

HYDROENERGIE AUS DEM DORFBACH

Dezentrale Stromversorgung hat viele Gesichter. Eine Spielart sind Klein- und Kleinstwasserkraftwerke. Wenn sich Anlagen zu geringen Kosten bauen lassen, ist ein rentabler Betrieb möglich. Ein neues Konzept nutzt eine umgebaute Pumpe, die – rückwärts betrieben – als kostengünstige Francis-Turbine eingesetzt wird (kurz: PaT-Francis-Konzept). Ein Kleinstwasserkraftwerk dieser Bauart läuft seit Ende 2018 in Andelfingen im Kanton Zürich. In einem BFE-Pilotprojekt hat es seither seine Funktionstüchtigkeit unter Beweis gestellt.



Obermühle in Andelfingen: Der Mülibach (rechts) wird in einem Kleinstwasserkraftwerk zur Stromerzeugung genutzt. Peter Eichenberger reinigt von Zeit zu Zeit den Einlauf. Ein Grobrechen ermöglicht Kleinsäugern wie Mäusen und Igeln den Ausstieg aus dem Kanal, ein Lochblech dient als Fischschutz. Foto: B. Vogel

Andelfingen liegt im Herzen des Zürcher Weinlands. Gut 2000 Menschen leben hier am Ufer der Thur, die wenig später in den Rhein mündet. Mindestens so wichtig wie der Fluss war in der Geschichte des Dorfes die Quelle, die südlich zwischen Heiligberg und Mühleberg entspringt und durch einen Grundwassersee gespeist wird. Die Andelfinger haben diese zuverlässige Quelle über Jahrhunderte zum Betrieb von Getreidemühlen genutzt und darauf ihren Wohlstand gebaut. Die Obermühle mit dem markanten Treppengiebel wurde im Jahr 1308 erstmals erwähnt. 1972 stellte sie den Betrieb ein und wurde später in ein Wohnhaus mit einem Laden und Büroräumen umgebaut. Heute arbeitet hier unter anderem die Spitex.

Über Jahrhunderte floss der Mülibach bei der Obermühle über ein oberflächliches Holzrad. In den 1940er Jahren wurde dieses durch eine Francis-Turbine ersetzt, eine kompakte Metallturbine mit Schaufeln, die radial von aussen angeströmt werden. Das ist die Geschichte der Obermühle – und es ist zugleich ihre Gegenwart. Denn seit Dezember 2018 ist hier wieder eine Turbine in Betrieb. Sie treibt nicht eine Mühle an, sondern erzeugt Strom, der ins lokale Stromnetz eingespeist wird. Im Dorf findet das Kleinstwasserkraftwerk viel Anerkennung. Es gibt aber auch Leute, die argwöhnen, mit einer Leistung von nur 2,5 kW sei «das Betteln versäumt». Wasserbauingenieur Peter Eichenberger (Hydro Engineering GmbH/Andelfingen) war verantwortlich für die Gesamtplanung der Anlage. Er sagt: «Klar liegen wir an der unteren Gren-



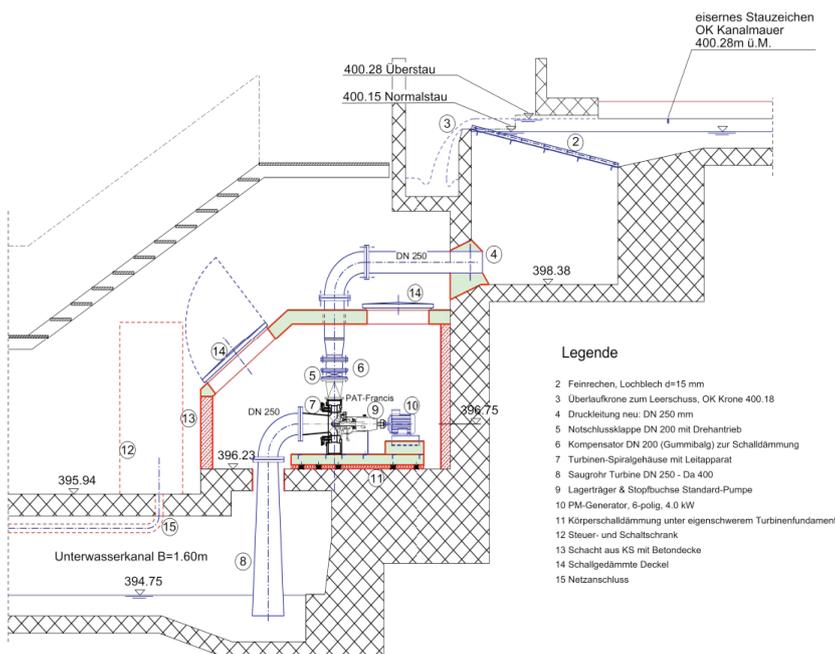
Peter Eichenberger mit dem Container, in dem das Kleinstwasserkraftwerk untergebracht ist. Turbine und Generator ruhen auf Gummilagern, die Bewohner und Beschäftigte im Mühlegebäude vor Vibration und Schall schützen. Lauter als erwünscht sind die Ventilatoren des Frequenzumrichters (rechts im Bild, teilweise verdeckt). Foto: B. Vogel

ze der Leistung, die für ein Kleinstwasserkraftwerk sinnvoll ist. Aber wir wollten das neuartige PaT-Francis-Konzept an einer Kleinanlage testen und so die finanziellen Risiken, die bei einer Pilotanlage immer bestehen, möglichst klein halten.»

Günstige Standardkomponenten

Die Francis-Kleinstturbine stammt von der Firma JMC Engineering (Baulmes/VD). Sie besteht aus einer Standardpumpe der Firma Egger (Cressier/NE), die mit einem Leitapparat

Schnittbild des Kleinstwasserkraftwerks in Andelfingen. Die Fallhöhe des Wassers beträgt 5.40 Meter. Die Saughöhe bis zum Unterwasserspiegel kann mit dem PaT-Francis-Konzept mit genutzt werden. Grafik: Hydro Engineering



ergänzt wurde. So bedarf es für die Turbine keiner teuren Einzelanfertigung. Der Leitapparat mit zehn Schaufeln kann – entsprechend skaliert – angeflanscht werden, unabhängig von der Grösse der Pumpe. Auch für die Nebenanlagen und Hilfsbetriebe wurde wo immer möglich auf günstige Komponenten aus Serienproduktion zurückgegriffen. Die Notschlussklappe, die bei Netzausfall die Turbine stoppt, ist eine Standardkomponente aus der Haustechnik. Sie stammt von der Firma Belimo (Hinwil) und wird gewöhnlich für die Wasserverteilung in Gebäuden verbaut.

Zur Stromproduktion dient ein Permanent-Magnet-Generator, der hohe Wirkungsgrade bei Kleinanlagen ermöglicht, da keine Verluste für den Aufbau eines Magnetfeldes mit Spulen auftreten. Um den Wirkungsgrad der Turbine bei kleinen Abflüssen im Mülibach zu verbessern, wird die Maschine mit variabler Drehzahl zwischen 250 und 1100 Umdrehungen betrieben: Fällt der Nenndurchfluss unter 80 Liter pro Sekunde, wird nicht nur der Leitapparat mehr und mehr geschlossen, sondern auch die Drehzahl reduziert. Mit dieser Betriebsart ist ein Frequenzumrichter erforderlich, der die 50 Hertz für die Netzeinspeisung erzeugt. Der Frequenzumrichter ist ein Standardprodukt von Mitsubishi.

Dank dieser und weiterer Massnahmen stehen von der hydraulischen Bruttoleistung von 4.0 kW rund 2.5 kW für die Netzeinspeisung zur Verfügung, wie die bisherigen Betriebsdaten zeigen. Der Wirkungsgrad der PaT-Francis-Turbine liegt bei maximal 75% (vgl. Abbildung S. 4 unten) und der elektrische Wirkungsgrad (Generator, Frequenzumrichter mit Einspeiseeinheit) bei 84%; letzterer ist wegen der zur Qualitätssicherung der Einspeisung erforderlichen Netzdrosseln und -filter relativ bescheiden. «Mit einem Gesamtwirkungsgrad von 63% im Auslegepunkt (Netzeinspeiseleistung zu hydraulischer Bruttoleistung) liegt die Kleinanlage rund 20 Prozentpunkte unter einer ausgewachsenen Wasserkraftanlage», sagt Eichenberger. «Bei grösseren PaT-Francis-Maschinen ab 10 kW Leistung ist ein Wirkungsgrad von bis zu 70% erreichbar.»

Unterwegs zu Rentabilität

Von der PaT-Francis-Idee bis zur Inbetriebnahme der Pilotanlage in Andelfingen vergingen gut zehn Jahre. Die Firma revita power GmbH (Laupersdorf/SO) hat die Anlage einschliesslich Steuerung gefertigt und montiert. Seit der Inbetriebnahme Ende 2018 läuft das Kleinwasserkraftwerk zuverlässig. Als einzige «Kinderkrankheit» musste im ersten Betriebsjahr



Im PaT-Francis-Projekt wird eine Abwasserpumpe als Francis-Turbine genutzt. Dieser Turbinentyp eignet sich für Wasserkraftwerke mit wenig Leistung und geringer Fallhöhe. Foto: Hydro Engineering

das Laufrad der Pumpe wegen Kavitation (unerwünschter Luftblasenbildung) durch ein solches mit leicht geänderter Geometrie ersetzt werden. 2019 blieb der Stromertrag unter den Erwartungen. Der Mülibach führte nur sehr wenig Wasser, da der Grundwasserstand – die Hauptquelle des Baches – nach dem extrem trockenen Vorjahr sich noch nicht erholt hatte. 2020 kann die angestrebte Jahresproduktion von 12'000 kWh gemäss den bisherigen Erträgen erreicht werden. Das entspricht dem Jahresbedarf von drei Haushalten und ist vergleichbar mit dem Ertrag einer mittelgrossen PV-Anlage.



Diese Francis-Turbine trieb von 1941 bis 1972 in der Obermühle in Andelfingen eine Getreidemühle an. Heute wird zur Stromerzeugung derselbe Turbinentyp genutzt, wobei die Francis-Turbine in neuartiger Weise aus einer Pumpe mit angebautem Leitapparat konstruiert ist. Foto: B. Vogel



Blick ins Innere der Turbine auf das zweisechulige offene Laufblad.
Foto: Revita Power



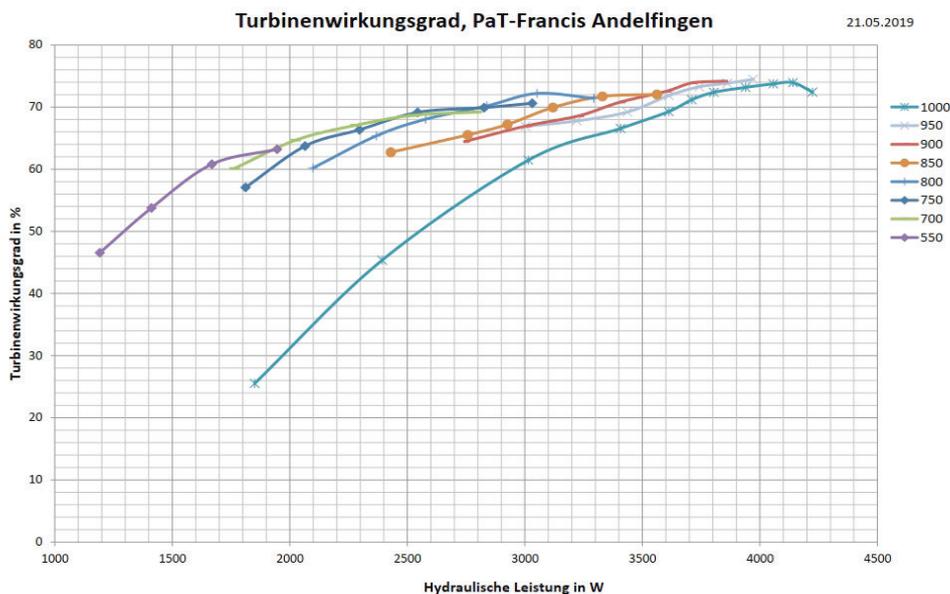
Mit zehn Schaufeln reguliert der Leitapparat die Wassermenge, die auf die Turbine strömt. Foto: Revita Power

Bei Investitionskosten von 80'000 Fr. (ohne Wehranlage – diese wurde durch Beiträge der Gemeinde, Anstösser und Denkmalpflege wieder aufgebaut) und einer Nutzungsdauer von 40 Jahren rechnen die Betreiber unter Berücksichtigung von Betrieb und Unterhalt mit Gestehungskosten von 25 Rp. pro Kilowattstunde (Kalkulationszinssatz 1%; Äufnung eines Erneuerungs- und Ersatzteifonds mit 600 Fr. pro Jahr). «Die Anlage kann dank der 20jährigen KEV-Förderung und dem anschliessenden Verkauf des Stroms zu Marktpreisen wirtschaftlich Strom im kleinen Massstab produzieren», fasst Peter Eichenberger das Hauptergebnis des Projekts zusammen, «technisch gesehen ist unser Konzept ausgereift und parat für den Einsatz an anderen Standorten.» Hierbei ist zu berücksichtigen, dass im Fall von Andelfingen bereits eine

Konzession zur Wasserkraftnutzung vorhanden war. Diese Voraussetzung ist an anderen Standorten mitunter nicht gegeben und kann die Realisierung einer Kleinwasserkraftanlage erschweren.

Zwei neue Projekte

Die Promotoren des PaT-Francis-Konzepts sehen dieses geeignet für kleine Kraftwerke mit einer Leistung von 10 bis 50 kW, und zwar immer dann, wenn die Fallhöhe des Wassers nicht mehr als 30 m bis 50 m beträgt (Nieder- bis Mitteldruck). Bei dieser Anlagengrösse sinken die Gestehungskosten erfahrungsgemäss auf bis zu 15 Rp./kWh. Peter Eichenberger plant gegenwärtig zwei Anlagen dieser Grösse – die eine im Toggenburg als Ergänzung zu einer bestehenden grösseren



Bei den meisten Drehzahlen hat die PaT-Francis-Turbine im Kleinstwasserkraftwerk Obermühle Andelfingen einen Wirkungsgrad zwischen 60 und rund 75%. Grafik: BFE-Zwischenbericht

Turbine, die andere bei einer Kraftwerksanlage an der Birs im Rahmen der Sanierung der Fischgängigkeit. An der Birs muss mit technischen Massnahmen eine Lockströmung für die aufsteigenden Fische erzeugt werden. Anstatt das Wasser einfach über ein Ventil in ein Energiedissipationsbecken abzulassen, entzieht man der Lockströmung die Energie mittels einer PaT-Francis-Turbine und spart damit nicht nur Raum und Kosten für das grosse Betonbecken, sondern erhält zusätzlich wertvolle elektrische Energie.

- Der **Schlussbericht** zum «Pilotprojekt eines PaT-Francis-Gesamtpakets zur Nutzung kleiner Wasserkraftpotenziale in Fischwanderhilfen und historischen Wehr- und Kanalanlagen» ist in Kürze abrufbar unter:
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=41555>
- **Auskünfte** zu dem Projekt erteilt Dr.-Ing. Klaus Jorde (klaus.jorde@kjconsult.net), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Wasserkraft.
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Wasserkraft finden Sie unter www.bfe.admin.ch/ec-wasser.

PILOT- UND DEMONSTRATIONS-PROJEKTE DES BFE

Planung und Bau der PaT-Francis-Turbine wurden vom Pilot- und Demonstrationsprogramm des Bundesamts für Energie (BFE) unterstützt. Damit fördert das BFE die Entwicklung und Erprobung von innovativen Technologien, Lösungen und Ansätzen, die einen wesentlichen Beitrag zur Energieeffizienz oder der Nutzung erneuerbarer Energien leisten. Gesuche um Finanzhilfe können jederzeit eingereicht werden.

- www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration