

# Konstruktive und geotechnische Aspekte kleiner Wasserkraftwerke in China

Die GUB AG brachte ihr Wissen in Geotechnik und konstruktivem Wasserbau in das Forschungsprojekt HAPPI zur Entwicklung von Leitlinien für Planung und Bau kleiner Wasserkraftanlagen in China ein. Die Planungsphasen für Anlagen zwischen ein und zehn MW installierter Leistung wurden hinsichtlich einer angepassten Vorgehensweise sowie der dafür erforderlichen Planungswerkzeuge untersucht und beschrieben. Es entstanden sechs Leitlinien zu Standortfindung, Typendesign, geotechnischen Anforderungen, Arbeitsschutz und Qualitätssicherung sowie Finanzierungs- und Betreibermodellen, die zukünftig Planung und Bau von kleinen Wasserkraftanlagen in China unterstützen.

Martin Gocht, Roger Tynior und Christian Wunderlich

## 1 Geotechnik und konstruktiver Wasserbau

Die Arbeiten zu Geotechnik und konstruktivem Wasserbau stellen den größten Beitrag der GUB AG zu HAPPI dar. Es wurden typische Verfahren und Bauweisen deutscher kleiner Wasserkraftanlagen (WKA) zusammengetragen und ihre Übertragbarkeit auf chinesische Verhältnisse geprüft. Ein geografisches Standortmodell systematisiert die Standortfindung und ein geotechnisches Untersuchungsprogramm definiert die Anforderungen an die Gründung in Abhängigkeit des Untergrundes. Die Ergebnisse dieses Arbeitspakets wurden in Planungsleitfäden zusammengefasst, die auf [www.happi.shp.com](http://www.happi.shp.com) verfügbar sind.

### 1.1 Standortfindung

Die Standortfindung wurde als GIS-basierter multikriterieller Analyseprozess in ArcGis 10 implementiert und am Beispiel der Modellregion 2 Wuyang/Yindiba demonstriert. Der Prozess trägt viele Merkmale einer Nutzwertanalyse (**Bild 1**).

Am Anfang steht die Analyse der verfügbaren geografischen Daten. Abhängig von diesen können Kriterien definiert werden, wie die zweite Spalte von Bild 1 für vier von sieben Kriterien darstellt. Geografische Daten stammen aus Datenquellen inter-

nationaler Organisationen, die Angaben zur Hydraulik stammen aus der hydrologischen Modellierung des Projektpartners Sieker GmbH [1]. Die lokalen Werte der Kriterien werden in Raster überführt, die Auswertung erfolgt je Rasterzelle.

Der Wertebereich der Kriterien wird von physikalischen Einheiten in kardinale Zahlen transformiert. Zu diesem Zweck wird der für die Kriterien festgelegte Wertebereich klassifiziert und mit Noten von 0 (Ausschluss) bis 10 (sehr gut) bewertet (Spalte 3).

Auch Selbstverständliches muss im Suchalgorithmus als Kriterium definiert werden: Da eine WKA möglichst nahe am Fluss angeordnet sein soll, ist es naheliegend, als Ausschlusskriterium einen Abstand größer 300 m und als Optimum einen Abstand kleiner 10 m festzulegen. Weniger transparent ist die Definition eines Durchflussbereichs. Der Mindestabfluss wurde mit 6 m<sup>3</sup>/s nach deutschen Maßstäben für Kleinwasserkraftwerke (KWK) hoch gewählt, da die chinesische Seite eine installierte Leistung von 1 bis 10 MW für kleine WKA definiert hat. Gleiches gilt für die Stauhöhen. Die Festlegung des Wertebereichs ist abhängig von den Präferenzen der Akteure und trägt normativen Charakter.

Die Kriterien sollten durch die Akteure gewichtet werden, wobei die Summe der Gewichte 100 % ergeben muss. Es wurde eine Wichtung gewählt, die wasserwirtschaftliche Kriterien betont. Das Ergebnis des Analyseprozesses berechnet sich als Summenprodukt aus reklassifizierten Kriterien und ihren Gewichten. Dieses wird als Raster in der Eignungskarte (Bild 1 rechts) dargestellt.

Sie zeigt einen Abschnitt des Flusses Wuyang in der Nähe von Yindiba. Die Eignung weist Werte zwischen 5 und 7, im Mittel 6 auf. Damit ist dieser Flussabschnitt für die Entwicklung von KWK geeignet. Die lokale Inspektion von Standorten sollte sich auf Orte konzentrieren, die in der Analyse den Wert 7 erhalten haben und damit gut geeignet sind. Die Verringerung des in schlecht erschlossenen Regionen beträchtlichen Inspektionsaufwands ist der wesentliche Vorteil der GIS-basierten Standortanalyse. Die Verwendung eines geografischen Informationssystems erlaubt eine flächendeckende Analyse und somit ein vollständiges Inventar möglicher Standorte [2].

### Kompakt

- Ein Netzwerk von deutschen und chinesischen Projektpartnern arbeitete erfolgreich im interdisziplinären Wissenstransfer für eine klimafreundlichere Energieversorgung in China.
- Die GUB AG entwickelte ihr Netzwerk durch die Zusammenarbeit mit chinesischen und deutschen Partnern aus Wissenschaft und Technik.
- Die Entwicklung und Anwendung von Leitfäden leistet einen konkreten Beitrag zur Verbesserung der ländlichen Lebensverhältnisse in China und zur internationalen Kooperation.



© GUB Ingenieur AG

**Bild 1:** Prozess der Standortfindung als GIS-basierte multikriterielle Analyse

Mit den dargestellten Eigenschaften des Standortmodells ist dessen Potenzial bei Weitem nicht ausgeschöpft. Eine Weiterentwicklung ist möglich und naheliegend: Durch iterative Anwendung des Standortmodells ließe sich eine Kombination der hydraulischen Kriterien ermitteln, die die Energieproduktion unter festgelegten Randbedingungen zu Geologie und Landnutzung maximiert. Hierfür könnten fortgeschrittene Optimierungsalgorithmen, wie Simulated Annealing oder Evolutionäre Algorithmen, verwendet werden. Damit ist der Weg vom Standortmodell zum Optimierungsmodell vorgezeichnet [3].

Mit den Daten des Standortmodells können auch die Einschränkungen des Entwicklungspotenzials analysiert werden. Beispielsweise wird der a priori festgelegte Mindestabfluss von 6 m³/s in großen Teilen des Einzugsgebiets nicht erreicht. Eine andere Definition von KWK würde das Entwicklungspotenzial vergrößern.

Ebenso ersichtlich wird jedoch, dass der Abfluss nicht das einzige Kriterium ist, das hinsichtlich der gewählten Definition restriktiv wirkt: Auch Standorte mit einem Durchfluss größer 6 m³/s werden häufig ausgeschlossen. Dies liegt in der Regel an der bestehenden Landnutzung: Die Entwicklung von KWK ist unmöglich an bereits vorhandenen Stauanlagen, in Städten, unter Brücken, in Schutzgebieten oder in der Landwirtschaft vorbehaltenen Gebieten etc.

Das Optimierungspotenzial wird durch die Berücksichtigung dieser Einschränkungen vermindert.

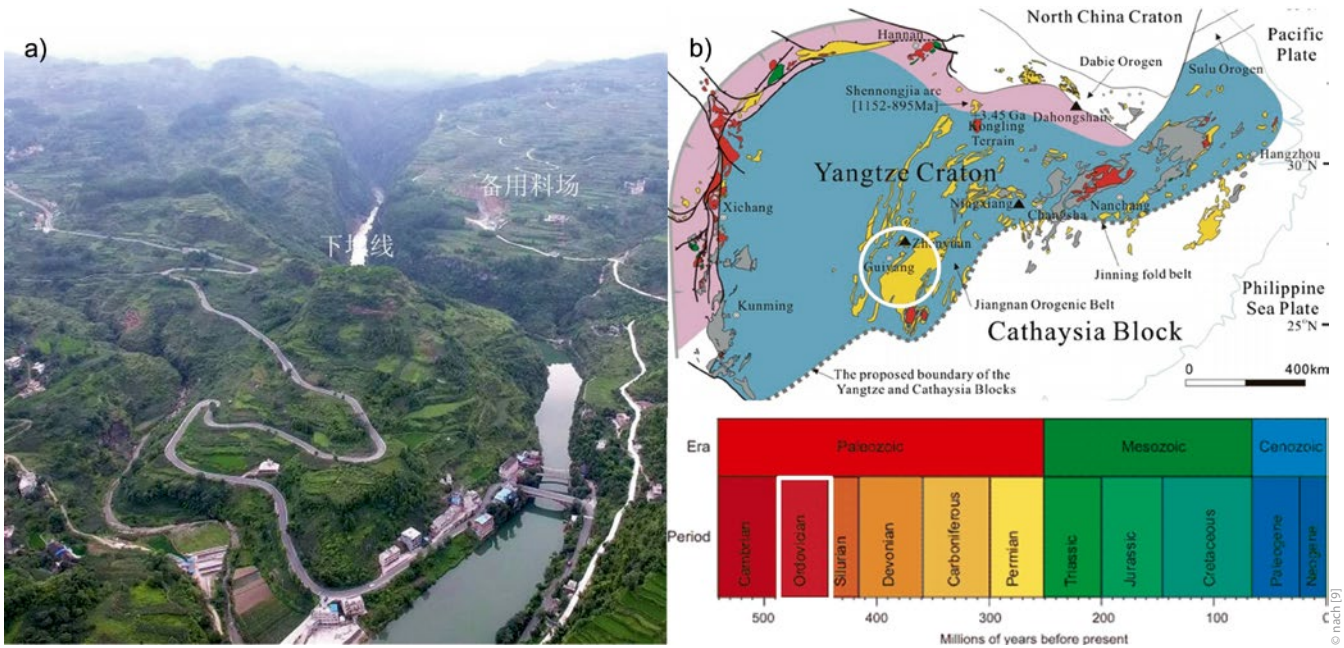
### 1.2 Typendesign

Die Arbeiten zum Typendesign bauen auf Beispielen am Lech in Bayern auf. Zwei Kaskaden wurden dort zwischen 1943 und 1950 bzw. 1975 und 1984 errichtet. Die ältere Kaskade besteht aus 9 überströmbaren Kraftwerken, die mit Rohrturbinen des Typs Arno Fischer auf eine Leistung von je rund 8 MW ausgebaut sind. Die jüngere Kaskade wird von sechs Kraftwerken in Blockbauweise gebildet, bei denen Wehranlage und Krafthaus je einen Baukörper bilden. Pro Kraftwerk sind hier etwa 12 MW Leistung mit Kaplan-Rohrturbinen installiert. Eine umfassende Literaturanalyse rundete die Arbeiten ab. An erster Stelle sind hier klassische Lehrbücher zu nennen. Die Ausführungen des Deutschen



© GUB Ingenieur AG

**Bild 2:** Befunde am Kraftwerk Fujiang: a) Bemessung, Aussinterung wegen Durchfeuchtung, b) Korrosion in einer Turbinengrube, c) Risse und freiliegende Bewehrung am Stützenfuß, d) grobporige Betonoberfläche, Lunker



**Bild 3:** a) Geplanter Standort am Chong-An-Fluss, b) tektonische Karte des Yangtze-Kratons und angrenzender Regionen

Talsperrenkomitees spiegeln den allgemein anerkannten Stand der Technik bei Stauanlagen wieder. Weiterhin flossen internationale Untersuchungen zur Entwicklung der Wasserkraft, wie die Arbeiten der bei der OECD angesiedelten International Energy Agency IEA, ein. Existierende Leitfäden zur Planung kleiner Wasserkraftanlagen, wie beispielsweise der European Small Hydropower Association ESHA [4], fortführend, wurde das Typendesign ausgehend vom Außendurchmesser des Turbinenlaufrads bis zur Dimensionierung des Krafthauses geführt. Umweltverträglichkeit bezüglich der linearen Durchgängigkeit wurde durch die konsequente Berücksichtigung des Merkblatts zum Fischaufstieg der DWA [5] erreicht. Diese Fragestellung war dann auch ein Gegenstand der detaillierten drei-

dimensionalen hydronumerischen Modellierung der Universität Kassel [6].

### 1.3 Bauzustandsanalyse und Qualitätssicherung

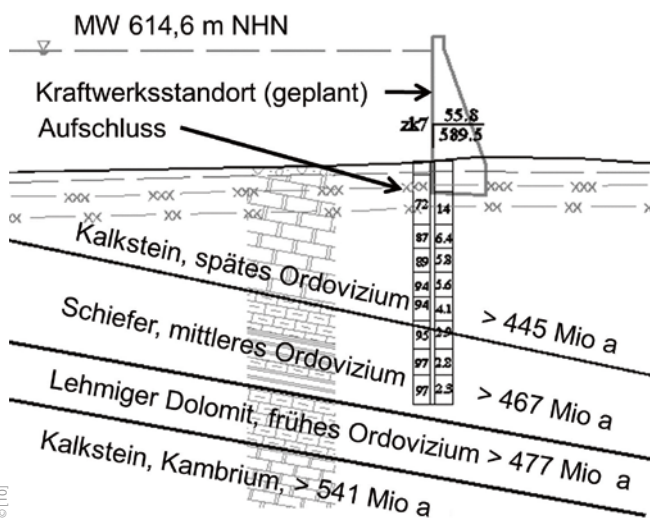
Bei den Bereisungen des Quingshui-Flusses im Modellgebiet 1 wurde die WKA Fujiang bei drei Besuchen in den Jahren 2013 und 2014 einer Bauzustandsanalyse unterzogen. Die Anlage wurde inspiziert sowie relevante Anlagen- und Bauteile fotografisch dokumentiert sowie Messungen zur Betonfestigkeit vorgenommen (**Bild 2**). Das Kraftwerk wurde etwa im Jahr 2008 als Ersatzneubau unter Weiterverwendung von Teilen einer vorher bestehenden Anlage errichtet. Es war zum Zeitpunkt der Besichtigung seit ca. 5 Jahren in Betrieb.

Das Kraftwerk wurde in Massivbauweise als bewehrte Konstruktion aus Ortbeton am Standort hergestellt und errichtet. Von einer Vorfertigung bzw. der Verwendung von Fertig- oder Halbfertigteilen ist augenscheinlich nicht auszugehen. Lediglich die Dachkonstruktion inkl. Dachhaut des Krafthauses wurde in Leichtbauweise ausgeführt: Die Tragkonstruktion des Daches wurde als räumliches Fachwerk aus Stahlrohrprofilen hergestellt. Die Dacheindeckung erfolgte mit Profilblechen (Wellblech).

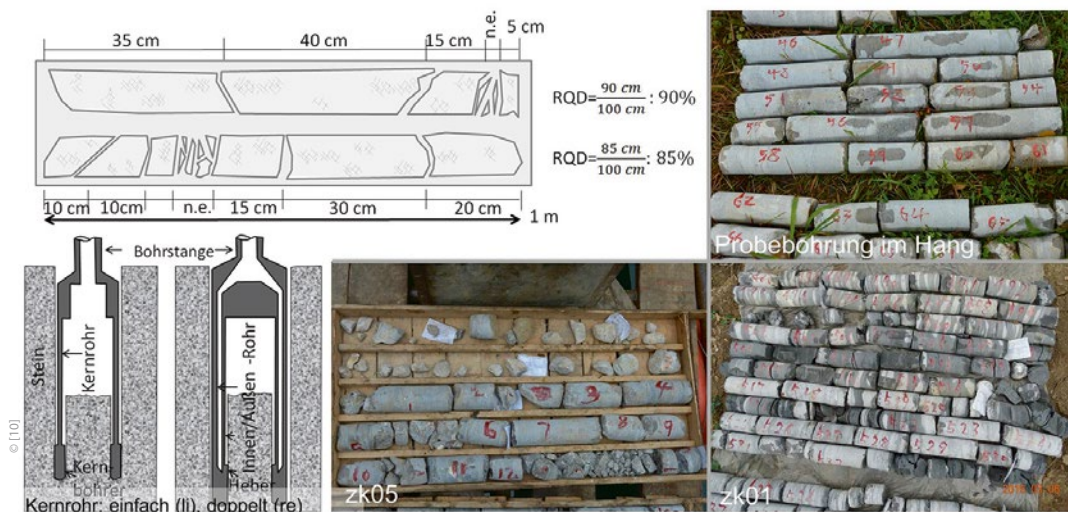
Während der Begehungen wurden an den einzelnen Bauwerksteilen und technischen Funktionsgruppen Schäden und Mängel festgestellt, die für ein ca. 5 Jahre altes Bauwerk im festgestellten Umfang ungewöhnlich zahlreich sind:

An den verschiedensten Bauteilen zeigen sich Lunker mit Tiefen bis zu 3 cm in der Betonoberfläche. Häufig ist die Bewehrung sichtbar. Betonüberdeckungen wurden nicht eingehalten. An verschiedenen tragenden Bauteilen wurden Risse festgestellt.

Bei Betonfestigkeitsmessungen konnten Festigkeiten mit einer enormen Spannweite von 14,5 N/mm<sup>2</sup> bis 51 N/mm<sup>2</sup> festgestellt werden. An luft- und wasserberührten Betonflächen im Innen- und Außenbereich wurden Festigkeiten zwischen



**Bild 4:** Schematischer geologischer Schnitt im Bereich der geplanten Anlage Shichan am Chong-An-Fluss



**Bild 5:** Definition der Rock Quality Designation (RQD) nach Fell et al. [11] und Kerne der Bohrungen zk01 und zk05

14,5 N/mm<sup>2</sup> statt erforderlicher 30 N/mm<sup>2</sup> und 32,5 N/mm<sup>2</sup> statt erforderlichen 35 N/mm<sup>2</sup> gemessen. In den Turbinengruben wurden hingegen ausreichende Festigkeiten zwischen 36,5 N/mm<sup>2</sup> und 51 N/mm<sup>2</sup> festgestellt.

Der Stahlbau wies häufig fehlenden Korrosionsschutz, schlechte Maßhaltigkeit und schiefe Bauteilkanten (Treppenstufen, Geländer) auf. Vor allem im Außenbereich der KWK ist an vielen Stellen Korrosion an den Stahlbauteilen sichtbar (Geländer, Treppen, Tragsysteme, Dachtragkonstruktion, Dachhaut).

Die Kabelführung der elektrotechnischen Installation im Inneren des Krafthauses erscheint an einigen Stellen mangelhaft und provisorisch. An einzelnen Anlagenteilen werden Sicherheitsvorschriften nicht eingehalten. Sowohl nach unten geneigte, nicht profilierte Treppenstufen aus Stahl als auch teilweise nicht vorhandene Absturzsicherungen stellen ein großes Unfallrisiko dar.

Der Befund am Kraftwerk Fuijiang lässt eine starke Verringerung der erwarteten Lebensdauer des Kraftwerks durch grundsätzliche Fehler in Planung und Bauausführung erwarten.

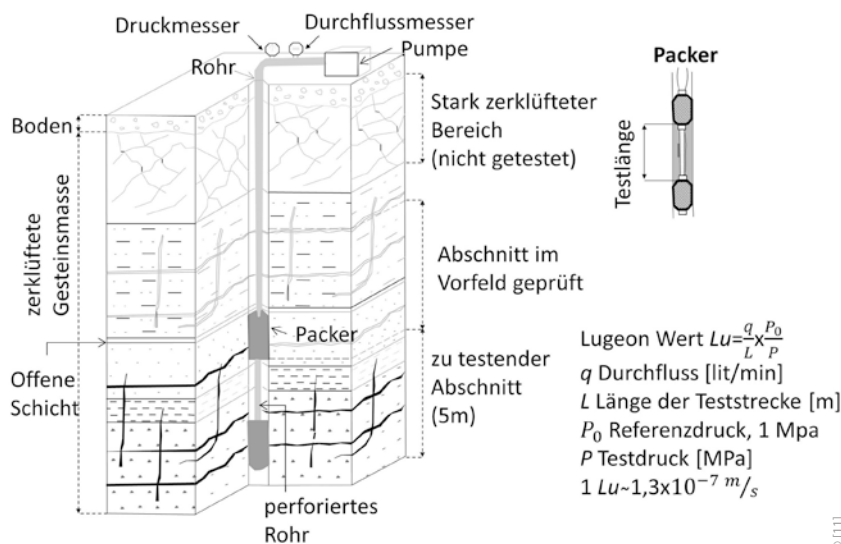
Li et al. [7] führen aus, dass häufig Qualitätsmängel aufgrund mangelnder handwerklicher Ausbildung der Arbeiter wegen niedriger Vergabepreise (46 %), Verletzung geltender Normen und Regeln in Planung und Ausführung (30 %), ungenauer zeichnerischer Darstellungen (8 %), Verwendung ungeeigneter Baumaterialien (8 %), Termin Einhaltung auf Kosten der Qualität (6 %) sowie Unkenntnis dargestellter Anforderungen (2 %) entstehen.

Qualitätssicherung in Planung und Ausführung kann diese Mängel bei neuen Bauten verhindern. Zu diesem Zweck wurde eine Leitlinie zur Qualitätssicherung entwickelt, die auf den Regeln für nachhaltiges Bauen der deutschen Bundesregierung aufbaut, um

von dort zu der ISO-9 000-Normenfamilie und hier besonders der ISO 9 001:2008 zu führen, der Definition der Mindestanforderungen an ein Qualitätsmanagementsystem. Diese vergleicht sie mit dem Qualitätsmanagementsystem der Environmental Protection Agency EPA [8], um auf dieser Grundlage eine Verbesserung des Standards in China zu unterstützen.

## 2 Machbarkeitsevaluierung

Für die geplante Wasserkraftanlage Shichan am Chong An Fluss lag eine Entwurfsplanung vor, an der die erstellten Richtlinien evaluiert wurden. So konnten einerseits die Anwendbarkeit der Richtlinien dokumentiert und Hinweise hinsichtlich des Verbesserungspotenzials der Planung gegeben werden. Die



**Bild 6:** Versuchsanordnung zur Ermittlung der Durchlässigkeit in Lugeon

gewotechnischen Fragestellungen werden im Folgenden ausführlicher dargestellt.

## 2.1 Geologische Rahmenbedingungen

Große Teile Chinas und so auch die Region Qiandongnan in der Provinz Guizhou liegen auf dem Yangtze-Kraton, einer Kontinentalplatte, die in nordwestlicher Richtung den Nord-China-Kraton kontaktiert und dort für die Bildung ausgedehnter Gebirgsregionen verantwortlich ist. Die Provinzhauptstadt Guiyang befindet sich im südlichen Teil des Kratons (im weißen Kreis in **Bild 3b**).

Einem erhöhten Erdbebenrisiko in den Randbereichen steht die tektonische Ruhe der zentralen Regionen gegenüber. Li et al. [9] beschreiben die Genese des Kratons, die 3,45 Mrd. Jahre zurückreicht. Im mittleren Paläozoikum, d. h. vor 500 bis 400 Mio. Jahren, war der westliche Bereich des Kratons von kontinuierlicher Sedimentation charakterisiert. Karbonate in Schichtdicken bis über 10 km deuten auf ein sehr stabiles tektonisches Umfeld hin.

Augenscheinlich wird das hohe geologische Alter der Region durch die weit fortgeschrittenen Erosionsprozesse, die gefördert durch ein subtropisches humides Klima mit Jahresniederschlägen bis zu 2 500 mm der Welt größte und spektakulärste Kegelkarstformationen bilden. Diese sind typisch für die Provinzen Guangxi und Guizhou und prägen das Bild von China international (**Bild 3a**). Der hohe Anteil an Klüften und Spalten im Karst führt zu einer sehr großen Wasserdurchlässigkeit des Untergrunds und stellt eine Herausforderung für die Entwicklung KWK dar.

## 2.2 Geotechnisches Untersuchungsprogramm

### Felsgüteklassifikation

Die Schichten des das mittlere Paläozoikum charakterisierenden Ordoviziums werden in frühes (>477 Mio. Jahre), mittleres (>467 Mio. Jahre) und spätes (>445 Mio. Jahre) untergliedert. **Bild 4** zeigt diese Schichten auf Grundlage der Planung des chinesischen Projektpartners Qiandong Nanzhou Development Investment Group [10].

Die von kambrischen Kalken unterlagerten Schichten bestehen aus lehmigem Dolomit, Schiefer und Kalkstein, gegliedert von ausgeprägten Trennflächen. Die größere Härte und Sprödigkeit von Dolomit gegenüber reinem Kalkstein ( $\text{CaCO}_3$ ) geht auf einen Anteil an Magnesiumcarbonat ( $\text{MgCO}_3$ ) zurück. Er ist nach Fell et al. [11] erosionsresistenter als Kalk und neigt in geringerem Maße zur Ausbildung von Karsterscheinungen. Ein kleiner Anteil von Klüften und Spalten im Tonschiefer erhöht dessen Eignung für die Gründung wasserwirtschaftlicher Anlagen.

Eine ausreichende Erkundung des Untergrunds im Bereich der geplanten Anlage ist für den erfolgreichen Betrieb einer WKA von essentieller Bedeutung, da nur so der Gründungs- und Abdichtungsbedarf im Untergrund ermittelt werden kann. Für die Beurteilung des Untergrunds lagen insgesamt 12 Aufschlüsse vor. Der Aufschluss zk07 ist in Bild 4 schematisch dargestellt. **Bild 5** zeigt für die Bohrung zk01 im Flussbett und zk05 in der näheren Umgebung sowie eine Bohrung

am Hang jeweils einen Meter lange Abschnitte der Bohrkerne. Während für die etwa 185 m lange Bohrung zk01 Abschnitte aus der Mitte der Bohrung dargestellt sind, stammen die Kerne der Bohrung zk05 aus den ersten fünf Metern unter der Flusssohle.

Eine Komponente der Felsgüteklassifikation ist die Rock Quality Designation (RQD), in der pro Meter Bohrkern die Bruchstücke mit Längen größer 5 cm aufaddiert und ins Verhältnis zur Länge des Bohrkernabschnitts gesetzt werden (Bild 5 oben links). Werte größer 50 % beschreiben mittlere, solche größer 75 % gute Qualität. Während die Kerne der Bohrung zk05 kaum 50 % erreichen, sind diejenigen der Bohrung zk01 in den guten, die der Probebohrung in der Böschung in den sehr guten Bereich (größer 90 %) einzuordnen. Dies ist wichtig, da hier die geplante Staumauer in den Hang einbindet. Die RQD ist eine von sechs Komponenten der Felsbewertung (Rock Mass Rating, RMR), die zwar für den Standort durchgeführt wurden, aber hier ohne Darstellung bleiben.

### Wasserdurchlässigkeit

In allen Bohrlöchern wurde die Wasserdurchlässigkeit nach der Methode von Lugeon ermittelt. Hierbei wird das Bohrloch abschnittsweise mit einem Packer verschlossen und in die so entstandene Teststrecke Wasser gepumpt. Aus Durchfluss und Druck wird die Durchlässigkeit in Lugeon (Lu) errechnet, wobei nach Langguth und Voigt ein Lugeon bei einem Bohrloch-

ANZEIGE

Schützzüge

Regenerative Energiegewinnung ist ein Anliegen unserer Zeit.

haacon Schützzüge regulieren die Durchflußmenge des Wassers zuverlässig und wirtschaftlich, bis 100 t Zugkraft und 6 m Höhe.

Neu : Schützzüge mit Not-schliesseigenschaft

— Konzept  
— Projektierung  
— Fertigung

**haacon hebetechnik gmbh**  
Josef-Haamann-Str. 6  
D-97896 Freudenberg/Main  
Tel: + 49 (0) 93 75/84-0  
hebetechnik@haacon.de  
info www.haacon.com

Bei Anfrage bitte Resonanznummer **WAWI2019** angeben

Kompetenz in der Hebeteknik

durchmesser von 75 mm einer Durchlässigkeit von  $1,3 \times 10^{-7}$  m/s entspricht (Bild 6).

RQD und Durchlässigkeit sind in Bild 4 für den Aufschluss zk07 dargestellt, wobei die linke Skala die RQD und die rechte die Durchlässigkeit darstellt. So beträgt die RQD in der Kalkschicht des späten Ordoviziums stets unter 94 %, um im lehmigen Dolomit des mittleren Ordoviziums auf 95 % und im Schiefer desselben Erdzeitalters auf 97 % zu steigen. Umgekehrt verhält es sich mit der Durchlässigkeit, die im Kalk recht hohe Werte um 5 Lu erreicht und im Dolomit auf Werte unter 3 Lu sinkt.

Für Gründung und Abdichtung von Stauanlagen im Karstgebiet sind umfangreiche Maßnahmen der Baugrundverbesserung erforderlich [11]. Dabei ist zwischen Verbesserung der Tragfähigkeit (consolidation grouting) und Abdichtung des Untergrunds (curtain grouting) zu unterscheiden. In beiden Fällen wird unter hohem Druck Betonsuspension in zuvor hergestellte Bohrlöcher eingepresst, wobei für die Verbesserung der Tragfähigkeit Durchmesser von 100 mm und mehr und für die Abdichtung des Untergrunds solche von 30 bis 60 mm gewählt werden.

Während die Verbesserung der Tragfähigkeit auf den Bereich unmittelbar unter dem Bauwerk beschränkt ist, können Dichtschleier erhebliche Ausmaße erreichen, wie Bild 7 im Querschnitt zeigt.

Er erreicht eine Länge von 698 m und ist bis zu 80 m tief, da er in die wenig durchlässige Schieferschicht mit guten RQD-Werten einbinden muss.

Bild 8 zeigt die räumliche Ausdehnung des Dichtschleiers der Lage nach. Danach erstreckt er sich 66 m quer zur Fließrichtung, auf der Nordseite um 244 m, sowie auf der Südseite um 388 m nach Oberstrom. Er dichtet den Bereich zwischen OK Freibord und der gering durchlässigen Schieferschicht des mittleren Ordoviziums ab.

Damit wird ersichtlich, dass die Abdichtung des Untergrunds für Stauanlagen im Karst einen sehr großen Kostenfaktor

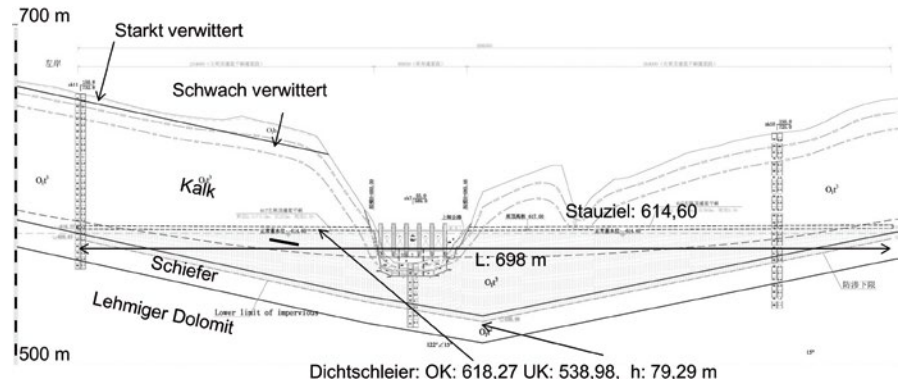


Bild 7: Schnitt des geplanten Dichtschleiers für die Wasserkraftanlage Shichan

darstellt. Eine genaue Erkundung des Baugrundes ist daher für die Ermittlung der zu erwartenden Wirtschaftlichkeit der Anlage von hoher Bedeutung.

### Diskussion

Zusätzliche Bohrungen mit einer Tiefe von 50 bis 60 m sollten im weiteren Verlauf längs der Basis des geplanten Damms (links und rechts von Bohrloch zk07) niedergebracht werden. Diese sollten mit doppelten Kernrohren ausgeführt werden, um zerstörungsfreie Proben zu gewinnen (Bild 5 unten links). Sonst ist kaum zu unterscheiden, ob Bruchstellen im Bohrkern geologischen oder technischen Ursprungs sind. Die Tiefe sollte an die angetroffenen Gesteinseigenschaften angepasst werden. Videobefahrungen der Bohrungen sollten wie bisher auch weiterhin die Bestimmung von Felsgüte und Durchlässigkeit begleiten, um die Richtung der Bruchflächen zu bestimmen.

Mit Refraktionsseismik können zusätzliche Erkenntnisse über die Homogenität des Gesteins zwischen den Bohrlöchern gewonnen werden: Refraktionsseismische Erkundung stützt sich auf seismische Wellen, die den Untergrund durchwandern und an Störungen desselben reflektiert werden. Eine seismische Quelle generiert Kompressionswellen, die ein Seismograph mit Hilfe gleichmäßig verteilter Geophone (12, 24, 48 oder mehr) aufzeichnet. Typische Quellen sind Hammer und Platte für

Tiefen bis 10 m sowie Sprengstoffe, wie Dynamit, für größere Durchdringungstiefen. Refraktionsseismik ist eine quantitative Methode, da mit ihr die Tiefe unterschiedlicher geologischer Schichten sowie die seismischen Geschwindigkeiten innerhalb derselben bestimmt werden. Seismische Verfahren unterstützen die Ansprache geologischer Schichten und die Bestimmung der Gesteinsstabilität. Da die Laufzeit der Wellen eine Funktion der Geschwindigkeit ist, kann die Tiefe eines Refraktors (Störung, Dichteänderung) ermittelt werden.

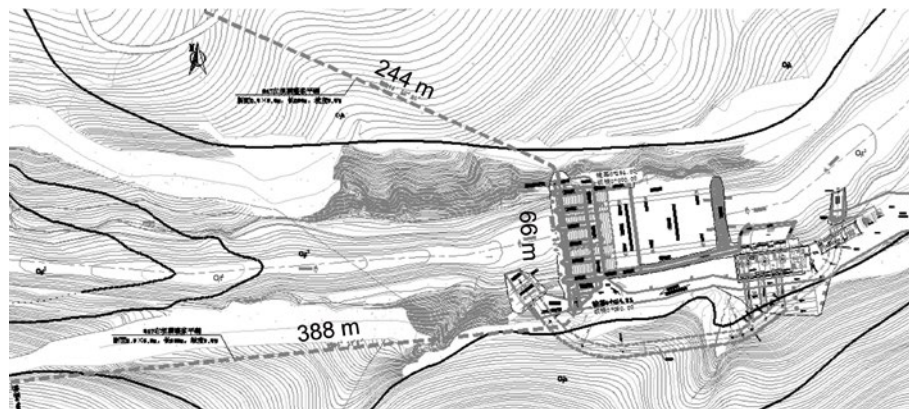


Bild 8: Lageplan des geplanten Dichtschleiers für die Wasserkraftanlage Shichan

### 3 Zusammenfassung

In HAPPI wurden vom Oktober 2013 bis Dezember 2017 Innovationen für die Planung, den Bau und den Betrieb von KWK mit dem Ziel der Erhöhung der Effizienz und Nachhaltigkeit entwickelt. Die GUB AG entwickelte sechs Leitlinien, die die Weiterentwicklung der chinesischen Ingenieurpraxis unterstützen. Beispielhaft wurde die Leitlinie Geotechnische Anforderungen auf die geplante Anlage Shichan am Chong-An-Fluss Shichan angewendet.

Der Beitrag der GUB AG im Bereich Planung fand seinen Niederschlag in den Leitfäden zu Standortfindung, Typendesign und den geotechnischen Anforderungen. In den Bereich Bau sind die Leitlinien zu Arbeitsschutz und Qualitätssicherung einzuordnen, der Betrieb wurde insbesondere in der Leitlinie zu Finanzierungs- und Betreibermodellen abgedeckt. In der Evaluierung der Machbarkeit wurde an einem Fallbeispiel die Anwendbarkeit des Leitfadens geotechnische Anforderungen gezeigt.

Der direkte Austausch mit den chinesischen Partnern bei den Fallbeispielen zeigte, dass das für Planung, Bau und Betrieb erforderliche Wissen zumindest in Grundlagen vorhanden ist, jedoch häufig aufgrund struktureller Mängel im Planungsprozess keine Anwendung findet. Von besonderer Bedeutung ist daher die Weiterentwicklung der zur Qualitätssicherung erforderlichen Managementprozesse.

Auf der Abschlusskonferenz am 12. Oktober 2018 am Institute of Water Resources and Hydropower Research IWHR in Beijing wurde das Projekt in seiner ganzen Breite und engen Vernetzung deutscher und chinesischer Wissenschaftler und Praktiker dargestellt.

Die Internet-Präsenz auf [www.happishp.com](http://www.happishp.com) bietet langfristigen Zugriff auf die im Projekt erarbeiteten Leitlinien.

### Dank

Wir danken dem BMBF für die Förderung des Projekts unter dem Kennzeichen 02WCL1307, dem Fraunhofer IOSB für die kompetente Koordination und den Projektpartnern für die konstruktive Zusammenarbeit.

Martin Gocht, Roger Tynior and Christian Wunderlich

#### Construction and geoenvironmental issues of small hydropower in China

The GUB AG contributed her knowledge in geotechnics and hydraulic engineering to the HAPPI research project for the development of guidelines for design and construction of small hydropower in China. Design phases for stations from one to ten Megawatts installed capacity were reviewed and characterized with respect to an adapted approach and the required planning tools. Six guidelines were developed for plant location, standardized design, geotechnical requirements, occupational safety, quality assurance as well as operator models, supporting future design and construction of small hydropower in China.

### Autoren

#### Dr.-Ing. Martin Gocht

GUB Ingenieurgesellschaft Ndl. Berlin  
Allee der Kosmonauten 33D, 12681 Berlin  
[martin.gocht@gub-ing.de](mailto:martin.gocht@gub-ing.de)

#### Dr.-Ing. Roger Tynior

#### Dr. oec. Christian Wunderlich

GUB Ingenieurgesellschaft Hauptniederlassung Zwickau  
Katharinenstraße 11, 08056 Zwickau  
[roger.tynior@gub-ing.de](mailto:roger.tynior@gub-ing.de)  
[christian.wunderlich@gub-ing.de](mailto:christian.wunderlich@gub-ing.de)

### Literatur

- [1] Merta, M.; Sommer, H.: Hydrologische Modellierung für die Optimierung von Kleinwasserkraftwerkskaskaden. In: *Wasserwirtschaft* 109 (2019), Heft 6, S. 22-28.
- [2] Lictévout, E.; Gocht, M.: Hydrometric network design in hyper-arid areas: example of Atacama Desert (North Chile). In: *Hydrology Research* (2017).
- [3] Gocht, M., Meon, G.: Modelling and assessment of the combined impacts of climatic and demographic change on a multipurpose reservoir system in the Harz mountains. In: *Environ Earth Sci* 75 (2016), S. 1 395.
- [4] European Small Hydropower Association (Hrsg.): *Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant*. 2004.
- [5] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hrsg.): *Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke - Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung*. In: *DWA-Merkblätter* (2014), M 509.
- [6] Träbing, K.; Dickel, S.; Theobald, S.: *Bauwerkshydraulik und Standortoptimierung für Kleinwasserkraftwerke in China*. In: *Wasserwirtschaft* 109 (2019), Heft 6, S. 36-42.
- [7] Li, Y.; Furusaka, S.; Kaneta, T. et al.: *Quality management through construction process in China*. Dept. of Architecture and Architectural Engineering, Kyoto University, 2004.
- [8] US Environmental Protection Agency (Hrsg.): *Guidance on Quality Assurance for Environmental Technology Design, Construction and Operation*. EPA QU/G-11, 2005.
- [9] Li, X. et al.: Has the Yangtze craton lost its root? A comparison between the North China and Yangtze cratons. In: *Tectonophysics* (2015).
- [10] Qiandong Nanzhou Development Investment Group (Hrsg.): *Chong'anjiang Shichang-Wasserkraftprojekt des Landkreises Huangping. Vorläufiger Entwurfsbericht (Erstellung der Machbarkeitsstudie)*, 2016.
- [11] Fell, R. et al.: *Geotechnical Engineering of Dams*. London: Taylor & Francis Group plc, 2005.
- [12] Langguth, H.-R.; Voigt, R.: *Hydrogeologische Methoden*. 2. A. Heidelberg: Springer Verlag, 2004.



#### Hydrologische Modellierung



Nützmann, G.; Moser, H.: *Modellierung hydrologischer Prozesse*. In: *Elemente einer analytischen Hydrologie*. Wiesbaden: Springer Spektrum, 2016.  
[www.springerprofessional.de/link/10363936](http://www.springerprofessional.de/link/10363936)

Vetsch, D. F.; Lutz, N.; Paschmann, C.: *Herausforderungen bei der Kalibrierung und Validierung von hydronumerischen 3-D-Modellen*. In: *Wasserwirtschaft*, Ausgabe 6/2017. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.  
[www.springerprofessional.de/link/12457672](http://www.springerprofessional.de/link/12457672)