

## **Masterplan Wasserkraft**

### **Ermittlung möglicher Ausbaupotentiale an Kraftwerken der VERBUND-Innkraftwerke GmbH**



März 2011

Aufgestellt: RMD-Consult GmbH, Herr Dr. Haselbauer

Blutenburgstraße 20  
80636 München

Projekt Nr. 520890

## **INHALTSVERZEICHNIS**

<b>1</b>	<b>VERANLASSUNG</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>TECHNISCHES POTENTIAL</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Vorbemerkungen</b>	<b>3</b>
<b>2.2</b>	<b>Physikalische Grundlagen</b>	<b>4</b>
<b>2.3</b>	<b>Vorgehen zur Potentialermittlung</b>	<b>5</b>
<b>2.4</b>	<b>Potentialerhöhung durch Stauzielerhöhung</b>	<b>6</b>
<b>2.5</b>	<b>Potentialerhöhung durch Erhöhung des Ausbaugrads</b>	<b>7</b>
<b>2.6</b>	<b>Potentialsteigerung durch Erhöhung des Ausbauwirkungsgrads</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE DER POTENTIALERMITTLUNG</b>	<b>9</b>
<b>3.1</b>	<b>Neubauten an neuen Standorten</b>	<b>9</b>
<b>3.2</b>	<b>Neubauten an bestehenden Querbauwerken</b>	<b>9</b>
<b>3.3</b>	<b>Ausbau bestehender Anlagen</b>	<b>10</b>
<b>3.4</b>	<b>Reaktivierung</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>14</b>
	<b>LITERATUR</b>	<b>14</b>

## 1 VERANLASSUNG

Vor dem Hintergrund der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ist das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (BayStMUG) verpflichtet, Maßnahmenkataloge an den Gewässern zu erarbeiten, wie der ökologische Zustand der Gewässer bei gleichzeitiger Erhöhung der Wasserkraftnutzung verbessert werden kann. Hierbei sind unter anderem die Nutzungspotentiale der Wasserkraft zu ermitteln und zu beschreiben.

RMD CONSULT hat im Jahr 2009 im Auftrag der Wasserkraftbetreiber EWK und BEW die Ausbaupotentiale der Wasserkraft in deren Konzessionsbereichen ermittelt. Auf Wunsch des BayStMUG beabsichtigt die VERBUND-Innkraftwerke GmbH als Inhaber von mehreren Wasserkraftwerken am Inn zwischen Rosenheim und Stammham die Potentiale in ihrem Unterhaltsbereich mit derselben Vorgehensweise zu beschreiben. Im Anschluss der Studie sollen die einzelnen Berichte zu einer gemeinsamen Studie für alle bayerischen Flüsse zusammengestellt werden.

Der Untersuchungsbereich umfasst insgesamt 10 Anlagen von Rosenheim bis Stammham.

## 2 TECHNISCHES POTENTIAL

In der vorliegenden Studie wird das technisch mögliche Potential von Wasserkraftanlagen diskutiert, worunter man das durch die physikalischen Randbedingungen maximal erzeugbare Potential versteht. Nach einer Vorbemerkung, in der verschiedene Potentialarten vorgestellt werden, wird die Ermittlung des technischen Potentials beschrieben. Es folgt im Anschluss an dieses Kapitel die Vorstellung der Ergebnisse dieser Potentialermittlung.

### 2.1 Vorbemerkungen

Im Rahmen des vorliegenden Berichts werden Potentiale für den Ausbau der Wasserkraftnutzung am bayerischen Inn anhand von ungenutzten bzw. ausbaufähigen Wasserbaupotentiale diskutiert. Zur Ermittlung dieses technischen Potentials wurden bei allen Anlagen Parameter wie Ausbaugrad und genehmigte Stauziele bzw. Fallhöhen sowie die Durchflussdauerlinien untersucht. Im Folgenden werden die Einzelheiten des Vorgehens erläutert. Die ermittelten Potentiale wurden hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit sowie ihrer Wirtschaftlichkeit bewertet. Potentiale die technisch oder wirtschaftlich nicht umsetzbar sind wurden nicht in den vorliegenden Bericht aufgenommen.

Analog zu den Bezeichnungen im Bericht des StMUG zum Thema „Wasserkraftreserven“ von 1995 [2] wird folgende Aufteilung der Wasserkraftpotentiale verwendet:

- Neubau an neuen Standorten
- Neubau an bestehenden Querbauwerken
- Ausbau an bestehenden Anlagen
  - Modernisierung: Maßnahmen zur Erhöhung der Ausbauleistung / Jahresarbeit in Betrieb befindlicher Anlagen ohne Änderung des Nutzungsumfanges
  - Nachrüstung: Erweiterung bestehender Anlagen zur Erhöhung der Ausbauleistung / Jahresarbeit durch Vergrößerung des Nutzungsumfanges

- Reaktivierung: Maßnahmen zur Wiederinbetriebnahme stillgelegter Anlagen

Die Beibehaltung der Aufteilung stellt die Konsistenz und die Vergleichbarkeit der im Laufe der Jahrzehnte erstellten Berichte zu diesem Thema sicher.

## 2.2 Physikalische Grundlagen

Zur Bestimmung des technischen Potentials einer Wasserkraftanlage kann die allgemeine Leistungsformel herangezogen werden:

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Die Leistung einer Wasserkraftanlage setzt sich demnach zusammen aus der zur Verfügung stehenden Fallhöhe  $H$ , dem Durchfluss  $Q$  und dem Wirkungsgrad  $\eta$  der Wasserkraftanlage. Um das Potential einer Wasserkraftanlage zu steigern muss man versuchen einen dieser genannten Faktoren zu erhöhen.

In der oben genannten Formel gehen die einzelnen Faktoren linear ein. Es soll jedoch nicht der Eindruck entstehen, dass diese Faktoren im Verlauf eines Jahres konstant sind. Im Allgemeinen ändern sich die Faktoren über das Jahr, was eine Schwierigkeit bei der Bemessung einer Wasserkraftanlage darstellt. Wasserkraftanlagen werden deshalb mit Hilfe von Leistungsplänen dimensioniert, in die die jahreszeitlichen Schwankungen Eingang finden.

In Abbildung 1 ist ein derartiger Leistungsplan exemplarisch dargestellt. Es sind darin sowohl für die Wasserspiegel des Unterwassers und des Oberwassers als auch für den Durchfluss die Dauerlinien als Überschreitungslinien dargestellt. Da der Maximaldurchfluss eines Wasserkraftwerks begrenzt ist, muss bei hoher Wasserführung das Überdargebot des Wassers über die Entlastungseinrichtungen ungenutzt abgeleitet werden. Über diesen maximalen Durchfluss, der auch als „Ausbauabfluss“ einer Anlage genannt wird, kann der „Ausbaugrad“ ermittelt werden. Dieser entspricht der Anzahl der Tage im Jahr, an denen das Wasserdargebot des Flusses über dem Ausbauabfluss liegt.

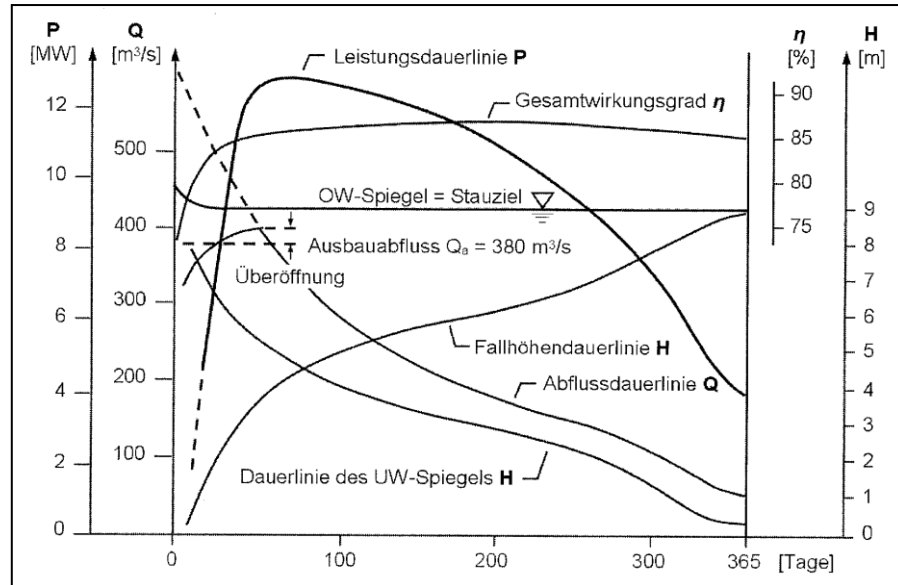


Abbildung 1: Beispiel Leistungsplan einer Niederdruckanlage [3]

### 2.3 Vorgehen zur Potentialermittlung

Im Vorfeld des vorliegenden Berichts wurde der Werkleistungsplan jeder einzelnen Anlage ermittelt. Hierzu wurde in einem ersten Schritt die Abflussdauerlinie, wie sie in Abbildung 1 exemplarisch dargestellt ist, bestimmt. Diese wurde anschließend mit dem Ausbaudurchfluss verglichen, der aus der wasserrechtlichen Genehmigung bekannt ist. Durch diesen Vergleich wurde der Ausbaugrad ermittelt, der bei einer gut ausgelegten Anlage zwischen 30 und 60 Tagen liegt [3].

Neben dem Durchfluss findet für die Bemessung einer Wasserkraftanlage die Fallhöhe Eingang. Wie in Abbildung 1 zu erkennen ist, verändert sich diese abflussbedingt auch im Jahresverlauf. Die Ermittlung der Wasserspiegeldauerlinien für jede Wasserkraftanlage ist jedoch aufwändiger als der Ansatz der Abflussdauerlinien, da diese für mehrere Stauanlagen ähnlich sind. Im Rahmen der Potentialstudie wurden die Pegeldauerlinien daher mit Hilfe der langjährigen internen Pegelaufzeichnungen an den bestehenden Kraftwerken ermittelt.

Ein wesentlicher Einflussfaktor für das Wasserkraftpotential ist der Wirkungsgrad der Anlagen. Zur Ermittlung von möglichen Potentialen wurden an allen Wasserkraftanlagen die Anlagenwirkungsgrade aus den internen Aufzeichnungen von Durchfluss und Fallhöhen bestimmt.

## 2.4 Potentialerhöhung durch Stauzielerhöhung

Für den Betrieb einer Wasserkraftanlage werden im Vorfeld der Nutzung die einzuhaltenden Stauziele im Rahmen der wasserrechtlichen Genehmigung festgeschrieben. Im Allgemeinen handelt es sich hierbei im Oberwasser der Anlage um zwei unterschiedliche Höhenkoten

- das einzuhaltende Stauziel  $Z_S$  bei Normalwasserbedingungen
- höchstes Stauziel  $Z_H$  für besondere Betriebszustände

Im Rahmen der Potentialstudie wurde untersucht, wie viel zusätzliche Leistung sich erzielen lässt, wenn das Dauerstauziel abflussabhängig, dynamisch von  $Z_S$  auf  $Z_H$  erhöht wird. Durch diese Erhöhung kann bis zum Hochwasserfall eine erhöhte Fallhöhe ausgenutzt werden. Es ist jedoch sicherzustellen, dass sich der Höherstau nicht negativ auf die Hochwasserspiegellagen und die Retentionswirkung auswirkt. Es besteht in der Regel die Möglichkeit, dass das Oberwasser rechtzeitig auf das Stauziel  $Z_S$  verringert wird um das ggf. notwendige Retentionsvolumen für das Hochwasser und das Freibord an den Stauhaltungsdämmen einzuhalten sowie um zusätzliches Freibord für die Abfuhr des Treibgutes wie Bäume o.dgl. im Hochwasserfall zu schaffen.

Das beschriebene Vorgehen wurde für alle Kraftwerke moderat angewendet, da in diesem Fall in der Regel hierzu keine weiteren Bauwerke erforderlich sind und nur mit Anpassungen an den Wehrverschlüssen mit geringen baulichen Modifikationen zu rechnen ist.

Es ist im Detail zu prüfen, ob die Anlagen als auch die Stauhaltungsdämme auf dieses erhöhte Stauziel ausreichend bemessen sind. Es können jedoch vereinzelt bauliche Maßnahmen zur Anpassung der Wehrverschlüsse, der Freiborde der Dämme etc. notwendig sein.

Weiterhin wurde in den Untersuchungen sichergestellt, dass die Stauwurzeln des Aufstaus durch die Anlagen nicht bis zu den oberstrom liegenden Anlagen reichen. Eine negative Beeinflussung der oberstrom liegenden Anlagen durch die Stauzielerhöhung kann somit weitgehend ausgeschlossen werden.

In den Potentialuntersuchungen wurden weiterhin die Dämme und ihre Dichtungsfreiborde betrachtet. Die Stauziele könnten demnach zeitweise über  $Z_H$  hinaus angehoben werden ohne ein Sicherheitsdefizit aufzuwei-

sen. Die Verlandungs- und Hochwassersituation ist aber im Detail zu betrachten.

## 2.5 Potentialerhöhung durch Erhöhung des Ausbaugrads

Zur Erhöhung der Gesamtleistung einer Wasserkraftanlage kann neben der Fallhöhe auch der Ausbaugrad erhöht werden. Diese zusätzliche Nutzung des Überwassers macht es neben der Teilerneuerung (Vergrößerung) bestehender Maschinensätze im Allgemeinen notwendig, dass zu den bestehenden Maschinensätzen eine weitere Turbine im Rahmen einer Kraftwerkserweiterung oder eines zusätzlichen Kleinwasserkraftwerks gebaut wird.

Zur Bestimmung des erzeugbaren Potentials durch eine Erhöhung des Ausbaugrads wurde in der vorliegenden Studie zuerst der vorhandene Ausbaugrad bestimmt. Danach wurde berechnet, welcher Abfluss einem Ausbaugrad von etwa 60 Überschreitungstragen entspricht. Das zusätzliche Volumen für die Energiegewinnung ergibt sich anschließend durch eine numerische Integration der Abflussdauerlinie, wie sie in Abbildung 5 graphisch dargestellt ist.

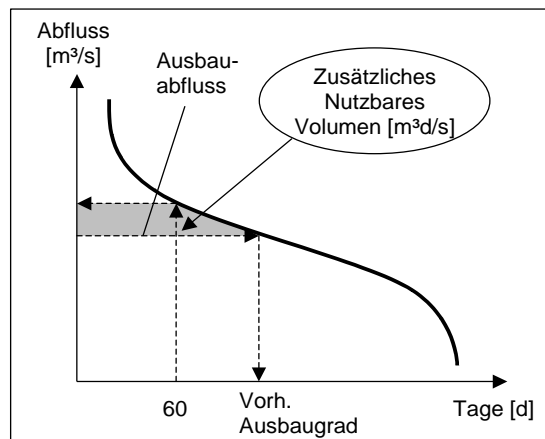


Abbildung 2: Ermittlung des Potentials durch Erhöhung des Ausbaugrads



Im Rahmen der vorliegenden Studie konnte auf eine umfassende Datenbasis zurückgegriffen werden, was eine genauere Ermittlung der möglichen Potentiale ermöglichte. Die zu Grunde liegenden Dauerlinien des Durchflusses und der Fallhöhen wurden aus langjährig aufgezeichneten Tagesdurchschnittswerten bestimmt. Diese wurden schließlich mit den für jeden Betriebspunkt der Anlage bekannten Wirkungsgraden multipliziert. Die Integration der sich ergebenden zusätzlichen Tagesdurchschnittsleistung über die zusätzliche Zeit ergibt schließlich das mögliche zusätzliche Wasserkraftpotential.

Die verwendete Datembasis umfasste dabei:

- UW-Kennlinie die Tagesmittelwerte der Jahre 2005 – 2007
- Dargebote die Tagesmittelwerte der Jahre 1983 – 2007

## **2.6 Potentialsteigerung durch Erhöhung des Ausbauwirkungsgrads**

Als dritte Möglichkeit der Potentialsteigerung der einzelnen Anlagen können die Wirkungsgrade von älteren Anlagen erhöht werden, was im Allgemeinen mit hohen Investitionskosten verbunden ist. In der Regel liegen die ermittelten Ausbauwirkungsgrade der bestehenden Anlagen im Bereich zwischen 80% und 85%. Nur bei vereinzelt Anlagen sind kleinere Wirkungsgrade vorhanden, die in den nächsten Jahren im Rahmen von Revitalisierungen bzw. Revisionen erhöht werden können. Im Rahmen der Studie hat sich jedoch gezeigt, dass betrieblich erforderliche Steuerungsvorgänge an manchen der Anlagen den mittleren Wirkungsgrad signifikant beeinflussen. Durch die resultierenden Betriebszustände müssen teils erheblich reduzierte mittlere Wirkungsgrade im Vergleich zu den optimalen Anlagenwirkungsgraden ausgewiesen werden.

### **3 ERGEBNISSE DER POTENTIALERMITTLUNG**

Im Folgenden werden die ermittelten Potentiale zusammengestellt. Die Unterteilung der Potentiale geschieht wie bereits beschrieben in der im genannten Eckpunktepapier vorgenommenen Struktur:

#### **3.1 Neubauten an neuen Standorten**

Der Inn ist weitgehend ausgebaut, so dass keine Neubauten an neuen Standorten möglich ist.

#### **3.2 Neubauten an bestehenden Querbauwerken**

Es gibt derzeit am Inn keine Querbauwerke, die nicht für die Wasserkrafterzeugung genutzt werden. Es ist jedoch vereinzelt möglich an bestehenden Wasserkraftstandorten neue Kraftwerke zu erreichen.

Am Standort Wasserburg wurde 2009 ein zusätzliches, neues 5 MW Kraftwerk neben der Bestandsanlage realisiert. Sowohl in Teufelsbruck, in Gars als auch in Jettenbach besteht ein ähnliches Potential. Am Standort Neuötting kann der Ausbaudurchfluss des Aubachkraftwerkes optimiert werden und ein zusätzliches Kleinwasserkraftwerk realisiert werden.

Am Standort Jettenbach befinden sich zwei EEG – Kraftwerke, verbunden mit der Ableitung zum Kanalkraftwerk Töging mit einer Leistungsfähigkeit von 340 m<sup>3</sup>/s. Ein Restpotential stellt für die Energieerzeugung ungenutztes Wasser dar, das derzeit über die Wehranlage in die Ausleitungsstrecke fließt. An der Wehranlage ist eine Stauzielerhöhung nur durch erhebliche zusätzliche Maßnahmen zur Erhöhung der Standsicherheit realisierbar, so dass eine Stauzielerhöhung vermutlich unwirtschaftlich ist, obwohl dies die restlichen Randbedingungen zulassen würden. Im Fall eines Neubaus der Wehranlage könnte das Stauziel um etwa einen halben Meter erhöht werden, was am Kraftwerksstandort Jettenbach und am Kraftwerk Töging ein zusätzliches Potential von zusammen 15,3 GWh/a (ohne Jettenbach III) ermöglicht. Dies beinhaltet aber, dass auch die Ausleitungswassermenge wasserrechtlich neu behandelt werden müsste.

<b>KW</b>	<b>Potential Erzeugung (GWh/a)</b>	<b>Maßnahme</b>	<b>Stand</b>
Teufelsbruck	14,1	Neubau Triebwerk	Genehmigung liegt vor
Gars	13,6	Neubau Triebwerk	Vergabephase
Jettenbach II	1,6	Neubau Wehranlage + 0,50 m SZE (ganzjährig)	
Jettenbach III	10,2	Neubau oder Umbau Jettenbach I	Vorplanung
Töging	7,3	Neubau Wehranlage + 0,50 m SZE (ganzjährig)	
Aubachkraftwerk	1,7	Neubau Überleitung inkl. Kraftwerk	Konzeptstudie
<b>Summe</b>	<b>48,8</b>	<b>GWh/a</b>	

### 3.3 Ausbau bestehender Anlagen

#### 3.3.1 Modernisierung

Unter Modernisierung versteht man Maßnahmen zur Steigerung der Stromerzeugung bei unverändertem Nutzungsumfang. Dazu bieten sich folgende Möglichkeiten an:

- Modernisierung der Kraftwerkstechnik – im wesentlichen Turbine und Generator – zur Verbesserung des Wirkungsgrade
- Optimierung der Steuerung

Modernisierungsmaßnahmen erfolgen im bestehenden Kraftwerk ohne Auswirkungen auf Wasserstands- und Abflussverhältnisse. Sie können ohne wasserrechtliches Genehmigungsverfahren erfolgen.

Am Inn sind noch mehrere Kraftwerke mit mechanischen Turbinenreglern ausgestattet. Durch die Umrüstung dieser Komponenten auf Digitaltechnik kann nach konservativen Schätzungen der Anlagenwirkungsgrad um etwa 0,75 % pro Anlage erhöht werden. Es ergibt sich danach eine theoretische Erhöhung der Jahresarbeit von etwa 7,4 GWh/a.

<b>KW</b>	<b>Potential Erzeugung (GWh)</b>	<b>Maßnahme</b>
Rosenheim	1,3	Umbau mech. Regler auf Digitaltechnik
Feldkirchen	1,5	Umbau mech. Regler auf Digitaltechnik
Wasserburg	1,2	Umbau mech. Regler auf Digitaltechnik
Teufelsbruck	1,1	Umbau mech. Regler auf Digitaltechnik
Gars	1,2	Umbau mech. Regler auf Digitaltechnik
Stammham	1,1	Umbau mech. Regler auf Digitaltechnik
<b>Summe</b>	<b>7,4</b>	<b>GWh/a</b>

### 3.3.2 Nachrüstung

Als Nachrüstung werden Maßnahmen zur Steigerung der Stromerzeugung mit Veränderungen des Nutzungsumfangs bezeichnet. Dies sind:

- Erhöhung des Ausbaugrades durch Ersatz vorhandener oder Zubau von neuen Turbinen
- Erhöhung des Ausbaugrades durch eine Durchflusserhöhung
- Erhöhung der Fallhöhe durch Stauzielanhebung

Die Kraftwerke am Inn sind bereits sehr hoch ausgebaut, so dass kein zusätzliches Potential durch den Zubau von zusätzlichen Turbinen besteht. Lediglich an zwei Kraftwerken kann der Ausbaugrad durch eine Laufrad- und Laufradmantelerneuerung erhöht werden. Es ergibt sich ein zusätzliches theoretisches Potential von etwa 21 GWh/a. Die Umbaumaßnahmen sind jedoch nur am Ende der technischen Lebensdauer wirtschaftlich darstellbar.

Am Kraftwerk Töging existiert die Möglichkeit, die 15. Maschine zu aktivieren. Durch die sich ergebende verbesserte Regelungsmöglichkeit der Gesamtanlage können die einzelnen Maschinen in besseren Betriebspunkten betrieben werden, so dass für die Gesamtanlage ein Potential von etwa 2,5 GWh/a aufgrund der sich ergebenden Gesamtwirkungsgradverbesserung ergibt. Zusätzlich kann der Ausbaudurchfluss durch den Betrieb der 15. Maschine um etwa 25 m<sup>3</sup>/s erhöht werden.

KW	Potential Erzeugung (GWh/a)	Maßnahme
Töging	2,5	Aktivierung 15. Maschine Töging
Töging	5,5	Durchflusserhöhung Kanal und 15. Maschine
Neuötting	11,3	Durchflusserhöhung KW um ca. 60 m <sup>3</sup> /s (Laufrad & -mantel vergrößern)
Stammham	9,9	Durchflusserhöhung KW um ca. 60 m <sup>3</sup> /s (Laufrad & -mantel vergrößern)
<b>Summe</b>	<b>29,2</b>	<b>GWh/a</b>

### 3.3.3 Stauzielerhöhung

Eine weitere Steigerung des Wasserkraftpotentials kann am Inn durch die Erhöhung von Stauzielen erreicht werden. Im Einzelfall sind zur Realisierung kleinere Anpassungen im Stahlwasserbaubereich oder geringfügige Änderungen der Wehrkörpers und oder der Dammbalken notwendig. Im jedem Fall müssen jedoch die Standsicherheiten der Kraftwerke, Wehre und Stauhaltungsdämme sowie die Wasserspiegellagen im Einzelnen überprüft werden.

Durch Stauzielerhöhungen ist ein technisches Potential von 26,3 GWh/a erzielbar. In der folgenden Tabelle sind die erreichbaren Potentiale zusammengestellt:

<b>KW</b>	<b>Potential Erzeugung (GWh/a)</b>	<b>Maßnahme</b>	<b>Einstau Oberlieger-KW</b>
Rosenheim	3,5	+ 0,25 m SZE (bis 500 m <sup>3</sup> /s)	nicht nennenswert
Feldkirchen	4,3	+ 0,25 m SZE (bis 500 m <sup>3</sup> /s)	nicht nennenswert
Teufelsbruck	4,1	+ 0,25 m SZE (bis 500 m <sup>3</sup> /s)	nicht nennenswert
Gars	4,2	+ 0,25 m SZE (bis 500 m <sup>3</sup> /s)	nicht nennenswert
Neuötting	5,8	+ 0,25 m SZE (ganzjährig)	nicht nennenswert
Stammham	4,4	+ 0,25 m SZE (bis 500 m <sup>3</sup> /s)	nicht nennenswert
<b>Summe</b>	<b>26,3</b>	<b>GWh/a</b>	

### 3.4 Reaktivierung

Am Inn besteht derzeit kein Potential, das durch die Reaktivierung von stillgelegten Anlagen aktiviert werden könnte.

## 4 ZUSAMMENFASSUNG

In der folgenden Tabelle sind die ermittelten Potentiale nach der Art der Potentialerzeugung zusammengefasst:

Kapitel		Kapitel		[GWh/a]
3.1	Neubau an neuen Standorten			0,0
3.2	Neubau an bestehenden Querbauwerken			48,8
3.3	Ausbau bestehender Anlagen	3.3.1	Modernisierung/Regler	7,4
		3.3.2	Potential durch Erhöhung des Ausbaugrads	29,2
		3.3.3	Mögliches Potential durch SZE	26,3
3.4	Reaktivierung			0,0
	<b>Summe</b>			<b>111,7</b>

## LITERATUR

- [1] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.) : Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Donauegebiet 1999. München : Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2001
- [2] Strobl, Zunic: Wasserbau; Springer-Verlag, 2006
- [3] StMUGV: Bericht über den weiteren Ausbau der Wasserkraftnutzung in Bayern; 1995