

Die Durchströmturbine für Kleinwasser- Kraftwerke – eine angepaßte Technologie zur Energieerzeugung

**The Radial-Flow Turbine for Small Water Power Stations –
an adapted technology for power supply**

Von Hans Walter *)

1. Der Entwicklungsfaktor Energie

Die Bedeutung der Energie für die Entwicklung aller Volkswirtschaften und für die Verbesserung des Lebensstandards ist heute in Industrie- und Entwicklungsländern unbestritten.

Besonders die Entwicklungsländer müssen in der gegenwärtigen Situation der Energieknappheit um ihre Volkswirtschaften fürchten. Für sie ist das Energiedefizit ein Zentralproblem. Großkraftwerke zur Energieerzeugung mit der dazugehörigen aufwendigen Infrastruktur für den Transport und die Verteilung der Energie kommen nur für begrenzte, bereits in der Entwicklung fortgeschrittene Regionen in Betracht. Die Versorgung großer, von den Zentren oft sehr entfernter Gebiete des „flachen Landes“, ist durch sie nicht möglich. Die erforderlichen Übertragungsnetze wären zu teuer. Schon im relativ engen und dichtbesiedelten Europa betragen allein die Kosten für den Transport und die Verteilung von Elektroenergie etwa 70% der Gesamtkosten, und nur etwa 30% entfallen auf die eigentliche Produktion von Strom.

Es liegt deshalb nahe, solche ländlichen Gebiete viel mehr als bisher durch unabhängige Kleinkraftwerke zu versorgen, die im Rahmen angepaßter Technologien örtlich vorhandene Energieträger nutzen. Solche Kleinkraftwerke arbeiten mit geringem Verteilungsaufwand im sogenannten „Inselbetrieb“ ohne Anschluß an das Verbundnetz. Sie versorgen heute schon in zahlreichen Fällen ihre lokalen Abnehmer wie Farmen, Ansiedlungen, Krankenhäuser, Schulen, Werkstätten, Gewerbebetriebe usw. mit Energie, meistens Elektroenergie.

*) Prof. Dr. Hans Walter, Hochschullehrer für Landtechnik und Technologie an der Gesamthochschule Kassel, Organisationseinheit Internationale Agrarwirtschaft, Witzenhausen

Anschrift: D 3430 Witzenhausen, Steinstraße 19

Im Mittelpunkt des Interesses bei der Lösung energiewirtschaftlicher Fragen des ländlichen Raumes in Entwicklungsländern stehen Kleinwasserkraftwerke. Ihre vorzügliche Brauchbarkeit bei der Nutzung von Wasserenergie beruht auf jahrzehntelanger Erfahrung, ihre Arbeitsweise und Unterhaltung ist einfach und gut überschaubar.

Eine geeignete Kraftmaschine für Kleinwasserkraftwerke in der Größe von etwa 5 bis max. 700 kW Leistung, steht in der Durchströmturbine für die Nutzung örtlich vorhandener kleiner und mittlerer Wasserenergie-mengen zur Verfügung. Sie zeichnet sich gegenüber anderen Turbinen-typen durch große Anpassungsfähigkeit an stark schwankende Wasser-mengen bei günstigem Wirkungsgrad aus. Hinzu kommt ihre Einfachheit in Arbeitsweise, Montage, Bedienung und Unterhaltung sowie die hohe Lebensdauer. Ihre Arbeitsweise wird nachfolgend beschrieben.

2. Das Arbeitsprinzip der Durchströmturbine

Die Durchströmturbine ist eine radialbeaufschlagte Freistrahlturbine und gehört der spezifischen Drehzahl nach zu den Langsamläufnern.

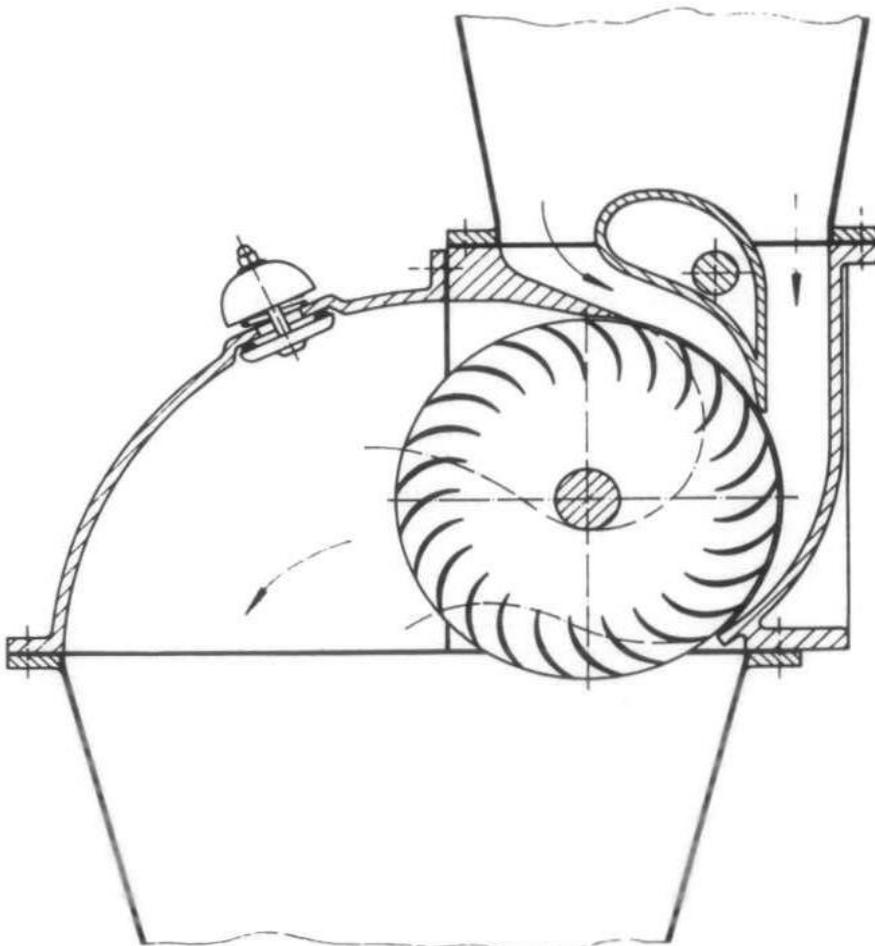


Abbildung 1: Arbeitsprinzip der Durchströmturbine

Der Wasserstrom wird durch den verstellbaren Leitapparat dem mit einem Schaufelkranz besetzten Läufer der Turbine zugeführt. Er durchströmt die

Schaufeln des Laufrades zuerst von außen nach innen und dann, nachdem er das Radinnere durchquert hat, von innen nach außen. Diese Besonderheit des Durchstörmens des Laufrades hat diesem Turbinentyp den Namen gegeben. Das austretende Wasser fällt dann nach dem Passieren des Saugrohres ab zum Unterwasser.

Im Betrieb hat dieser Strömungsverlauf u. a. den Vorteil, daß die Turbine unempfindlich gegen Verunreinigungen des Wassers ist. Fremdbestandteile wie Gras, Laub usw. werden zunächst bei Wassereintritt wohl gegen den Schaufelkranz gepreßt, dann aber nach einer halben Laufraddrehung von dem austretenden Wasser wieder weggespült. Der Läufer arbeitet also selbstreinigend. Das Laufrad ist walzenförmig ausgeführt. Ist im jahreszeitlichen Verlauf mit starken Schwankungen der zur Verfügung stehenden Wassermenge zu rechnen, wie es im tropischen Bereich sehr häufig anzutreffen ist, wird die Turbine zum Zweck der Teilbeaufschlagung in Zweizellenbauweise ausgeführt, d. h. das Laufrad wird durch eine vertikale Zwischenscheibe meist im Verhältnis 1 : 2 unterteilt (siehe hierzu Abb. 2 und 4). Zur Nutzung kleiner Wasser dient nur die kleine Zelle, bei mittleren Mengen die große, und zur Verarbeitung des Vollwasserstromes werden beide Zellen gemeinsam beaufschlagt. Durch diese Konstruktion des Turbinenläufers wird erreicht, daß jede Wassermenge im Bereich von etwa 15–100% des Vollwasserstromes gleichbleibend mit hohem Wirkungsgrad von etwa 80% verarbeitet werden kann.

In dieser ungewöhnlich großen Anpassungsfähigkeit der Durchströmerturbine an stark schwankende Laufwasser, die noch zu Bruchteilen rationell genutzt werden können, liegt die besondere Eignung dieses Turbinentyps für Kleinwasser-Kraftwerke.

Das Prinzip der Durchströmerturbine wurde zu Beginn dieses Jahrhunderts von dem australischen Ingenieur A. G. M. Michell entdeckt und seitdem so vervollkommen, daß sie als Kraftmaschine für kleine und mittlere Wasserströme im In- und Ausland eine überragende Stellung einnimmt. Sie wird nach dem Namen des Entdeckers auch Michell-Turbine genannt, oder auch Ossberger-Turbine, abgeleitet vom Namen der Ossberger Turbinenfabrik in Weißenburg/Bayern, die Alleinhersteller dieses Turbinentyps ist.

3. Die technische Ausführung

Der technische Aufbau der Turbine entsprechend dem dargestellten Arbeitsprinzip geht aus Abb. 2 hervor.

Der mit der Rohrleitung zugeführte Wasserstrom erhält vor Eintritt in das Gehäuse durch das Übergangsstück einen rechteckigen Querschnitt, um das Turbinenrad in voller Breite durchstören zu können. Hinter dem Übergangsstück liegt der Leitapparat, der bei der hier gezeigten zweizelligen Bauweise – Unterteilungsverhältnis 1 : 2 – aus zwei kraftausgeglichenen schwenkbaren Profilleitschaufeln zu Steuerung der Triebwasserzufuhr besteht. Die Regelaufgabe ist die Hauptaufgabe des Leitappa-

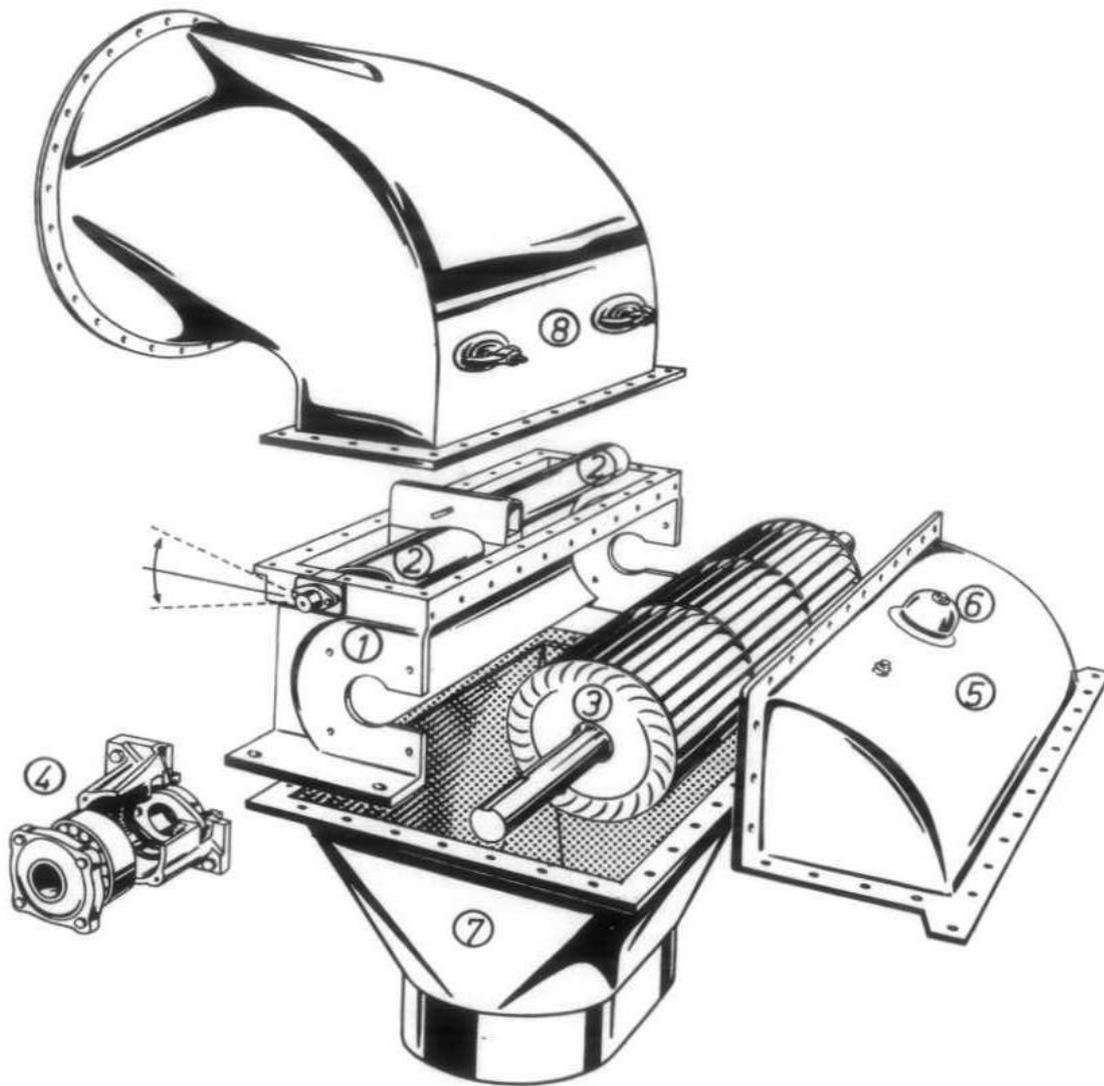


Abbildung 2: Aufbau einer zweizelligen Durchströmturbine

- 1 Gehäuse
- 2 Leitapparat
- 3 Laufrad
- 4 Hauptlager
- 5 Eckkasten
- 6 Belüftungsventil
- 7 Saugrohr
- 8 Übergangsstück

rats in Zusammenarbeit mit dem Regler, indem durch Veränderung der zulaufenden Wassermenge die Drehzahl bei Leistungen von Null bis Vollast konstant gehalten werden kann. Die Leitschaufeln sind sehr genau in das Turbinengehäuse eingepaßt, sie dienen deshalb bis zu Fallhöhen von etwa 50 m gleichzeitig als Absperrschieber. Die hier dargestellten zwei Leitschaufeln lassen sich getrennt voneinander über Regulierhebel verstellen, die mit der Handregulierung oder dem automatischen Regler verbunden sind. Entsprechend der vorgegebenen Dreh-

zahl, der jeweiligen Belastung und der zur Verfügung stehenden Wassermenge können die kleine, die große oder beide Zellen des Laufrades voll- oder teilbeaufschlagt werden.

Das Kernstück der Turbine ist das walzenförmige Laufrad, das mit Schaufeln aus blankgezogenem Profilstahl bestückt ist, die beiderseitig in Endscheiben eingepaßt und verschweißt werden. Bei größerer Breite der Laufräder sind die Schaufeln mit Zwischenscheiben mehrfach gestützt. Abhängig von der Größe des Rades werden bis 30 linear gekrümmte Schaufeln montiert, die keinen Achsialschub erzeugen. Die sorgfältig ausgeführte Lagerung des Laufrades erfordert außer dem jährlich durchzuführenden Fettwechsel praktisch keine Wartung.

Zur verlustfreien Nutzung der Gesamtfallhöhe bei niederen Fallhöhen, gegebenenfalls verbunden mit einem erforderlichen hochwassersicheren Einbau, findet das Saugrohr Verwendung, das den Höhenunterschied bis zum Unterwasser in nutzbare Höhe umsetzt. Die notwendige Steuerung der Saugwassersäule bei der Ausführung als Saugrohrturbine erfolgt über ein einfaches auf den Eckkasten montiertes eigenreibungsfreies Belüftungsventil, welches das Vakuum im Turbinengehäuse reguliert. Damit können auch Fallhöhen hinab bis zu 1 m wirtschaftlich genutzt werden.

Die heute zur Verfügung stehenden Baureihen verarbeiten Wasserströme von 20 bis 7.000 Liter je Sekunde, bei Fallhöhen von 1 m bis etwa 200 m. Die kleinste Leistung je Einheit beträgt etwa 5 PS, die größte 1.000 PS. Sie decken damit einen weiten Anwendungsbereich ab. Angetrieben werden zumeist Generatoren zur Stromerzeugung, aber auch Pumpen und andere Arbeitsmaschinen.

Die Durchströmturbine ist eine durchgebildete Wasserkraftmaschine, die den Erfordernissen von Kleinkraftwerken entspricht. Sie kann auch von Laien installiert, in Betrieb genommen und im Dauerbetrieb mit einfachen Mitteln über Jahrzehnte unterhalten werden. Als mittlere Lebensdauer sind bei durchschnittlichen Betriebsbedingungen etwa 30–40 Jahre anzusetzen.

4. Leistung, Wirkungsgrad, Betriebsverhalten

Die Leistung einer Turbine an der Laufradwelle ist proportional der zufließenden Wassermenge Q in l/s, der Fallhöhe H in m und dem Wirkungsgrad η der Turbine. Damit ergibt sich die Leistung in PS, indem das Produkt aus obengenannten Faktoren durch 75 dividiert wird:

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \eta}{75} \quad (\text{PS}) \quad (1)$$

Um die Leistung in kW zu erhalten, muß durch 102 dividiert werden:

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \eta}{102} \quad (\text{KW}) \quad (2)$$

Der Wirkungsgrad schwankt mit der Bauart und Größe und liegt bei großen Einheiten bei 0,84 bis 0,88, bei kleineren um 0,8. Man geht nicht fehl, wenn man bei Überschlagsrechnungen zunächst den Wert 0,8 ansetzt.

Soll von der Turbine ein Generator zur Stromerzeugung angetrieben werden, interessiert noch die zu erzielende elektrische Leistung an den Klemmen des Generators in kW. Hierzu gilt als Faustformel: die Leistung des Generators in kW ist gleich der Leistung der Turbine in PS mal dem Faktor 0,6

$$P \text{ (kW)} = P \text{ (PS)} \cdot 0,6 \quad (3)$$

Aus dem Schaubild Abb. 3 kann die mögliche Leistung der Turbine in Abhängigkeit von der zugeführten Wassermenge Q und der Fallhöhe H entnommen werden.

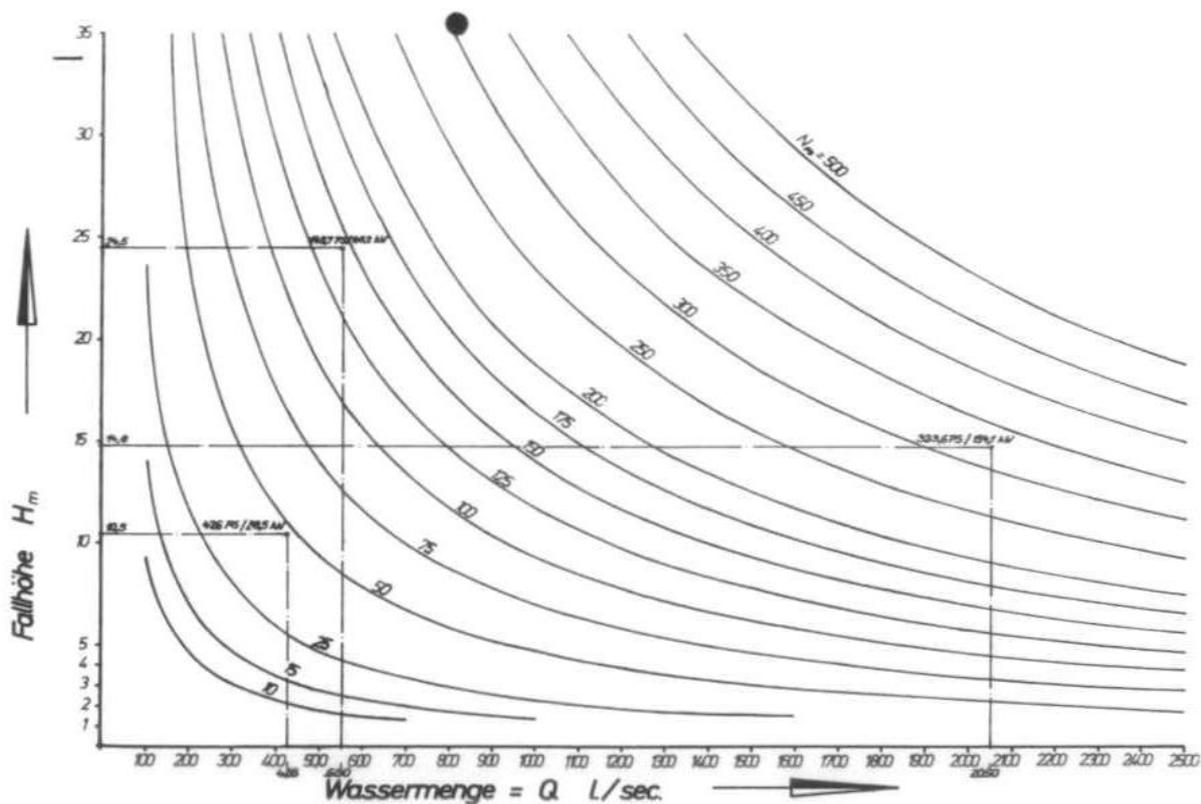


Abbildung 3: Leistungsschaubild zur Ermittlung der Turbinenleistung in PS bei einem Wirkungsgrad von 80%

Haben Wassermessungen z. B. einen Zulauf von 425 l/s ergeben und beträgt die nutzbare Fallhöhe 10,5 m, so beträgt die Turbinenleistung in PS bei 80% Wirkungsgrad nach Gleichung (1) und Abb. 3:

$$P = \frac{425 \cdot 10,5 \cdot 0,8}{75} = 47,6 \text{ PS}$$

Ein angeschlossener Generator hätte die Klemmenleistung nach Gleichung (3) in Höhe von:

$$P = 47,5 \text{ PS} \cdot 0,6 = 28,5 \text{ kW.}$$

Eine wesentliche Aussage über das Betriebsverhalten gibt der Verlauf der Wirkungsgrad-Kennlinie besonders im Teillastbereich. Abb. 4 zeigt die Wirkungsgrad-Kennlinie für eine Durchströmturbine in Zweizellen-Ausführung mit einer Unterteilung des Laufrades im Verhältnis 1 : 2 im Vergleich zur Francis-Turbine.

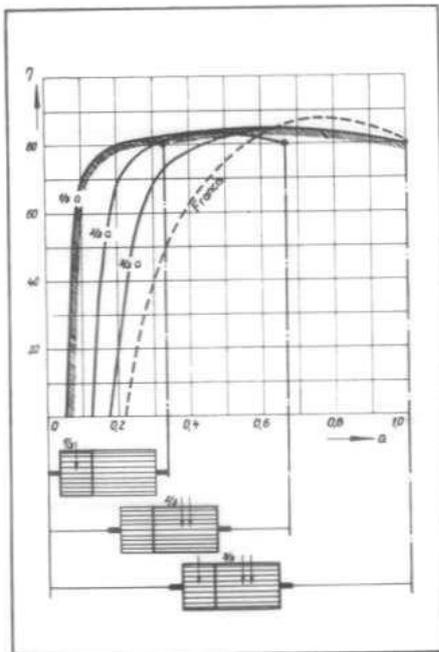


Abbildung 4: Wirkungsgrad-Kennlinie der Durchströmturbine im Vergleich zur Francis-Turbine

Es ist zu erkennen, daß der Gesamtwirkungsgrad der Durchströmturbine sich aus den drei Einzelwirkungsgraden für 1/3, 2/3 und 3/3 Beaufschlagung des Laufrades entwickelt. Der Verlauf der Kennlinien zeigt die Überlegenheit gegenüber der Francis-Turbine im Teillastbereich. Während bei der Francis-Turbine der Wirkungsgrad bereits ab etwa 55% des Vollwasserstromes unter 80% abfällt, kann mit der Durchströmturbine in Zweizellenbauweise noch 1/6 des Vollwasserstromes mit genanntem Wirkungsgrad verarbeitet werden. Diese vorteilhafte Betriebs-eigenschaft im Teillastbereich empfiehlt sie überall dort, wo an Lauf-gewässern der Zeitraum schwacher Wasserführung oft über Monate anhält.

5. Technische Ausführungen von Kleinwasserkraftwerken

Die durch die Turbine erzeugte mechanische Energie kann auf vielfältige Weise verwertet werden. Für das Kleinkraftwerk im Inselbetrieb ist die Synchronanlage die meist bevorzugte Ausführung, bei der ein Drehstrom-Synchrongenerator einen Drehstrom mit der Spannung von 220/380 Volt

und einer Frequenz von 50 Hz erzeugt. Zu solch einem Kraftwerk gehören neben der Turbine mit dem Regler meist ein Getriebe zur Wandlung der Turbinendrehzahl auf die Generatordrehzahl und der direkt an das Getriebe gekuppelte Drehstromgenerator mit Schwungradscheibe.

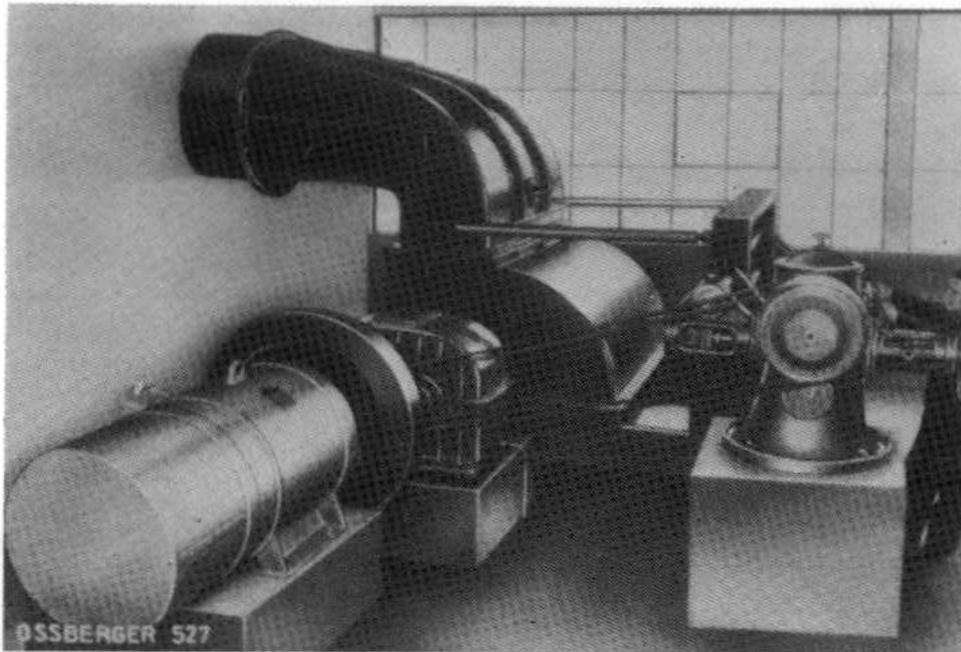


Abbildung 5: Synchronanlage für den Inselbetrieb

Die in Abb. 5 dargestellte Kleinwasserkraftanlage versorgt die Stadt Oyem in Gabun (Westafrika) mit Licht- und Kraftstrom. Man erkennt vorn den Synchrongenerator mit Schwungradscheibe, dahinter das Getriebe, das direkt von der im Hintergrund liegenden Turbine angetrieben wird.

Eine zweizellige Turbine war notwendig, da die Wassermenge des einspeisenden Flusses im Verlauf des Jahres großen Schwankungen unterliegt. Man erkennt die beiden Reglerstangen, die zur Steuerung der Turbine den Leitapparat mit dem rechtsliegenden Regler verbinden. Bei einer Triebwassermenge von 2.150 l/s und der Fallhöhe von 9,25 m leistet die Turbine 212 PS.

Kleinere Synchronanlagen werden auf Wunsch fertig als Aggregat in fast betriebsbereitem Zustand geliefert, indem die Turbine mit Regler, Getriebe und Generator auf einem gemeinsamen Grundrahmen gesetzt werden. Das ist vor allem dann von Vorteil, wenn der Einbau in Übersee von Laien vorgenommen werden soll. Ihre Wartung ist denkbar einfach, nur einmal im Jahr werden sie zum Öl- und Fettwechsel kurzfristig abgestellt.

Im Verbundbetrieb mit einem vorhandenen Stromversorgungsnetz verwendet man Asynchronanlagen. Als Stromerzeuger dienen Drehstrommotoren normaler Ausführung als Käfigläufer, die ihre Erregung vom Netz her erhalten. Die Nenndrehzahl des Motors – und damit auch die der Turbine – wird dann von der Netzfrequenz bestimmt. Der von der Turbi-

ne mit positivem Schlupf angetriebene Motor wirkt als Generator und speist in das Netz ein. Der erzeugte Strom wird entweder gänzlich verkauft oder teilweise für den eigenen Betrieb verwendet, um Fremdstrom zu sparen. Durchströmturbinen als Antriebe von Asynchronanlagen bringen bei jahreszeitlich schwankenden Triebwassermengen wegen ihres guten Teillastverhaltens ein Maximum an Einspeiseleistung.

Direkt an die Turbine gekuppelte Pumpen sind eine weitere Möglichkeit der Energienutzung. Solche Turbinen-Pumpenaggregate, auch Gefälleumformer genannt, nutzen bei kleinem Gefälle einen größeren Wasserstrom, um kleinere Wassermengen auf große Höhen für Bewässerungs- und Versorgungszwecke zu pumpen (Abb. 6).

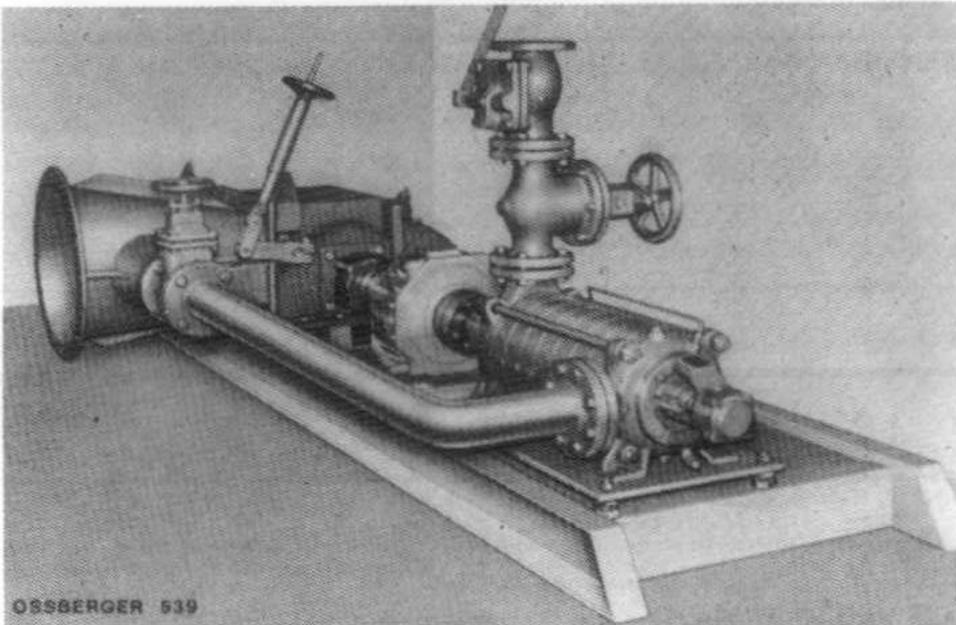


Abbildung 6: Turbinen-Pumpenaggregat als Gefälleumformer

Turbine, Getriebe und Pumpe wurden in Abb. 6 auf einem Grundrahmen zu einem Aggregat kombiniert. Das zu fördernde Wasser wird am Übergangsstück der Turbine abgezweigt, um den vorhandenen Vordruck auszunutzen. 28 m³ Wasser je Stunde werden mit der achtstufigen Hochdruckkreiselpumpe auf 83 m Höhe gefördert. Die Antriebsleistung der einzelligen Saugrohrturbine beträgt bei 6,04 m Fallhöhe und 224 l/s Triebwasser 14,4 PS.

Der wirtschaftliche Vorteil dieser Aggregatbildung liegt in der Einsparung teurer Fremdenergie, der Unabhängigkeit von ihr und dem wartungsfreien Betrieb. Zwar sind Elektromotore oder Dieselmotore zum Antrieb von Pumpen betriebssicher, doch summieren sich die Antriebskosten besonders bei Dauerbetrieb zu erheblichen Beträgen.

Wie im Prinzip eine Kleinwasserkraftzentrale gestaltet werden kann, zeigt Abb. 7.

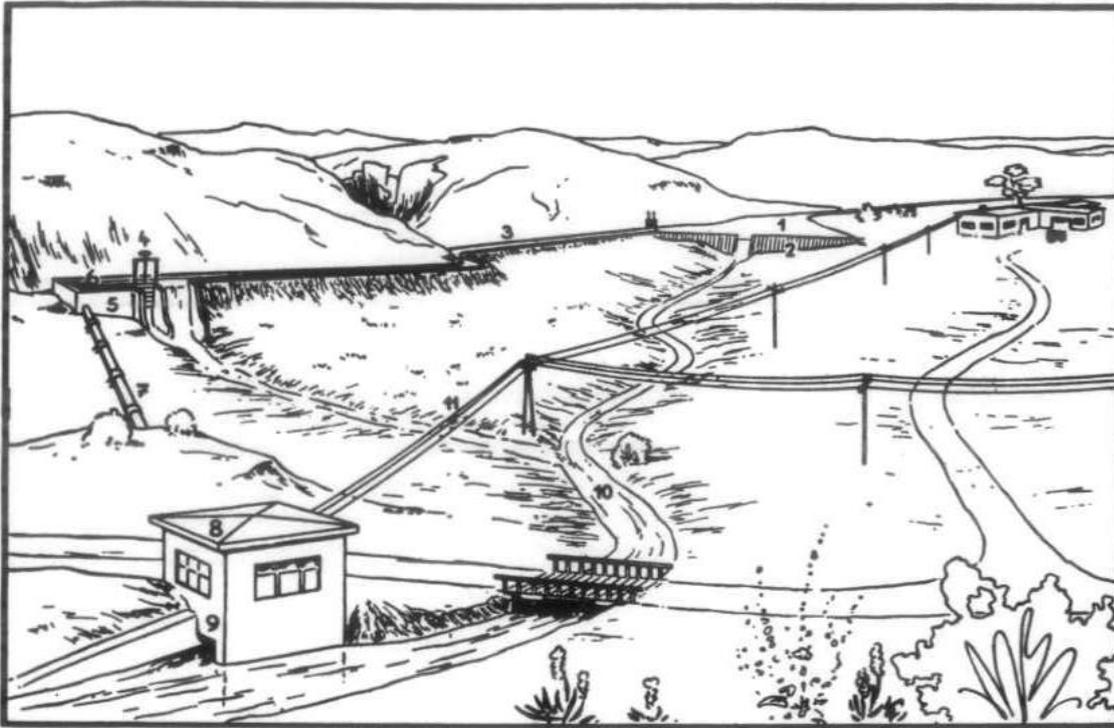


Abbildung 7: Schaubild einer Kleinwasserkraft-Zentrale. 1. Staubecken, 2. Stau-
mauer, 3. Zuflußkanal, 4. Leerschütze, 5. Wasserschloß, 6. Rechen, 7. Druckrohr-
leitung, 8. Krafthaus, 9. Turbinenauslauf, 10. Bachbett, 11. Elektr. Übertrags-
leitung.

6. Zusammenfassung

Besonders Entwicklungsländer müssen bei der gegenwärtigen Energie-
situation um die Entwicklung ihrer Volkswirtschaften fürchten. Ihr Ener-
giedefizit ist ein Zentralproblem der Entwicklung des ländlichen Raumes.
Großkraftwerke mit der zugehörigen teuren Infrastruktur kommen nur
für begrenzte, bereits in der Entwicklung fortgeschrittene Regionen in Be-
tracht. Eine bessere Versorgung weitläufiger ländlicher Gebiete kann
aber durch unabhängige Kleinkraftwerke erfolgen, die örtlich vorhandene
Energieträger nutzen.

Bewährt haben sich Kleinwasserkraftwerke, die mit geringem Verteilungs-
aufwand im sogenannten Inselbetrieb ohne Anschluß an das Verbund-
netz arbeiten. Sie versorgen heute schon in zahlreichen Fällen Plantagen,
Ansiedlungen, Gewerbebetriebe und Werkstätten mit Energie und stehen
im Mittelpunkt des Interesses bei der Lösung energiewirtschaftlicher Fra-
gen des ländlichen Raumes in Entwicklungsländern.

Eine erprobte Wasserkraftmaschine für Kleinkraftwerke in der Größe von
5 bis etwa 700 kW Leistung ist die Durchströmturbine für die Nutzung
örtlich vorhandener kleiner und mittlerer Wassermengen. Sie zeichnet
sich gegenüber anderen Turbinentypen durch ihre große Anpassungs-
fähigkeit an stark schwankende Wassermengen bei günstigem Wirkungs-
grad aus. Hinzu kommt ihre Einfachheit in Arbeitsweise, Montage, Be-
dienung und Unterhaltung. Ihr Arbeitsprinzip, ihre technische Ausfüh-

rung und Leistung sowie die Gestaltung von Kleinwasserkraftwerken werden beschrieben.

Summary

In the present energy situation, developing countries, in particular, have to fear for the development of their economy. Their energy deficit is a primary problem in the development of the rural areas. Large power stations with the appropriate expensive infrastructure can only be considered for those regions whose development is already well advanced. Extensive rural areas, however, could be better supplied by independent small power stations making use of the local power supply.

Small water power stations working at low distribution expense have proved useful in the so-called „island“ system unconnected to the grid system. Nowadays, they already supply, in numerous cases, plantations, villages, industrial undertakings and workshops with energy and they are of central importance in solving problems of power engineering for rural areas in developing countries.

A well-proven water power machine for small power stations with a watertage of 5 to about 700 kW is the radial flow turbine (Michel-turbine) making use of local small and medium quantities of water. Compared with other types of turbines, it is noted for its great adaptability to heavily fluctuating quantities of water and constant efficiency. It is, in addition, simple in working method, mounting, servicing and maintenance. Its operating cycle, its technical arrangement and power as well as the formation of small water power stations are described.

Literaturverzeichnis

1. BERGMANN, Th.: Stand und Formen der Mechanisierung der Landwirtschaft in asiatischen Ländern, Teil II: Südostasien. — Klett-Verlag Stuttgart 1966
2. FRITZ, G.: Der Asynchrongenerator im Parallelbetrieb mit einem starren Netz. Siemens — Z. Bd. 33 (1959), S. 38—43
3. GEHLE, H.: Energieerzeugung für Pflanzungen, Farmen und Ansiedlungen in Tropenländern. — Tropen- und Kolonialtechnik in 27 Beiträgen, 1942, S. 37, VDI-Verlag GmbH, Berlin NW 7
4. HAIMERL, L. A.: Die Durchströmturbine. — Energie, Bd. 11 (1959), S. 354—361
5. HAMERAK, K.: Auch kleine Wasserkräfte können wirtschaftlich genutzt werden. — VDI-Nachrichten Bd. 16 (1962), H. 26
6. HAMERAK, K.: Bedienungslose Kleinwasserkraftanlagen mit Ossberger-Druckströmturbine. — Das Wassertriebwerk, Jg. 18 (1969), H. 11
7. LOTTES, G.: Kleine Wasserkraftanlagen für die öffentliche Energieversorgung. Herausgegeben vom Landesverband Bayerischer Kleinwasserkraftwerke GmbH, Regensburg
8. PROSPEKTUNTERLAGEN der Ossberger-Turbinenfabrik, 8832 Weissenburg in Bayern
9. SCHROEDER, G.: Landwirtschaftlicher Wasserbau. — Springer-Verlag, Heidelberg 1968
10. STANGEN, F.: Die Problematik des Einsatzes landtechnischer Produktionsmittel in der Entwicklungshilfe. — Berichte über Landwirtschaft, Bd. 47 (1969), H. 1, S. 187
11. WALTER, H.: Der Beitrag der deutschen Landtechnik zur Entwicklung der 3. Welt. — Der Tropenlandwirt, Beiheft Nr. 4 (Mai 1974), S. 24—45
12. WALTER, H.: Energiegewinnung für die Landwirtschaft im Rahmen angepaßter Technologien. — Der Tropenlandwirt, Jg. 76 (April 1975), S. 52—60