

Aus Wasser wird Strom – Mikroturbine „PAM PERGA“ im Trinkwasserversorgungsnetz

Schon seit Jahrhunderten **macht sich der Mensch die Kraft des Wassers zu Nutze**, um Energie zu erzeugen. Und so verwundert es nicht, dass die **Wasserkraft global betrachtet auf Platz zwei der Energielieferanten aus regenerativen Ressourcen** steht. Dass auch die **Trinkwassernetze über ein nicht unerhebliches Potenzial für die Energieerzeugung verfügen**, zeigt der folgende Beitrag.

von: Stephanie Kracht (Saint-Gobain PAM Deutschland GmbH)

Die **Vorzüge der Wasserkraft** liegen auf der Hand: Es entstehen keine schädlichen Rückstände, es sind vergleichsweise geringe Eingriffe in die Umwelt notwendig und der Primärrohstoff bleibt erhalten. Hinzu kommt, dass die dreifache Menge des weltweiten Strombedarfs (Referenzjahr: 2007) erzeugbar wäre, wenn die komplette Bewegungsenergie des ablaufenden Wassers auf allen Kontinenten in Strom umgewandelt würde. Schließlich zeichnet sich die Wasserkraft bei der Stromerzeugung durch ihre nahezu stetige Verfügbarkeit und einen hohen Wirkungsgrad aus.

Aus Rohrleitungen Energie gewinnen

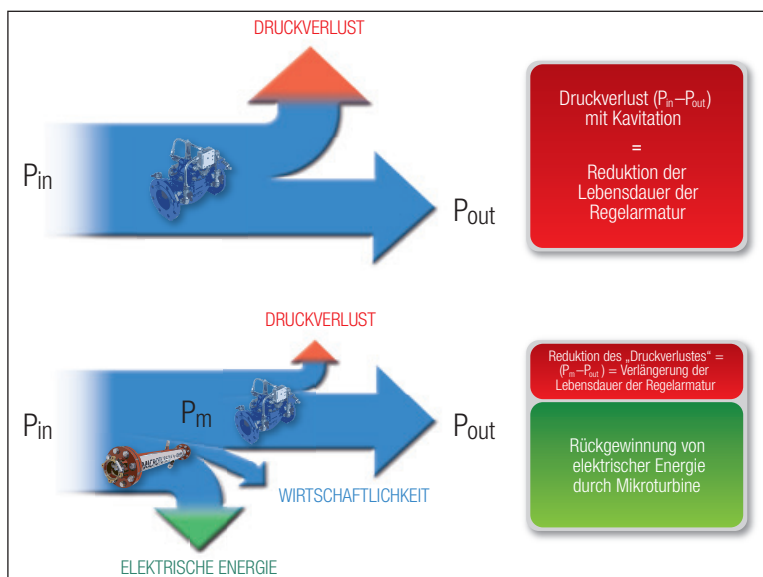
Ein stetig fließendes Wasser ist bei dieser Betrachtung bislang allerdings außer Acht gelassen worden – und zwar das in Trinkwasserleitungen. Bei einem Blick auf die Regelarmaturen ist schnell klar, dass diese z. B. große Druckhö-

hen abbauen und dabei ganz bewusst überschüssige Energie „vernichten“, um ideale Netzbedingungen zu schaffen. In der Zwischenzeit haben Turbinenhersteller ihr Produktspektrum (z. B. der Pelton-Turbine) auf diesen Anwendungsbereich angepasst. Gleichwohl sind die Kosten für solche Turbinen nach wie vor sehr hoch. Einige Stadtwerke bzw. Netzbetreiber haben sich mit dieser Thematik näher befasst und nach weiteren Lösungen gesucht. Diese besteht oft aus einer rückwärtsdrehenden Pumpe (Pumpe als Turbine, kurz: PaT). Als Massenprodukte sind diese häufig deutlich kostengünstiger im Vergleich zu Turbinen und lassen sich auch bei mittleren Fallhöhen und kleinen Volumenströmen einsetzen.

Mikroturbine PAM PERGA

Der Einsatz von Regelarmaturen in Trinkwassernetzen ist notwendig, um beispielsweise den Wasserstrom bzw. -druck genau zu dosieren. Gelegentlich kommt es sogar vor, dass die Ventile großen Druckunterschieden ausgesetzt sind, wodurch sich ihre Lebensdauer deutlich verringern kann. In jedem Fall entziehen die Armaturen dem Wasser einen Teil seiner potenziellen Energie. An solchen Einsatzorten bietet die Mikroturbine PAM PERGA dem Betreiber gleich zwei Vorteile: erstens die Erzeugung von Ökostrom und zweitens die Optimierung der Betriebsbedingungen der Regelarmatur, wodurch sich deren Haltbarkeit verlängert. Das Wasser trifft zunächst auf die Mikroturbine, wodurch die Rückgewinnung der Energie beginnt und sich der Wasserdruck bzw. der Druckunterschied, den das nachfolgende Regelventil zu bewältigen hat, verringert (**Abb. 1**). Sowohl die Nutzung der zurückgewonnenen Energie

Abb. 1: Durch den Einsatz einer Turbine lässt sich sowohl der Druckverlust reduzieren als auch Energie zurückgewinnen.



Quelle: Perga Ingenieros

zur Versorgung von Anlagen des Systems als auch die Einspeisung ins öffentliche Stromnetz führen zu einem wirtschaftlichen Gewinn.

Die spanische Firma Perga Ingenieros SL entwickelte und patentierte die Mikroturbine, die nun in einer Kooperation mit Saint-Gobain PAM weltweit vertrieben wird. Bereits 2012 überzeugte das System die Trinkwasserversorgung in und um die spanische Hauptstadt Madrid. Mehrere Mikroturbinen sind seitdem erfolgreich in das Netzwerk integriert worden und sorgen für eine umweltfreundliche Energierückgewinnung. Bei der verwendeten PAM PERGA handelt es sich um eine integrierte, kompakte und direkt in die Rohrleitung zu montierende Mikroturbine, die sich an unterschiedliche Betriebsbedingungen anpassen lässt. Durch die Auswahl einer geeigneten Nennweite (DN 50 bis DN 600) und Baulänge (1–4 m) sind Durchflussraten von 2–600 l/s, Eingangsdrücke von 2–50 bar und ein Differenzdruck von maximal 25 bar beherrschbar. Somit steht einem Einsatz in Nieder- und Hochdruckanwendungen nichts entgegen. Dabei erzeugt die Turbine Energie in einer Größenordnung von 0,2 kW–1 MW mit einer Effizienz von 60–72 Prozent (Abb. 2) und liegt damit in der Regel über den durchschnittlichen Werten einer PaT (durchschnittlicher Wirkungsgrad: 63 Prozent). Da sich das Investitionsvolumen für eine PAM-PERGA-Turbine auf einem ähnlichen Niveau wie das einer PaT bewegt, ist bei einer erstgenannten Turbine mit einer schnelleren Amortisationszeit zu rechnen.

Der Aufbau der PAM-PERGA-Turbine ist in drei Teile gegliedert, die zu einer Einheit zusammengefasst sind (Abb. 3). Das Mantelrohr mit Anschlussflanschen ermöglicht die einfache Installation in die Rohrleitung, die zwei weiteren Elemente – eine Axialturbine und ein elektrischer Generator – befinden sich im Inneren. Über einen bedienerfreundlichen Touchscreen können die folgenden Einstellungen vor Ort vorgenommen werden:

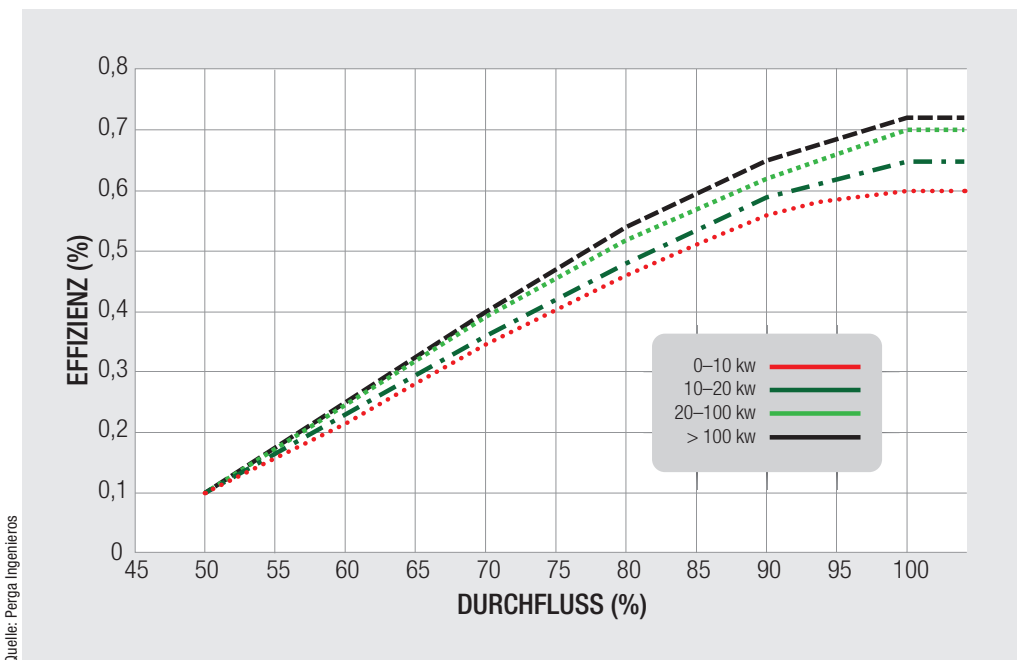


Abb. 2: Effizienzkurve der PAM-PERGA-Mikroturbine

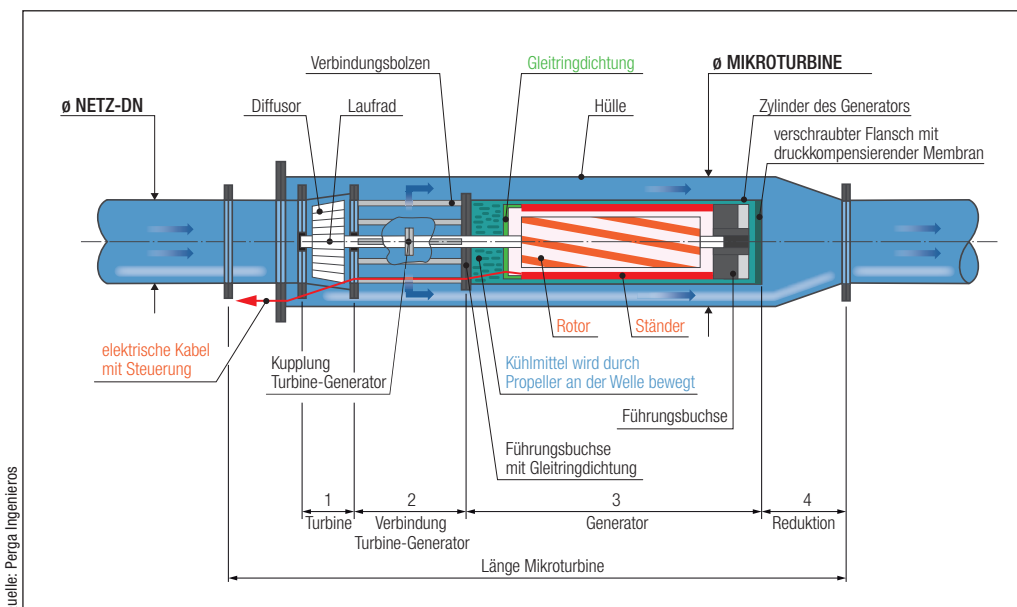


Abb. 3: Systemskizze der Mikroturbine: Der Wasserstrom wird über den Diffusor auf das Laufrad gelenkt, das über den nachgeschalteten Generator die kinetische Energie des Wassers in mechanische Leistung umwandelt.

- Steuerung der Turbine (Start/Stop, Sicherheitsstellung, Netzanschluss/Abschaltung etc.),
- Protokollierung von Ereignissen,
- Fehlermeldungen und manuelle Optionen,
- Dokumentation über die Messungen und
- Berechnung der erzeugten Leistung.

Die Bestandteile im Detail

Die Turbine transformiert die kinetische Energie des Wassers in mechani-

sche Leistung. Sie besteht im Wesentlichen aus einem Diffusor und einem axial laufenden Laufrad. Die Aufgabe des Diffusors besteht darin, den Durchfluss in einem vom Differenzdruck abhängigen, idealen Winkel auf das Laufrad zu lenken, worauf dieses in Rotationsgerät und sich mit bis zu 1.500 Umdrehungen pro Minute (U/min) dreht. Damit daraus nutzbare Energie wird, ist das Laufrad über eine Edelstahlwelle mit dem elektrischen Generator verbunden. Dieses zentrale Element erfüllt die Sicherheitsstandards nach VDI

2060 und garantiert hohe Qualität sowie Sicherheit. Die einzelnen Elemente benötigen keine intervallmäßige Wartung oder Schmierung.

Herzstück der Mikroturbine ist der Generator, der die mechanische Leistung der Turbine in Elektrizität umwandelt. Er ist als dreiphasiger Asynchrongenerator ausgeführt. Seine Widerstandskraft gegen Belastungen von mehr als 15 kg/cm² und seine Wasserdichtigkeit verhelfen ihm zu seiner Langlebigkeit. Der Generator befindet sich innerhalb

eines Kühlsystems, das vor Überhitzung wie auch vor Einfrieren schützt. Eine weitere Besonderheit des Generators ist sein Membran-Druck-Kompensationssystem, das die Beschädigungsgefahr des Motors bei hohem Druck im Hydraulikkreislauf beseitigt und thermische Schwankungen ausgleicht. Der Generator erfüllt dabei die Isolationsklasse Y (IEC34 Standard), sodass er bis zu einer Temperatur von 90 °C betrieben werden kann. Falls es doch zu höheren Temperaturen kommen sollte, verhindert ein Temperatursensor eine

Überhitzung des Generators. Auch für dieses Bauteil gilt: Es sind keine intervallmäßigen Wartungsarbeiten notwendig.

Die erzeugte Energie des Generators gelangt über entsprechende Kabelverbindungen ins elektrische Netz. Für einen zuverlässigen Betrieb sorgen die gesicherten Durchführungen der Generatorkabel, die absolute Dichtigkeit, Druckfestigkeit und Schutz bieten. Mithilfe dieser Kabel ist die Ankopplung an den Schaltschrank möglich, der das Gerät und die elektrische Verteilung steuert.

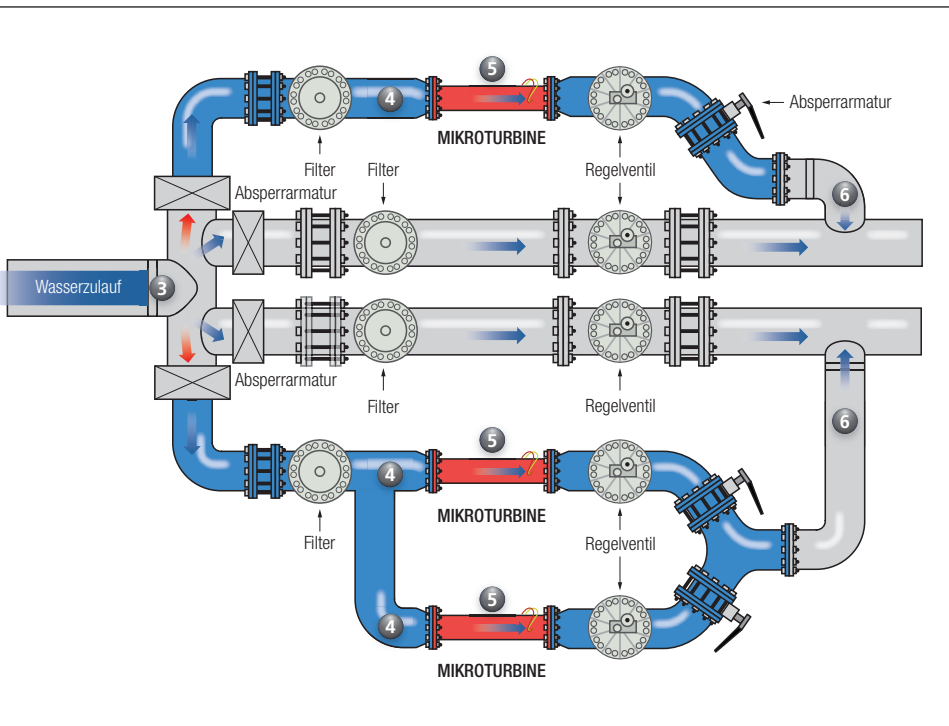


Quelle: Perga Ingenieros

Abb. 4: Bei der Wasserversorgung der spanischen Hauptstadt Madrid kommen mehrere Mikroturbinen zum Einsatz.

Der Körper der Mikroturbine besteht aus einem Stahlrohr mit angeschweißten Flanschen, das speziell auf die hydraulischen Eigenschaften der Anlage abgestimmt ist. Geschützt wird der Stahl durch eine Epoxidharz-Beschichtung, die den hygienischen Anforderungen des Water Regulations Advisory Scheme entspricht (Abb. 4).

Die Elektroinstallation der Standard-Ausführung lässt sich durch die an der Turbine vorhandenen Anschlüsse einfach herstellen, sodass die Bedienung und Steuerung auch von einem Schaltschrank aus möglich ist. Die Verknüpfung zu diesem Schrank ist besonders dann wichtig, wenn die Stromübergabe in ein Versorgungsnetz geplant ist. Da sich der Schaltschrank oft nicht in unmittelbarer Nähe der Turbine befindet, ermöglicht ein Touchscreen die Überwachung und Steuerung der Turbine vor Ort. Zusätzlich existiert ein Not-Aus-Schalter direkt an der Maschine, der ein Stoppen im Bedarfsfall erlaubt. Alternativ dazu gibt es eine weitere Ausführungsvariante, bei der der Eigenverbrauch im Vordergrund steht.



Quelle: Perga Ingenieros

Abb. 5: Systemskizze der parallelen Installation mehrerer Mikroturbinen

Einbausituationen

Während für andere Turbinenvarianten in vielen Fällen ein zusätzliches Turbinenhaus über dem Hochbehälter gebaut werden muss, ist der direkte Einbau der PAM-PERGA-Turbine grundsätzlich in jeder wasserführenden Druckrohrleitung ohne Feststoffe

denkbar. Das bedeutet, dass sowohl Trinkwasser als auch aufbereitetes Abwasser die Turbine antreiben kann, lediglich die zuvor genannten Werte für Durchflussrate sowie Eingangs- und Referenzdruck sollten eingehalten werden. Falls es höhere Druckunterschiede zu überwinden gilt, besteht darüber hinaus die Option, mehrere Mikroturbinen in Reihe zu schalten. Der schrittweise Abbau der Druckhöhen führt dann zu einer Energierückgewinnung und idealen Nutzung des vorhandenen Potenzials. Darüber hinaus wäre es denkbar, eine parallele Anordnung der Turbinen und der Hauptleitung vorzunehmen. Der Vorteil dieser Montagevariante besteht darin, die Turbinen in Abhängigkeit von eventuell wechselnden Ein- oder Ausgangsparameter an- oder abzuschalten und damit die idealen Bedingungen für den Betrieb des Netzes zu gewährleisten (Abb. 5).

Durch die Spielräume, die sich aus den unterschiedlichen Einbauvarianten ergeben, deckt die Mikroturbine nicht nur Einsatzbereiche von bekannten Turbinen ab, sondern auch solche, die bisher nur selten für die Energierückgewinnung in Betracht kamen. Das bedeutet: Die Mikroturbine ist nicht nur interessant für kommunale Wasserversorger, sondern auch für Industrie-Wassernetze. Selbst große Wasserwerke können die Turbine nutzen, indem sie die Maschine z. B. in die Kühlleitung des Hauptgenerators integrieren. Zusätzlich ist sogar ein direkter Einsatz als Hauptturbine in einem Wasserwerk realisierbar. Dabei entspricht die PAMPERGA-Turbine den Anforderungen der Sicherheits- und Gesundheitsbestimmungen gemäß Anhang 1 der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG.

Rechnet sich das?

Pro Einwohner und Jahr muss die deutsche Trinkwasserversorgung ca. 29 Kilowattstunden (kWh) und die deutsche Abwasserbehandlung ca. 34 kWh aufbringen, um den Anforderungen des Wassernetzwerks gerecht zu werden; dies entspricht etwa 5 Mrd. kWh pro Jahr. Die hierfür genutzte Energie hat

demzufolge einen deutlichen Einfluss auf die CO₂-Emissionen sowie die Umwelt und verursacht darüber hinaus einen hohen Kostenaufwand. Die Preise für industrielle Abnehmer mit einem Bedarf von mehr als 2.000 Megawattstunden (MWh) lagen im zweiten Halbjahr 2016 bei 12,62 Cent/kWh; das bedeutet, dass der Betreiber einer Mikroturbine die gewonnene Energie in sein System zurückführen und so 12,62 Cent/kWh einsparen kann. Ist der Eigenbedarf gedeckt, kommt zusätzlich der Verkauf des restlichen Ökostroms infrage. In Deutschland gilt hierfür das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), in dem ein Mindestpreis für Strom aus erneuerbaren Energien festgeschrieben ist. Im Jahr 2018 liegt dieser bei minimal 3,2 Cent/kWh und maximal 12 Cent/kWh.¹

Die durchschnittliche Amortisationsdauer hängt also maßgeblich davon ab, ob der Strom verkauft oder selbst genutzt wird. Unter der Annahme, dass es bereits ein funktionierendes Stromnetz gibt, über das der Ökostrom eingespeist bzw. verteilt werden kann, ergibt sich folgendes Bild: Die Anschaffungskosten der Mikroturbine sind von der Leistung abhängig, die sie unter Berücksichtigung der jeweiligen Betriebsparameter erzeugen kann. Eine individuelle Kosten-Nutzen-Rechnung ist somit für jeden Einzelfall zu überprüfen. Exemplarisch lässt sich allerdings festhalten, dass eine PAMPERGA-Turbine (Leistung: 10 kWh, knapp 86.000 kWh/Jahr), deren Installation, das passende Regelventil und die zusätzliche Absperrarmatur zusammen etwa 50.000 Euro kosten. Wird dann eine Einsparung bzw. ein Verkaufserlös von 12 Cent/kWh zugrunde gelegt, hat sich die Mikroturbine nach spätestens 4,7 Jahren amortisiert. Bei einer minimalen Nutzungsdauer von 25 Jahren ergibt daher eine sehr hohe wirtschaftliche Attraktivität für den Betreiber.

¹ Gemäß der Empfehlung 2008/18 der Clearingstelle EEG ist eine EEG-Vergütung des erzeugten Stroms nur dann möglich, wenn die kinetische Energie des genutzten Wassers nicht auf Pumpvorgänge zurückzuführen ist.

Schlussbetrachtung

Obwohl der Fokus beim Betrieb des Trinkwassernetzes weiterhin auf der Versorgungssicherheit der Bevölkerung liegt, sprechen einige Gründe dafür, künftig integrierte „Wasserkraftwerke“ zu bauen. Die vorgestellte Mikroturbine lässt sich dabei ohne aufwendige Maßnahmen in bestehende Netzstrukturen integrieren. Dadurch ist der Betreiber nicht an die Regelungen zur Oberflächenwassernutzung gebunden und kann die Realisierungszeiträume deutlich verringern. Zusätzlich müssen beim Einbau in ein bestehendes oder neu zu bauendes Versorgungsnetz keine aufwendigen Eingriffe in die Natur vorgenommen werden. Schließlich ist die Mikroturbine auch für hohe Druckunterschiede geeignet. Ein weiterer Pluspunkt, der über die Erzeugung „grünen“ Stroms hinausgeht, zeigt sich bei der Kostenbetrachtung: Die Anschaffungs- und Instandhaltungsausgaben sind im Verhältnis zu anderen Turbinen gering, sodass sich die Mikroturbine schon nach einem kurzen Betriebszeitraum für den Betreiber buchstäblich auszahlt. ■

Die Autorin

Stephanie Kracht ist Produktmanagerin Industrie bei der Saint-Gobain PAM Deutschland GmbH in Saarbrücken.

Kontakt:

Stephanie Kracht
Saint-Gobain PAM Deutschland GmbH
Saarbrücker Str. 51
66130 Saarbrücken

Tel.: 0681 8701-426

E-Mail: tobias.samson@saint-gobain.com

Internet: www.pamline.de