Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 107 (2016)
Heft: 2

Artikel: Überflutbare Flusskraftwerke
Autor: Ringler, Andreas
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857093

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: 04.07.2025

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

Überflutbare Flusskraftwerke

Technik, Geschichte und Praxisbeispiele

Beim Bau von Wasserkraftwerken an Flüssen sind vielfältige Aspekte zu berücksichtigen. Neben den heute oft prioritären Gesichtspunkten wie Natur- und Fischschutz können abhängig vom Standort auch gestalterische oder platztechnische Gesichtspunkte einen entscheidenden Stellenwert einnehmen. Eine besondere Form der Anordnung bilden dabei überflutbare Kraftwerke, bei denen wesentliche Anlagenteile unter der Wasseroberfläche angeordnet sind.

Andreas Ringler

Wenn überflutbare Kraftwerke heute mitunter als Besonderheit dargestellt werden, wird vergessen, dass sie schon seit vielen Jahrzehnten eine verbreitete Bauform darstellen.

Geschichte

Das erste überflutbare Flusskraftwerk wurde 1907 in Ilchester in der Nähe von Baltimore am Patapasco River unter dem offiziellen Namen «Bloede's Dam» **(Bild 1)** in Betrieb genommen. [1] Das Stauwehr wurde als hohler, 67 m langer Betonkörper ausgebildet, in seinem Inneren befanden sich drei Zwillings-Francis-Turbinen mit je rund 330 kW Leistung. [2] Die Anlage war nur bis 1924 in Betrieb. Als Begründung für die kurze Betriebszeit wird die Verdrängung durch grössere, leistungsstärkere Anlagen genannt. [1] Die Anlage ähnelt in ihrer Erscheinungsform schon stark den «Unterwasserkraftwerken nach Bauweise Arno Fischer».

In Europa wurde das erste «Unterwasserkraftwerk» unter Verwendung der «Ersten Bauweise Arno Fischer» 1936 in Rostin an der Persante im heutigen Polen errichtet. [2, 12] In der Anlage sind 2 Kaplanturbinen mit jeweils 195 kW Leistung verbaut. Der Generator befindet sich in einem mittig im Wasserstrom angeordneten, wasserdichten Gehäuse. Die Anlage hatte offenbar von Anfang an verschiedene Schwierigkeiten; insbesondere die Wärmeentwicklung im Generatorgehäuse und dessen schlechte Zugänglichkeit bereiteten erhebliche Probleme.

Als Weiterentwicklung entstand dann die «Zweite Bauweise Arno Fischer», eine Variante mit Aussenkranzgenerator. Diese Bauweise setzte sich aufgrund der guten Verbindungen von Arno Fischer zur damals massgebenden NSDAP entgegen starker Kritik aus der Fachwelt zunächst durch. Arno Fischer war damals Patentinhaber für die nach ihm benannten Bauweisen, obwohl bereits Jahre früher sehr ähnliche Bauweisen für Krafthaus und Maschinen bekannt und auch teilweise patentiert waren. Insgesamt wurden 14 Kraftwerke in dieser Bauweise errichtet, 4 an der Iller, 9 am Lech und eine Anlage an der Saalach. [2] Als herausragender Vorteil wurde die Möglichkeit gesehen, das Krafthaus unter dem Überfallstrahl zu «verstecken», zudem wurden erhebliche Kosteneinsparungen gegenüber anderen Bauweisen propagiert. Diese Kraftwerke wurden von 1938 bis 1950 in Betrieb genommen. Mit Ausnahme der Anlage an der Saalach bei Freilassing **(Bild 2)** sind noch alle Anlagen in Betrieb.

Seit dieser Zeit wurden nur noch einzelne überflutbare Wasserkraftwerke errichtet, z.B. das Kraftwerk am Karlstor in Heidelberg **(Bild 3)**, die Maiermühle in Landsberg am Lech, das Praterkraftwerk in München, das Kraftwerk Nussdorf in Wien und der Hochablass in Augsburg. Bei diesen Anlagen waren stets Aspekte des Städtebaus, des Denkmalschutzes und auch beengte Platzverhältnisse von erheblicher Bedeutung.

Eine gewisse Renaissance von überflutbaren Kraftwerken ergibt sich möglicherweise durch besondere Anordnungen wie z.B. dem Schachtkraftwerk [4] und dem beweglichen Wasserkraftwerk [5] oder besonderen Turbinentypen wie der «VLH-Turbine» [6], der «Dive-Turbine» [7], dem «Stream-Diver» [8] und der «Matrix-Turbine» [9]. Bei diesen ist der Generator vollkommen getaucht ausgebildet. Dadurch wird kein begehbarer Kraftwerksraum benötigt.

Technik

Die hier behandelten überflutbaren Flusskraftwerke sind Niederdruckanlagen – es kommen fast ausnahmslos Rohrturbinen mit Kaplan- oder Propellerlauf-

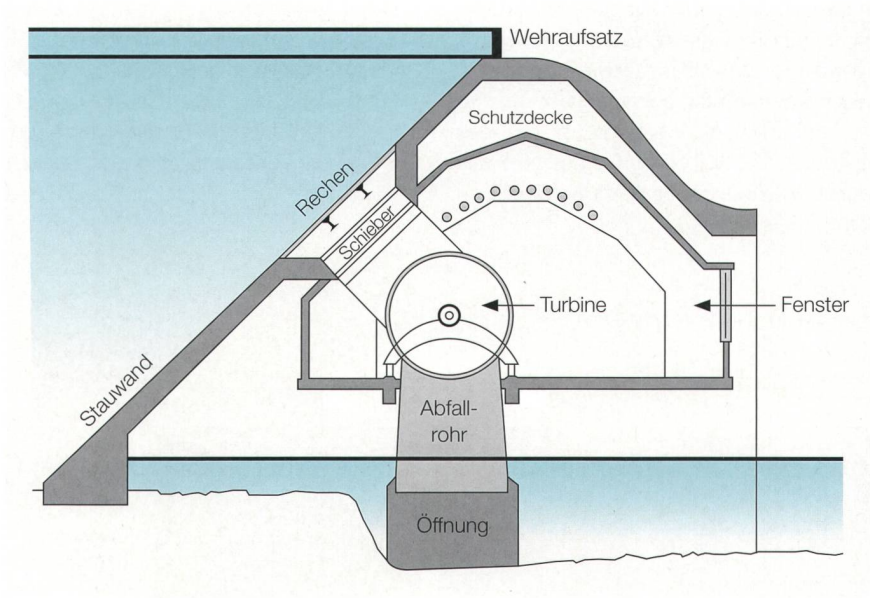

Bild 1 Längsschnitt durch das überflutbare Kraftwerk am Patapasco River bei Baltimore, Inbetriebnahme 1907, 3 Zwillings-Francis-Turbinen à 330 kW. [3]

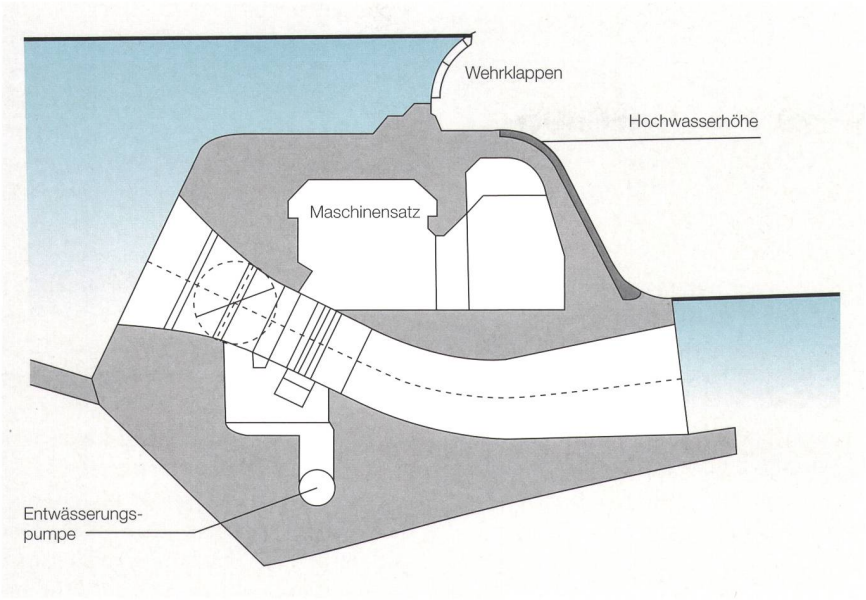

Bild 2 Längsschnitt durch überflutbares Kraftwerk nach der «zweiten Bauweise Arno Fischer» an der Saalach bei Freilassing. [2]

rad zum Einsatz. Die Kaplanturbine wurde 1912 von Viktor Kaplan zum Patent angemeldet [10] und hat durch die Regulierbarkeit von Leitapparat und Laufrad einen sehr guten Wirkungsgradverlauf über weite Bereiche der Beaufschlagung.

In der klassischen Anordnung ist die Welle der Kaplanturbine in der Regel stehend (vertikal), in der Ausführung als Rohrturbine liegend (horizontal) angeordnet. Aufgrund der erforderlichen niedrigen Bauform werden bei überflutbaren Kraftwerken Rohrturbinen eingesetzt.

Auch bei den Rohrturbinen gibt es diverse Bauformen, die wichtigsten sind die Bulb-Turbine, die Pit-Turbine, die S-Rohrturbine, die Kegelrad-Rohrturbine, die Riemen-Rohrturbine und die sogenannte Straflo-Turbine. Welche dieser Bauformen gewählt wird, hängt von verschiedenen Randbedingungen wie Anlagenleistung, Platzbedarf, Lieferzeit und nicht zuletzt auch von den Ansprüchen und Erfahrungen des Betreibers ab.

Straflo-Turbinen

Aufgrund der häufigen Verwendung von Straflo-Turbinen bei der bereits genannten «Zweiten Bauweise Arno Fischer» werden im Folgenden einige Aspekte dieser speziellen Bauform erläutert. Die Bezeichnung Straflo-Turbine ist aus dem englischen «straight flow» abgeleitet und beschreibt die Eigenschaft, dass im Wasserzu- und -abströmbereich keine störenden Einbauten wie Stützpfeiler, Getriebe oder Sonstiges vorhanden sind, so dass aus hydraulischer Sicht zunächst ideale Bedingungen vorliegen. Der Generator ist als Aussenkranzgenerator angeordnet, der Rotor ist fest mit dem Laufrad verbunden. Dadurch ist bei diesen Turbinen eine äusserst kurze Bauform mit entsprechend positiven Auswirkungen auf den Bauaufwand möglich. Nachteilig sind die schwierige Abdichtung der Turbine hin zum Generator mit den sehr grossen Dichtungslängen bei entsprechend hohen Umfangsgeschwindigkeiten und die problematische Realisierbarkeit einer Laufradverstellung. Bei der Bauweise nach Arno Fischer sind deshalb starre Propellerlaufräder verbaut, der Wirkungsgrad der Anlagen im Teillastbereich ist dadurch eingeschränkt.

Neben diesen klassischen Turbinenanordnungen existieren am Markt weitere, zum Teil neue Turbinenanordnungen, bei denen der Generator nicht zugänglich ist und direkt mit dem Laufrad verbunden ist. Diese Anlagen sind aufgrund des geringeren Platzbedarfs meist mit Permanentmagnetgeneratoren ausgestattet und werden drehzahlvariabel betrieben.

Rechenreinigung

Bei überflutbaren Kraftwerken ist auf eine funktionale Rechenreinigung zu achten. Eine komplett getauchte Bauform des Rechenreinigers ist z.B. mit sogenannten Segmentbogen-Rechenreinigern erreichbar, deren hydraulisch angetriebene Arme am Betonboden hinter dem Rechen oder an den Seitenwangen angeordnet sind. Die Harke ist über seitliche Führungsbleche mit den Armen verbunden.

Verbreitet sind ferner Rechenreinigungssysteme, die sich in ihrer Ruheposition im strömungs- und hochwassergeschützten Uferbereich befinden und auf unter dem Wasserspiegel montierten Schienen bis zum Rechen verfahren werden. Die Rechenreiniger sind ähnlich konstruiert wie herkömmliche Rechenreiniger mit Seilzug-, Knickarm- oder Teleskoparmtechnik. Der Vorteil dieser Anlagen ist die erheblich bessere Wartungsmöglichkeit, ein Nachteil ergibt sich aus den über dem Wasserspiegel befindlichen, sichtbaren Anlagenbestandteilen, die störend sein können. Eine weitere Variante sind Rechenreinigungssysteme, die in ihrer Konstruktion ebenfalls herkömmlichen Systemen gleichen,

Bild 3 Wasserkraftanlage Wehranlage Karlstor Heidelberg; Rechenreiniger in Ruheposition und Zugangsschacht zur Anlage.

Bild 4 Unterwasserkraftwerk Lechstaustufe 15 bei Landsberg am Lech, Inbetriebnahme 1943, 6 Maschinensätze, Ausbauleistung 7,8 MW bei 8,0 m Fallhöhe. [2]

die aber in der Ruheposition unter dem Wasserspiegel liegen und nur bei Betrieb sichtbar sind.

Das Rechengut muss bei überflutbaren Kraftwerken nicht aus dem Wasser genommen werden, denn es kann über Spülklappen auf der Kraftwerksdecke in das Unterwasser weitergeleitet werden. Sofern das Gewässer geschiebeführend ist, sind besondere Massnahmen zur Geschiebeweitergabe zu ergreifen. Diese sind sorgfältig zu planen und deren Funktionalität sollte z.B. durch einen wasserbaulichen Modellversuch getestet werden.

Die Zugänglichkeit muss auch berücksichtigt werden. Bei den Anlagen nach Arno Fischer ist der hohle Wehrkörper von beiden Seiten aus begehbar, auf einer Seite befindet sich ferner ein Zugangstor, über welches grosse Komponenten aus- und eingebracht werden können. Bei neueren Konstruktionen werden vielfach wasserdicht verschraubte Stahldeckel in der überfluteten Krafthausdecke eingebaut, über die die wesentlichen Anlagenteile bei Bedarf per Autokran aus- und eingehoben werden können. Diese Anordnung erfordert die Möglichkeit, den Wasserstand auf der Decke bei Bedarf so weit absenken zu können, dass die Deckel zugänglich werden. Zudem muss eine Aufstellmöglichkeit für einen Autokran in geeignetem Abstand vorhanden sein.

Für Wartungs- und Kontrollzwecke sind eventuell Treppenzugänge nötig, die über elektrisch oder manuell zu öffnende Hauben verschlossen sein können, wobei eine Begehbarkeit auch bei Hochwasser zwingend erforderlich ist. Der Be- und Entlüftung dienen hochwasserfreie Lüftungsschächte, die entsprechend der zu erwartenden Wärmeentwicklung im Krafthaus dimensioniert werden.

Praxisbeispiele

Jeweils mehrfach an Lech und Iller zu finden sind die erwähnten überflutbaren Wehrkraftwerke nach Typ Arno Fischer. Diese sind mit 6 bzw. 4 Maschinensätzen ausgestattet, durch eine Staffelung der in Betrieb befindlichen Maschinen kann der schlechte Teillastwirkungsgrad der Propellerturbinen mehr oder weniger gut ausgeglichen werden. Bemerkenswert ist die sehr kurze Bauform (Bild 2) des Kraftwerks. Im Zulaufbereich zur Turbine befindet sich eine Klappe, im Abströmbereich ein Schütz. Durch diese ständig einsatzbereiten Verschlussorgane ist es möglich, die Turbinen einzeln für Revisionszwecke trockenzulegen und bei Bedarf zu begehen.

Zwischen den Turbinensätzen sind tiefer liegende Grundablässe angeordnet, um das bei Hochwasser transportierte Geschiebe schadlos in das Unterwasser weiterleiten zu können. Über die im Krafthaus eingebauten Maschinenhauskräne können bei Bedarf alle demontierbaren Anlagenteile in den Randbereich gefördert und von dort aus auf Transportgeräte verladen werden, falls Anlagenkomponenten erneuert oder überholt werden sollen.

Eine weitere interessante Anlage befindet sich am Neckar in Heidelberg an der Wehranlage Karlstor. Die Wehranlage wurde zwischen 1926 und 1929 erbaut und besass ursprünglich kein Wasserkraftwerk. Sowohl aus Denkmalschutz- als auch aus Platzgründen war es günstig, die Wasserkraftanlage in eines der Wehrfelder so zu integrieren, dass dieses Wehrfeld auch nach dem Bau der Anlage wieder als vollwertiges Wehrfeld zur Verfügung steht und zudem keine optische Veränderung eintritt. Der Rechenreiniger sitzt auf Schienen und fährt nach dem Reinigungsvorgang in den geschützten Uferbereich (Bild 3). Wesentliche Anlagenteile können durch ein ausgeklügeltes System von Maschinenhauskränen und einem Rollwagen über den im Uferbereich befindlichen Montageschacht aus- und eingebracht werden. Die Anlage ist mit zwei Kaplan-Rohrturbinen in Pitbauweise ausgestattet.

In Landsberg am Lech wurde vor rund 20 Jahren am Mühlbach eine Unterflur-Wasserkraftanlage errichtet (Bild 5). Diese Anlage wurde mit einem Segmentbogenrechen mit entsprechender Rechenreinigungsanlage ausgestattet, so dass ein Rechenreinigungsvorgang von aussen nicht sichtbar ist. Die Anlage musste ferner so tief eingebaut werden,

Bild 5 Wasserkraftanlage am Mühlbach in Landsberg am Lech, Segmentbogen-Rechenreinigungsanlage mit vorgeschaltetem Grobrechen.

Bilder: Ringler

Bild 6 Wehranlage Hochablass am Lech in Augsburg, im linken Bereich die überflutete Anlage. Inbetriebnahme 2013, 2 Maschinensätze, Ausbauleistung 3,1 MW. [11]

dass bei einem Lastabwurf der Turbine der komplette Abfluss des Mühlbachs über die oben aufgesetzte Klappe weitergeleitet werden kann. Die Riemen-Rohrturbine kann über einen Montagedeckel demontiert werden, der bei einer Trockenlegung des Mühlbachs zugänglich ist. Ansonsten ist der Maschinenraum über den Keller des benachbarten Gebäudes zugänglich. Um Körperschallübertragungen zu vermeiden, wurde die Anlage mit Hilfe von Schallschutzmatten von der Umgebung entkoppelt.

Am Lech in Augsburg wurde Ende 2013 eine überflutbare Wasserkraftanlage in Betrieb genommen (Bild 6). Neben dem Denkmalschutz ging es bei dieser Anlage darum, das Erscheinungsbild der historischen Wehranlage nicht zu verändern, mit dem Ziel, die Akzeptanz der Anlage bei der Bevölkerung zu erhöhen. Die Anlage ist mit zwei Kegelrad-Rohrturbinen ausgestattet, die wesentlichen Anlagenteile können über Montageöffnungen in der Decke ausgehoben werden. Diese Öffnungen werden zugänglich, indem der Oberwasserspiegel an der Wehranlage abgesenkt wird. Alternativ können Aluminium-Dammbalken gesetzt werden, so dass die Montageöffnungen auch unter Einhaltung des Stauziels zugänglich sind. Als Rechenreiniger kam ein nahezu konventioneller Knickarm-Rechenreiniger zum Einsatz, der in Ruhestellung komplett unter der Wasseroberfläche abgelegt und damit unsichtbar ist. Bei einem Reinigungsvorgang wird der Rechenarm sichtbar und die Spülklappe senkt sich ab, so dass das Rechengut ins Unterwasser weitergegeben wird. Zur Geschiebeweiterleitung sind Kiesabzugskanäle angelegt.

Anhand dieser Beispiele wird deutlich, dass die Technik bei überflutbaren Kraftwerken durchaus beherrschbar ist. Dennoch ergeben sich gegenüber konventionellen Anlagen Besonderheiten, die eine sorgfältige Planung erfordern und die sich bei den Kosten für Betrieb und Wartung und bei den Anforderungen an das Bedienpersonal abzeichnen.

Referenzen

[1] en.wikipedia.org/wiki/Bloede%27s_Dam
[2] Martin Gschwandtner, Es war einmal ein «Kohlenklau» – Technik unter dem Joch der NS-Diktatur; Arno Fischer und der Irrweg der «Unterwasserkraftwerke» in der Zeit zwischen 1933 – 1945; GRIN-Verlag, München (2009)
[3] Theodor Rehbock, «Die festen Wehre», Der Wasserbau, III. Teil des Handbuchs der Ingenieurwissenschaften
[4] www.wb.bgu.tum.de/schachtkraftwerk
[5] www.hydroenergie.de/bewegliche-wka
[6] www.vlh-turbine.com
[7] www.dive-turbine.de/pages/de/startseite.php
[8] www.voith.com/de/produkte-leistungen/wasserkraft/streamdiver-55362.html
[9] www.andritz.com/hy-hydromatrix-de.pdf
[10] Gerlind Weber, Gunter Weber, «Viktor Kaplan – Höhen und Tiefen eines Erfinderlebens», Wasserwirtschaft, 06/2014
[11] www.wkw-hochablass.de/kraftwerk/daten-und-fakten
[12] Tobias Lang, «75 Jahre überströmbares Kraftwerk Rostin an der Persante. Erste Schritte zum Einsatz der Rohrturbine», Wasserkraft und Energie, 03/2011

Autor

Dipl. Ing. **Andreas Ringler** ist Geschäftsleiter der Wasserbau Ringler.
Wasserbau Ringler GmbH, DE-86899 Landsberg am Lech
a.ringler@wbri.de

Résumé

Des centrales au fil de l'eau submersibles

Technique, histoire et exemples pratiques

La construction de centrales hydroélectriques au fil de l'eau nécessite la prise en compte de divers facteurs. Outre les aspects tels que la protection de la nature et des poissons, souvent prioritaires à l'heure actuelle, ceux relatifs à la conception et à l'espace peuvent également jouer un rôle déterminant en fonction du site concerné. Les centrales submersibles, dont d'importantes parties sont situées sous la surface de l'eau, constituent pour ce faire une forme particulière d'agencement.

Il s'agit d'installations à basse pression utilisant presque toujours des groupes bulbes dotés d'une roue Kaplan ou à hélice. La première centrale au fil de l'eau submersible a été mise en service en 1907 à Ilchester (États-Unis), non loin de Baltimore, sur la Patapsco River. Trois turbines Francis jumelles d'une puissance individuelle d'environ 330 kW y ont fourni du courant électrique jusqu'en 1924. La plupart de ces centrales ont été mises en service en Allemagne de 1938 à 1950. Depuis, leur réalisation ne s'est plus produite que de façon isolée.

No

Electrosuisse / ETG-Kommentar

Herausforderungen der Wasserkraft

Auch an Schweizer Mittellandflüssen mit tausenden von bestehenden Wehrschwellen, welche für den Erosionsschutz und Hochwasserschutz erstellt wurden, besteht Handlungsbedarf punkto Geschiebedurchgängigkeit, Fischdurchgängigkeit und erneuerbarer Energieproduktion. Der Artikel zeigt deutlich den immer stärker werdenden Konflikt zwischen Ökologie, Ökonomie und Sozialem in den Bereichen Planung, Bau und Betrieb von Wasserkraftwerken im Ultraniederdruckbereich. Das Beherrschen der Technik ist zwar wichtig, ist aber nur ein Aspekt der Ansprüche, die erfüllt werden müssen.

Claude Urbani, Vorstandsmitglied der Fachgesellschaft ITG und Mitglied der ETG-Fachgruppe «Neue erneuerbare Energien» von Electrosuisse. Er leitet als CEO die Vorteco AG.