



KLEINWASSERKRAFTWERK ALTE ZIEGELEI IN DERENDINGEN

PROGRAMM KLEINWASSERKRAFTWERKE

Erfahrungs-und Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Köhli Thomas

Lindenacker 90, 4558 Hersiwil, thomaskoehli@yahoo.com



Impressum

Datum: 17. Juni 2006

Unterstützt vom Bundesamt für Energie

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

BFE-Bereichsleiter: bruno.guggisberg@bfe.admin.ch

Projektnummer: 46540

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.



Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Zusammenfassung..... | 4 |
| Abstract | 4 |
| Projektziele..... | 5 |
| Betriebserfahrungen und Schlussfolgerungen..... | 5 |
| Betriebsverhalten Wasserkraftschnecke bei änderndem Wasserdargebot oder änderndem Unterwasserspiegel | 5 |
| Änderndes Wasserdargebot | 5 |
| Ändernder Unterwasserspiegel..... | 6 |
| Betriebsverhalten Wasserkraftschnecke im Winter..... | 7 |
| Rechen und Reinigungsaufwand..... | 8 |
| Schwemmgutempfindlichkeit der Wasserkraftschnecke | 9 |
| Fischtreppe | 9 |
| Wartungsaufwand im Vergleich..... | 11 |
| Havarie..... | 11 |
| Wirkungsgradmessungen..... | 12 |
| Bewertung Betriebserfahrung und weiterer Ausblick..... | 12 |
| Schlusswort | 13 |



Zusammenfassung

Am Grützbach in Derendingen wurde ein Kleinwasserkraftwerk erstellt welches als erstes in der Schweiz eine Wasserkraftschnecke als Kraftmaschine verwendet. Bei einer Fallhöhe von 1.15m und einer mittleren Leistung von 6.8kW können im Jahr etwa 54000kWh/a bei einem Gestehungspreis von momentan ca. 26Rp/kWh produziert werden. Am 17. Februar 2005 erfolgte die Aufnahme der Stromproduktion. Die gemachten Betriebserfahrungen können als positiv betrachtet werden, obwohl zu Beginn der Stromproduktion eine Havarie der Anlage erfolgte. Mit der Reparatur konnte aber die Wahrscheinlichkeit für einen erneuten derartigen Schadensfall massiv verringert werden. Der im Vergleich zu einer konventionellen Turbinenanlage erwartete kleinere Wartungsaufwand für die Wasserkraftschnecke konnte nur teilweise bestätigt werden. Dies ist aber auf die noch fehlende Rechenreinigungsmaschine zurückzuführen. Insgesamt kann für die Anlage „Alte Ziegelei“ eine positive Bilanz gezogen werden; die hohe Verfügbarkeit der Anlage, Ihre Unempfindlichkeit gegenüber Schwemmgut und ihr in Anbetracht des noch fehlenden Rechenreinigers moderater Wartungsaufwand erlauben einen problemlosen Betrieb. Wirkungsgradmessungen der HTI Burdorf bestätigten die Angaben des Herstellers. Dieser Bericht gibt auch eine Übersicht über das Betriebsverhalten der Wasserkraftschnecke und möglichen Massnahmen für die Anpassung der Wasserkraftschnecke an das Wasserdargebot bzw. an die wechselnden Unterwasserspiegel. Der Bericht soll insbesondere der Planung von Wasserkraftwerken mit einer Wasserkraftschnecke dienen. Verwiesen sei noch auf die Patente [DE4139134](#) und [DE19507149](#).

Abstract

In the stream "Grützbach" in Derendingen (Switzerland) there was built a micro hydro plant which uses an Archimedes screw (also called hydrodynamic screw for energy conversion) as a power machine. At a head of 1.15m and a design flow of 800-1000 l/s the system of this type, which is unique in Switzerland, was put into commission on 17th February 2005 and has an electrical output of approximately 6,8 kW. This leading to a production of about 54000kWh/year at costs of 0.26CHF/kWh. The experience may be considered as positive, even when taking in account the machine accident occurred at the beginning of the power production. With the repair and optimization of the inlet area of the Archimedes screw, the risk of a new accident is minimized significantly. The expected smaller effort of service time for the Archimedes screw compared to a conventional turbine could not be achieved. This is due to the still missed trash rake cleaning device. Over all, for the plant "Alte Ziegelei" a good balance can be made, the high availability, its resistance against debris and the moderate service effort in view of the absent trash rake cleaner makes it easy to run. Efficiency measurements done by the HTI Burdorf confirmed the manufacturers specifications. This report shall also give an overview about the service behavior of the Archimedes screw and possible actions to make the screw fit to the available river discharge and/or to the changing tail water level. This report shall also give a help for planning hydro plants with Archimedes water force screw conveyor. Referred is to the patents [DE4139134](#) and [DE19507149](#).



Projektziele

Das zwischen 2002 und 2005 erstellte Pilot - und Demonstrationsprojekt Kleinwasserkraftwerk „Alte Ziegelei“ in Derendingen verwendet als Kraftmaschine eine Archimedische Schraube. Es sollen mit dieser Anlage die wirtschaftlichen und betrieblichen Vorteile gegenüber konventionellen Turbinen beim Einsatz in Niederdruckanlagen aufgezeigt und überprüft werden.

Die letzten Jahre standen im Zeichen der Erstellung der Anlage. Seit dem ersten Quartal 2005 ist diese nun in Betrieb, inzwischen liegt bereits etwas mehr als ein Jahr Betriebserfahrung vor. Dieser Bericht gibt eine Übersicht über die mit dem Betrieb der Wasserkraftschnecke gesammelten Erfahrungen.

Die Erfahrungen lassen sich wie folgt gliedern:

Betriebsverhalten Wasserkraftschnecke bei ändernder Wassermenge oder änderndem Unterwasserspiegel

Betriebsverhalten Wasserkraftschnecke im Winter

Rechen und Reinigungsaufwand

Schwemmgutempfindlichkeit der Wasserkraftschnecke

Fischtreppe

Wartungsaufwand im Vergleich

Havarie

Wirkungsgradmessungen

Betriebserfahrungen und Schlussfolgerungen

BETRIEBSVERHALTEN WASSERKRAFTSCHNECKE BEI ÄNDERNDEM WASSERDARGBOT ODER ÄNDERNDEM UNTERWASSERSPIEGEL

Änderndes Wasserdargebot

Die normal ausgeführte Wasserkraftschnecke kann bei verändertem Wasserdargebot nicht, so wie die normalerweise verwendeten geregelten Turbinen, den Oberwasserspiegel auf ein festgelegtes Niveau regulieren. Eine Möglichkeit diesen Sachverhalt zu umgehen ist weiter unten, beruhend auf Erkenntnissen aus dem Betrieb der Anlage, beschrieben.

Wie ist der technische Aufbau einer Wasserkraftschnecke? Die Wasserkraftschnecke besteht aus einem Trog mit etwa dreiviertelkreisförmigen nach oben offenen Querschnitt. Um die Schnecke später von oben in den Trog einlegen zu können, ist der Querschnitt mit über dem unteren Halbkreisquerschnitt angeordneten Profiblechen fertiggestellt. Dieser Trog führt mit einem Neigungswinkel von zwischen 20° bis 35° vom Oberwasser ins Unterwasser. Dabei liegt an beiden Enden des Troges der unterste Punkt des Querschnitts bei Nennabfluss ungefähr ein Drittel des Kreisdurchmessers unter dem Wasserspiegel des Ober- bzw. des Unterwassers. In den Trog eingelegt ist die Schnecke, ein Zylinder mit etwa halben Trogdurchmesser und drei daran wendelförmig angebrachten Leitelementen. Diese aus Stahlblech gefertigten Wendel laufen vom Eintritts- bis zum Austrittsbereich des Troges durch. Sie stehen radial auf dem Zylinder und haben eine Steigung von etwa drei Viertel des Trogdurchmessers. Damit bilden sich durch benachbarte Wendel und den Trog Kammern welche eine axiale Länge von etwa einem Viertel des Trogdurchmessers aufweisen. Das beim Betrieb oberwasserseitig einströmende Wasser versetzt die Wasserkraftschnecke durch seine Schwerkraft auf die durch die Steigung gegebene Neigung der Wendel in Bewegung. Ein mehrstufiges Getriebe bringt die relativ langsame Drehbewegung der Schnecke auf die Drehzahl des Generators.

Welcher Zusammenhang besteht zwischen Wasserdargebot und Oberwasserspiegel? Durch die vom Generator vorgegebene fixe Drehzahl füllen sich die Kammern mit der dem Wasserdargebot korrespondierenden Menge Wasser. Liegt also ein vergleichsweise hohes Wasserdargebot vor, so füllen sich die Kammern mit mehr Wasser, umso höher ist der Füllstand der einzelnen Kammer. Dementsprechend grösser ist auch das durch die Schwerkraft hervorgerufene Drehmoment auf den jeweils stromabwärts liegenden Wendel und damit die vom Generator abgegebene Leistung. Der sich nun also vor



der Wasserkraftschnecke aufbauende Oberwasserspiegel entspricht in seiner Höhe, zuzüglich der Eintrittsverluste, dem Füllstand der Kammern in der Schnecke.

Liegt ein vergleichsweise kleines Wasserdargebot vor, so ist der Füllstand in den Kammern weniger hoch. Korrespondierend dazu ist somit auch der Wasserspiegel vor der Wasserkraftschnecke niedriger.

Ändernder Unterwasserspiegel

Welche Voraussetzungen gelten bei unterschiedlichem Wasserdargebot im Austrittsbereich ins Unterwasser? Im Gegensatz zum Oberwasser, wo die Wasserkraftschnecke die Höhe des Oberwasserspiegels vorgibt, ist im Unterwasser die Höhe des Wasserspiegels durch die Abflusskennlinie des Gewässers vorgegeben. Die Kammern sind im Idealfall gerade so hoch gefüllt wie es nötig ist um beim Austritt das gleiche Niveau zu haben wie der dem Wasserdargebot entsprechende Unterwasserspiegel. Bei korrekter Auslegung der Wasserkraftschnecke ist die Kennlinie der Wasserkraftschnecke also möglichst Deckungsgleich der Kennlinie des Unterwassers. Es liegt in der Natur der Sache dass dies nie vollkommen gelingt.

Welche Folgen hat ein nicht optimaler Austrittsbereich und welche Möglichkeiten bestehen um diesen zu beeinflussen?

Ist der Austritt zum Beispiel in einen See mit etwa konstantem Wasserspiegel, so wird man den Austritt so anordnen dass bei Nennwassermenge der Füllstand der Kammern das gleiche Niveau hat wie der Seewasserspiegel. Bringt das Wasserdargebot nur einen Bruchteil der Nennwassermenge, so sinkt der Füllstand der Kammern entsprechend. Das Niveau des Wassers liegt somit beim Austritt in den Kammern tiefer als der Seewasserspiegel, dadurch wird das Wasser in den Kammern unter den Seewasserspiegel gefördert. Dies verzehrt dem Höhenunterschied entsprechend Energie und führt dazu, dass Seewasser in die Kammer hineinstürzt, wenn der stromabwärts liegende Wendel durch die Drehung den Austrittsquerschnitt zum See freigibt. Damit verbunden ist ein lautes Stampfen der Wasserkraftschnecke mit entsprechend starken Vibrationen. Abhilfe bringt hier die Verwendung mehrerer kleinerer Wasserkraftschnecken welche einzeln, dem Wasserdargebot entsprechend, zu oder abschaltbar sind. Dies führt im Vergleich mit einer einzigen grossen Wasserkraftschnecke zu kleineren Niveauunterschieden zwischen teilgefüllten Kammern und dem Seewasserspiegel, zum einen durch die kleinere Grösse der Wasserkraftschnecken und zum anderen durch die entsprechend bessere Füllung nur einer einzigen kleinen Wasserkraftschnecke bei kleinem Wasserdargebot. Eine andere Möglichkeit ist, die Wasserkraftschnecke drehzahlvariabel zu fahren und damit den Füllstand der Kammern unabhängig vom Wasserdargebot konstant zu halten, mit dem angenehmen Nebeneffekt, dass der Oberwasserspiegel trotz des geringeren Wasserdargebots anhebbar ist. Bei dieser Lösung sind allerdings die untere Drehzahl zum einen durch die mechanische oder elektrische Drehzahlvariation, zum anderen durch die Spaltverluste zwischen den Wendeln und dem Trog begrenzt.

Erfolgt der Austritt aber in ein Fliessgewässer, welches bei abnehmendem Wasserdargebot eine steiler abfallende Kennlinie aufweist als die Wasserkraftschnecke, so führt dies bei abnehmendem Wasserdargebot zu einem Absinken des Gewässerspiegels im Unterwasser unter das Niveau des Kammerfüllstandes. Gibt der stromabwärts liegende Wendel nun den Austrittsquerschnitt frei ergiesst sich der Inhalt der Kammer aus entsprechender Höhe in das Fliessgewässer, die Höhe geht energetisch verloren. In der Praxis ist dieser extreme Fall wohl eher selten anzutreffen. Abhilfe schafft hier allenfalls eine Erhöhung der Drehzahl im Teillastbereich oder die Verwendung einer überdimensionierten Wasserkraftschnecke. Die Grenzen bilden hier wohl die obere zulässige Drehzahl der Wasserkraftschnecke bzw. die bei einer grösseren Wasserkraftschnecke anfallenden höheren Anschaffungs- und Folgekosten.

In der Praxis erfolgt der Austritt mehrheitlich in ein Fliessgewässer, dessen Kennlinie eine flachere Kurve aufweist als die Wasserkraftschnecke. Bei abnehmendem Wasserdargebot sinkt das Niveau des Füllstandes in den Kammern unter den Gewässerspiegel. Es tritt somit ein ähnlicher Fall auf wie beim Austritt in einen See mit konstantem Seespiegel. Entsprechend ähnlich sind die Folgen der im Teillastbereich auftretenden Niveauunterschiede zwischen den Kammern und dem Gewässer, jedoch liegt die Stärke der Folgen in abgeschwächter Form vor.

Abhilfe verschaffen auch hier die weiter oben beschriebenen Ausführungen für den Austritt in einen See mit etwa konstantem Wasserspiegel.

Eine weitere Möglichkeit stellt eine Höhenverstellung des Austrittsbereiches mittels Gewindespindeln, Hydraulikzylindern oder Hebelanordnungen und dadurch erreichter Veränderung des Anstellwinkels



der Wasserkraftschnecke dar. Dies kann allerdings nur bei Wasserkraftschnecken mit nicht ortsfestem Trog erfolgen. Mit ihr kann das Niveau in den Kammern dem Wasserdargebot entsprechend an den Unterwasserspiegel angeglichen werden. Eine Kombination dieser Höhenverstellung mit drehzahlvariablem Betrieb der Wasserkraftschnecke bringt die grösstmögliche Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Wasserdargebotes und Gefälles. Die Abdichtung des Anschlusses der in einer vorzugsweise dem untersten Punkt des Trogquerschnitts nahe liegenden Schwenkachse gelagerten Wasserkraftschnecke und dem Bauwerk im Bereich des Oberwassers erfolgt mit seitlich zwischen beiden Teilen fest verbundenen Gummimatten welche als Faltenbalg oder als gefalteter Kreisabschnitt ausgebildet sind. Eine andere Lösung sieht eine Kombination von entsprechend ausgebildeten Gleitflächen und Dichtlippen vor. Der Bereich nahe dem Scharnier kann mit einer zwischen beiden Teilen fest montierten Gummimatte geschehen, sie muss mindestens so lang sein, das beide Endpositionen anfahrbar sind ohne die Matte zu zerstören.

Will man auf eine Drehzahlvarianz verzichten, so ist mit einer Höhenverstellung des Eintrittsbereiches der Oberwasserspiegel beeinflussbar. In Kombination mit der Höhenverstellung des Austrittsbereiches wird so das Wasserdargebot und das möglich Gefälle bestmöglichst ausgenutzt. Die zusätzliche Höhenverstellung im Eintrittsbereich bedarf aber zusätzlich zur Dichtung für die Neigungsänderung einer weiteren Dichtungsvorrichtung, idealerweise einer Dichtlippe welche durch den Wasserdruck auf eine Gleitfläche gedrückt wird.

Bei Wasserkraftschnecken mit ortsfestem, meist betoniertem Trog, können die oben beschriebenen Anordnungen nicht realisiert werden. Hier bietet sich eine axiale Verschiebung der Schnecke mit Gewindetrieben, Hydraulikzylindern oder Hebelanordnungen an. Im Unterwasserbereich kann so der Austrittsbereich in die Stellung gefahren werden in welchem der Unterwasserspiegel mit dem Füllstand der Kammern korrespondiert. Voraussetzung dafür ist die Fortsetzung des Troges bis zur untersten Endposition der Schnecke. Bei Austritt in Gewässer mit im Vergleich zur Wasserkraftschnecke steiler abfallender Kennlinie ist die Schnecke im Eintrittsbereich nach vorne zu verlängern, da ja im Teillastbereich, also bei geringerem Wasserdargebot, die Schnecke nach unten geschoben wird. Bei all diesen für die ortsfeste Wasserkraftschnecke beschriebenen Ausführungen für die Anpassung des Austrittsbereiches an den Unterwasserspiegel bleibt der Eintrittsbereich an der gleichen Stelle. Da aber die Schnecke im Teillastbereich aus dem Trog herausragen kann ist es absolut zwingend, den Eintrittsbereich auf 360° absolut rotationssymmetrisch auszugestalten. Dabei muss die Länge in axialer Richtung vor dem Eintrittsbereich mindesten so lang sein wie das längste erwartete und als gefährlich einzustufende Schwemmgut, eine gerader, entasteter grüner Baumstamm mit kleinerem Durchmesser als der lichte Rechenabstand. Weiter ist auch der dem Eintrittsbereich nachgelagerte Teil auf einer Länge von mindestens dem doppelten axialen Wendelabstand mit einem vollen Kreisquerschnitt des Troges zu versehen. Diese Massnahmen dienen dem Verhindern des Verkeilens von grobem Schwemmgut welches die Wendel verbiegen könnte. Um allenfalls auch den Oberwasserspiegel beeinflussen zu können, ist ein drehzahlvariabler Betrieb einzurichten. Vor den Eintrittsbereich einschwenk- oder einschiebbare Trogelemente dürften konstruktiv eher schwierig zu realisieren sein.

Verwiesen sei noch auf die Patente [DE4139134](#) und [DE19507149](#) des Herstellers der Wasserkraftschnecke. In DE4139134 sind nur allgemein die Möglichkeiten der Anpassung der Wasserkraftschnecke an wechselnde Wasserdargebote beschrieben. Die in DE19507149 beschriebene Erfindung ist ein weiterer Weg für die Anpassung an wechselnde Wasserdargebote, wenngleich diese wohl einen nicht zu unterschätzenden Bauaufwand bewirkt. Beide Patente sind zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts in Kraft, Familienmitglieder beider Patente in anderen Ländern als Deutschland sind nicht bekannt.

BETRIEBSVERHALTEN WASSERKRAFTSCHNECKE IM WINTER

Was bewirken Umgebungstemperaturen unter dem Gefrierpunkt? Wie bei allen Schwerkraftmaschinen tritt auch bei der Wasserkraftschnecke ein beträchtlicher Teil der Mechanik mit der Luft in Berührung. Im Winter hat dies bei Temperaturen um den Gefrierpunkt Eisbildung zu Folge. Bei der Wasserkraftschnecke mit nicht ortsfestem, aus Stahl gefertigtem Trog können zwei Gefrierzustände beobachtet werden. Bei Temperaturen knapp unter dem Gefrierpunkt, also etwa bis minus fünf Grad Celsius, friert das durch die Schnecke verspritzte Wasser auf den ihr benachbarten Bauteilen und bildet so Eispanzer. Die unmittelbare Nachbarschaft der Teile zur Schnecke bleibt aber eisfrei weil dort am meisten Wasser hingelangt und so die Wärmezufuhr durch das Wasser reicht um ein Gefrieren zu verhindern. Sinken die Temperaturen weiter nach unten, so reicht die vom Wasser zugeführte Wärme nicht mehr aus um die durch das Metall an die Umgebung abgeführte Wärme zu ersetzen. Die sich



drehende Schnecke fördert durch die Schraubbewegung neben dem Wasser auch Luft durch den Trog, was die Auskühlung der Bauteile weiter begünstigt. Es bilden sich Eisanspanzer in der unmittelbaren Umgebung zur Schnecke. Bevorzugte Stellen sind der an der Luft liegende Eintrittsbereich, die oberen Endkanten des Troges sowie der Austrittsbereich. Das Eis bildet sich bis in den Spalt zwischen Schnecke und Trog. Folge davon ist ein Berühren der Wendel mit dem am Trog anhaftenden Eis. Es kommt zu Touchiergeräuschen und leichten Vibrationen. Die im Winter herrschenden Tieftemperaturen bescherten einen längeren Betrieb unter diesen Voraussetzungen. Es zeigte sich jedoch, dass die Schnecke jederzeit in der Lage war sich ihr Bett gängig zu halten. Dies wohl dadurch dass mit zunehmendem Eisanspanzer in unmittelbarer Umgebung der Schnecke der Wärmeübergang vom Metall an die Luft durch das isolierende Eis reduziert wird. Lediglich dort wo die Bauteile von aussen direkt mit Luft in Berührung kommen bleiben Berührungspunkte übrig.

Das Verhalten von Wasserkraftschnecken mit ortsfestem, aus Beton erstelltem Trog wird vermutlich ähnlich sein, da dort nur die untere Hälfte des Troges aus Beton ist. Die beidseitigen oberen Abschlüsse des Trogquerschnittes sind in den meisten Fällen mit am nach oben offenen, im Querschnitt U-förmigen Betontrog festgemachten Profilblechen erstellt. Der durch den Beton erschwerte Wärmetransport lässt allerdings eine leichte Verbesserung des Vereisungsverhaltens erwarten.

Als Massnahme bei starker Eisbildung hat sich das „Aufheizen“ der kritischen Bereiche bewährt. Mit einer kleinen Tauchpumpe und einem Gartenschlauch wird Bachwasser mittels Wasserstrahl auf das Eis gebracht. Die, wenn auch kleine, Temperaturdifferenz bringt das Eis zum Schmelzen. Eine fixe Installation von entsprechend angelegten Rohren mit Austrittsöffnungen bietet sich an, damit kann über einen Temperaturschalter ein automatisches Enteisen der Wasserkraftschnecke eingeleitet werden.

RECHEN UND REINIGUNGS-AUFWAND

Welchen Vorteil bringt der Rechen einer Wasserkraftschnecke? Der zurzeit montierte Rechen ist noch provisorischer Natur. Könnte aber die Planung nochmals von vorne beginnen, so wäre diese Form des Rechens der geplanten vorzuziehen. Der provisorische, aus Holz gefertigte Rechen hat eine schwache Neigung von ca. 25° bis 30° zur Horizontalen. Aufschwimmendes Schwemmgut bleibt so nicht an der Auftrittstelle hängen, sondern gleitet auf dem Rechenstab, durch die Strömung des Wassers bewirkt, bis nach oben an die Wasseroberfläche. Auf diese Weise reinigt sich der Rechen selber bis die Schleppekraft des Wassers auf das neu anfallende Schwemmgut nicht mehr ausreicht um das oben aufgetürmte Schwemmgut weiter nach oben zu stossen. Es kommt während des Aufsteigens vielfach auch zu einem Abrutschen des Schwemmgutes vom Rechenstab, so wird das Schwemmgutaukommen am Rechen etwas verringert. Weiter ist der Rechen für eine Wasserkraftschnecke mit einem sehr grossen lichten Stababstand ausgestattet. Dabei sind die vorgeschriebenen minimalen Rechenstababstände für den Personenschutz einzuhalten! Die grosse lichte Weite ermöglicht das Passieren von kleinem Schwemmgut. Damit einher geht ein wesentlich geringerer Wartungsaufwand. So kann die Anlage ohne automatischen Rechenreiniger mit einem täglichen Reinigungsrundgang betrieben werden. Die Bauform des provisorischen Rechens entstand unter Berücksichtigung des noch nicht vollständig freigegebenen Zulaufkanals zur Wasserkraftschnecke. Dieser im Querschnitt zwei mal zwei Meter messende Kanal ist zwecks Ermöglichung von Arbeiten im Innern am Eingangsbereich mit Brettern vermauert. Nur der obere halbe Meter ist durch eine Klappe gebildet welche zum Betrieb der Anlage geöffnet werden kann.

Der definitive Rechen wird mit einer relativ starken Neigung ausgestattet sein, da bei der Anlagenplanung ein möglichst kurzer Zulaufkanal und damit verbundene Baukosten angestrebt wurden. Dadurch entfällt der selbsttätige Reinigungseffekt und die Reinigung muss durch eine Reinigungsmaschine erfolgen. Es kann als Vorteil gelten, dass zu Beginn der Stromproduktion der Rechen noch manuell gereinigt werden muss. Die dabei mit den verschiedensten angeschwemmten Materialien gesammelten Erfahrungen können in die optimale Auslegung der Reinigungsmaschine einfließen.

Welche saisonalen Unterschiede ergeben sich für die Rechenreinigung? Zum grössten Teil besteht das anfallende Schwemmgut von Menschenhand, auch wenn dies auf den ersten Blick manchmal nicht ersichtlich ist. Leider ist dieses Schwemmgut auch dasjenige welches den grössten Aufwand verursacht.

Dies beginnt mit den im Frühling einsetzenden Gartenarbeiten bei welchem den Anstössern die Entsorgung des Schnittmaterials von Bäumen und Sträucher im Fliessgewässer die kostengünstigste Variante scheint. Die Zweige, Äste und Baumkronen bleiben im Rechen hängen. War gerade eine



grössere Gartenanlage in der Pflege, so wird das Entfernen dieses Materiales ein ziemliche Anstrengung, da die in sich verkeilten, noch grünen Zweige eine kompakte Masse bilden welche Stück für Stück zu Entfernen ist. Zeitgleich fallen auch erfrorene und ausgegrabene Pflanzen an, diese machen die Reinigung auch nicht gerade leichter. Es ist auch die Saison der Blütenstände, sie bilden grosse Schwimmteppiche die sich in den bereits am Rechen befindliche Ästen einlagern und so für das Wasser praktisch undurchdringbar werden. Der selbstreinigende Effekt des Rechens verhindert aber eine wirkliche Beeinträchtigung der Wasserzufuhr zur Wasserkraftschnecke, da die angefallenen Schnittabfallmenge innerhalb eines Tages immer unter einer kritischen Grösse blieben.

Naht der Sommer, so werden die ersten Wiesen gemäht. Im Bereich von Böschungen fällt dabei oft Gras an. Die Grashalme erreichen eine Länge von 50 bis 100cm. Dieser Umstand bewirkt ein fast zu hundert Prozent sicheres Hängen bleiben im Rechen. Fällt Gras an, so geschieht dies meist gleich in grossen Mengen. Durch seine Feinheit und Flexibilität bildet sich eine kompakte, die Rechenstäbe umschliessende Masse, sie ist für das Wasser kaum zu durchdringen. Mit Gras wurde bis jetzt der höchste Belegungsgrad, ca. zwei Drittel, des Rechens erreicht. Der Höhenverlust über dem Rechen betrug dabei aber nie mehr als 15cm.

Das nach Gewittern, Hagel oder Stürmen anschwimmende Holz welches von Bäumen abgeschlagen oder abgebrochen worden ist stellt auf Grund seiner jeweils anfallenden Menge nur ein mittleres Aufkommen an Schwemmgut dar. Für die Rechenreinigung gilt aber das gleiche wie weiter oben beschrieben.

Leider eindeutig den Menschen zuzuordnen sind die weggeworfenen Zivilisationsgüter. Von Verbrauchsartikeln wie Flaschen, Verpackungen und Säcken bis zu Gebrauchsartikeln wie Spielsachen, zersägte Möbel und Fahrrädern ist im und vor dem Rechen allerlei Kurioses zu finden. Eine saisonale Massierung solchen Schwemmgutes ist nur schwach, es kommt das ganze Jahr hindurch immer etwa gleichviel Müll angeschwommen. Der Zivilisationsmüll wird ausgesondert und in die Kehrichtverbrennungsanlage gebracht.

Fallen im Herbst wieder die Blätter, so finden diese den Weg zum Rechen. Dort angekommen huschen sie meist ohne Probleme hindurch. Auf Grund der vergleichsweise grossen Auflage rutschen die Blätter auf dem Rechenstab nur zögerlich gegen den Oberwasserspiegel. Es kommt somit im oberen Drittel des Rechens auf dem jeweiligen Rechenstab zum Aufbau von einem Klumpen aus Blättern. Bei hohem Aufkommen verbinden sich diese durch Brückenbildung zu einem einzigen Gebilde. Die Entfernung der Blätter ist aber vergleichsweise einfach, sie können ohne Probleme zwischen den Stäben hindurchgestossen werden und wandern bachabwärts weiter.

Im Winter ist in Sachen Schwemmgut am wenigsten Aktivität. Der grösste Teil sind dürre Äste welche durch die Schnee- oder Windlast von den Bäumen fallen. Ihr Aufkommen ist, ausser nach heftigem Schneefall oder starken Winden, moderat. Mit der Reinigungsharke werden sie zwischen die Stäbe gedrückt, sie zerbrechen dadurch und schwimmen weiter. An den Rechenstäben bildet sich bei Minustemperaturen ein kleiner Eispanzer, dieser verursacht aber keine Probleme

SCHWEMMGUTEMPFLINDLICHKEIT DER WASSERKRAFTSCHNECKE

Dasjenige Schwemmgut welches nicht durch den Rechen zurückgehalten wird gelangt Zwangsweise zur Wasserkraftschnecke. Gras und vereinzelt auch Blätter oder kleine verästelte Zweige bleiben an den Einlaufkanten der Schneckenwendel hängen. Mit der Zeit werden diese aber wieder abgeworfen. Äste mit einer Länge etwas kleiner als der Schneckendurchmesser passieren problemlos, treffen sie etwas ungünstig auf die Schneckenwendel gibt es ein kurzes Rumpeln und Krachen, die Sache hat sich somit erledigt. Dies war nicht immer so, dazu aber weiter unten mehr. Das Verhalten der Wasserkraftschnecke kann also insgesamt als sehr gutmütig bezeichnet werden. Einzig bei Ästen ab 5cm Dicke welche in Ihrer Länge grösser sind als der Schneckendurchmesser, sind allenfalls Probleme zu erwarten. Der Rechen konnte aber solche Äste bis jetzt von der Wasserkraftschnecke fernhalten.

FISCHTREPPE

Die Fischtreppe ist als naturnahes Raugerinne ausgebildet. Die einzelnen Stufen sind durch Steinblöcke, welche eine Aufstiegsöffnung bilden, voneinander getrennt. Die Sole ist mit Kies belegt. Darunter ist alles mit Lehm abgedichtet.

Die Wirksamkeit der Fischtreppe ist nur schwer zu überprüfen, verriegelt man aber den Eingangsbeereich für kurze Zeit, so sind im in den Becken verbleibenden Wasser vereinzelt Fische zu entdecken.



Es wurden auch grössere Exemplare gesichtet, womit insgesamt die Annahme auf korrektes Funktionieren gerechtfertigt scheint.

In die Fischtreppe eingetragenes Geschwemmsel bewirkt manchmal ein Verstopfen der Aufstiegsöffnungen. Somit sind regelmässige Kontrollen und gegebenenfalls Reinigungen durchzuführen.

Die nun etwa dreijährige Betriebszeit der Fischtreppe zeigt auch einige Mängel in deren Ausführung. Insbesondere die Stufen mit den grössten Höhenunterschieden weisen Unter- bzw. Hinterspülungen der Steinblöcke auf. Dadurch sind diese verrutscht und haben die Aufstiegsöffnung weiter verkleinert, was natürlich zu einem Anstieg der Höhendifferenz und einer weiteren Erodierung führt.

Ursache für diese Problematik liegt wohl in der nicht vollständigen Auskleidung des Sol- und speziell des Seitenbereiches mit Lehm. Die vor allem im Seitenbereich verwendete, die Gesteinsblöcke hinterfüllende normale Erde hat dem Wasser, sobald es durch eine kleine Lücke zu fließen beginnt, nichts entgegenzusetzen. Es wird ausgespült und es bilden sich grosse Hohlräume hinter den Steinen in welchen das Wasser hindurchfliesst. Einfaches Auffüllen der entstandenen Lücken mit Lehm wird nur kurzfristig Abhilfe verschaffen, da sich das Wasser dann einfach daneben einen neuen Weg sucht.

Begünstigend für das Verrutschen der Gesteinsblöcke ist auch der Umstand, dass diese nicht gegeneinander zur Gegenrichtung der Strömung verkeilt sind. Dies hätte in etwa den Effekt eines allein durch die Schwerkraft gehaltenen, aus Steinsegmenten gebildeten Torbogens.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass der Auskleidung des Fischtreppenbettes mit Lehm bis über die höchstmögliche Wasserhöhe und der korrekten Verteilung und Anordnung der Gesteinsblöcke höchste Aufmerksamkeit geschenkt werden muss.



WARTUNGSAUFWAND IM VERGLEICH

Ein Vergleich zwischen der Wasserkraftanlage „KLEA“ und der Wasserkraftanlage „Alte Ziegelei“ soll die Unterschiede zwischen dem Betrieb von Turbinen und Wasserkraftschnecken aufzeigen. Die Anlagenkenndaten sind wie folgt.

| | KLEA, entnommen Statistik 1999-2005 | Alte Ziegelei, Betriebserfahrung 2005 -06 |
|-----------------------------------|---|--|
| Wassermenge | 700 – 900 l/s | 800 – 1000 l/s |
| Fallhöhe | 2.3 m | 1.15 m |
| Mittlere elektrische Leistung | 11 kW | 6,8 kW |
| Mittlere Jahresproduktion | 80000 kWh | 54000 kWh |
| Rechenfläche (Haupt- / Vorrechen) | ca. 1.5 x 1.3 m ² / 1.5 x 1.0 m ² | ca. 2.0 x 0.5 m ² |
| Rechenstababstand | ca. 30 mm / Vorrechen 200 mm | ca. 150 mm |
| Rechenreinigung | maschinell und manuell | manuell |
| Fischtreppe | Vertikal Slot Fischpass | Raugerinne |
| Anzahl Rundgänge | 250, ohne Vorrechen 450 | 360 |
| Dauer pro Rundgang | 15 min | 15 min |
| Zeitaufwand Rundgänge | 62.5 h, ohne Vorrechen 112.5 h | 90 h |

Der Wartungsaufwand beider Anlagen beschränkt sich im Wesentlichen auf die Reinigung des Rechens und allenfalls der Fischtreppe. Ein solcher Rundgang, meist täglich ausgeführt, dauert in der Regel zwischen 10 bis 15 Minuten. Es fällt auf, dass der erhoffte geringere Wartungsaufwand für die Anlage „Alte Ziegelei“ nicht, bzw. noch nicht eingetreten ist. Der Grund dazu ist, dass dort keine Rechenreinigungsmaschine vorhanden ist. Verglichen mit der Anlage „KLEA“, welche ja mit einer Reinigungsmaschine ausgestattet ist, fällt der Aufwand aber dennoch klein aus. Bei der Anlage „KLEA“ wurde im letzten Jahr ein Vorrechen installiert. Er erlaubt den nun problemlosen Betrieb der Reinigungsmaschine. Ohne diesen Vorrechen kam es des öftern zu Komplikationen wegen grobem Schwemmgut, was sich in der grösseren Anzahl Rundgängen niederschlug. Betrachtet mit den damaligen Gegebenheiten ist der Wartungsaufwand der Anlage „Alte Ziegelei“ geringer. Zu berücksichtigen ist auch, dass die Anlage „KLEA“ im Herbst wegen starkem Laubaufkommen den Betrieb für durchschnittlich 450h, also fast 3 Wochen, einstellen muss. Die bei der Anlage „Alte Ziegelei“ noch zu installierende Rechenreinigungsmaschine lässt erwarten, dass dort der Wartungsaufwand gesenkt werden kann.

Insgesamt kann für die Anlage „Alte Ziegelei“ eine positive Bilanz gezogen werden; die hohe Verfügbarkeit der Anlage, Ihre Unempfindlichkeit gegenüber Schwemmgut und ihr in anbetracht des noch fehlenden Rechenreinigers moderater Wartungsaufwand erlauben einen problemlosen Betrieb.

HAVARIE

Im Frühling 2005, also schon kurz nach Inbetriebnahme der Anlage „Alte Ziegelei“ kam es bei dieser zu einer Havarie. Was war geschehen? Die Anlage hatte am selben Tag bereits einmal selbständig infolge Wassermangels abgestellt. Als wieder genügend Wasser kam wurde die Maschine wieder gestartet und alles auf Dauerbetrieb eingestellt, womit die Anlage wieder sich selbst überlassen werden konnte. Inwieweit die vorangegangenen Ereignisse einen Einfluss auf das folgende Geschehen haben ist bis heute nicht klar. Auf jeden Fall kam ungefähr 3 Stunden später via SMS die Meldung dass die Maschine wieder abgestellt hat. In der Annahme dass es sich wieder um ein Abstellen wegen Wassermangels handelte, wurde die Maschine wieder gestartet. Das nun aber etwas andere Betriebsgeräusch zeigte an, dass etwas nicht mehr in Ordnung war. Die Beobachtung des Eintrittsbereichs der Wasserkraftschnecke zeigte denn auch, dass zwei Wendel verbogen waren. Es stellte sich die Frage wie das passieren konnte. Ein am der Anlage vorgelagertem, Abweiskbalken gefundener entasteter Baumstamm mit etwa 1m Länge und 5 bis 10 cm Durchmesser lässt vermuten das ein weiterer solcher Baumstamm den Weg durch den Rechen gefunden hatte. Aber eigentlich hätte ein sol-



ches Stück Holz ohne Probleme die Anlage passieren sollen, entsprechende Vorführungen bei der Anlage „Rödersmühle“ in Deutschland wurde von der dortigen Wasserkraftschnecke nur mit einem lauten Rumpeln quittiert. Weshalb kann also in der Anlage „Alte Ziegelei“ dennoch ein solches Holzstück eingeklemmt werden? Ein Vergleich vom Eintrittsbereich der Wasserkraftschnecken beider Anlagen zeigte dann die Ursache. Ist bei der Anlage „Rödersmühle“ die Vorderkante der Wendel bündig mit der Stirnseite des Troges, so waren bei der Anlage „Alte Ziegelei“ die Wendel über den Trog hinaus verlängert worden. Durch die nun überstehende Wendel bildet sich zwischen der Eintrittskante des Troges und den Wendeln im Meridianschnitt gesehen eine keilförmige, potenzielle Quetschstelle. Das Holzstück wurde also durch einen Wendel erfasst und in die Quetschstelle hineingezogen. Dies allein genügte aber für das Verbiegen des betroffenen Wendels nicht. Die Schlussfolgerung des Schadensbildes, es waren schliesslich zwei Wendel verbogen, ergibt folgenden Havariehergang. Das eingeklemmte Stück Holz wurde durch die drehende Schnecke der Eintrittskante des Troges entlanggeschleift. Solange das Holz im senkrecht von der Schneckenachse weggehenden Stirnbereich des Troges entlang schleifte konnte nichts passieren, die Winkelverhältnisse in der keilförmigen Quetschstelle lassen ein selbstständiges Klemmen infolge der Reibungskräfte nicht zu. Erst als das Holz an der sich parallel zur Schneckenachse über den Trog erstreckenden Seitenwand ansties wurde seine Vorwärtsbewegung gestoppt. Damit einher ging auch das Einquetschen des Holzstückes zwischen Trogkante und Wendel. Das schwächere Element gab den einwirkenden Kräften nach, der Wendel wurde im Bereich der Trogeintrittskante weggedrückt. Durch die abrupte Verzögerung aller bewegten Massen baute sich um den Drehpunkt der Quetschstelle ein gewaltiges Drehmoment auf welches bewirkte dass die obere Lagerstelle, mittig auf einem etwa 1.5 m langen U-Profil abgestützt, nach unten weggedrückt wurde. Diese Bewegung wurde nach unten durch das Anstellen der radial äusseren Seite des dem mit dem Holzstück beschäftigten Wendel nachfolgenden Wendel begrenzt. Die hohe Normalkraft und die sich aus der Drehbewegung ergebende Tangentialkraft auf letzteren Wendel bewirkte auch hier eine Verbiegung.

Die nötige Reparatur musste auf eigene Kosten erledigt werden. Die Verantwortlichen der Herstellerfirma fühlten sich nicht in der Verantwortung. Rücksprache mit dem Konstrukteur ergaben, dass die Wendel entgegen den üblichen Gepflogenheiten über den Trog hinweg verlängert wurden. Die Erwartung, dass die vor dem Eintrittsbereich des Troges nutzbare kinetische Energie des Wassers eine Wirkungsgradsteigerung zur Folge hat, trat nicht ein. Die möglichen Folgen der Wendelverlängerung bei der Anlage „Alte Ziegelei“ wurden nicht bedacht, der Betreiber auch nicht über die veränderte Konstruktion aufmerksam gemacht. Glücklicherweise wurden wenigstens Wendelsegmente für die Reparatur zu Verfügung gestellt.

WIRKUNGSGRADMESSUNGEN

Mit der Fachhochschule Burgdorf ist eine Zusammenarbeit für die Wirkungsgradbestimmung und die Wirtschaftlichkeit gemacht worden. Die Arbeiten dazu wurden im Sommer bis Herbst 2005 durchgeführt. Dazu wurden ein Messüberfall und eine Geschwindigkeitsprofilmessung vorbereitet. Die Messungen ergaben den vom Hersteller angegebenen hohen Wirkungsgrad, die Schluckmenge fiel allerdings geringer aus als angegeben. Genauere Analysen und Sachverhalte sind der Arbeit der HTI Burgdorf zu entnehmen welche zusammen mit diesem Bericht eingereicht wurden. Die Koordinierung dieser Zusammenarbeit konnte mit relativ geringem Zeitaufwand gemacht werden, die nötigen Arbeiten wurden von den daran Beteiligten trotz etlichen Rückschlägen, mit hoher Motivation und sehr gutem Fachwissen ausgeführt.

Bewertung Betriebserfahrung und weiterer Ausblick

Das erste Betriebsjahr des Kleinwasserkraftwerks „Alte Ziegelei“ kann positiv bewertet werden, die hohe Verfügbarkeit der Anlage, Ihre Unempfindlichkeit gegenüber Schwemmgut und ihr in Anbetracht des noch fehlenden Rechenreinigers moderater Wartungsaufwand erlauben einen problemlosen Betrieb.

Noch sind aber einige Arbeiten zu erledigen, so sind der definitive Rechen und die dazugehörige Reinigungsmaschine zu erstellen. Weiter ist noch die Schütze des Bypasskanals zu erstellen. Dies behindert aber die Stromproduktion nur insofern, als das zu Montage dieser Komponenten die Anlage kurzzeitig stillgesetzt werden muss.



SCHLUSSWORT

Zum Schluss möchte der Initiant allen an der Realisation des Wasserkraftwerks „Alte Ziegelei“ Beteiligten für die wertvolle Mithilfe danken. Dank gebührt insbesondere Herrn Messerli von der Genossenschaft für Kleinenergieerzeugungsanlagen „KLEA“ für den Erfahrungsaustausch, Herrn Dändliker vom Amt für Umwelt für die Hilfe bei der Konzessionserteilung, Herrn Meier von der Energiefachstelle Kanton Solothurn für die Beitragserteilung, Herrn Guggisberg vom Bundesamt für Energie für die Beitragserteilung, Herrn Leutwiler von der ISKB für die Beratung, Herrn Brunner, Frau Misteli und Herrn Waldmann von der Bauverwaltung Derendingen für die Mithilfe beim Bauvorhaben, Herrn Reinhart und Herrn Stotzer von der Elektrizitäts- und Wasserversorgung Derendingen für die Belange rund um das Stromnetz und allen Zulieferern für die Anlage. Spezieller Dank gilt Frau Marianne Stettler und Herrn Adrian Köhli für die erhaltene Mithilfe und Unterstützung zur Realisierung der Kleinstwasserkraftwerkes „Alte Ziegelei“ in Derendingen. Allen Wasserkraftwerksbetreibern allzeit genügend Wasser!

