

## 1 Wasserkraftanlagen (WKA)

### 1.1 Potentiale

Nach Schätzungen gab es um 1890 ca. 70.000 Wasserräder und Turbinen zur Wasserkrafterzeugung in Deutschland. 1984 wurden in einer Studie für das Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) rund 6.500 betriebene und weitere 6.500 ausbauwürdige Klein-WKA genannt. Aktuelle und zuverlässige Daten über das Potential nicht genutzter Kleinwasserkraft-Standorte stehen jedoch nicht zur Verfügung. Schätzungen gehen von 20.000 ungenutzten existierenden Wasserrechten aus .

#### 1.1.1 Leistungs-Bewertung eines Standortes

Leistungsbestimmend für Wasserkraftanlagen sind das Wasserdargebot und die Fallhöhe sowie das Abflussverhalten des Gewässers, woraus sich das hydraulischen Potential und die generierbare elektrische Leistung (kW = Kilowatt) des Standortes errechnen lässt.

100 – 1000 kW = Klein – Wasserkraftwerk <sup>1)</sup>  
 < 100 kW = Kleinst – Wasserkraftwerk <sup>1)</sup>

Im Vorfeld der Entscheidung zur Reaktivierung eines Altstandortes kann zunächst eine grobe Abschätzung hilfreich sein :

**Faustformel** für eine erste abschätzende Bewertung :

Fallhöhe (m) x Wassermenge (m<sup>3</sup>/s) x 7 = Elektrische Leistung (kW)

Fallhöhe (= Gefälle) : lotrechtes Maß vom oberen zum unteren Wasserspiegel

Wassermenge : Abflussmenge in der überwiegenden Zeit des Jahres

(Über Messprotokolle der Abflussmenge verfügt ggfls. der zuständige Gewässerverband , die untere Wasserbehörde / Landratsamt oder ein benachbartes Kleinkraftwerk oberhalb oder unterhalb des Standortes .)

**Beispiel 1:** Fallhöhe = 4,20 m , Wassermenge = 300 Liter / Sekunde

$$4,20 \text{ m} \times 0,300 \text{ m}^3/\text{s} \times 7 = \sim 8,8 \text{ kW}$$

**Beispiel 2:** Fallhöhe = 3,20 m , Wassermenge = 6000 Liter / Sekunde

$$3,20 \text{ m} \times 6,00 \text{ m}^3/\text{s} \times 7 = \sim 134 \text{ kW}$$

Eine größere Fallhöhe vermag einen geringeren Wasserdurchfluss zu kompensieren und umgekehrt .

#### 1.1.2 Rechtliche Grundlagen / Einspeisevergütung

Der Bau und Betrieb eines Wasserkraftwerkes bedarf einer wasserrechtlichen Genehmigung . Soweit für einen Standort alte Wasserrechte vorliegen sind deren Umfang und Gültigkeit zu klären.

In allen anderen Fällen von Standort-Reaktivierungen ist eine wasserrechtliche Genehmigung nach §2 und §3 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) notwendig.

Für Umbaumaßnahmen und bauliche Veränderungen an einer bestehenden Wasserkraftanlage ist eine wasserrechtliche Genehmigung nach dem entsprechenden Landeswassergesetz erforderlich .

Ansprechpartner ist i.d.R. die untere Wasserbehörde , die dem örtlich zuständigen Landratsamt zugeordnet ist . Die untere Wasserbehörde bearbeitet den Antrag federführend und nimmt die Abstimmung mit anderen Interessenträgern am Fließgewässer wahr ( z.B. Fischerei und Tourismus ) .Die wasserrechtliche Genehmigung ist kostenpflichtig und kann mit Auflagen verbunden sein ( z.B. Kostenbeteiligung an Ufer- und Wehrsanierung / Fischaufstieg ) .

##### 1.1.2.1 Ertrag aus Stromverkauf

Der Stromverkauf und die Abnahmegarantie durch den örtlichen Netzbetreiber (EVU = Elektroenergie-Versorgungs-Unternehmen) sind geregelt im „Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien“ (EEG 2004) .

| Anlage / Größe   | Vergütung Cent / kWh   |
|--|------------------------|
| <b>... bis 500 kW</b><br>Für Anlagen, die <u>nach dem 1.1.2007</u> genehmigt werden, gilt dies nur, wenn sie in räumlicher Verbindung mit einer ganz oder teilweise schon bestehenden Staustufe oder Wehranlage bzw. ohne durchgehenden Querverbau errichtet worden sind und ein guter ökologischer Zustand erreicht worden ist. (vergl. EEG §6Abs.1)<br>Als Nachweis der Erreichung eines guten ökologischen Zustandes gilt die Vorlage der behördlichen wasserrechtlichen Zulassung. (vergl. EEG §6Abs.3)<br><br>Die Abnahmeverpflichtung des EVU gilt für 30 Kalenderjahre zuzüglich des Inbetriebnahmejahres. (vergl. EEG§12 Abs.3)<br><br>Bei Anlagen mit einer Leistung von insgesamt bis zu 30 kW werden die Kosten für einen evtl. erforderlichen Ausbau der Netzanbindung vom EVU getragen. (vergl. EEG §13Abs.1) | mindestens <b>9,67</b> |
| <b>... bis 5 MW</b>  | Mindestens <b>6,65</b> |

Bei einer angenommenen jährlichen Betriebsdauer von 45 Wochen stellt sich die Ertragslage (Rohertag) für die Beispiel-Standorte (s.1.1.1) wie folgt dar :

$$45 \text{ Wochen} \times 7 \text{ Tage} \times 24 \text{ Stunden} = 7.560 \text{ Stunden (h)}$$

**Beispiel 1 :**  $8,8 \text{ kW} \times 7560 \text{ h} = 66.528 \text{ kWh / Jahr}$

$$66.528 \text{ kWh / Jahr} \times 0,0967 \text{ €} = \underline{6.433,- \text{ € / Jahr}}$$

**Beispiel 2 :**  $134 \text{ kW} \times 7560 \text{ h} = 1.013.040 \text{ kWh / Jahr}$

$$1.013.040 \text{ kWh / Jahr} \times 0,0967 \text{ €} = \underline{97.961,- \text{ € / Jahr}}$$

## 1.2 Maschinen für Wasserkraftanlagen zur Stromerzeugung

Jede Wasserkraftanlage benötigt ein hydraulisches Antriebsaggregat und einen Generator zur Stromerzeugung. Die gebräuchlichsten Antriebe sind Turbinen unterschiedlicher Bauart, Wasserräder verschiedenen Typs sowie an geeigneten Standorten Wasserkraftschnecken.

Für die Netzeinspeisung kommt zumeist der Asynchron-Generator zur Anwendung.

Insbesondere bei Kleinst-Wasserkraftanlagen unter 7,5 kW wirkt der Posten Steuerschrank sehr kostentreibend. Hier kann der permanenterregte Drehstrom-Synchron-Generator in Kombination mit einem netzrückspeisefähigen Wechselrichter u.U. eine Alternative bieten. Diese Wechselrichter mit gekapseltem Gehäuse (Schutzart IP55) sind mit Bauartzulassung als kompakte Einheit handelsüblich verfügbar. Sie finden in der Windenergie in großen Stückzahlen Anwendung (z.B. „windyboy“/SMA). Im Inselbetrieb ohne Netzanbindung kommt der permanenterregte Synchron-Generator zum Einsatz, da dieser auch netzunabhängig arbeiten kann. -In diesem Fall benötigt er allerdings eine Spannungsversorgung über eine Batterie (24V/1A).

### 1.2.1 Wasserräder

Das Wasserrad ist die älteste Antriebsmaschine, die der Mensch entwickelt hat.

Für die Stromgewinnung stehen heute moderne Radtypen zur Verfügung.



Abb. 1: Wasserrad oberschlächtig (li.) und mittelschlächtig (re.)<sup>3)</sup>

**Beispiel 1:** (s. 1.1.1)  $\text{Gefälle} = 4,20 \text{ m}$ ,  $\text{Wassermenge} = 300 \text{ L/s}$  (= überschlächtig)

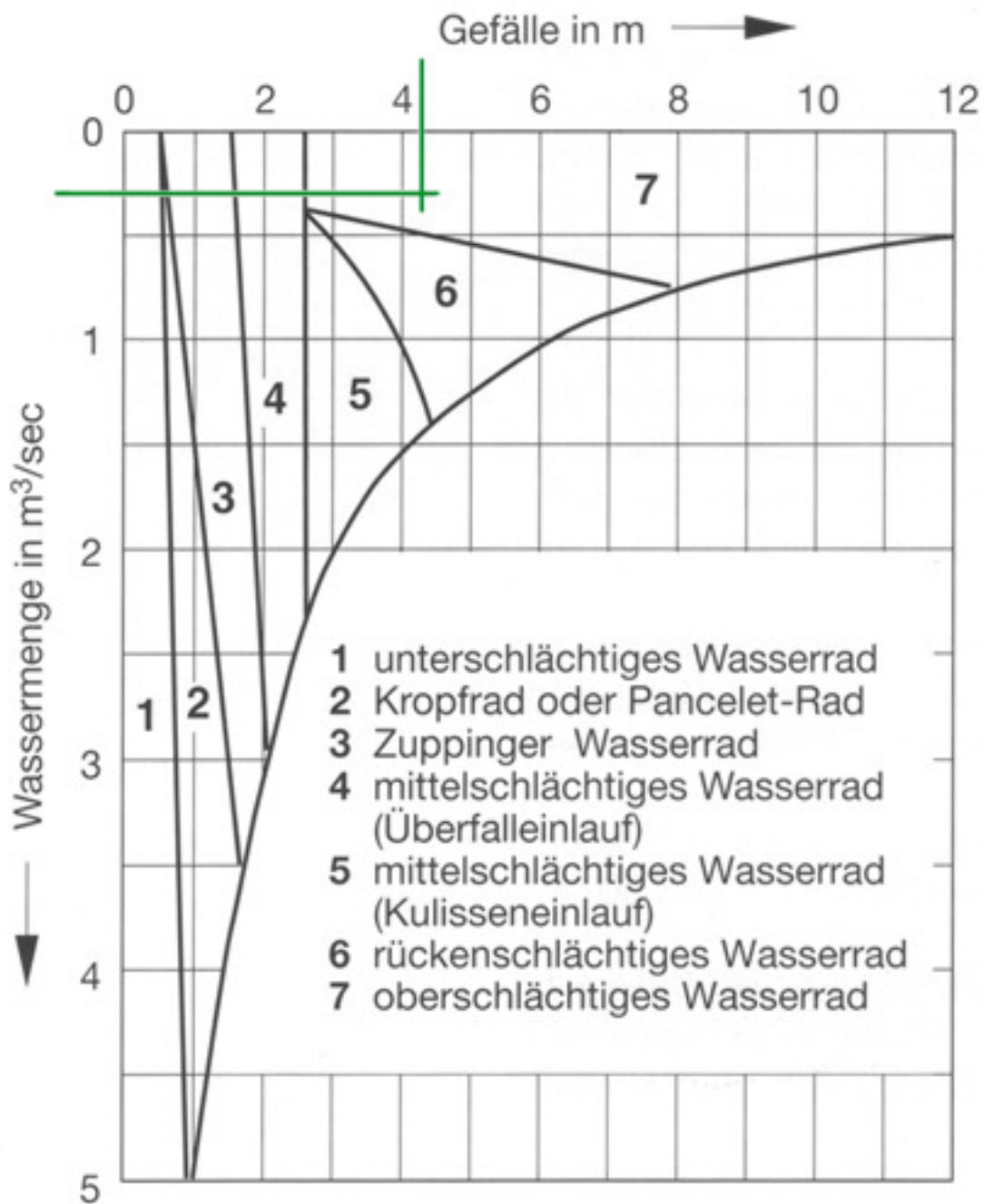


Abb. 2: Wasserrad-Typen und ihre Einsatzgrenzen <sup>4)</sup>

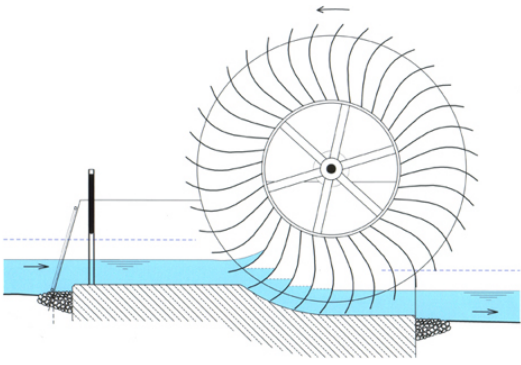


Abb. 3: Zuppinger – Wasserrad (3)

Das Zuppinger-Niedergefällerrad arbeitet effektiv auch bei *stark schwankenden* Wassermengen. Als Neubau ersetzt es heute das Pancelet-Rad (2), ebenso wie das unterschlächtige Stoßrad (1) alter Bauart.

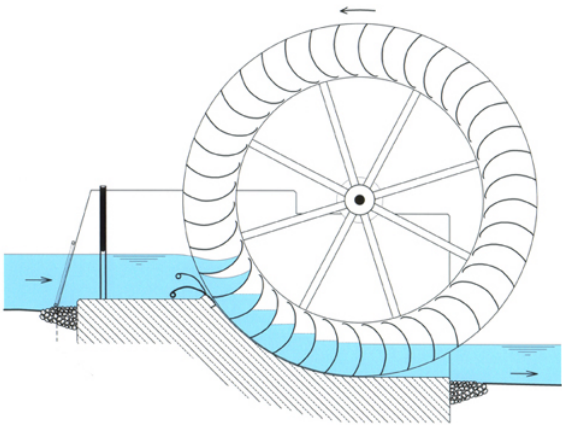


Abb. 4: Wasserrad mittelschlächtig (4 u. 5)

Der Wassereintritt erfolgt *unterhalb* der Drehachse. Der Gerinneboden folgt der Krümmung des Radkranzes = Kropfgerinne.

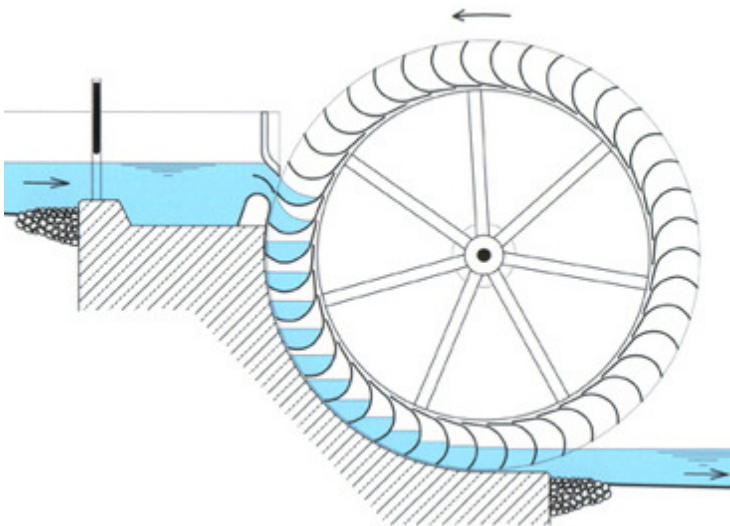


Abb. 5: Wasserrad rückschlächtig (6)



Abb. 6: Wasserrad oberschlächtig (7)

**Abb.5:** Der Wassereintritt erfolgt *oberhalb* der Drehachse (mit Kropfausbildung).Die Radkranz-Zellen sind einzeln ventiliert, damit die Luft beim Wassereintritt entweichen kann.

**Abb.6:** Die Wasserzuführung erfolgt über eine Zulaufrinne auf den Radscheitel. Eine Ventilation der einzelnen Zellen ist für das Füll- und Ausgießverhalten von großem Vorteil.<sup>5)</sup>

| Wasserrad - Typ                | Wassermenge<br>[Liter / Sekunde]<br>für 1 m Breite <sup>6)</sup> | Wasserrad –<br>Durchmesser <sup>6)</sup><br>[ Meter ] |
|--------------------------------|--|---|
| Zuppinger - Wasserrad          | 500 ... bis ...1200  | 4,5 ... bis ... 6                                     |
| mittelschlächtiges Wasserrad   | 350 ... bis ...1200  | 4 ... bis ... 8                                       |
| rückenschlächtiges Wasserrad * | 200 ... bis ... 350 *  | 4 ... bis ... 6                                       |
| oberschlächtiges Wasserrad     | 100 ... bis ... 200  | 2 ... bis... 12                                       |

\* rückenschlächtiges Rad mit Kropfausbildung

**Beispiel 1:** (s. 1.1.1)

oberschlächtiges Wasserrad , 300 L/s

300 L/s : 200 L/s je Meter = 1,50 m Baubreite

### 1.2.1.1 Wasserrad - Kosten und Wirtschaftlichkeit

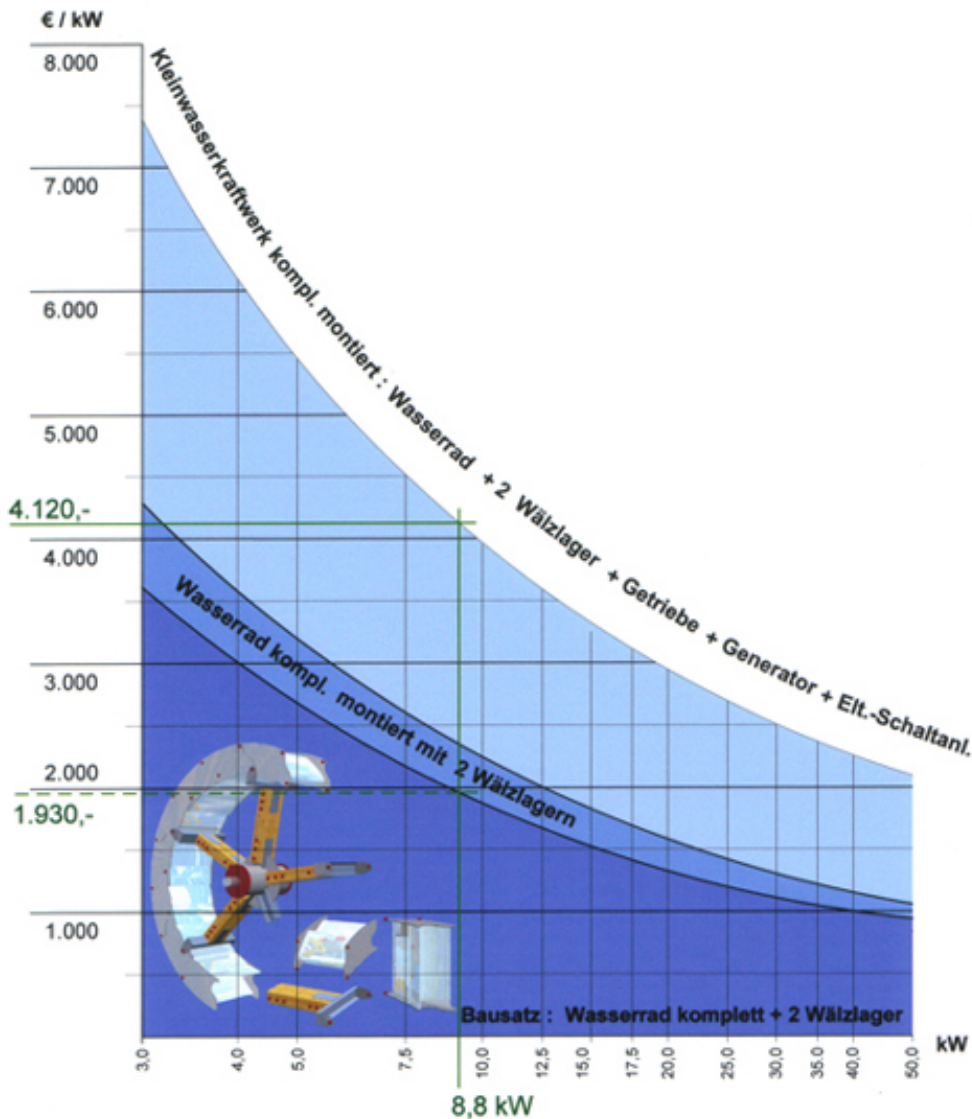


Abb. 7: Kosten Wasserrad (Quelle : www.wasserrad-drews.de)

**Beispiel 1:** (s.1.1.1)  $8,8 \text{ kW} \times 4.120,- \text{ €/kW} = \underline{36.256,- \text{ €}}$  (kompletter Maschinensatz , fertig montiert für Netzanschluss.)

(Wasserrad als Bausatz:  $8,8 \text{ kW} \times 1.930,- \text{ €/kW} = \underline{16.984,- \text{ €}}$ )

Amortisierung des Maschinensatzes ( fertig für Netzanschluss) über den Rohertrag:

$36.256,- \text{ €} : 6.433,- \text{ €/Jahr} = \underline{5,6 \text{ Jahre}}$



## 1.2.2 Turbinen

Die Turbine in ihren verschiedenen Bauarten wird weltweit am häufigsten zur Erzeugung von Strom aus Wasserkraft eingesetzt.

In Deutschland wurden die meisten geeigneten Mühlenstandorte in der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts mit Turbinen ausgerüstet .

Kleine Wasserkraftstandorte sind aufgrund ihrer Potentialmerkmale (stark schwankende Wassermengen / wenig Gefälle) mit Turbinen oft nicht wirtschaftlich zu erschließen.

### Turbinen-Typen :

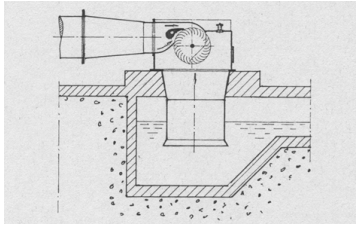


Abb. 8: Durchström – Turbine <sup>7)</sup>

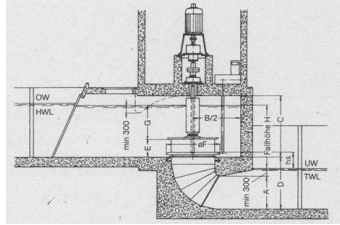


Abb. 9: Francis - Turbine <sup>7)</sup>

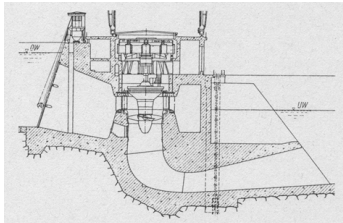


Abb. 10: Kaplan – Betonspiralturbine <sup>7)</sup>

### 1.2.2.1 Turbine – Kosten und Wirtschaftlichkeit

Beim Neubau von Turbinenanlagen fallen neben den eigentlichen Kosten für die Maschine meist erhebliche Kosten für Wasserbau- und Betonarbeiten sowie Kosten für die Rechenanlage mit automatischer Rechenreinigung an .

In der Regel stellt sich jedoch die Aufgabe , ein ehemaliges Wasserkraftwerk wieder zu reaktivieren.

Für Anlagen im Bereich von 50 bis 500 kW können folgende Investitionskosten angesetzt werden (bei Kleinst-WKA gelten **mind. die höheren Werte**) : <sup>1)</sup>

Beim Neubau: 4.600,- ... bis ... 12.000,- €/kW (i.M. 8.300,-)

Bei Reaktivierung: 2.000,- .... bis .... 5.100,- €/kW (i.M. 3.550,-)

**Beispiel 2:** (s.1.1.1) Reaktivierung :  $134 \text{ kW} \times 3.550,- \text{ €/kW} = 408.700,- \text{ €}$

Amortisierung des Maschinensatzes über den Rohertrag:

$$408.700,- \text{ €} : 97.961,- \text{ €/Jahr} = 4,2 \text{ Jahre}$$

## 1.2.3 Turbine oder Wasserrad ?

Eine erste Auswahl ergibt sich zwangsläufig durch die technisch sinnvolle Größenbegrenzung beim Bau von Wasserrädern (vergl.Abb.2).

Alle WKA-Standorte mit einer Leistung von mehr als ca.45 kW sind (bis auf wenige Ausnahmen) typische Turbinenstandorte .

Im Bereich unterhalb von 45 kW gibt es Standorte, die den Einsatz sowohl des Wasserrades als auch den der Turbine technisch erlauben.- Hier können nur vergleichende Kostenangebote die Entscheidung herbeiführen .

Berücksichtigt werden sollten jedoch auch gestalterische Gesichtspunkte in Hinblick auf das optische Erscheinungsbild des Standortes .

Der Begriff „Wasserrad“ ist positiv belegt und wirkt sich u.U. förderlich auf den Fremdenverkehr aus . Auch gestaltet sich der Genehmigungsprozess gelegentlich einfacher, wenn es sich um eine WKA mit Wasserrad handelt.

|  | Wasserrad          | Turbine               |
|--|--------------------|-----------------------|
| Gefälle  | max. 12 m          | beliebig              |
| Wassermenge  | beschränkt         | beliebig              |
| Leistung   | ... bis ca. 45 kW  | beliebig              |
| Drehzahl   | sehr niedrig       | hoch                  |
| Eignung für kleine , stark schwankenden Wassermengen | gut                | nicht geeignet        |
| Eignung für sehr niedrige Gefälle                    | vorzuziehen        | oft zu teuer          |
| Feinrechen mit autom. Rechenreinigung                | nicht erforderlich | erforderlich          |
| Abfuhr von Rechengut                                 | gelegentlich       | regelmäßig            |
| Laubdrift im Gewässer                                | unbedenklich       | problematisch         |
| Schwebstoffe   | unbedenklich       | nicht unproblematisch |
| Selbsthilfe beim Bau                                 | möglich            | sehr begrenzt möglich |

Textverfasser: [REDACTED] Drews Ing.grad. , August 2005

Ing.-Büro [REDACTED] Drews

Veröffentlicht in: „Faustzahlen für die Landwirtschaft 2005 „ Herausgeber : KTBL Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft , Darmstadt 2005



Literatur:

- 1) Landesinitiative Zukunftsenergie NRW: „Wasserkraft - Nutzung“ , S. 32 , Düsseldorf 2004
- 2) Friedrich Kur / Heinz Georg Wolf „Wassermühlen – 35000 Kleinkraftwerke zum Leben und Arbeiten“ , S.89, Verlag C.F. Müller, Heidelberg 1995.
- 3) Werner Schnelle: „Mühlenbau – Wasserräder und Windmühlen bewahren und erhalten“,S.112 f,Verlag Bauwesen, Berlin 1999.
- 4) Werner Schnelle: „Mühlenbau – Wasserräder und Windmühlen bewahren und erhalten“,S.116,Verlag Bauwesen, Berlin 1999.
- 5) Wilhelm Müller „Die Wasserräder“ , S. 14 , Verlag Moritz Schäfer , Leipzig 1929
- 6) Wilhelm Müller „Die Wasserräder“ , S. 117 , Verlag Moritz Schäfer , Leipzig 1929
- 7) Friedrich Kur / Heinz Georg Wolf „Wassermühlen – 35000 Kleinkraftwerke zum Leben und Arbeiten“ , S.78 f, Verlag C.F. Müller, Heidelberg 1995.

Weitere Literatur:

Ferdinand Redtenbacher „Theorie und Bau der Wasserräder“ , Verlagsbuchhandlung Friedrich Bassermann , Mannheim 1858