Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 105 (2013)
Heft: 3

Artikel: Kleinwasserkraftwerkstudie Kitogota, Tansania
Autor: Rothweiler, David / Arnold, David / Schwab, Robin
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941558

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Kleinwasserkraftwerkstudie Kitogota, Tansania

David Rothweiler, David Arnold, Robin Schwab, Annette Ziller, Robert M. Boes

Zusammenfassung

In einem Entwicklungsland wie Tansania ist der Zugang zu sauberem Trinkwasser und elektrischer Energie keine Selbstverständlichkeit. Trotz grosser nationaler Energiereserven sind viele ländliche Gebiete infolge Infrastrukturdefizite nicht an das öffentliche Stromnetz angeschlossen. Für diese stellen Kleinwasserkraftwerke eine kostengünstige Lösung dar.

Im Rahmen zweier Masterarbeiten der Professur für Wasserbau an der ETH Zürich wurde die Machbarkeit eines Kleinwasserkraftwerkes auf dem Kamachumu-Plateau in der Kagera-Region im Nordwesten des Landes untersucht (Bild 1). Die beiden darin erarbeiteten Konzepte beruhen auf der Analyse von alten Projektunterlagen aus den 1980er-Jahren, neu erstellten hydrologischen Grundlagen, sowie einem vierwöchigen Studienaufenthalt in Tansania.

(1) Das Konzept Kashule stellt ein neu projektiertes Kleinwasserkraftwerk dar. Es weist bei einer Nettofallhöhe von 98.8 m und einer Ausbauwassermenge von 1.5 m^3/s eine Jahresleistung von rund 6.3 GWh auf. Die installierte Leistung von 1.175 MW berechtigt zu einer Einspeisevergütung, wodurch jährliche Einnahmen von ca. 580 000 USD möglich sind.

(2) Beim Konzept Kitogota werden vorhandene Anlagenteile des alten Projekts einbezogen. Die installierte Leistung der vorhandenen Durchströmturbine beträgt 376 kW. Es kann von einer jährlichen Energieproduktion von rund 1.8 GWh und jährlichen Einnahmen von 167 000 USD ausgegangen werden.

1. Einleitung

Im ostafrikanischen Staat Tansania sind gegenwärtig rund 48 Millionen Einwohner aus über 130 Ethnien beheimatet [1]. Gut drei Viertel der Bevölkerung wohnt in ländlichen Gebieten und lebt von der Landwirtschaft [2]. Zum Heizen und Kochen wird mehrheitlich Brennholz und Holzkohle verwendet, da landesweit lediglich 14% der Bevölkerung Zugang zu Elektrizität hat [3]. Mit ca. 85 kWh pro Kopf ist der Stromverbrauch dementsprechend niedrig und beinahe um einen Faktor 100 kleiner als in der Schweiz [4].

Bedingt durch die voranschreitende Elektrifizierung und den Bevölkerungszuwachs von durchschnittlich etwa 3% pro Jahr wird bis 2020 eine Verdoppelung der erforderlichen Spitzenleistung auf rund 2200 MW erwartet [4, 5]. Zur Vermeidung einer Stromlücke sollen in den kommenden Jahren die nationalen Gas- und Kohlereserven gefördert und das Verbundnetz mit den Nachbarländern Sambia und Kenia erweitert werden [3]. Mittel- bis langfristig stehen weitere Investitionen in die Wasserkraft an, deren Potenzial landesweit erst zu ca. 12% genutzt und auf insgesamt rund 4800 MW geschätzt wird [6]. Ergänzend stehen erneuerbare Energiequellen wie Geothermie, Wind- und Solarenergie zur Diskussion.

Dank den künftigen Investitionen in eine moderne Energieinfrastruktur im Landesinneren erhofft sich die tansanische Regierung eine Verbesserung der Lebensqualität und der Wirtschaftsleistung. Hierbei setzt sie einerseits auf die Unterstützung internationaler Organisationen, wie z.B. die Weltbankgruppe oder die Afrikanische Entwicklungsbank (AfDB). Andererseits sollen mit der Liberalisierung des Strommarktes vermehrt Public Private Partnerships (PPPs), sowie private Investoren (IPPs) zum Zuge kommen [7, 8].

Aufgrund der Weitläufigkeit des Landes und den schlechten Strassenverhältnissen lässt sich die Modernisierung und Erweiterung des öffentlichen Stromnetzes jedoch nur schleppend umsetzen, bzw. ist mit hohen Kosten verbunden. Daher bieten sich für abgelegene Gebiete grundsätzlich Kleinwasserkraftwerke im Inselbetrieb an. Diese haben sich seit der Kolonialzeit zur Energieversorgung religiöser Zentren bewährt und haben den Vorteil, dass die Anschlusskosten an das öffentliche Stromnetz entfallen und fossile Brennstoffe eingespart werden können [9]. Als Anreiz für zukünftige Investoren hat die Regierung eine Einspeisevergütung für Kleinkraftwerke mit einer Leistung von 100 kW–10 MW und eine Abnahmegarantie über eine Zeitspanne von 15 Jahren beschlossen. Die Einspeisevergütung orientiert sich hierbei an den Gestehungskos-

Bild 1. Wasserfall Kitogota am Rande des Kamachumu-Plateaus.

ten des staatlichen Elektrizitätsunternehmens, es handelt sich also nicht um einen subventionierten Tarif [10].

Landesweit wurden in mehreren Studien des staatlichen Energieunternehmens TANESCO bereits über 85 mögliche Standorte für Kleinwasserkraftwerke mit einer Leistung von insgesamt rund 187 MW nachgewiesen [11].

2. Ausgangslage

2.1 Standort

Der in dieser Studie betrachtete Standort für ein potenzielles Kleinwasserkraftwerk befindet sich in der Region Kagera im Nordwesten des Landes. Die Region liegt unmittelbar südlich des Äquators und grenzt an die Länder Uganda im Norden und Ruanda und Burundi im Westen.

Von energetischem Interesse ist insbesondere das mittlere Einzugsgebiet des Flusses Kamwana auf dem Kamachumu-Plateau im Bezirk Muleba am Westufer des Viktoriasees (siehe *Bild 2*). Das Plateau liegt zwischen 1300–1600 m ü. M. und überragt das umliegende Gelände mit den Flüssen Muleleizi und Ngono um rund 300 m. Der mittlere Jahresniederschlag auf dem Plateau beträgt rund 1200–1300 mm und verteilt sich primär auf eine grosse Regenzeit von März bis Mai und eine kleine von Oktober bis Dezember. Insgesamt leben auf dem 280 km^2 umfassenden Plateau rund 97 000 Menschen [12]. Das Pro-Kopf-Einkommen liegt zwischen 60–90 CHF/Jahr, womit dieses Gebiet zu einem der ärmsten des Landes gehört [13]. Die typischen Häuser haben weder einen Wasser- noch einen Stromanschluss und sind aus einfachen Lehmziegeln und einem Wellblechdach aufgebaut. Als Nahrungsquelle dienen der Bevölkerung hauptsächlich eigens angepflanzte Kochbananen, Bohnen, Maniok und Mais.

2.2 Chronologie

Ein wichtiger Anlaufpunkt für die lokale Bevölkerung ist das Bezirksspital und die katholische Kirche in Rubya. Bis Anfangs der 1990er-Jahre wurden diese Bauwerke durch ein gemeinsames Dieselaggregat mit elektrischer Energie versorgt. Der Grenzkonflikt mit Uganda in den Jahren 1978–1979 und die darauffolgende Ölkrise im Jahre 1980 haben jedoch immer wieder zu Versorgungsengpässen und schliesslich zu einem Umdenken geführt [14]. Darauffolgend wurden alternativ zu den Kraftstoffen aus dem Ausland mehrere Wasserkraftprojekte in der Umgebung geprüft. Nach dem Jahre 1985 kam im Auftrag des niederländischen Ministeriums für Entwicklungszusammenarbeit gar ein Kleinwasserwerk-Projekt (376 kW) in die Ausführungsphase [15]. Die geplanten elektrischen Installationen des Spitals wurden vollendet – zur Fertigstellung des Kraftwerkes kam es jedoch nie. Gemäss den verfügbaren Informationen traten bei der Erstellung eines Staudammes Terminprobleme und schwierige Baugrundverhältnisse zu Tage, worauf die Geldgeber nicht mehr bereit waren, die anfallenden Mehrkosten zu tragen. Des Weiteren hatte sich im Verlaufe der Zeit die politische Lage derart stabilisiert, dass die betroffenen Institutionen den Strom kostengünstig über neu errichtete Zuleitungen aus Uganda beziehen konnten.

Seit nun schon über zwei Jahrzehnten lagert eine für das Kleinwasserkraftwerk extra aus Europa importierte Durchströmturbine mit Generator samt Zubehör ungenutzt in Holzkisten auf dem Spitalgelände in Rubya. Dieser Umstand hat den diplomierten Schweizer Betriebs- und Produktionsingenieur Robin Schwab dazu bewogen, ein neues Projekt ins Leben zu rufen. Er und seine Ehefrau Corin Schwab, eine diplomierte Umweltnaturwissenschafterin, leisten in der Region Kagera einen mehrjährigen Entwicklungseinsatz für die Schweizer Organisation Interteam und unterstützen so die lokale Bevölkerung mit ihrem Fachwissen, indem zum Beispiel Robin Schwab in der Firma KAMTES für die Wartung und Inbetriebnahme von medizinischen Geräten in Spitälern der Kagera-Region zuständig ist.

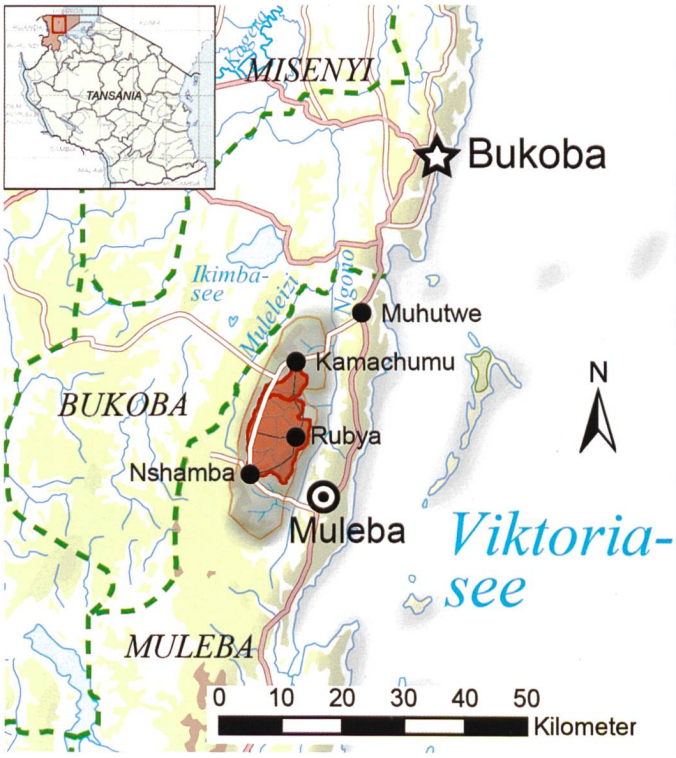

Bild 2. Einzugsgebiet des Flusses Kamwana auf dem Kamachumu-Plateau.

2.3 Zielsetzung

In Zusammenarbeit mit der Professur für Wasserbau, ETH Zürich, entstand die Idee, im Rahmen von zwei Masterarbeiten die Machbarkeit eines Kleinwasserkraftwerkes in dieser Region auf heutiger Basis zu prüfen. Das neu lancierte Kleinwasserkraftwerkprojekt hat zum Ziel, das Wasserkraftpotenzial des Flusses Kamwana möglichst wirtschaftlich zu nutzen. Im Rahmen der Studie sollen daher mehrere Standorte für Wasserfassungen und Zentralen geprüft und in einer Wirtschaftlichkeitsanalyse gegenübergestellt werden. Hierbei sind die ökologischen Anforderungen und die gesellschaftliche und politische Akzeptanz zu berücksichtigen.

3. Vorgehensweise

3.1 Grundlagenstudium

Als erster Schritt stand die Grundlagenbeschaffung an, welche sich bei diesem Projekt als schwierig herausstellte. Die seinerzeit für die Realisierung des Kleinwasserkraftwerkes verantwortliche Entwicklungshilfeorganisation wurde inzwischen aufgelöst und auch der damalige Projektleiter aus den Niederlanden war unauffindbar. Glücklicherweise konnte aber das holländische Unternehmen eruiert werden, welches Ende der 1980er-Jahre die Erneuerungen der elektrischen Installationen in Rubya erfolgreich abschloss. Diverse in der Firma archivierte Projektunterlagen wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt, welche nach dem Eintreffen in der Schweiz für die einfachere Weiterbearbeitung teilweise digitalisiert wurden.

Vom Projektgebiet existieren weiter topographische Karten im Massstab 1:50 000 aus dem Jahre 1989. Mit Hilfe der Karten konnten im Vorfeld erste geeignete Standorte für ein Kleinwasserkraftwerk evaluiert werden.

Zur Ermittlung der einzelnen oberirdischen Einzugsgebietsflächen wurde anstelle eines Planimeters auf das Geoinformationssystem ArcGIS 10 zurückgegriffen. Die Flächen wurden anhand zweier Verfahren ermittelt. Beim ersten Verfahren wurde auf Basis der Höheninformationen aus den Karten ein digitales Höhenmodell (DHM) erstellt und anhand der Hangneigungen und dem Lauf der Gewässer die jeweiligen Einzugsgebietsgrenzen berechnet. Um das zeitintensive Digitalisieren und Attribuieren der Höhenkurven zu umgehen, wurde bei der zweiten Methode ein satellitenbasiertes Höhenmodell aus den USA und Japan als Datengrundlage verwendet. Dieses wird aus Stereobildern des ASTER-Sensors des Satelliten Terra generiert und kann aktuell mit einer maximalen Auflösung von einer Bogensekunde (ca. 30.8×30.8 m) bei verschiedenen Datenportalen kostenlos bezogen werden [16]. Die ermittelten Einzugsgebiete lagen je nach Standort zwischen 104 und 118 km^2, wobei die relativen Abweichungen der Methoden unter 1% betrugen.

Wie bei vielen Wasserkraftprojekten üblich, lagen für den betroffenen Flussabschnitt keine langfristigen Abflussdaten vor. Aus diesem Grunde wurde eine Abflussganglinie und Dauerkurve des Flusses Kamwana basierend auf unterschiedlichen Grundlagen hergeleitet. Für eine erste Abschätzung konnten die zehn Jahre umfassenden Pegelmessdaten des nahegelegenen Flusses Ngono aus den 1980er-Jahren unter Berücksichtigung der Einzugsgebietsflächen verwendet werden. Leider war es nicht möglich, an aktuellere Daten der Station zu kommen.

Bei einem weiteren hydrologischen Modell wurden Niederschlagsdaten von Satelliten und Bodenstationen einbezogen [vgl. 17, 18, 19]. Der Abfluss wurde hierbei aus der allgemeinen Wasserhaushaltsgleichung vereinfachend nur über den Niederschlag abzüglich der Evapotranspiration berechnet. Da in der Region keine Lysimeter-Messungen bekannt sind, wurde u.a. auf Basis der vier Landoberflächenmodelle CLM, Mosaic, NOAH und VIC des Global Land Data Assimilation Systems (GLDAS) der NASA die Evapotranspiration bestimmt [20]. Zu beachten ist, dass neben der zeitlichen und räumlichen Auflösung der Niederschlagsdaten insbesondere die Ermittlung der Evapotranspiration mit Unsicherheiten verbunden ist, da diese von mehreren Faktoren wie Temperatur, Luft- und Bodenfeuchtigkeit, Wind, Topographie, Sonneneinstrahlung und Bodenbedeckung abhängig ist.

Bild 3. Neu errichtete Abflussmessstation am Fluss Kamwana.

Bild 4. Referenzstation im oberen Teil des Projektgebietes.

Weil das Wasserdargebot neben der Fallhöhe und dem Wirkungsgrad der Turbine einen entscheidenden Einfluss auf die Energieproduktion und somit die Wirtschaftlichkeit der Anlage hat, wurde beschlossen, eine eigene Pegelmessstation am Fluss Kamwana zu errichten. Die Station ist mit einer Druckmesssonde ausgestattet und wurde Ende Januar dieses Jahres in Betrieb genommen *(Bild 3)*. Die Umrechnung der gemessenen Drücke auf den Abfluss erfolgt über eine Pegelrelation, welche mit Hilfe der Verdünnungsmethode mit Salz bei unterschiedlichen Pegelständen erstellt wird.

3.2 Studienaufenthalt

Anfangs November 2012 stand für die beiden Erstautoren zur Ergänzung der Grundlagen und Überprüfung der Modelle ein eindrücklicher vierwöchiger Studienaufenthalt mit Hauptunterkunft in Bukoba auf dem Programm, wo sie von der Familie Schwab herzlichst in Bukoba empfangen wurden. Zur Durchführung diverser Untersuchungen vor Ort wurden entsprechende Messinstrumente aus der Schweiz mitgebracht.

In der ersten Woche konnten aufgrund von Zeitverzögerungen bei der Arbeitsbewilligung noch keine Messarbeiten durchgeführt werden. Daher standen zunächst eine Begehung des Projektgebietes und das Kennenlernen der Umgebung und Bevölkerung im Vordergrund. Weiter wurden die verschiedenen Komponenten des vorangehenden Kleinwasserkraftwerkprojektes inspiziert und eine Inventarliste erstellt.

In der zweiten Woche wurde dank der Unterstützung des Bischofs die Arbeitsbewilligung erteilt, so dass nach Information der umliegenden Gemeindepräsidenten mit den Messarbeiten begonnen werden konnte. Mit Hilfe von Satellitenaufnahmen und eines tragbaren differentiellen GPS-Systems (DGPS) wurde das mehrheitlich offene und teils felsige Terrain erfasst (vgl. *Bild 4*). Diese Arbeiten blieben nicht lange unbemerkt. Die Bevölkerung, besonders die Kinder, erfreuten sich an den zwei Wazungu (Weissen), welche mit dem GPS-Empfänger im Gelände herumliefen. Als Auskunftsstelle für die Bevölkerung wurde daher eine lokale Person engagiert, welche daneben die Messausrüstung bewachte. Des Weiteren wurden die Tätigkeiten durch einen Lehrling von KAMTES unterstützt.

In intensiven Messtätigkeiten wurden insgesamt über 2000 Geländepunkte aufgenommen. Für spätere Vermessungsarbeiten wurde zudem am Ende des Aufenthaltes ein einfaches Fixpunktnetz mit im Fels verankerten Messingbolzen aufgebaut.

Neben den Vermessungsarbeiten wurden an einzelnen Tagen auch Abflussmessungen durchgeführt. Aufgrund der starken Variation der Gerinnegeometrie und den damit verbundenen hochturbulenten Strömungen wurde dabei die Salzverdünnungsmethode zur Durchflussermittlung gewählt (siehe *Bild 5*). Die Werte lagen für den Fluss Kamwana zwischen 0.8 und 1.3 m^3/s, wobei der auf Grundlage der oben genannten hydrologischen Daten geschätzte mittlere jährliche Abfluss etwa 1.4 m^3/s beträgt.

4. Vorgeschlagene Konzepte

Mit den aus dem Studienaufenthalt gewonnen geodätischen sowie hydrologischen Daten konnten zwei unterschiedliche Kraftwerkskonzepte erarbeitet werden. Diese Konzepte betrachten separate

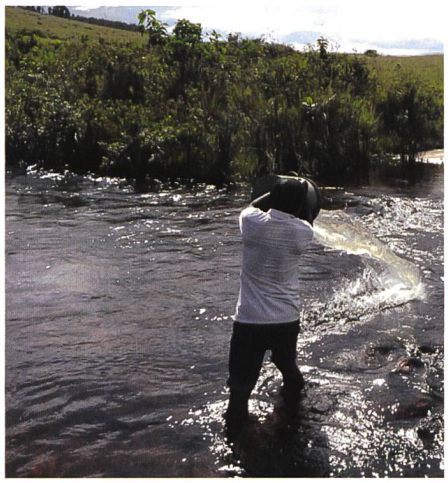

Bild 5. Einspeisung von Salz zur Abflussbestimmung im oberen Teil des Projektgebietes.

Flussabschnitte des Flusses Kamwana und sind somit prinzipiell voneinander unabhängig *(Bild 6)*. Beiden Projekte ist gemeinsam, dass die gewünschte Wassermenge bei einer Sperre kontrolliert in einen Oberwasserkanal ausgeleitet und über eine Druckleitung der Turbine zugeführt wird.

(1) Beim Konzept Kashule, im oberen Teil des Projektgebietes, wird der durch einen Canyon hervorgerufene Höhenunterschied genutzt. Dieser Canyon ist mit einer Breite von ca. 5 m an der engsten Stelle und einer geschätzten Tiefe von 30 m für Menschen nur erschwert zugänglich *(Bild 7)*. Da die Bruttofallhöhe von rund 100 m über der Leistungsgrenze der vorhandenen Turbine liegt, wird eine neue Turbine mit einer grösseren Ausbauwassermenge vorgeschlagen.

(2) Beim Konzept Kitogota wird die Höhendifferenz des gleichnamigen Wasserfalls weiter flussabwärts ausgenutzt. Das Konzept widerspiegelt grundsätzlich das bereits Mitte der 1980er-Jahre projektierte Kleinwasserkraftwerk. Das vorhandene technische Material kann dabei je nach Funktionstüchtigkeit wiederverwendet, bzw. muss teilweise ersetzt werden.

In einem Variantenstudium wurden die Konzepte weitgehend optimiert.

4.1 Konzept Kashule

Beim Projekt Kashule wird das Wasser bei der sog. Kafunda-Brücke gefasst und zum Krafthaus in der Nähe einer Strassenbrücke geleitet. Dadurch wird das komplette Gefälle des Canyons für die Stromerzeugung ausgenutzt. Das Triebwasser wird dabei an der orographisch rechten Flanke über einen 1510 m langen Freispiegelkanal und eine 1000 m lange Druckleitung zur Turbine und von dort in das Unterwasser des Kamwana-River geleitet. In der Nähe des Krafthauses befindet sich eine 33-kV-Stromleitung, welche die Einspeisung und Verteilung des Stromes zu den Nutzern gewährleistet.

Die Wasserfassung wird mit einem 7.4 m hohen Schüttdamm mit Dichtungskern konzipiert. Das Dammvolumen beträgt 8100 m^3, die Speicherkapazität rund 60 000 m^3. Im Stauraum befinden sich keine Häuser. Die Hochwasserentlastung wird durch einen Entlastungskanal auf der östlichen Flussseite gebildet. Sie wird direkt in den angrenzenden Fels gegründet und mittels Injektionen abgedichtet und versiegelt. Die im Staubereich liegende Kafunda-Brücke wird durch eine befahrbare Dammkrone ersetzt.

Das Wasser aus dem Staubereich wird mittels einer Fassung in den Triebwasserkanal geleitet. Ein Sandfang ist nicht erforderlich, da einerseits der Stauraum als Sandfang dient und andererseits das Wasser sedimentarm ist. Zur Begrenzung der Stauraumverlandung wird ein Tiefauslass für regelmässige Spülungen vorgesehen. Der Kanal wird abschnittsweise im Lockergestein bzw. im Fels fundiert, so dass Sprengarbeiten erforderlich werden. Anders als in westlichen Ländern ist in Tansania nicht die Arbeit der treibende Kostenfaktor, sondern die Materialbeschaffung. Daher werden möglichst lokale Materialien verwendet. Dadurch können die Kosten tief gehalten und der lokalen Bevölkerung Arbeit geboten werden.

Für die Druckleitung wurden verschiedene Varianten untersucht, wobei sich als kostengünstigste Lösung eine GFK-Druckleitung DN 1000 erwiesen hat. Die Erdverlegung garantiert nicht nur eine längere Lebensdauer aufgrund kleinerer Temperaturunterschiede und der Vermeidung von UV-Strahlen, sondern auch Schutz vor Vandalismus und gravitativen Naturgefahren.

Die Zentrale wird als Freiluftkrafthaus gestaltet. Als Turbine wird eine Durchströmturbine verwendet. Durch ihren geringen Wartungsbedarf eignet sie sich optimal für Entwicklungsländer wie Tansania, zudem weist dieser Turbinentyp eine geringe Anfälligkeit gegen Schwimmstoffe sowie hohe Teillastwirkungsgrade auf.

Einzugsgebietsfläche	109 km^2
Ausbauwassermenge	1.5 m^3/s
Nettofallhöhe	98.8 m
installierte Leistung	1.175 MW
Anlagekosten	4.8 Mio. USD
mittlere Jahresproduktion	6.3 GWh
jährliche Einnahmen	580 000 USD

Tabelle 1. Kenndaten Projekt Kashule.

4.2 Konzept Kitogota

Das Gebiet Kitogota ist dank dem Vorgängerprojekt bereits gut über Baupisten erschlossen (vgl. *Bild 8*). Aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse und der Überströmbarkeit ist hier anstelle eines Dam-

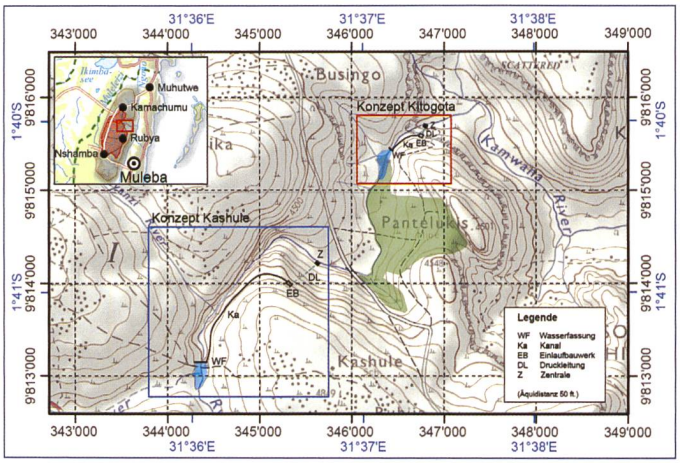

Bild 6. Projektgebiet mit den beiden optimierten Kleinwasserkraftwerks-Konzepten.

Bild 7. Kaonjuba-Canyon im oberen Teil des Projektgebietes.

mes eine Gewichtsstaumauer mit einem 18 m breiten Überfall und nachfolgendem Tosbecken geplant. Die Höhe der Sperre wird mit 5.5 m über GOK veranschlagt, womit ein Tagespeicher mit einem Nutzvolumen von rund 50 000 m^3 geschaffen würde. Vor dem Betonieren der Mauer sind grundsätzlich die bis zu 1.5 m starke Lockergesteinsschicht sowie der darunter liegende verwitterte Fels abzutragen. Ein Injektionsschirm entlang der Sperrenachse soll die Unterströmung und den Auftrieb verringern.

Für die Fundationsarbeiten eigenen sich die niederschlagsarmen Monate zwischen Juli und September, um die Kapazität der Bauumleitung zu limitieren. Es ist jedoch wichtig, dass der Pegel weiter flussaufwärts stets überwacht wird, um in einer kritischen Bauphase die Geräte und Personen rechtzeitig in Sicherheit bringen zu können. Dazu ist zwingend ein Notfallkonzept zu erarbeiten.

Als Wasserfassung ist eine Seitenentnahme mit Absperrschieber an der orographisch rechten Seite der Sperre vorgesehen. Die Einlaufkote der Fassung liegt etwa 1.3 m über dem natürlichen Flusslauf, um den Eintrag von Feinmaterial in die Fassung zu minimieren. Anschliessend fliesst das Triebwasser in den rund 390 m langen Oberwasserkanal mit einem mittleren Gefälle von 0.1%. An dessen Beginn ist ein seitlicher Überfall eingeplant, welcher ein Überströmen des Kanals infolge Fehlregulierung des Einlaufschiebers verhindern soll. Eine hangaufwärts parallel zum Kanal angeordnete Sammelrinne mit einzelnen Durchlässen dient zudem der Reduktion des Strömungsdruckes auf die Kanalwände infolge Hangwasser.

Der Oberwasserkanal endet in der Nähe des Wasserfalls Kitogota in einem Ausgleichsbecken mit Überlauf und Grundablass. Das Becken wird vor Beginn der Druckleitung leicht abgesenkt und mit einem Rechen versehen, um genügend Überdeckungshöhe zur Vermeidung von Lufteintrag in die Druckleitung zu gewährleisten und Schwimmstoffe abzuhalten.

Vom Vorgängerprojekt existiert noch das leicht beschädigte Einlaufrohr, welches als Mahnmal im Gelände liegt (siehe *Bild 9*). Die ehemalige Stahldruckleitung DN 1100 lagert angeblich seit einem gescheiterten Diebstahlversuch auf dem Polizeiposten in Muleba. Sofern sie sich mit ihrer Wandstärke von 11 mm weiter verwenden lässt, könnten die Investitionskosten deutlich gesenkt werden. Aufgrund des felsigen Untergrundes soll die rund 103 m lange Druckleitung mit einer Nettofallhöhe von 35 m oberirdisch verlegt werden.

In der Freiluftzentrale soll die vorhandene Durchströmturbine der Firma Ossberger eingebaut werden. Die Turbine wurde 1989 produziert und weist eine Ausbauwassermenge von 1.37 m^3/s auf. Dank dem zweizelligen Laufrad (mit 1/3- zu 2/3-Aufteilung) kann auch bei Teillast ein hoher Wirkungsgrad erzielt werden.

Gekoppelt an die Turbine folgt ein Schwungrad und ein Getriebe, welches mit dem Synchrongenerator verbunden ist. Die elektrische Energie wird anschliessend über ein kurzes Erdkabel in das vorhandene Netz eingespeist. Die Leistung kann hierbei über die Erregung und den hydraulischen Drehzahlregler mit einem Schieber und der Beaufschlagung des Laufrades beeinflusst werden. Über das Saugrohr unterhalb der Turbine kann der Fallhöhenverlust bei der Ausleitung des turbinierten Wassers in den Unterwasserkanal auf rund 0.6 m begrenzt werden.

Einzugsgebietsfläche	117 km^2
Ausbauwassermenge	1.37 m^3/s
Nettofallhöhe	35 m
installierte Leistung	376 kW
Anlagekosten	1.2 Mio. USD
mittlere Jahresproduktion	1.8 GWh
jährliche Einnahmen	167 000 USD

Tabelle 2. Kenndaten Projekt Kitogota.

5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Beide ausgearbeiteten Konzepte erweisen sich auf Grundlage einer groben Wirtschaftlichkeitsrechnung als vielversprechend. Ob sich die Konzepte tatsächlich wirtschaftlich realisieren lassen, hängt jedoch stark von juristischen und steuertechnischen Fragen ab, die im Rahmen dieser Arbeiten nicht beantwortet werden konnten. So sind in Tansania Kirchen und der Staat von der Körperschaftssteuer befreit, Private bezahlen je 30% auf Einnahmen und Dividenden [21]. Zusätzlich erhalten Kirchen oder staatliche Firmen kostenlos Wasserrechte und Land, während Private dafür zahlen müssen. Daher bieten sich Finanzierungsmodelle an, in denen eine Kirche oder der Staat (Mehrheits-)Eigentümer der Anlage sind. Zudem vergibt die Weltbank via Rural Energy Agency (REA) Kredite zu vergünstigten Konditionen, doch werden viele Bedingungen gestellt, die wiederum die Projektkosten erhöhen [22]. All dies muss bei einer

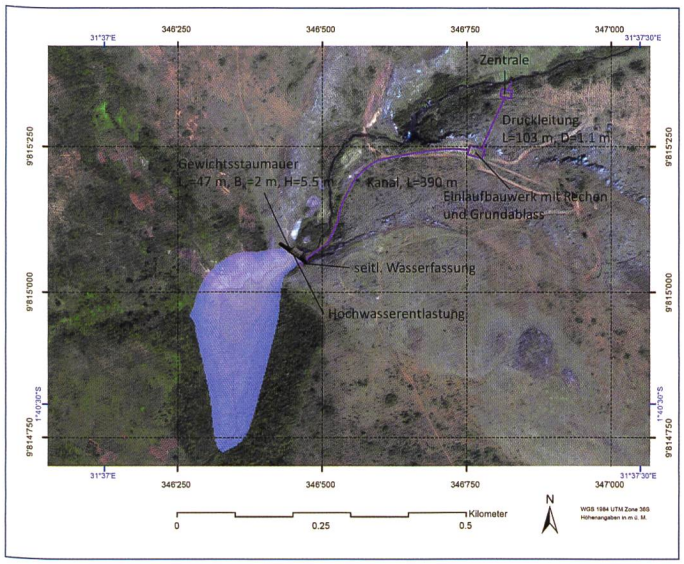

Bild 8. Übersichtsplan des geplanten Kleinwasserkraftwerkes im Gebiet Kitogota unter Verwendung der vorhandenen Bau- und Anlagenteile.

Bild 9. Einlaufrohr des Vorgängerprojektes.

definitiven Wirtschaftlichkeitsrechnung berücksichtigt werden.

Technisch bestehen nicht allzu grosse Unterschiede zwischen den Konzepten, jedoch ist die Motivation verschieden. Beim Konzept Kashule wird durch eine grössere Fallhöhe und eine Erhöhung der Ausbauwassermenge die jährliche Energieproduktion gegenüber dem Vorgängerprojekt um mehr als das Dreifache gesteigert. Sofern die Energie vollständig in das bestehende Übertragungsnetz gespeist werden kann, ist das Projekt trotz höherer Investitionskosten insgesamt wirtschaftlicher. Mit einem entsprechenden Investor könnte dieses Kleinwasserkraftwerk erfolgreich umgesetzt werden. Es wäre von Vorteil, wenn es sich dabei um einen lokalen Investor handelte. Damit könnten viele Probleme umgangen werden und auch die Akzeptanz unter der Bevölkerung wäre sicherlich um einiges grösser.

Beim Konzept Kitogota wird beabsichtigt, das abgebrochene Vorgängerprojekt in leicht modifizierter Form doch noch erfolgreich abzuschliessen. Unter Verwendung der vorhandenen Bau- und Anlagenteile würden so lange Transportwege vermieden. Zwar fällt der Ertrag bei diesem Projekt im Vergleich geringer aus, dafür ist die Investitionssumme kleiner und die Bauzeit kürzer. Zudem wird bei einem Kleinwasserkraftwerk unter 1 MW Leistung keine Stromerzeugungs-Lizenz benötigt und so das Realisierungsrisiko weiter reduziert. Wichtig ist bei diesem Projekt, dass baldmöglichst die genauen Rechtsansprüche der vorhandenen Bau- und Anlagenteile abgeklärt werden. Weiter sind sowohl eine fachliche Inspektion und allfällige Instandsetzung der vorhandenen Bauteile als auch vertiefte Baugrundabklärungen vorrangig.

Als nächster Schritt gilt es, mit der neu erstellten Messstation den Abfluss des Flusses Kamwana genauer zu bestimmen. Zudem sind Investoren zu finden, die nicht auf eine Gewinnmaximierung fixiert sind, sondern Interesse an einer nachhaltigen Unterstützung der lokalen Bevölkerung haben. Ausserdem müssen die Land- und Wasserrechte erworben werden. In einem Land wie Tansania können sich solche administrative Tätigkeiten erfahrungsgemäss sehr lange hinziehen. Ein Kleinwasserkraftwerk in der Kagera-Region würde nach Überzeugung der Autoren für alle Beteiligten nutzbringend sein. Es ist daher zu hoffen, dass eines der vorgeschlagenen Konzepte in den nächsten Jahren umgesetzt wird.

Verdankung

Die Autoren bedanken sich bei der Erich Degen-Stiftung der ETH Zürich für die Unterstützung an den Reisekosten der beiden Erstautoren. Weiter wird der Firma ETW Breda, (NL), für die Zusendung von früheren Projektunterlagen gedankt. Schliesslich geht unser Dank an das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP), das Institut für Umweltingenieurwissenschaften (IfU) und das Institut für Geotechnik (IGT) der ETH Zürich für die Zurverfügungstellung von Vermessungsinstrumenten bzw. Messgeräten zur Abflussbestimmung und Bodenbeprobung.

Literatur

[1] *CIA* (2013): The World Factbook, Central Intelligence Agency, https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/tz.html, Zugriffsdatum: 30.3.2013.

[2] *URT* (2012): The Tanzania Five Year Development Plan (2011/12–2015/16), United Republic of Tanzania, Dar es Salaam.

[3] *REPOA* (2010): The Tanzanian Energy Sector – The Potential of Job Creation and Productivity Gains Through Expanded Electrification, Special Paper 10/3, Research on Poverty Alleviation, Dar es Salaam.

[4] *Weltbank* (2010): World Development Indicators (WDI) – Tanzania, Weltbank, http://data.worldbank.org/country/tanzania, Zugriffsdatum: 30.3.2013.

[5] *ADF* (2010): Project: Iringa-Shinyanga Transmission Line Project – Tanzania, African Development Fund.

[6] *UNESCO Natcom* (2012): Tanzania & UNESCO – 9th Edition – 2012/2013 Annual Report, UNESCO National Commission of the United Republic of Tanzania and Editions Afrique Océanie.

[7] *MEM* (2003): The National Energy Policy, Ministry of Energy and Minerals, Dar es Salaam.

[8] *TANESCO* (2012): Projects, Tanzania Electric Supply Company Limited, http://www.tanesco.co.tz > Projects, Zugriffsdatum: 30.3.2013.

[9] *NBCBN-RE* (2004): Small Scale Hydropower For Rural Development, Nile Basin Capacity Building Network for River Engineering, Nile Basin.

[10] *EWURA* (2011): Guidelines for Development of Small Power Projects, Energy and Water Utilities Regulatory Authority, Dar es Salaam.

[11] *GTZ* (2009): Target Market Analysis – Tanzania's Small-Hydro Energy Market, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Berlin.

[12] *NBS* (2002): Tanzania: shapefiles for EAs, villages, districts and regions, OpenMicroData, http://openmicrodata.wordpress.com/2010/12/16/tanzania-shapefiles-for-eas-villages-districts-and-regions, Zugriffsdatum: 30.3.2013.

[13] *URT* (2002): Wilaya ya Muleba (Bezirk Muleba), The United Republic of Tanzania (URT) – Regional Commissioner's Office Kagera, http://www.kagera.go.tz > Muleba, Zugriffsdatum: 30.3.2013.

[14] *Ndulu B. J., O'Connell S., Azam J.-P., Bates R. H., Fosu A. K., Gunning J. W. & Njinkeu D.* (2008): The political economy of economic growth in Africa, 1960–2000, Cambridge University Press, Cambridge.

[15] *Masawe C. L. M.* (1985): Mini Hydroelectric Power Plant for Rubya Hospital and Area, Tanesco Planning, Dar es Salaam.

[16] *NASA* (2012): ASTER – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, NASA – Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, http://asterweb.jpl.nasa.gov, Zugriffsdatum: 30.3.2013.

[17] E.D.I. (2010): *KHDS* – Kahera Health and Development Survey 2, Economic Development Initiatives, Weltbank, http://www.edi-africa.com/research/khds/introduction.htm > Rainfall data 1980–2004, Zugriffsdatum: 30.3.2013.

[18] *HSM* (2011): SIEREM – Système d'Informations Environnementales sur les Ressources en Eau et leur Modélisation, Laboratoire Hydro-Sciences Montpellier (HSM), http://www.hydrosciences.fr/sierem, Zugriffsdatum: 30.3.2013.

[19] *NASA* (2012): Giovanni – Interactive Visualization and Analysis, NASA Goddard Earth Sciences (GES) Data and Information Services Center (DISC), http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni, Zugriffsdatum: 30.3.2013.

[20] *NASA* (2012): Documentation – Land Surface Models, NASA Goddard Earth Sciences (GES) Data and Information Services Center (DISC), http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/hydrology/documentation, Zugriffsdatum: 30.3.2013.

[21] *GoT* (2006): Income Tax Act, Government of Tanzania, Dar es Salaam.

[22] *MEM, TIB, REA & BOT* (2010): Operating Guidelines for Credit Line of Tanzania Energy Development and Access Project (TEDAP), Ministry of Energy and Minerals, Tanzania Investment Bank, Rual Energy Agency & Bank of Tanzania, Dar es Salaam.

Anschrift der Verfasser

David Rothweiler,
david.rothweiler@alumni.ethz.ch
David Arnold, david.arnold@alumni.ethz.ch
Robin Schwab, contact@robinschwab.ch
Annette Ziller, ziller@vaw.baug.ethz.ch
Prof. Dr. *Robert M. Boes*,
boes@vaw.baug.ethz.ch
Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich,
CH-8092 Zürich