höhen zwischen 5 und 10 cm. Anschließend wurden die geographischen Koordinaten mit institutseigener Software ins UTM-System umgerechnet. Zur Berechnung der Gebrauchshöhen wurden die Geoidundulationen (bezogen auf WGS84) im EGM08 bestimmt. Die National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) in den USA bietet hierfür die entsprechende Software zum freien Download und zur eigenständigen Nutzung an. Somit konnte ein hochgenaues Referenzpunktnetz im cm-Bereich eingerichtet werden, welches die Basis für alle folgenden Messungen und ortsabhängige Daten darstellt.

2.3 Überwachung der Vertikalbohrmaschine

Der Zugangsschacht zum Höhlenkraftwerk Gua Bribin wurde mit dem Prototyp einer Vertikalbohrmaschine (Abb. 6) der Firma Herrenknecht AG realisiert (ZurLinde et al. 2009). Das GIK entwickelte hierfür eine preisgünstige Methode, mit der die Position der Maschine über die prognostizierte Bohrtiefe von 100 m zuverlässig über-



Abb. 6:
Vertikalbohr-
maschine der
Firma Herren-
knecht AG

wacht werden konnte. Es waren dabei fünf Freiheitsgrade zu berücksichtigen (drei Rotationen, zwei Translationen). Nach verschiedenen Testreihen wurden zwei am oberen Schachtende fixierte, exakt vertikal ausgerichtete Laser installiert, um das Rollen der Maschine (Rotation um die Längsachse) und ihre Lagestabilität zu überwachen. Die beiden verbleibenden Rotationen (Neigungen

um die horizontalen Achsen) wurden über eine an der Maschine montierte Dosenlibelle überwacht. Als Laser boten sich Laserlote der Firma Leica an. Obwohl diese in erster Linie zur Zentrierung und Horizontierung von Vermessungsstationen gedacht waren, war der eingebaute Laser mit einer Strahlaufweitung von 2 mm/1,5 m auch in einer Entfernung von 50 m noch gut sichtbar. Die präzise Feinmechanik der Lote mit einer eingebauten Röhrenlibelle von 30"/2 mm ermöglichte eine hinreichend vertikale Ausrichtung des Lasers von ca. 2 cm/100 m. Die Justierung der Libelle und des Lasers konnte durch Drehen der Geräte überprüft werden. Nach der Montage der Lote auf einer Brücke über dem Bohrschacht konnte über terrestrische Messungen deren Lage bezüglich oberirdischer Festpunkte bestimmt und im Verlauf der Bohrarbeiten auch kontrolliert werden. Der Maschinenfahrer musste somit lediglich die Lage der Laserpunkte auf den Zieltafeln an der Maschine und die Blase der Dosenlibelle bei der Maschinensteuerung beachten. Nach der Hälfte der Gesamtbohrtiefe wurden in ca. 50 m Tiefe an den Tübbing Konsolen angebracht und die Laserlote für den zweiten Bohrschnitt nach unten versetzt. Diese Lösung war insgesamt sehr kostengünstig, leicht zu warten und für die genannten Rahmenbedingungen ausreichend präzise.

2.4 Staumauerüberwachung

Nach Fertigstellung des unterirdischen Sperrwerks in Gua Bribin erfolgte 2008 der Testeinstau der Höhle. In der Einstauphase sollte die Staumauer mit verschiedenen geodätischen und geotechnischen Methoden hinsichtlich Bewegung und Verformung ständig überwacht werden. Hierzu wurde gemeinsam mit dem Institut für Boden- und Felsmechanik (IBF) ein Beobachtungskonzept aufgestellt, um Bewegungen im Submillimeterbereich zu registrieren.

Die Messreihen bestanden aus tachymetrischen Polar-messungen, Konvergenzmessungen mit Hilfe von Invar-drähten und Pendelmessungen. Ergänzend hierzu wurden parallel noch Sickerwassermessungen an den in die Decke eingebrachten Drainagerohren gemacht. Zur Markierung der Messpunkte wurden 30 cm lange Konvergenzbolzen in die Decke, den Boden, die Seitenwände, den Fels und die Mauer selbst eingebracht (Abb. 7), auf deren Gewinde die Messvorrichtungen und Zieltafeln aufgeschraubt wurden. An der Staumauer wurden links und rechts Pendellote (P-Punkte) mit einer Millimeterablesevorrichtung installiert, die ein Kippen der Mauer anzeigen sollten. Um Horizontal- und Vertikalbewegungen der gesamten Plattform zu detektieren, wurde ein Horizontal- und Vertikalprofil (H- und V-Punkte) für die Konvergenzmessung angelegt. Für die Polaraufnahmen wurden schließlich noch Referenzpunkte (R-Punkte) im unbeweglichen Fels verankert.

Vor Beginn des Einstaus mussten die Nullmessungen gemacht werden. Die Polaraufnahme erfolgte zu Beginn und am Ende der Einstauphase. Sie diente lediglich der absoluten Positionierung aller Mess- und Standpunkte, da sie nur eine Genauigkeit von 1 mm lieferte. Die Konvergenz- und Pendelmessungen wurden in regelmäßigen Abständen, alle zwei bis drei Stunden, durchgeführt. Anhand der Konvergenzmessungen, die mit dem Präzisions-

2.5 Bestandsaufnahme der Wasserverteilungssysteme

Die Bestandsaufnahme der Wasserverteilungssysteme Seropan und Bribin, die sich über ein Gebiet von ca. 40 × 20 km² erstrecken, ist eine weitere zentrale Aufgabe des GIK. Sie umfasst die Leitungsnetzaufnahme (Haupt- und Versorgungsleitungen) mit RTK-GNSS-Messungen, klassische Detailaufnahmen der Bauwerke wie

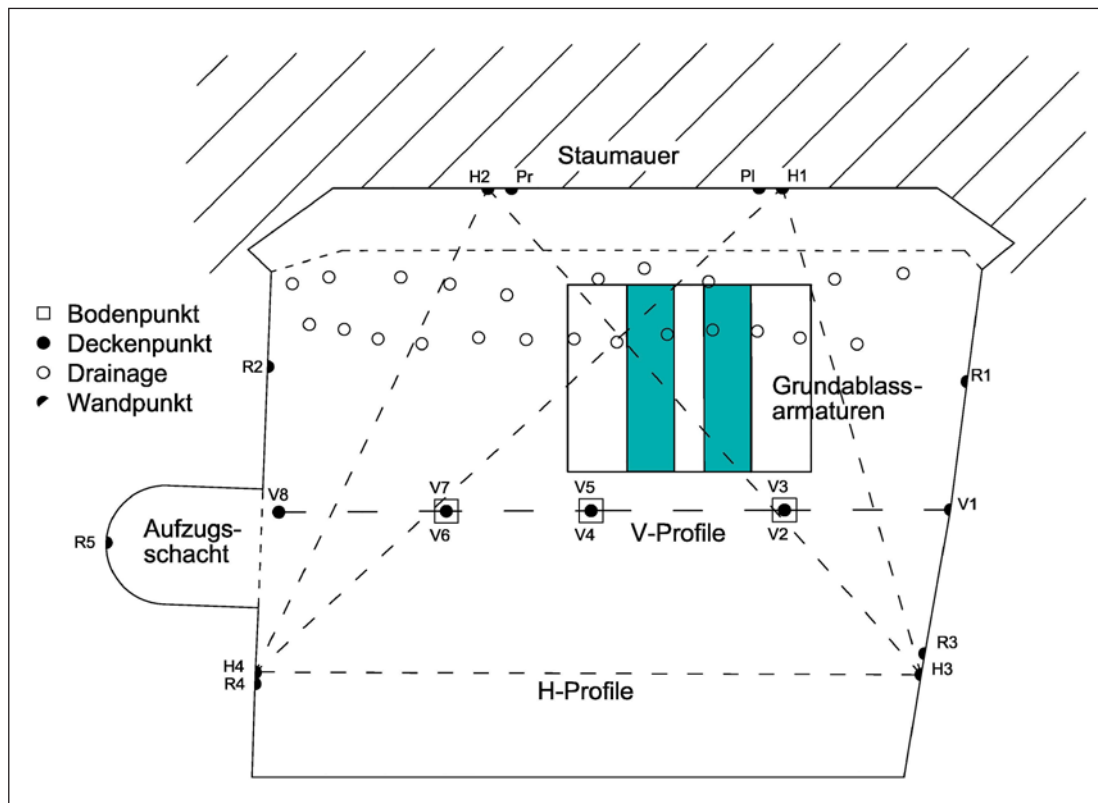


Abb. 7: Messpunkteübersicht bei der Staumauerüberwachung

distometer ISETH durchgeführt wurden, konnten Längenänderungen zwischen den Profilmessungen besser 0,05 mm detektiert werden.

Nachdem sämtliche Durchlässe vollständig geschlossen wurden, begann die Überwachung bis zu einer Einstauhöhe von knapp 17 m. Bei einem Abfluss von ca. 1,2 m³/s erreichte man diesen maximalen Wasserstand nach ca. 48 Stunden. Die Auswertung der Polarmessungen zeigte keine Bewegung der Mauer oder der Plattform an, obwohl ein Teil der Messungen zeitgleich zu abschließenden Betonarbeiten durchgeführt werden musste. Die Ergebnisse der Konvergenzmessungen wiesen durchweg auf unkritische Bewegungen der Staumauer unterhalb von 0,1 mm hin. Nur bei einer der Seitenwände wurde eine Verschiebung von ca. 0,2 bis 0,3 mm detektiert. Zukünftig wird über ein regelmäßiges Monitoring das Langzeitverhalten des Sperrwerks unter Dauerstau beobachtet (Mutschler 2009).

Wasserbehälter, Schieber, Pumpen sowie die Erfassung von Zusatzinformationen wie Rohrdurchmesser, Material und Alter. Diese Messungen werden seitens des Instituts für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) für den Aufbau eines Simulationsmodells der Versorgungsnetze genutzt, um kosteneffiziente Rehabilitationsstrategien als Grundlage einer gesicherten Wasserversorgung zu entwickeln (Klingel et al. 2009). Alle Messungen erfolgen im Bezugssystem ITRF2005 (siehe Abschnitt 2.2), sodass sich der Zeitaufwand für die Auswertung erheblich reduziert und sich die Weiterverarbeitung der Ergebnisse vereinfacht.

2.6 GIS

Im Rahmen des laufenden BMBF-Vorhabens »Integriertes Wasserressourcen Management (IWRM) in der Region Gunung Kidul« (Laufzeit: 2008–2013) konzentrieren sich die Arbeiten des GIK auf den Aufbau eines IWRM-GIS.

Das GIS (Abb. 8) ermöglicht eine effiziente Verwaltung aller wasserwirtschaftlich, abwasserwirtschaftlich und sozioökonomisch relevanten Informationen der Ver-

sorgungsgebiete Bribin und Seropan. Sämtliche projektbezogene Daten wie thematische Karten, Pläne, Berichte, Bilder, Koordinaten und Sachinformationen aller Art (Leistungsnetzdaten, Verbrauchsdaten, geographische und demographische Daten, Höhlendaten, ...) sollen so allen Projektpartnern über das Internet zur Verfügung stehen. Jeder Beteiligte kann ständig aktuelle Informationen, die für die eigene Arbeit benötigt werden, abrufen.

liche Anbindung zum Internet. Neben den eigentlichen Sachinformationen werden in der Datenbank auch Geometrien, Topologien und Parameter zur Konstruktion und Erfassung abgelegt. Große Datenmengen wie Satellitenbilder oder Objektfotos werden daher nicht in der Datenbank gespeichert, sondern in der Dokumentenverwaltung, welche als Teil von COSVega auf dem Webserver läuft. Zwischenzeitlich wurde von COS eine Migration

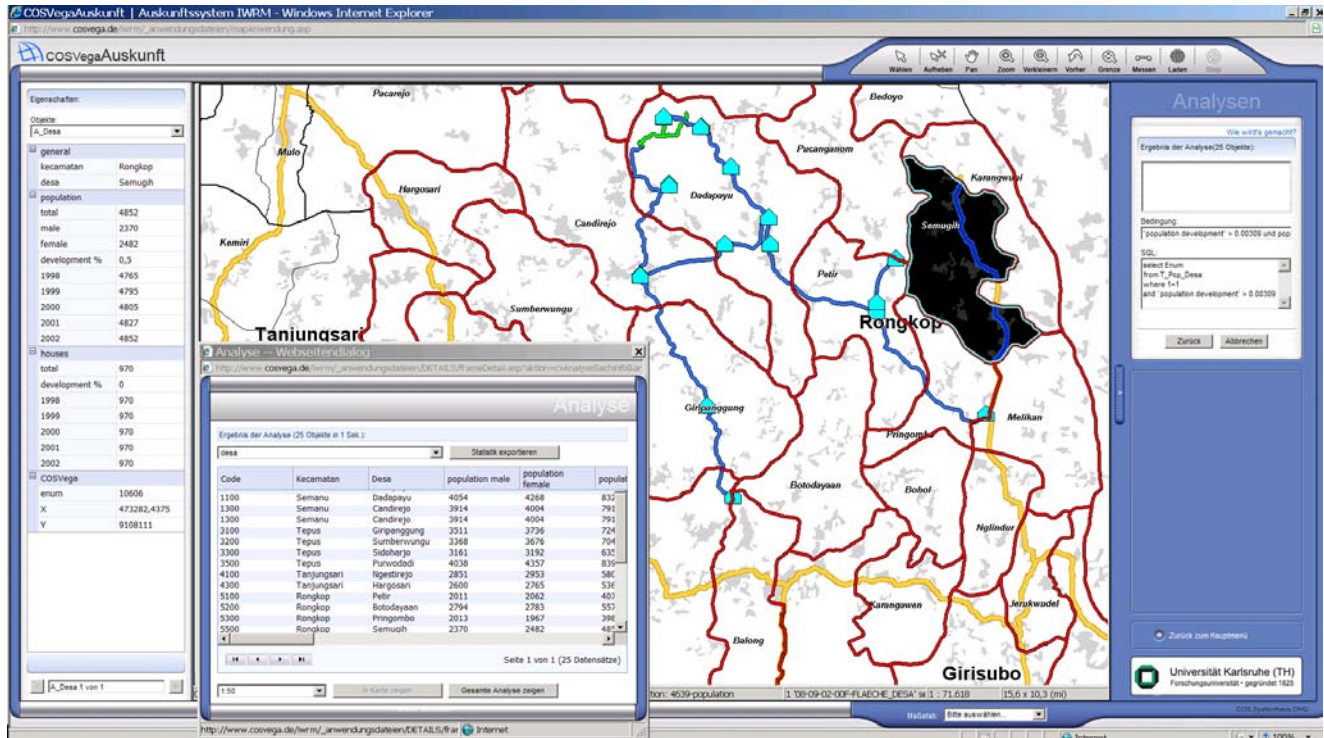


Abb. 8: Geoinformationssystem: Auskunftssystem COSVega

2.6.1 Aufbau

Herzstücke des IWRM-GIS sind die Software COSVega und eine Oracle-Datenbank. COSVega (www.cosgeo.de/sys_0210.htm) ist eine Entwicklung der COS Systemhaus OHG (Ettlingen), Industriepartner des GIK. Auf der Grundlage von AutoCAD der Firma Autodesk zur zeichnerischen Datenerfassung hält COSVega GIS-Fachschalen für unterschiedliche Leitungs- und Versorgungsnetze vor (u. a. Gas, Strom, Wasser, Fernwärme, Kanal, ...). Es besteht aus einem Konstruktions- und einem Auskunftssystem. Das System zur Konstruktion und Datenerfassung läuft auf einem herkömmlichen Arbeitsplatzrechner des GIS-Administrators, wogegen das Auskunftssystem in Verbindung mit der Software MapGuide von der Firma Autodesk auf einem separaten Server (Webserver) installiert ist. Gemeinsam sind sie für die Bearbeitung der Auskunftsanfragen der Zugriffsberechtigten (nur Projektbeteiligte) auf dem Webserver verantwortlich. Das zweite Herzstück des GIS, die Oracle-Datenbank, wird ebenso auf einem separaten Server (Geodatenserver) eingerichtet, hat aber im Gegensatz zum Webserver keine öffent-

auf die Opensource-Version von MapGuide Enterprise durchgeführt. Diese Umstellung hat neben den eingesparten Lizenzgebühren den Vorteil, dass die Projektpartner für den Zugriff auf das GIS nur noch einen der gängigen Webbrowser (Internet Explorer, Mozilla Firefox) auf ihrem PC benötigen. Die Projektmitarbeiter des GIK sind während der Projektlaufzeit für die Administration des GIS und die Datenerfassung zuständig. Zusammen mit der Firma COS werden die Systemfunktionalitäten und Benutzeroberflächen des GIS sukzessive an die Anforderungen der zuständigen indonesischen Behörden angepasst. Nach entsprechenden Schulungen der zuständigen Behörden soll das System (Software, Daten) dann am Ende des Projekts an diese übergeben werden.

2.6.2 Datenfluss

Als Administratoren haben die Projektmitarbeiter des GIK die Verantwortung, Fachdaten aller Teilprojekte in das System einzufügen, zu ändern oder zu entfernen. Nur sie haben direkten Zugriff auf die Daten, die in der Oracle-Datenbank hinterlegt sind. Alle anderen Projektpartner können über einen Webbrowser (Internet Explorer, Mozilla Firefox) auf das Auskunftssystem von COSVega zu-

greifen. Die abgerufenen Daten und Analysen können auch in verschiedenen Formaten (.xls, .dxf, ...) heruntergeladen werden, um sie dann auf dem eigenen PC weiter nutzen und bearbeiten zu können. Da die Teilprojekte nur Zugriff auf den Webserver haben, nicht aber auf den Datenbankserver, wird in regelmäßigen Abständen (24 Stunden) ein Datenbankimage erstellt und auf den Webserver übertragen, auf welches das Auskunftssystem dann zugreift. Somit kann selbst bei simultanen Arbeiten des Administrators an der Datenbank ein reibungsfreier und ständiger Zugriff auf die »aktuellsten« (24-Stunden-Aktualität) Daten gewährleistet werden. Weiterhin können die Projektpartner in der aktuellsten Version der GIS-Software mit Hilfe vordefinierter Erfassungsmethoden die jeweils für sich relevanten Informationen vor Ort eigenständig erheben. Durch dieses Erfassungstool, welches auf die Bedürfnisse der einzelnen Teilprojekte individuell angepasst wird, werden die erhobenen Daten direkt in dem Format (Objektart, Merkmale, Topologie, ...) abgespeichert und bereitgestellt, welches eine Übernahme in die Datenbank und das GIS ohne aufwendige Nachbearbeitung ermöglicht. Neben der Anbindung eines GPS-Empfängers (GPS-Handheld) zur »Echtzeit«-Daten-

erfassung können zu Informationszwecken ebenso Daten temporär ins GIS eingestellt werden, die von jedem Teilprojekt eingesehen werden können. So hat man die Möglichkeit, kurzfristig alle Beteiligten über wichtige Sachverhalte zu informieren.

2.6.3 Daten

Die 18 deutschen Partner aus Industrie und Forschung wie auch die indonesischen IWRM-Partner produzieren im Laufe dieses interdisziplinären Projekts eine riesige Menge unterschiedlichster Fachdaten. Der zeitaufwendigste Teil beim GIS-Aufbau ist das Sammeln und das Aufbereiten dieser Daten (Fachdaten, Metadaten), die größtenteils unstrukturiert und in den verschiedensten Formaten (analog, digital, Raster-, Vektor-, Sachdaten, ...) vorliegen. Bis auf die durch Vermessungsarbeiten entstandenen Daten werden sämtliche Daten georeferenziert und in ein einheitliches System (siehe Abschnitt 2.2) eingepasst. Die Tabelle in Abb. 9 soll einen kleinen Überblick über die Datenvielfalt geben, die im IWRM-GIS gemeinsam vorgehalten werden.

Abb. 9: Georeferenzierte Daten im IWRM-GIS

Georeferenzierte Daten im IWRM-GIS	Rasterdaten	Vektordaten/Koordinaten	Sachdaten ((alpha) numerisch)	Sachdaten (Dokumente)	eingebundene Software
Thematische Karten (Topographie, Geologie, Hydrographie, ...) und Satellitenbilder vom Projektgebiet	X				
Bestand der Wasserverteilungssysteme Bribin und Seropan (Rohrleitungen, Wasserspeicher, Schieber, Pumpen, ...)	X	X	X	X	
Hydraulisches Modell zur Analyse von Wasserversorgungsnetzen (KANET)					X
Administrative Grenzen, Siedlungen, Straßen, Flüsse, Landnutzung, Höhenlinien, ...		X			
Statistische Daten (Bevölkerung, Wasserverbrauch, Gebäudebestände, Einkommensverhältnisse, ...)			X	X	
Messergebnisse (geodätische und geotechnische Vermessung, Niederschlag, Staudruck, Temperatur, Abfluss, ...)		X	X		
Chemische (Wasserqualität), mineralogische, geologische Erhebungen und Analysen		X	X	X	
Siedlungswasserwirtschaftliche Erhebungen und Analysen (Abwasserbehandlung, Trinkwasseraufbereitung, ...)		X	X	X	
Höhlen (Bribin, Seropan, ...)	X	X	X	X	
Technische Anlagen (Pumpen, Generatoren, Turbinen, Wasserkraftanlage Bribin, Holzdruckrohrleitung Seropan, ...)	X	X	X	X	
...					

3 Ausblick

Mit der für Herbst 2009 geplanten Inbetriebnahme der Wasserkraftanlage in Gua Bribin und der anschließenden Übergabe der Anlage an die zuständigen indonesischen Behörden soll das Pilotprojekt Gua Bribin (siehe Abschnitt 1.2) trotz mehrerer Verzögerungen (Tsunami-katastrophe 2006, Erdbeben, Vulkanausbruch) erfolgreich abgeschlossen werden. Aus geodätischer Sicht endet damit ein sehr anspruchsvolles Ingenieurprojekt, dessen Erfolg aber wiederum die Grundlage für die Initiierung des neuen Verbundprojekts IWRM (siehe Abschnitt 1.3.) war. Dieses IWRM-Projekt startete mit dem Kickoff Meeting in Yogyakarta im Oktober 2008 und ist hinsichtlich der geodätischen Anforderungen und der interdisziplinären Zusammenarbeit ebenso interessant und anspruchsvoll wie das auslaufende Pilotprojekt Gua Bribin.

Neben den bereits vorgestellten Arbeiten des GIK liegt ein Schwerpunkt der IWRM-Arbeiten im Aufbau und in der Anpassung des GIS sowie im Sammeln, Aufbereiten und Erfassen der Fachdaten. Darüber hinaus werden GIS-Schulungen und Workshops durchgeführt, um das GIS bestmöglich an die unterschiedlichen Bedürfnisse, speziell an die der indonesischen Partner, anzupassen, bevor dann am Ende des Projekts die Übergabe an die indonesischen Behörden erfolgt. Aus diesem Grunde wird bereits im Oktober 2009 ein GIS-Workshop in Yogyakarta stattfinden. Weiterhin findet im Herbst 2009 eine größere Messkampagne mit dem terrestrischen Laserscanner des GIK (Leica HDS6000) statt. In der Höhle Seropan soll mithilfe des daraus resultierenden, hochauflösenden 3D-Höhlenmodells der Verlauf und die Auflager der Druckrohrleitung geplant werden und in der Höhle Bribin soll ein detailliertes 3D-Modell der Wasserkraftanlage einschließlich aller technischen Einrichtungen und Leitungen entworfen werden. Im Laufe des Projekts werden je nach Bedarf weitere projektbegleitende Vermessungen wie die Achsabsteckung der Holzdruckrohrleitung in Gua Seropan, die Lokalisierung von Bohrstellen oder die Bestandsaufnahme des Wasserverteilungssystems Seropan einschließlich aller technischen Einrichtungen (ab 2010) durchgeführt.

Dank

Die Autoren bedanken sich beim BMBF für die finanzielle Unterstützung der Projekte und bei den Verbundpartnern für die ausgezeichnete Zusammenarbeit.

Literatur

- Derenbach, H., Illner, M., Schmitt, G., Vetter, M., Vielsack, S.: Ausgleichsrechnung – Theorie und aktuelle Anwendungen aus der Vermessungspraxis. Karlsruhe. Universitätsverlag, 2007, ISBN 978-3-86644-124-8.
- Klingel, P., Knobloch, A.: Hydraulische Modellierung von Trinkwasserversorgungssystemen zur Analyse und Planung. In: WasserWirtschaft 99 (2009), Heft 7–8.
- Kupferer, St., Schmitt, G., Vetter, M., Zimmermann, J.: Vermessungsarbeiten in einem Wasserbewirtschaftungsprojekt unterirdischer Fließgewässer in Indonesien. In: zfv (2006), Heft 3.
- Mutschler, T.: Geotechnische Aspekte beim Bau einer unterirdischen Wasserkraftanlage in einer Karsthöhle. In: WasserWirtschaft 99 (2009), Heft 7–8.
- Nestmann, F., Oberle, P., Ikhwan, M., Lux, T., Scholz, U.: Bewirtschaftung unterirdischer Fließgewässer in Karstgebieten – Pilotstudie auf Java, Indonesien. In: WasserWirtschaft 99 (2009), Heft 7–8.
- Oberle, P., Kappler, J., Unger, B.: Integriertes Wasserressourcen-Management (IWRM) in Gunung Kidul, Java, Indonesien. Schlussbericht zur Machbarkeitsuntersuchung im Auftrag des BMBF, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe (TH), 2005.
- Schmitt, G., Vetter, M., Zimmermann, J.: BMBF-Verbundprojekt: »Erschließung und Bewirtschaftung unterirdischer Karstfließgewässer«. In: Abschlussbericht Teilprojekt 3: Detailvermessung und dreidimensionale Modellierung eines unterirdischen Flusssystems (2006).
- ZurLinde, L., Schmäh, P.: Schachtbautechnik zur Realisierung eines Zugangsschachtes in eine Karsthöhle. In: WasserWirtschaft 99 (2009), Heft 7–8.
- COS Systemhaus: Homepage COSVega, www.cosgeo.de/sys_0210.htm.
<http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/>
www.geod.nrcan.gc.ca
www.hoehlenbewirtschaftung.de/Deutsch/Files/TP3_Abschlussbericht_Version_4_2.pdf.

Anschrift der Autoren

Dipl.-Ing. Marco Benner
 Prof. Dr.-Ing. Dr. e. h. Günter Schmitt
 Dipl.-Ing. (FH) Martin Vetter
 Universität Karlsruhe (TH), Geodätisches Institut
 Englerstraße 7, 76131 Karlsruhe
iwrm@gik.uka.de