



---

# **Analyse der Pumpspeicherpotentiale in Bayern**

## **Endbericht**

Bildnachweis: Landesamt für Vermessung und Geoinformation Bayern

**Juni 2014**

**Dieses Projekt wird vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit unter fachlicher Leitung des Landesamtes für Umwelt finanziert.**



**Projekt:** **Analyse der Pumpspeicherpotentiale in Bayern  
Ergebnisband**

**Planungsphase:** **Studie**

**Auftraggeber:** Bayerisches Landesamt für Umwelt  
Bürgermeister-Ulrich Str. 160  
86179 Augsburg

**Auftragnehmer:** Lahmeyer Hydroprojekt GmbH  
Büro München  
Elsenheimerstraße 11  
80687 München

**Projektleitung:** Dipl.-Ing. Robert Achatz  
Dr.-Ing. Raju Rohde

**Qualitätssicherung** Dipl.-Ing. Stefan Reil

**Bearbeitung:** Dr.-Ing. Raju Rohde  
Dr.-Ing. Stefan Schmid  
M.Sc. Benjamin Baumann  
Dipl.-Ing. Bernhard Ebner  
Dipl.-Geogr. Stefan Kißauer  
Dipl.-Ing. (FH) Katrin Mauermann  
Dipl.-Ing. (FH) Dominik Michalke  
Dipl. Biologin Irene Wagensonner

München, 30. Juni 2014

**Verfasser:** Dipl.-Ing. Robert Achatz und Dr.-Ing. Raju Rohde

Lahmeyer Hydroprojekt GmbH  
Büro München

i.V. Stefan Reil  
Regionalbereichsleiter Süd

i.V. Robert Achatz  
Projektleiter



## Inhalt

1	Einleitung .....	1
2	Zusammenfassung.....	2
3	Zielstellung und Systematik der Studie.....	4
4	Bedarf an Pumpspeicherkraftwerken in Bayern.....	6
5	Technik von Pumpspeicherkraftwerken .....	7
5.1	Bedeutung von Pumpspeicherkraftwerken für die Stromversorgung .....	7
5.1.1	Lastausgleich .....	7
5.1.2	Regelenergie.....	7
5.1.3	Blindleistungsregelung .....	8
5.1.4	Schwarzstartfähigkeit .....	9
5.1.5	Hauptaufgaben von Pumpspeicherkraftwerken .....	9
5.2	Funktionsweise und wesentliche Komponenten von Pumpspeicherkraftwerken.....	10
5.2.1	Hydraulische und elektrische Maschinen.....	11
5.3	Kenngößen von Pumpspeicherkraftwerken.....	12
5.4	Bautechnik und Maschinentechnik .....	13
6	GIS-basierte Potentialermittlung für Pumpspeicherkraftwerke .....	14
6.1	Flächenscreening.....	14
6.1.1	Mindestanforderungen .....	14
6.1.2	Ausschlusskriterien .....	14
6.1.3	Topographische Analyse.....	15
6.1.4	Ergebnisse .....	15
6.2	Standortanalyse .....	20
6.3	Bewertung potentieller Standorte durch Bewertungsmatrix .....	22
6.3.1	Kategorie Technik .....	23
6.3.2	Kategorie Infrastruktur.....	23
6.3.3	Kategorie Umwelt.....	24
6.3.4	Kategorie Geologie .....	25
6.3.5	Kategorie Ökonomie .....	25
6.3.6	Sensitivitätsanalyse.....	27
6.4	Auswahl geeigneter Potentialstandorte .....	28
7	Pumpspeicherpotentiale an bestehenden Seen und Talsperren.....	30
7.1	Möglichkeiten zur Nutzung von Seen und Talsperren als Pumpspeicher.....	30
7.2	Vorgehensweise und Ergebnis.....	32
8	Erweiterungsmöglichkeiten an bestehenden Pumpspeicherkraftwerken.....	33



9	Standortvorschläge Dritter.....	35
10	TOP-Standorte für PSW.....	37
10.1	TOP-Standort a.....	40
10.2	TOP-Standort b.....	41
10.3	TOP-Standort c.....	43
10.4	TOP-Standort d.....	44
10.5	TOP-Standort e.....	45
10.6	TOP-Standort f.....	46
10.7	TOP-Standort g.....	47
10.8	TOP-Standort h.....	48
10.9	TOP-Standort i.....	49
10.10	TOP-Standort j.....	50
10.11	TOP-Standort k.....	51
10.12	TOP-Standort l.....	52
10.13	TOP-Standort m.....	53
10.14	TOP-Standort n.....	54
10.15	TOP-Standort o.....	56
10.16	TOP-Standort p.....	57
10.17	TOP-Standort q.....	58
11	Quellen.....	59

## 1 Einleitung

Mit der Entscheidung der Bundesregierung zum vorgezogenen Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie bis zum Jahr 2022 und zur stärkeren Förderung der erneuerbaren Energien gewinnt auch die Thematik der Speicherung von Energie durch Pumpspeicherwerke (PSW) weiter an Bedeutung.

Aufgrund der im bayerischen Energiekonzept enthaltenen Ausbauziele für erneuerbare Energien steigt auch in Bayern der Bedarf an Speicherkapazitäten. Der bayerische Ministerrat hat deshalb beschlossen, eine Speicherpotential- und –standortanalyse für mögliche PSW in Bayern zu erstellen. Das Bayerische Umweltministerium hat das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) beauftragt, diese Potentialanalyse an ein geeignetes Ingenieurbüro zu vergeben.

Der Freistaat Bayern mit einer Gesamtfläche von 70.552 km<sup>2</sup> ist mit den Alpen und der Mittelgebirgsregion durch bergige Landschaften geprägt, die in Verbindung mit den zahlreichen Gewässern gute Voraussetzungen für Pumpspeicherstandorte bieten.

Das LfU hat das Büro Lahmeyer Hydroprojekt am 30.05.2012 mit der Erstellung der Potentialstudie beauftragt. Die fachliche Abstimmung und Begleitung der Studie erfolgte durch eine projektbegleitende Arbeitsgruppe unter Beteiligung der fachlich betroffenen Referate des LfU und des Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV).

Der vorliegende Bericht beschreibt die Vorgehensweise und Ergebnisse der Studie.



**Abbildung 1: Beispiel Pumpspeicherwerk Reischach mit Hochspeicher Rabenleite**  
(© Alois Köppl, Gleiritsch <http://online-2000.de>)



## 2 Zusammenfassung

In dieser Studie wurden potentielle Standorte für Pumpspeicherwerke in Bayern unter technischen, geologischen, ökonomischen und umweltfachlichen Gesichtspunkten sowie im Hinblick auf die Infrastruktur identifiziert. Das vorgegebene Ziel war, Pumpspeicherwerkstandorte mit einer Gesamtleistung von mindestens 3.000 MW zu finden.

Durch eine computergestützte topografische Analyse wurden ca. 30.000 mögliche Beckenkombinationen gefunden, die die vorab definierten Mindestanforderungen und Ausschlusskriterien erfüllen. Mit Hilfe einer Bewertungsmatrix wurden diese Potentialflächen qualitativ bewertet. Hierbei wurden mehrere Rankings anhand der Kategorien Technik, Ökonomie, Umwelt, Geologie und Infrastruktur, welche unterschiedlich gewichtet wurden, vollzogen. Die Schnittmenge der geeignetsten Potentialflächen verschiedener Rankings bildete die Grundlage für eine Rangliste.

In einem gemeinsam mit der Arbeitsgruppe des Landesamtes für Umwelt durchgeführten Auswahlprozess, wurden aus diesen potentiellen Standorten, unter Abwägung der technischen und umweltfachlichen Randbedingungen 14 besonders geeignete Standorte für eine detailliertere Betrachtung im Rahmen eines Grobkonzeptes ausgewählt. Für einen dieser Standorte existieren zwei Varianten mit gleichem Oberbecken.

Da der Bau der Ober- und Unterbecken den größten Flächenverbrauch und erhebliche Kosten verursacht, wurde an zehn vom LfU vorgegebenen Standorten die Möglichkeit untersucht, bereits existierende Seen und Talsperren als Speicherbecken für Pumpspeicherwerke zu nutzen. Zu den zehn vorgegebenen Seen und Talsperren wurden Potentialflächen für mögliche Ober- und Unterbecken nach definierten Mindestanforderungen und Ausschlusskriterien gesucht. Für die weitere Beurteilung wurde ebenfalls die Bewertungsmatrix verwendet. Ausgehend von den modellierten Vorzugsbecken existieren an sechs Seen und Talsperren Pumpspeicherpotentiale, die den Kriterien für eine landesweite Relevanz genügen. Zwei Standorte wurden bereits bei der topographischen Analyse identifiziert und sind in der Liste der besonders geeigneten Standorte geführt. Zwei weitere Standorte, Forggensee und Sylvensteinsee, wurden aufgrund ihres Potentials zusätzlich in die Liste der besonders geeigneten Standorte aufgenommen.

Im Rahmen dieser Studie wurde für sechs vom LfU vorgegebene in Bayern existierende Pumpspeicherwerke geprüft, ob Erweiterungsmöglichkeiten durch Vergrößerung bestehender Becken oder durch neue Becken vorhanden sind. Die bereits installierte Leistung der ausgewählten Pumpspeicherwerke beträgt insgesamt ca. 550 MW, wodurch der erwartete Leistungszuwachs durch Erweiterung im Vergleich zur Steigerung durch neue Standorte gering ist. Bis auf einen Standort wurden an allen bestehenden Pumpspeicherwerken Potentialflächen identifiziert, die jedoch häufig Konflikte mit anderen Nutzungen und Schutzgütern aufweisen. Nur für einen Standort wurde daher eine Beckenmodellierung vorgenommen, die einen Leistungszuwachs von 175 MW erwarten lässt. Insgesamt konnte durch die Untersuchung der bestehenden Pumpspeicher kein weiterer besonders geeigneter Standort identifiziert werden.



Weiterhin wurde die Eignung von Standorten untersucht, die dem Bayerischen Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) von Dritten vorgeschlagen wurden. Insgesamt wurden zehn Standorte auf die Kategorien Technik, Infrastruktur, Umwelt, Ökonomie und Geologie untersucht. Es stellte sich heraus, dass bereits die definierten Mindestanforderungen von vielen Becken nicht erfüllt werden und somit die meisten Standortvorschläge Dritter im Sinne eines bayernweit notwendigen Potentials von untergeordneter Bedeutung sind.

Für die 16 gewählten besonders geeigneten -Standorte wurde ein technisches Grobkonzept erstellt. Neben den technischen, geologischen, infrastrukturellen und ökonomischen Randbedingungen wurden hierbei mögliche genehmigungsrechtliche Hindernisse aufgrund umweltfachlicher Gegebenheiten berücksichtigt.

Das Gesamtpotential der 16 besonders geeigneten Standorte beläuft sich auf rund 11.000 MW. Das Gesamtarbeitsvermögen der Standorte beträgt rund 66.000 MWh.

Mit der Auswahl und dem Ranking von Potentialflächen erfolgt keine Vorfestlegung bezüglich der notwendigen Rechtsverfahren. Zur Realisierung eines konkreten Projektes sind standortbezogene Detailplanungen und Untersuchungen erforderlich, die dann die Grundlage für ein Genehmigungsverfahren darstellen.

### 3 Zielstellung und Systematik der Studie

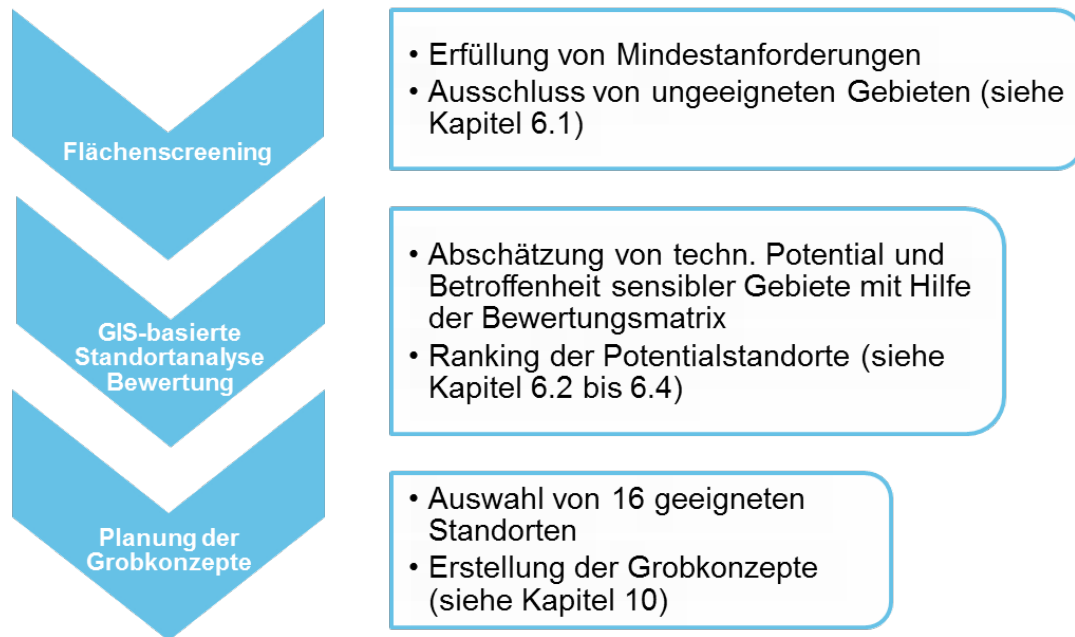
Ziel der Studie ist es, potentiell geeignete Flächen für Pumpspeicherkraftwerke in Bayern zu identifizieren, die bei großen Leistungs- möglichst geringe Konfliktpotentiale aufweisen. Dabei wird die Ausweisung einer Gesamtleistung von mindestens 3.000 MW angestrebt. Ein wesentliches Element ist die Erarbeitung einer Bewertungsmatrix mit transparenten, nachvollziehbaren Kriterien. Die Matrix dient der computergestützten Auswahl und Reihung von Potentialflächen nach ihrer jeweiligen Eignung für eine Pumpspeicheranlage bzw. nach einschränkenden Randbedingungen.

Für 16 ausgewählte, technisch-ökonomisch vielversprechende und konfliktarme Standorte werden Grobkonzepte entwickelt, für die in groben Zügen die Anforderungen und Hindernisse bei einer möglichen Realisierung des Standortes skizziert werden. Damit werden die Rahmenbedingungen der Machbarkeit einiger aus bayernweiter Perspektive relevanter Standorte aufgezeigt. Für die beschriebenen Standorte besteht jedoch kein Anspruch auf Genehmigung, vielmehr ist im Falle einer Realisierung ein reguläres Genehmigungsverfahren durchzuführen.

Aufbauend auf dem Stromspeicherbedarf in Bayern, einer GIS-basierten Potentialermittlung, einer Analyse von Pumpspeicherpotentialen an Seen und Talsperren und einer Prüfung von Erweiterungsmöglichkeiten an bestehenden Pumpspeicherwerken wird das verfügbare Pumpspeicherpotential in ganz Bayern untersucht:

- Bei der **GIS-basierten Potentialermittlung** werden auf der Grundlage digitaler Geländedaten alle Potenzialflächen in Bayern detektiert, die vorab festgelegte Mindestanforderungen erfüllen. Für jede ermittelte Beckenkombination wird das technische Potential abgeschätzt und mögliche Konflikte aus den Bereichen Umwelt, Infrastruktur und Geologie durch Verschneidung ermittelt. Mit Hilfe der Bewertungsmatrix, die sowohl das Potential sowie die Betroffenheit sensibler Gebiete berücksichtigt, wird ein Ranking erstellt, das alle gefundenen Potenzialstandorte ihrer Qualität nach sortiert. Für 14 besonders geeignete Standorte wird ein **Grobkonzept** erstellt. Hierfür werden die Standorte konzeptionell geplant, sodass eine genauere Aussage über das Potential und die Attraktivität der Standorte getroffen werden kann.
- Für ausgewählte bestehende **Seen und Talsperren** wird das Erweiterungspotential zu Pumpspeicherstandorten geprüft. Hierfür werden potentielle Ober- und Unterbecken an 10 Seen in Bayern identifiziert und beurteilt. Für zwei Standorte werden ebenfalls **Grobkonzepte** erstellt.
- Des Weiteren werden **Erweiterungspotentiale an bestehenden Pumpspeicherwerken** untersucht.
- Ebenfalls betrachtet werden **Standortvorschläge Dritter**. Allerdings wurden hier abweichend von der bisherigen Vorgehensweise nicht die Mindestanforderungen berücksichtigt, sondern lediglich die Bewertungskriterien aus der Matrix herangezogen.





**Abbildung 2: Systematik der GIS-basierten Potentialstudie**



## 4 Bedarf an Pumpspeicherkraftwerken in Bayern

Die Bayerische Staatsregierung setzt sich mit dem Energiekonzept „Energie innovativ“ das Ziel, bis zum Jahr 2021 50 % des Stromverbrauchs in Bayern mit erneuerbaren Energien abzudecken. Der konventionelle Kraftwerkspark einschließlich der Pumpspeicherkraftwerke muss in der Folge so betrieben werden, dass kurzfristige große Schwankungen der Einspeisung aus Wind- und Sonnenenergie kompensiert werden können.

Als Langzeitspeicher zur Speicherung von periodischen und saisonalen Stromüberschüssen sind Pumpspeicherkraftwerke aufgrund ihrer Betriebsweise nicht geeignet. Das zukünftige Einsatzfeld der Pumpspeicherkraftwerke ist in erster Linie im Ausgleich kurzfristiger Erzeugungsschwankungen im Minuten- bis Stundenbereich zu sehen. **Die Abschätzung eines konkreten Bedarfs ist nicht Bestandteil dieser Studie.**

Pumpspeicherkraftwerke leisten vor allem im Bereich der Systemdienstleistungen einen wertvollen Beitrag. Insbesondere können sie die zur Aufrechterhaltung der Systemstabilität erforderliche „must-run“-Erzeugung fossiler Kraftwerke verringern und (im Gegensatz zu Gaskraftwerken) auch negative Regelenenergie bereitstellen. Hierzu könnten deutschlandweit zusätzliche Pumpspeicherkraftwerke mit einer installierten Leistung von mehreren Gigawatt (GW) und ausreichendem Arbeitsspeichervolumen beitragen.

Die Speicherung elektrischer Energie ist mit hohen Kosten verbunden. Viele Speichertechnologien sind im Entwicklungsstadium und können noch nicht auf Erfahrungswerte zurückgreifen. Unabhängige Gutachten belegen, dass Pumpspeicherkraftwerke die günstigsten Voraussetzungen bieten, langfristig als Hauptspeichermittel ausgebaut zu werden. Sie weisen hohe Wirkungsgrade, verhältnismäßig große Speicherkapazitäten und relativ geringe Investitionskosten auf.

Die Vorgabe, potentielle Standorte für Pumpspeicherkraftwerke in Bayern mit einer installierten Leistung von mindestens 3.000 MW zu identifizieren, ist daher eine sinnvolle Vorgehensweise, gerade auch weil Pumpspeicherkraftwerke die einzige ausgereifte Speichertechnologie der erforderlichen Größenordnung sind.

## 5 Technik von Pumpspeicherkraftwerken

### 5.1 Bedeutung von Pumpspeicherkraftwerken für die Stromversorgung

Die wichtigsten technischen Eigenschaften zur Beurteilung von Energiespeichern sind: Speicherkapazität, Speicherleistung, Wirkungsgrad, Speicherverluste, Leistungsdichte, Leistungsgradient und Lebensdauer (SRU 2010:59). Die hohe verfügbare Leistung, die kurze Startzeit und der vergleichsweise hohe Wirkungsgrad machen Pumpspeicherkraftwerke (PSW) derzeit zu den wirtschaftlichsten elektrischen Großspeichern. Sie werden weltweit seit Jahrzehnten eingesetzt und sind demnach langjährig erprobt. Die Möglichkeit der Bereitstellung von Regelleistung und Blindleistung, die Nutzung zum Lastausgleich bzw. -glättung und vor allem ihre Schwarzstartfähigkeit machen sie darüber hinaus zu wichtigen Systemkomponenten der deutschen Energieversorgung. Insbesondere zeichnet PSW aus, dass sie im Rahmen des normalen Netzbetriebes die o.g. Betriebsweisen parallel fahren können (dena 2010:94). Durch die zunehmende Stromerzeugung aus wetterabhängigen erneuerbaren Quellen ist abzusehen, dass die Inanspruchnahme solcher Regelleistung aufgrund von Prognoseabweichungen zunehmen wird (VDE 2012).

#### 5.1.1 Lastausgleich

Der Lastausgleich oder Wälzbetrieb ist ursprünglich die klassische Betriebsweise von Pumpspeicherkraftwerken. Es gibt positiven und negativen Lastausgleich. Zu Zeiten der Spitzenlast (meist Tageszeit) erzeugen PSW Strom und speisen diesen ins Netz ein. In Zeiten niedriger Last (in der Regel nachts) entnehmen PSW Strom aus dem Netz und pumpen Wasser in die höher gelegenen Oberbecken, um elektrische Energie in Form potentieller Energie zu speichern.

#### 5.1.2 Regelleistung

Eine gleichbleibende Netzfrequenz (50 Hz) ist zur Vermeidung von Schäden für Verbraucher und zur Gewährleistung des sicheren Betriebs des Übertragungsnetzes notwendig. Stromerzeugung und Stromverbrauch stimmen nie exakt überein (z. B. ist das Verbraucherverhalten nicht zu 100 % prognostizierbar, wodurch Lastprognosefehler entstehen; auf Produzentenseite können fluktuierende Einspeisungen auftreten). Dies kann z. B. dazu führen, dass die Frequenz vom definierten Sollwert abweicht. Als Richtwert gilt dabei, dass ein Leistungsmangel im Netz von 100 MW zu einer Absenkung der Frequenz um ca. 0,01 Hz führt (Giesecke und Mosonyi 2009).

In diesem Zusammenhang ergeben sich drei unterschiedliche Arten der Regelenergie:

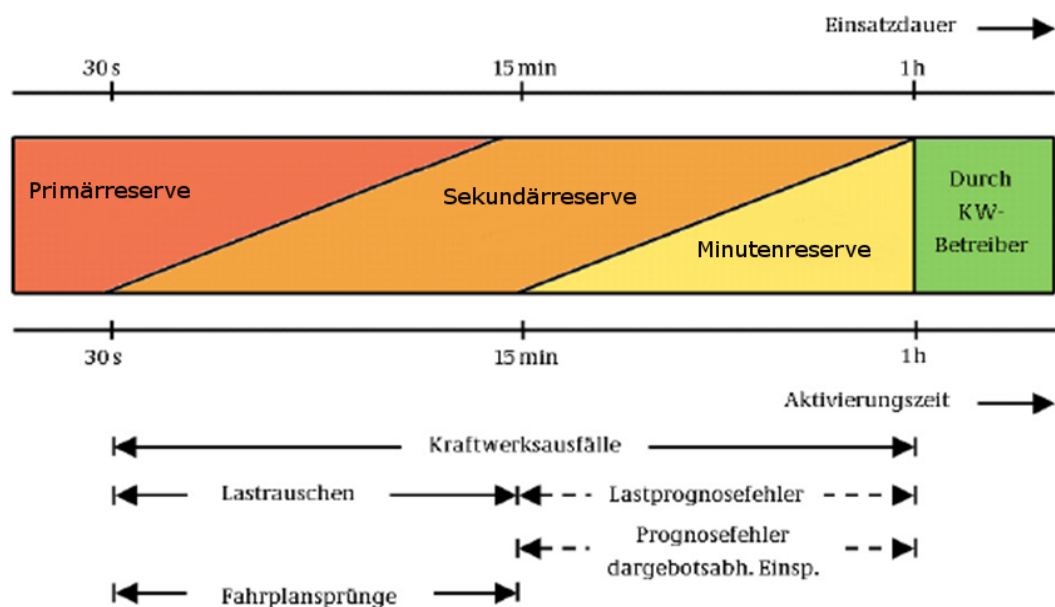
- Primärregelung,
- Sekundärregelung,
- Minutenreserve (Tertiärregelung),

deren wichtigste Charakteristika in Tabelle 1 abgebildet sind.

**Tabelle 1: Wichtigste Charakteristika der drei Regelenergiearten (Quelle: dena 2010:95f).**

	Abruf	Zeitlicher Einsatz	Erzeugung
Primärregelung	Innerhalb von 30 s in vollem Umfang	$0 < t < 15 \text{ min}$	Nach dem Solidaritätsprinzip von allen ÜNB
Sekundärregelung	Innerhalb von max. 5 min in vollem Umfang	$30 \text{ s} < t < 60 \text{ min}$	automat. Aktivierung durch betroffenen ÜNB
Minutenreserve	Innerhalb von max. 15 min in vollem Umfang	$15 \text{ min} < t < 60 \text{ min}$ (bzw. mehrere Stunden bei mehreren Störungen)	durch betroffenen ÜNB

Sie unterscheiden sich durch zeitlichen Einsatz, Abruf und Erzeugung. Abbildung 3 verdeutlicht, dass die drei Arten nacheinander abgerufen werden und sich gegenseitig ablösen.



**Abbildung 3: Zeitlicher Ablauf des Einsatzes der drei Regelenergiearten (Quelle: Bundesnetzagentur)**

### 5.1.3 Blindleistungsregelung

Die Gesamtleistung, die ein Erzeuger ins Netz speist, wird Scheinleistung genannt (dena 2010:97). Sie setzt sich aus Wirk- und Blindleistung zusammen. Dabei ist die Wirkleistung die eigentliche, in



Strom und Arbeit umgesetzte Leistung, während die Blindleistung die Leistungsbestandteile charakterisiert, die zum Auf- und Abbau von Magnetfeldern benötigt werden. Prinzipiell wäre es wünschenswert, wenn das Netz und die Verbraucherlasten nur Wirkleistung für den Betrieb benötigen. Da aber sämtliche elektrische Motoren, Kondensatoren sowie die Übertragungsleitungen und Kabel Magnetfelder erzeugen und damit Blindleistung verbrauchen, müssen Blindleistungsanteile aus dem Netz bezogen bzw. ins Netz gespeist werden. Blindleistung bewirkt, dass die Frequenz der Spannung gegenüber der Frequenz des Stromflusses verschoben wird. Die jeweiligen Leistungsanteile werden mittels des Faktors  $\cos-\varphi$  beschrieben. Da die Stromerzeugung der meisten PSW über einen Synchrongenerator ans Netz gekoppelt ist, lässt sich die Blindleistungseinspeisung (bzw. der Leistungsfaktor  $\cos-\varphi$ ) bei PSW besonders flexibel regeln. Die Blindleistungsregelung wird auch als Phasenschieberbetrieb bezeichnet. Dabei läuft der Generator „leer“ (ohne Last) im Stromnetz mit. Die Turbinen sind entweder abgekuppelt oder laufen entleert mit.

#### **5.1.4 Schwarzstartfähigkeit**

Für den Fall des Zusammenbruchs des Energieversorgungsnetzes sind Übertragungsnetzbetreiber verpflichtet, die Systemdienstleistung Schwarzstartfähigkeit vorzuhalten. Schwarzstartfähigkeit beschreibt die Eigenschaft ausgewählter Kraftwerke, ohne jegliche externe Energieversorgung aus abgeschaltetem Zustand heraus hochfahren zu können. Neben PSW sind insbesondere Gas- und Wasserkraftwerke für den Schwarzstart geeignet.

Neben der reinen Schwarzstartfähigkeit ist die flexible Regelbarkeit des Kraftwerks nach dem Schwarzstart eminent wichtig, da die Vorhersage der Last gerade in der Anfangsphase des Zuschaltens erster Teilnetze extrem schwierig ist und sich Lastschwankungen erst mit zunehmender Größe des wieder aufgebauten Netzes ausgleichen. In diesem Zusammenhang kommt insbesondere den PSW eine wichtige Rolle zu, da in Deutschland nur ein einziges Druckluftkraftwerk existiert und Gaskraftwerke gegenüber PSW eine niedrigere Erzeugungssicherheit aufweisen, da sie auf die externe Versorgung durch einen Generator oder Akkumulator angewiesen sind (dena 2010: 104).

#### **5.1.5 Hauptaufgaben von Pumpspeicherkraftwerken**

Der gegenwärtig und zukünftig stark zunehmende Anteil erneuerbarer Energien an der Gesamtstromerzeugung soll laut Bayerischem Energiekonzept (Bayerische Staatsregierung 2011) und diverser anderer Studien (Umweltbundesamt, SRU, Jansen & Schöner etc.) zu einem großen Teil durch Windkraftanlagen realisiert werden. Da die Einspeisung der durch Windkraft gewonnenen elektrischen Energie naturgemäß starken Fluktuationen unterliegt, wird die Bedeutung von PSW für die Lastglättung und Bereitstellung von Regelleistung zukünftig weiter steigen (Fraunhofer IWES 2009:21). Damit verschiebt sich der Hauptaufgabenbereich der Pumpspeicherkraftwerke zunehmend von der ursprünglichen Aufgabe der Gewährleistung des Lastausgleichs (Tag-Nacht) zum Schwerpunkt der kurz- bis mittelfristigen Frequenz- und

Spannungsregulierung. Damit verbunden sind längere Betriebsphasen in Teillast sowie häufigeres An- und Abfahren der Maschinen (Jansen und Schöner 2011: 41f).

#### **Bedeutung und Hauptaufgaben von Pumpspeicherwerken für das Stromnetz**

- Lastausgleich im Stromnetz (Wälzbetrieb)
- Bereitstellung von Regelenergie
- Blindleistungsregelung (Phasenschieberbetrieb)
- Schwarzstartfähigkeit nach Netzausfall
- Kurze Reaktionszeit für alle Einsatzbereiche

## **5.2 Funktionsweise und wesentliche Komponenten von Pumpspeicherkraftwerken**

Die Gravitation ist die physikalische Größe, deren Wirkung für die Funktionsweise von PSW ausgenutzt wird. Indem Masse unter Aufbringung elektrischer Energie gegen die zum Erdmittelpunkt gerichtete Gravitationskraft auf höheres Geländeniveau transportiert wird, wird die potentielle Energie der transportierten Masse (Wasser) erhöht.

Für eine Anlage zum Pumpspeicherbetrieb werden benötigt:

- Mindestens 2 Wasserreservoirs auf unterschiedlich hohem Geländeniveau. (Ober- und Unterbecken). Diese Becken werden in der Regel durch Stauvorrichtungen (Dämme, Mauern) begrenzt.
- Ein Krafthaus mit den für die Energieumwandlungsprozesse notwendigen hydraulischen und elektrischen Maschinen und elektrischen Anlagen.
- Ein Wasserschloss zum Ausgleich von Druckstößen (Notwendigkeit ist abhängig von topographischen Bedingungen). Diese können auftreten bei:
  - Öffnen und Schließen von Regulierverschlüssen an Grundablässen
  - Turbinenregelung
  - Schnellschluss von Rohrleitungen infolge einer Betriebsstörung
- Triebwasserleitungen, die den Austausch der Pendelwassermenge zwischen den Becken ermöglichen und bündeln. Hierzu gehören auch Absperrorgane und Ein- und Auslaufbauwerke mit folgenden Komponenten:
  - Rechen für Treibgut
  - Dammtafeln
  - 2 unabhängig voneinander funktionierende Absperrorgane (DIN 19700)

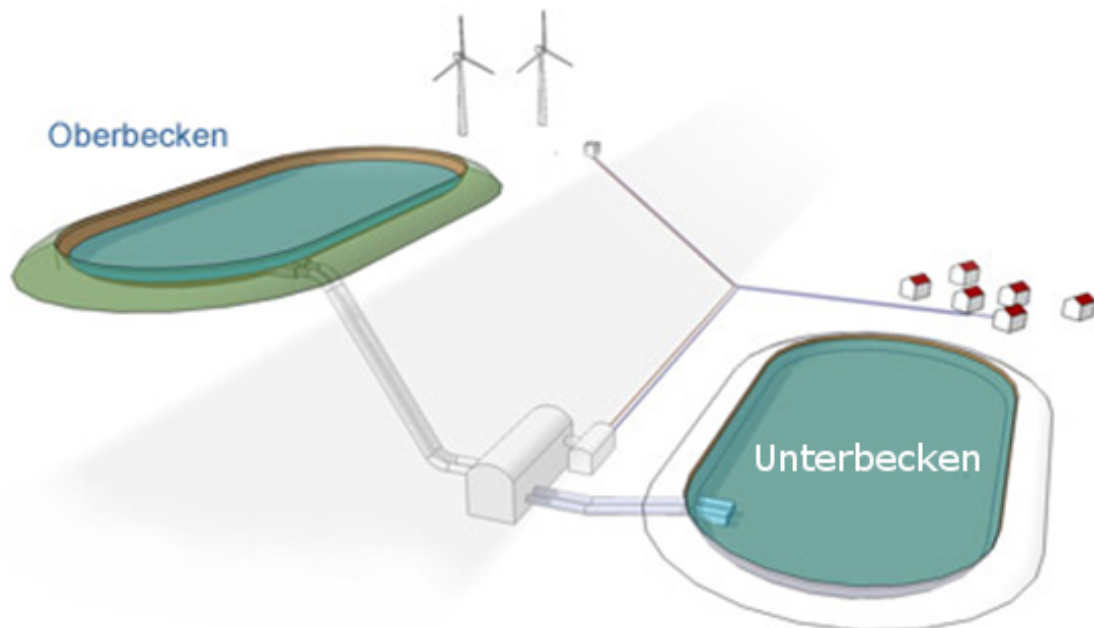


Abbildung 4: Pumpspeicherwerk-Schema (Quelle: <http://www.pskw.at>)

### 5.2.1 Hydraulische und elektrische Maschinen

Beim Betrieb von PSW wird beim 2-Maschinensatz (Reversibler Maschinensatz) die Pumpe und Turbine in einer hydraulischen Maschine vereinigt. Beim 3-Maschinensatz (ternärer Maschinensatz) wird diese Zusammenführung nicht vorgenommen.

Die Pumpe hat die Aufgabe, durch Änderung des Drucks in den Triebwasserleitungen das Wasser zur Bewegung entgegen der Gravitation in Richtung eines Oberbeckens zu bringen. Sie wird durch einen Motor angetrieben, der elektrische Energie aus dem Stromnetz aufnimmt und in mechanische kinetische Energie (Drehbewegung der Achse des Pumpaggregats über die Zeit) umwandelt.

Die Turbine wandelt die geradlinige Bewegung des durch die Triebwasserleitungen Richtung Unterbecken fallenden Wassers in eine Drehbewegung ihrer eigenen Achse um. Sie ist mit einem Generator gekoppelt.

Der Generator wandelt die mechanische kinetische Energie der sich drehenden Turbine (mit Drehmoment  $M$ , Drehfrequenz  $\omega$ , Zeit  $t$ ) in elektrische Energie ( $E$ ) um. Das hierbei angewandte physikalische Prinzip ist die elektromagnetische Induktion: Ändert sich der magnetische Fluss (mit der magnetischen Flussdichte  $B$ ) durch eine durch einen Leiter umschlossene Fläche ( $F$ ), so entsteht in dem Leiter eine elektrische Spannung ( $U$ ) (z. B. wenn ein elektrischer Leiter in einem Magnetfeld rotiert wird).

$$E = M \cdot \omega \cdot t$$

$$U = B \cdot F \cdot \omega \cdot \sin \omega t$$

### 5.3 Kenngrößen von Pumpspeicherkraftwerken

PSW dienen der Zwischenspeicherung von Energie für Spitzenlastzeiten und Notfälle im Stromnetz. Sie können sekundenschnell ihre Energie zur Verfügung stellen und sind als Stunden- und Tagesspeicher einsetzbar. Für mehrwöchige Windflauten oder jahreszeitenübergreifende Speicherung sind sie eher nicht geeignet. Für den Betreiber von PSW sind folgende Größen ausschlaggebend:

- wie schnell steht die im Oberbecken des PSW gespeicherte Energie zur Verfügung
- welche Leistung kann zur Verfügung gestellt werden
- wie lange reicht die im Wasser des PSW-Oberbeckens gespeicherte potentielle Energie

Pumpspeicherkraftwerke zeichnen sich dadurch aus, dass sie innerhalb kurzer Zeit ihre Energie zur Verfügung stellen (Anfahrzeit) und zwischen den verschiedenen Betriebsarten schnell wechseln können (Umschaltzeit).

Die Dauer der Anfahr- bzw. Umschaltzeit hängt vom Typ des Maschinensatzes, den hydraulischen Gegebenheiten und vom vorangegangenen Betrieb des Pumpspeicherkraftwerks ab. In Tabelle 2 sind typische Zeiten für moderne Pumpspeicherkraftwerke dargestellt (Giesecke und Mosonyi (2009)).

**Tabelle 2: Typische Umschalt- / Anfahrzeiten für Pumpspeicherkraftwerke**

	Stillstand bis Turbinenbetrieb in [s]	Pumpbetrieb bis Turbinenbetrieb in [s]	Stillstand bis Pumpbetrieb in [s]	Turbinen- bis Pumpbetrieb in [s]
3-Maschinensatz	80 - 110	50 - 70	90 - 120	50 - 70
2-Maschinensatz	60 - 100	90 - 120	160 - 240	500 – 600 *

\* Eigenangabe Lahmeyer Hydroprojekt



## 5.4 Bautechnik und Maschinentechnik

Die bautechnischen Anlagen eines Pumpspeicherkraftwerkes bilden die Absperrbauwerke des Ober- und des Unterbeckens, sowie die Verbindungsleitungen zwischen Ober- und Unterbecken, auch Triebwasserwege genannt. Letztere bestehen aus einem Einlaufbauwerk, dem Druckstollen, dem Maschinengebäude und dem Unterwasserstollen mit Auslaufbauwerk.

Da die Becken größere Flächen in Anspruch nehmen und da das Betriebswasser als Pendelwassermenge im System gehalten werden soll, gewinnt die Dichtung der Becken eine hohe Bedeutung. Insbesondere die nicht in einen Gewässerlauf integrierten bzw. nicht eine Tallage ausfüllenden Becken werden deshalb meist flächig abgedichtet.

Da erhebliche Fortschritte in der untertägigen Vortriebstechnik durch die Entwicklung von Tunnelbohrmaschinen erzielt wurden und da der Flächenverbrauch und der damit verbundene Eingriff in die Umwelt durch den Neubau von übertägigen Leitungen möglichst vermieden werden soll, werden die Triebwasserleitungen bei neuen Anlagen in der Regel unterirdisch erstellt. Die maschinentechnischen Anlagen werden dabei entweder in den Berg in eine Kaverne verlegt oder in tiefe Schächte am Rand des Unterbeckens eingebaut (Schachtkraftwerk).

Für den Betrieb von PSW mit Fallhöhen zwischen 60 m bis über 800 m haben sich radiale Turbinen bzw. radiale einstufige Pumpen nach der Bauart Francis durchgesetzt. Mit dieser Bauart ist es möglich, Pumpe und Turbine in einer Maschine (2-Maschinensatz bzw. reversibler Maschinensatz) zu vereinigen, welche je nach Drehrichtung als Pumpe oder Turbine funktioniert. Die einzelnen Maschinen erreichen dabei Leistungen von ca. 50 bis über 500 MW.

Die vorliegenden örtlichen Randbedingungen (wie z. B. die mittlere Fallhöhe) sowie die zukünftige Betriebsweise (Ausgleich von Lastschwankungen, Bedarfsschwankungen oder Bereitstellung von Spitzenlastenergie) entscheiden die Auslegung eines Maschinensatzes. Unten sind die Kriterien für die Auslegung und die Wahl der Maschine für ein Kraftwerk dargestellt.

Eine früher gebräuchliche Lösung ist die Anordnung von Turbine, Motor/Generator und Pumpe auf einer Welle (3-Maschinensatz, ternär). Dieser 3-Maschinensatz ist nach wie vor eine Option bei großen Fallhöhen (über 600 m), da für die Turbine eine andere Bauart gewählt werden kann (Pelton-Turbine) als für die Pumpe. Die Mehrkosten für ternäre Maschinensätze im Vergleich zu reversiblen Pumpturbinen gleicher Leistung, z.B. durch eine zusätzliche hydraulische Maschinen und zusätzliche Wasserwege mit doppelten Absperrorganen, betragen bis zu 80 %.

Die Fortschritte in der Entwicklung und Konstruktion von **reversiblen Pumpturbinen** (2-Maschinensatz) haben dazu geführt, dass heute mit Pumpturbinen Fallhöhen von bis über 600 m beherrscht werden können. Pumpturbinen bieten den Vorteil einer sehr kompakten Bauweise, woraus eine Kostenreduktion im Vergleich zum ternären Maschinensatz erreicht wird. Ferner sind Pumpturbinen mit Hinblick auf die Betriebskosten günstiger und erfordern einen geringeren Wartungsaufwand als ternäre Maschinensätze (Beck et al. 2011).

## **6 GIS-basierte Potentialermittlung für Pumpspeicherkraftwerke**

### **6.1 Flächenscreening**

Das Flächenscreening stellt den ersten Schritt der GIS-basierten Potentialermittlung für Pumpspeicherkraftwerke dar und soll anhand von digitalen Geländedaten Flächen in Bayern identifizieren, an denen vorgegebene Mindestanforderungen erfüllt und keine Ausschlussflächen vorhanden sind.

#### **6.1.1 Mindestanforderungen**

Die Kriterien, die ein möglicher Pumpspeicherstandort erfüllen muss, wurden wie folgt festgelegt:

- Fallhöhe  $\geq 200$  m
- Installierte Leistung  $\geq 100$  MW (Arbeitsvermögen entspricht 6 Turbinenstunden)
- Horizontale Entfernung zwischen den Becken  $\leq 5$  km

Bei Fallhöhen von weniger als 200 m bzw. bei Becken, die weiter als 5 km voneinander entfernt sind, kann man im Regelfall davon ausgehen, dass die Errichtung eines Pumpspeicherwerkes weniger wirtschaftlich ist. Im Einzelfall kann die Errichtung eines Pumpspeicherwerkes mit weniger Fallhöhe oder größerer Horizontalstanz zwar sinnvoll und noch wirtschaftlich sein, z. B. wenn ein bereits bestehendes Speicherbecken genutzt werden kann. Im Rahmen einer Potentialstudie, die sich über den gesamten Freistaat Bayern erstreckt, verhindern die vorgenannten Mindestanforderungen jedoch, dass eine Vielzahl von Standorten ausgewiesen werden, die aufgrund der Randbedingungen weit unter der Wirtschaftlichkeitsgrenze liegen würden.

#### **6.1.2 Ausschlusskriterien**

Siedlungsflächen und Flächen, für die bereits eine hochwertige Verkehrsinfrastruktur (Autobahnen und Eisenbahnstrecken) vorliegt, werden von der Standortsuche ausgeschlossen, da eine Umverlegung von größeren Siedlungsbereichen und hochwertiger Infrastruktur sowohl mit erheblicher öffentlicher Ablehnung verbunden, als auch meist nicht wirtschaftlich umsetzbar wäre. Bei kleineren Siedlungsbereichen mit einer Fläche unter 1 Hektar könnte im Einzelfall eine Absiedlung in Erwägung gezogen werden, so dass diese Flächen nicht von vorne herein ausgeschlossen werden müssen.

Als weiteres Ausschlusskriterium werden geologisch nicht geeignete Gebiete behandelt. Dabei ausschlaggebend ist der Gips- und Anhydritanteil des anstehenden Gesteins. Weiterhin werden die Nationalparks und Naturschutzgebiete als Potentialflächen für mögliche Pumpspeicherwerke ausgeschlossen.

Letztlich wird eine Filterung nach Mindestflächengrößen vorgenommen: Die nach Anwendung der Ausschlusskriterien verbleibenden Splitterflächen werden entfernt, da sie selbst bei sehr großen Fallhöhen und dementsprechend kleinem Speichervolumen für die Errichtung von Speicherbecken

zu klein sind. Alle Ausschlusskriterien sowie die Mindestflächengrößen sind in Tabelle 3 abgebildet.

**Tabelle 3: Ausschlusskriterien**

Kriterium		Bemerkung
Siedlungsflächen		Zusammenhängende Flächen > 1 ha Pufferbreite = 150 m
Verkehrsinfrastruktur	Bundesautobahnen	Pufferbreite = 75 m (beidseitig)
	Eisenbahnen	
Geologie	Gips- und anhydrithaltige Formationen	Keine Pufferung Kein Flächenlimit
Umwelt	Nationalparks Naturschutzgebiete	
Mindestfläche		Fläche < 55.000 m <sup>2</sup> (für eine Potentialfläche für Becken mit Ringdamm) Fläche < 27.500 m <sup>2</sup> (für eine Potentialfläche für Becken in Tallagen)

### 6.1.3 Topographische Analyse

Im ersten Schritt des Flächenscreenings werden mit Hilfe moderner GIS Werkzeuge topographisch geeignete Flächen, die die notwendigen Geländeeigenschaften aufweisen, automatisiert und flächendeckend gefunden. Hier kommt ein Digitales Geländemodell zum Einsatz, welches aus quadratischen Rasterzellen mit einer Kantenlänge von 50 m besteht, für die Höhenwerte hinterlegt sind. Alle Rasterzellen, die im Umkreis (Radius) von 5.000 m eine Höhendifferenz von mindestens 200 m aufweisen, werden als geeignet erachtet.

### 6.1.4 Ergebnisse

Die Potentialfläche der Unterbecken fällt insgesamt deutlich größer aus, als die der Oberbecken. Letztendlich hat der Ausschlussprozess aber bei beiden Flächentypen ähnliche Veränderungen gebracht. Bei den **Unterbecken** verbleiben von den topographisch geeigneten Flächen knapp 67 % (von 14.772 km<sup>2</sup> verbleiben **9.870 km<sup>2</sup>**); bei den **Oberbecken** ca. 75 % (von 6.933 km<sup>2</sup> verbleiben **5.215 km<sup>2</sup>**).

In Abbildung 5 und Abbildung 6 ist dargestellt, welchen Anteil die Potentialflächen der Unter- und Oberbecken an der Landesfläche haben, wie viel Fläche sich topographisch nicht als Potentialfläche eignet und wie viel Potentialfläche durch Ausschlusskriterien verloren geht.

Geologisch ungeeignete Gebiete reduzieren das Flächenpotential nur minimal. Der Ausschluss der hochwertigen Infrastruktur hat für Unterbecken stärkere Auswirkungen auf das Potentialgebiet.

Das Kriterium Umwelt führt zu einer weiteren Verringerung von Potentialflächen. Das Potentialgebiet für Unterbecken wird zu ca. 10 % (1486 km<sup>2</sup>) überlagert. Bei den Oberbecken ist die anteilige Überlagerung mit ca. 18 % stärker (1241 km<sup>2</sup>).

Der Ausschluss der Siedlungsflächen brachte eine weitere deutliche Reduzierung der Potentialflächen (wobei die Oberbecken deutlich geringer betroffen waren als die Unterbecken). Durch die Beseitigung der Splitterflächen hat sich die Gesamtpotentialfläche kaum, die Anzahl der Flächen jedoch deutlich reduziert.

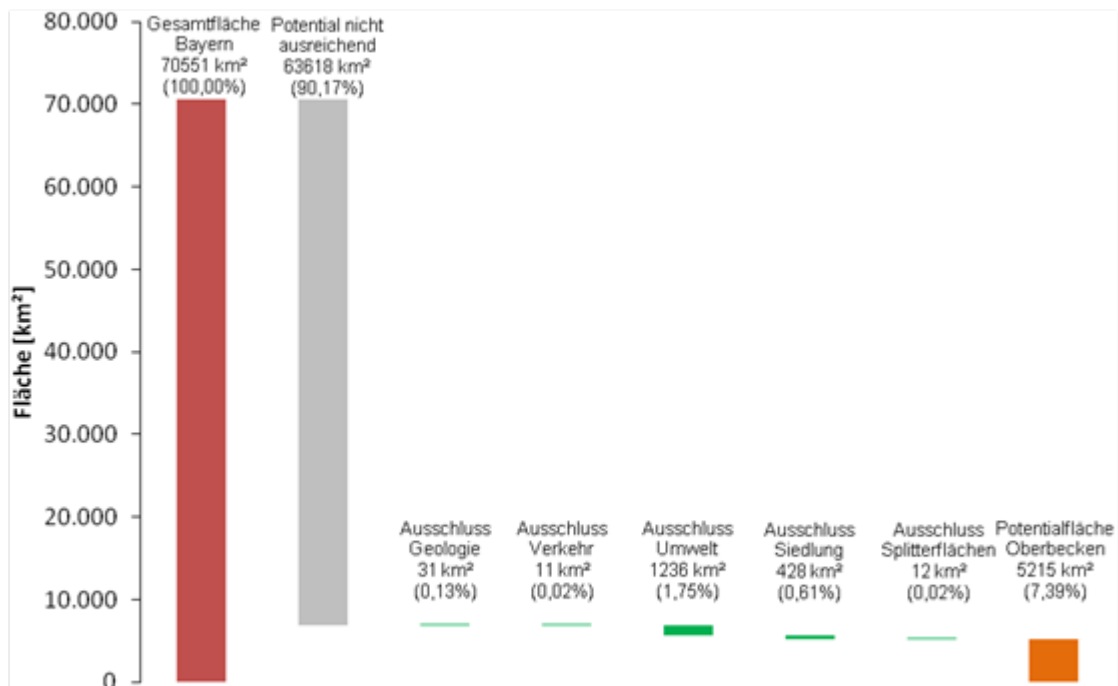


Abbildung 5: Potentialfläche Oberbecken nach Abzügen der Ausschlusskriterien



Abbildung 6: Potentialfläche Unterbecken nach Abzügen der Ausschlusskriterien

Auffällig sind die Unterschiede zwischen den Potentialflächen für Ober- und Unterbecken. Während die Naturschutzgebiete und Nationalparks sich bei den Potentialflächen für Oberbecken am stärksten ausgewirkt haben, sind es bei den Potentialflächen für Unterbecken die Siedlungsflächen.

Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigen das Potentialgebiet für Ober bzw. Unterbecken nach Anwendung der Ausschlusskriterien. Ein Großteil der Potentialflächen liegt in den Alpen und im Alpenvorland. Vor allem die größten zu erwartenden Fallhöhen befinden sich dort. Höhendifferenzen von mindestens 600 m innerhalb der Potentialflächen tauchen sonst nur im Bayerischen Wald auf. Weitere beachtliche Potentialflächen befinden sich in den Mittelgebirgslagen Nordbayerns.

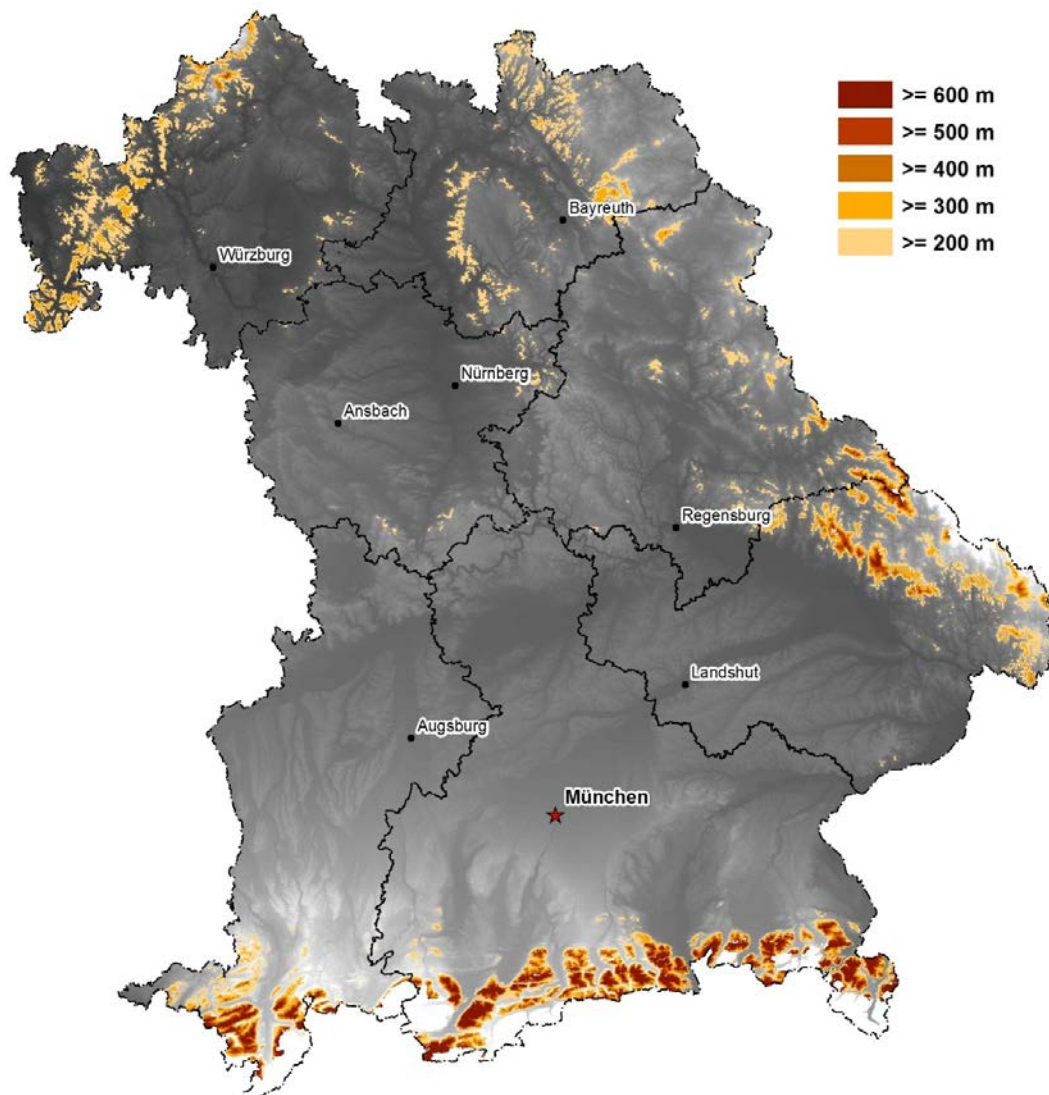


Abbildung 7: Potentielle Oberbeckenflächen nach Anwendung der Ausschlusskriterien

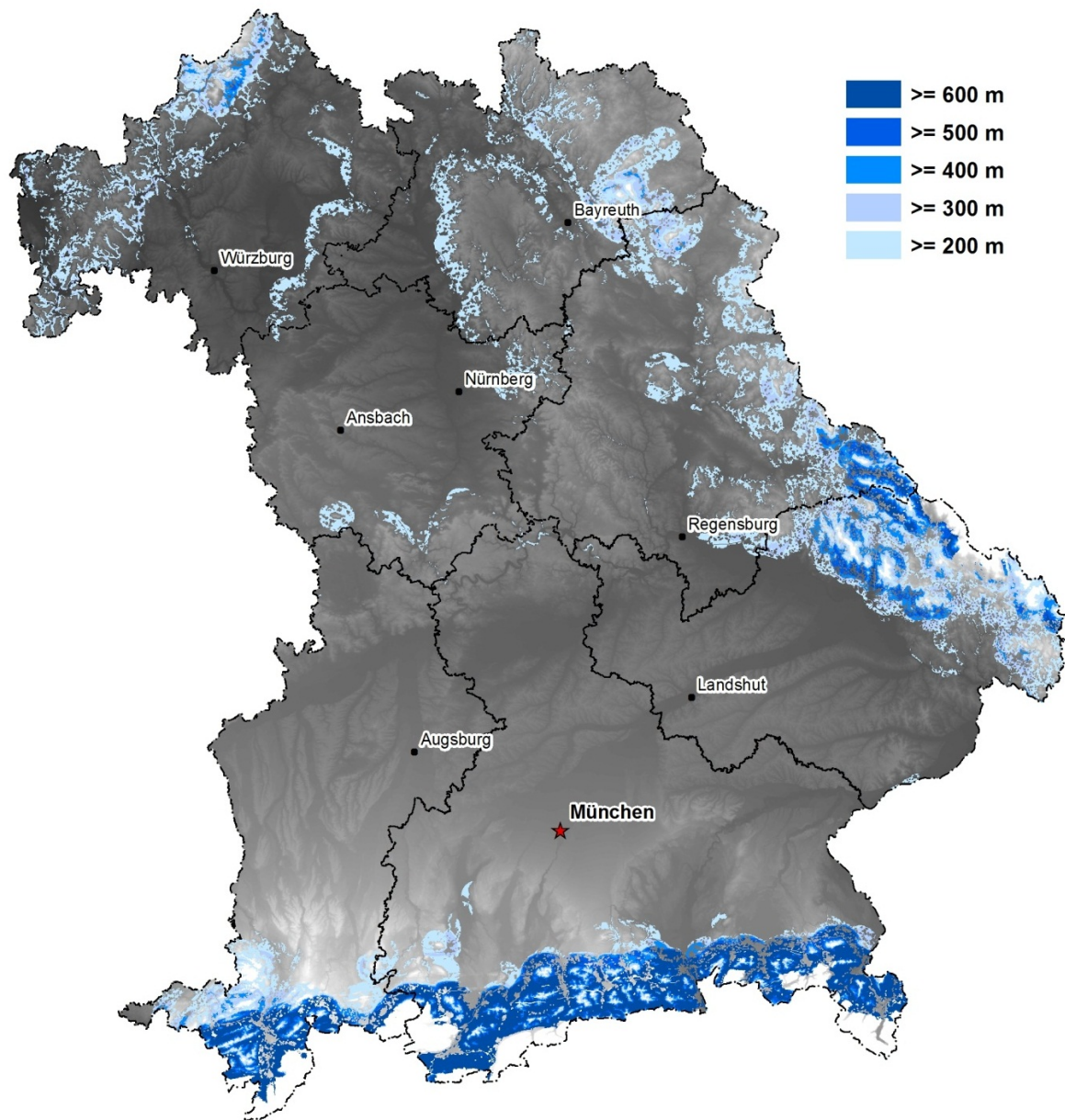


Abbildung 8: Potentielle Unterbeckenflächen nach Anwendung der Ausschlusskriterien

## 6.2 Standortanalyse

In der Standortanalyse werden die Potentialflächen des Flächenscreenings in mehreren Arbeitsschritten analysiert, bewertet und optimiert.

Wichtige Arbeitsschritte sind dabei

- die topografische Analyse der Potentialflächen
- die Typisierung der Potentialflächen in Talsperren und Becken mit Ringdamm
- die Kombination von Potentialflächen zu potenziellen Standorten
- die Bewertung und Reihung der Potentialstandorte anhand der Kriterien einer Bewertungsmatrix (siehe Kapitel 6.3).

Die Potentialflächen durchlaufen diese Arbeitsschritte zum Teil mehrmals, um in einem iterativen Prozess stetig optimiert zu werden.

Zunächst erfolgt eine topografische Analyse. Dazu gehört zuerst die Verschneidung der Potentialflächen aus dem Flächenscreening mit den Ebenheitskriterien, um Flächen zu eliminieren, deren zu starke Höhendifferenzen und zu steile Gefälle den wirtschaftlichen Bau der Speicherbecken nicht zulassen. Anschließend werden die identifizierten Flächen typisiert und bearbeitet, z. B. durch Teilung sehr großer Flächen in Teilflächen, die für die weiteren Analysen handhabbar sind. Das Ergebnis sind Potentialflächen, die sich entweder als Talsperren oder als Becken mit Ringdamm darstellen.

Nachfolgend werden diese Potentialflächen entsprechend der festgelegten maximalen horizontalen Entfernung zu Potentialstandorten (Oberbecken mit Unterbecken) kombiniert. Alle durch die Kombination gefundenen Potentialstandorte werden anschließend auf Erfüllung der Mindestkriterien (Fallhöhe und Leistung) geprüft und entsprechend eliminiert oder weiter verwendet.

Dieser Arbeitsschritt ergibt 31.233 Beckenkombinationen, die sämtliche Mindestanforderungen erfüllen. Diese Zuordnungen setzen sich aus 2.202 Potentialflächen für Becken mit Ringdamm und 5.043 Potentialflächen für Talsperren zusammen. Die hohe Anzahl an Beckenkombinationen kommt dadurch zustande, dass viele Becken Mehrfachzuordnungen zu anderen Becken besitzen.

Die Kenndaten der einzelnen Beckenkombinationen sind dabei sehr variabel. Die berechneten Pendelwassermengen reichen von 0,34 Mio.m<sup>3</sup> bis ca. 180 Mio. m<sup>3</sup>; die Fallhöhen von 180 m bis ca. 1.600 m und die Leistungen bei 6 Turbinenstunden von 100 MW bis knapp 19.000 MW.

In Abbildung 9 ist die Verteilung aller gefundenen potentiellen Beckenkombinationen in Bayern dargestellt. Das ermittelte Potential konzentriert sich auf den Alpenraum, die östlichen Mittelgebirge (Bayerischer Wald) und die westlichen bzw. südwestlichen Mittelgebirge (Spessart und Rhön).



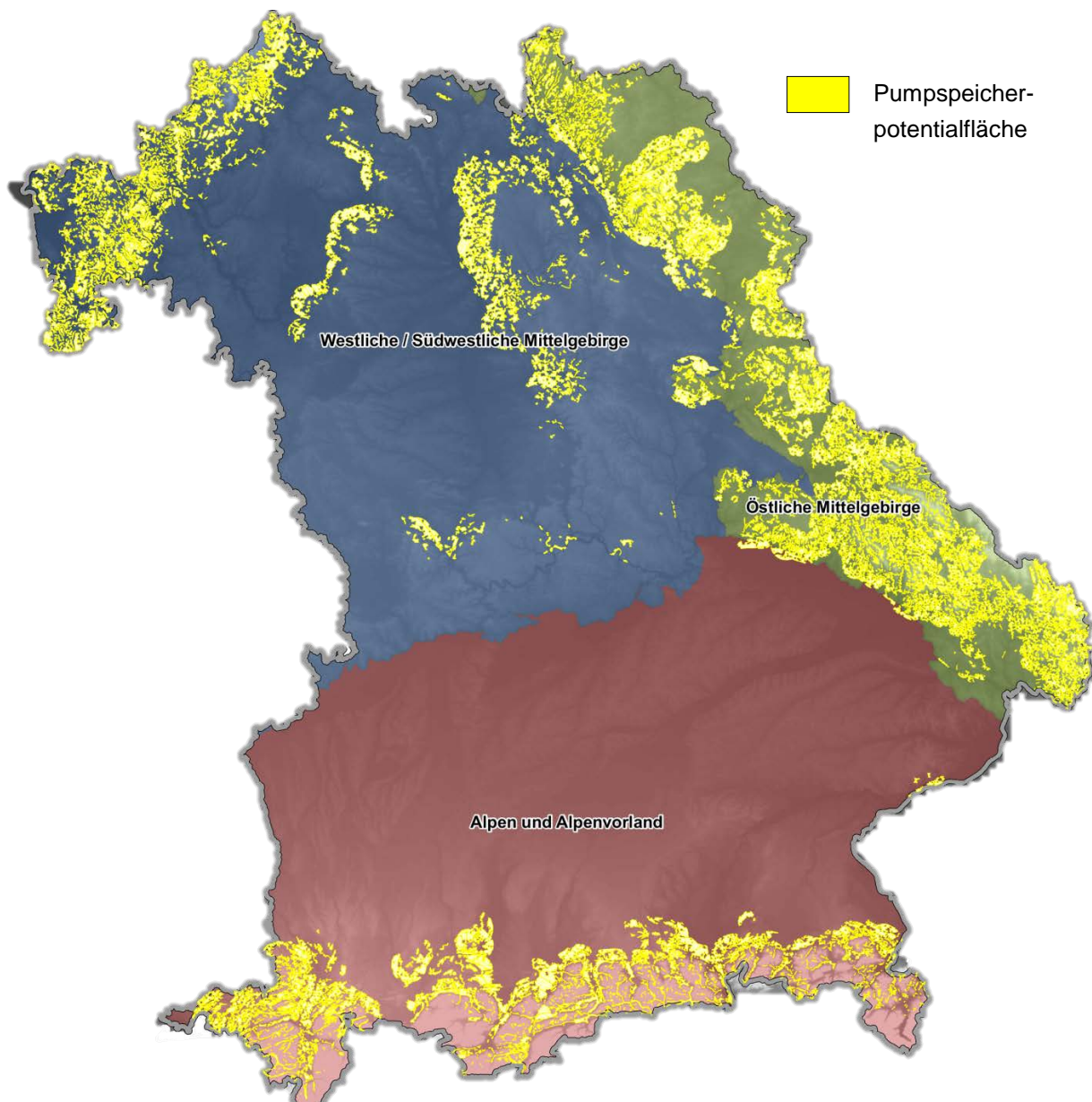


Abbildung 9: Übersichtskarte aller 31.233 Beckenkombinationen in Bayern

### 6.3 Bewertung potentieller Standorte durch Bewertungsmatrix

Der nächste Schritt der Bearbeitung besteht darin, die gefundenen 31.233 Beckenkombinationen anhand der Kriterien in der Bewertungsmatrix zu beurteilen und ein Ranking zu erstellen, welches die Potentialstandorte nach ihrer Qualität sortiert. Das Ziel der Potentialstudie ist, bayernweit ökonomisch hochwertige und zugleich möglichst konfliktarme Standorte für Pumpspeicherkraftwerke zu identifizieren. In Abbildung 10 ist die Vorgehensweise der weiteren Schritte dargestellt.

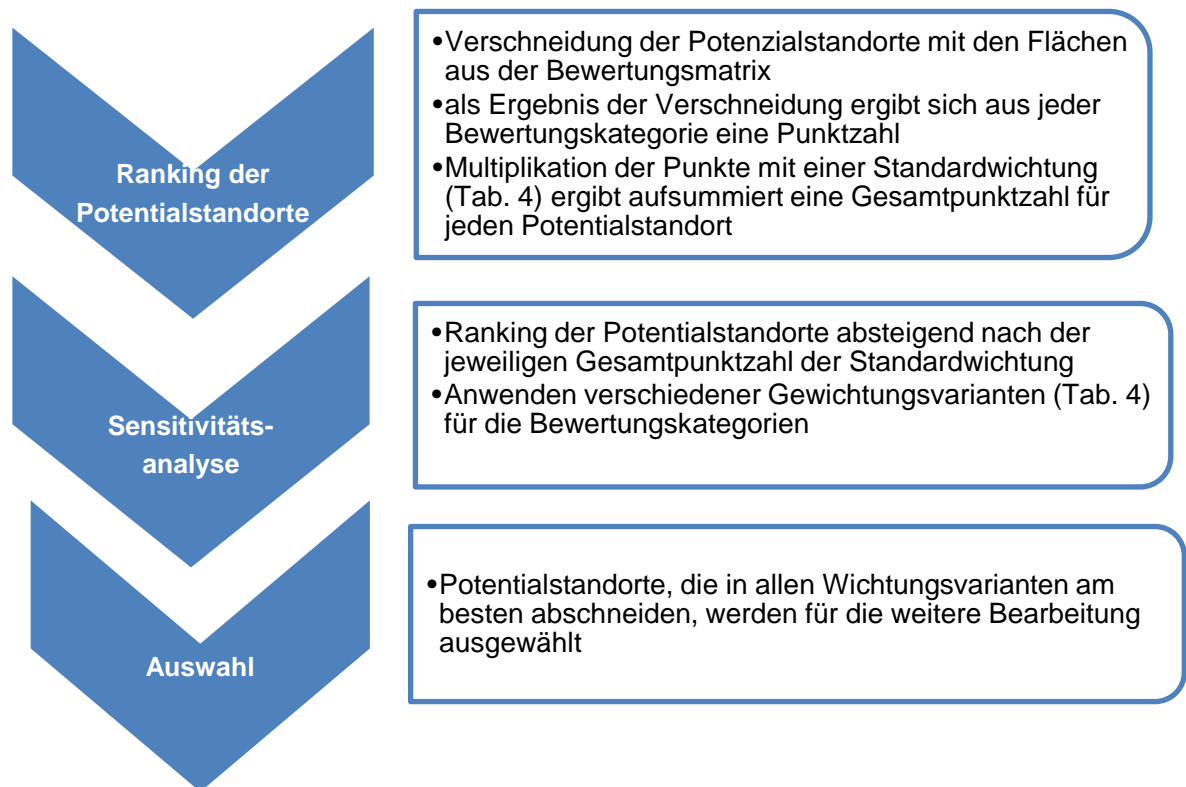


Abbildung 10: Vorgehensweise bei der Analyse der gefundenen Beckenkombinationen

Die Bewertungsmatrix (Abbildung 11, Seite 26) dient der Bewertung der GIS-basiert ermittelten Potentialstandorte bezüglich folgender Kategorien:

- **Technik:** Parameter wie Leistung, Fallhöhe, Entfernung zur Netzanbindung
- **Infrastruktur:** Straßen oder Rohstoffabbaugebieten etc.
- **Umwelt:** Wasserschutzgebiete, Biotope, Naturschutzgebiete, etc.
- **Geologie:** Wasserdurchlässigkeit, Geotope etc.
- **Ökonomie:** Kosten pro kWh oder €/kW

- Für jede Kategorie sind Kriterien definiert, denen eine spezifische Punktzahl zugewiesen wird. Die Punktzahlen und analog die Bewertungsskala reichen von „nicht geeignet“ (0 Punkte) bis „sehr gut geeignet“ (5 Punkte).

Die Vergabe der Punkte wird einerseits über die prozentuale Verschneidung der ermittelten Potentialflächen mit sensiblen Flächen (z. B. Biotope, Bundesstraßen etc.) vorgenommen, andererseits ergibt sich die Punktzahl aus einer Klassifizierung der Kriterien (z. B. dem Kriterium „Arbeitsvermögen“ in der Kategorie „Technik“). Die Bewertungsmatrix ist in enger Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber entstanden. Sie ist ein zentraler Teil der Studie. Nach möglichst objektiven Kriterien werden in einem ersten Schritt ungeeignete Flächen aussortiert und in einem zweiten Schritt die Qualität der gefundenen Potentialstandorte bewertet. Im Folgenden werden die Kriterien der einzelnen Kategorien näher beschrieben.

### 6.3.1 Kategorie Technik

In dieser Kategorie werden folgende Eigenschaften bewertet:

- Leistung,
- topographische Voraussetzungen,
- hydrologische Voraussetzungen zur Erstbefüllung und die
- Möglichkeiten zur Energieableitung.

Die Bewertungspunkte werden für alle Kriterien anhand einer Klassifizierung zugewiesen. Bei der Ermittlung des Abstandes zur Anbindung an das bestehende Netz wird angenommen, dass Standorte mit einer Leistung ab 300 MW aller Voraussicht nach nicht an das 110 kV oder das 220 kV Netz angeschlossen werden können. Hierfür wird das 380 kV Netz benötigt. Für Standorte mit einer Leistung zwischen 150 MW und 300 MW wird angenommen, dass sie nicht an das 110 kV Netz sondern an das 220 kV Netz oder 380 kV Netz angeschlossen werden können.

### 6.3.2 Kategorie Infrastruktur

Für die zu untersuchenden Potentialstandorte wurden die prozentualen Verschneidungen mit

- Rohstoffflächen (Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Rohstoffabbau, aktuelle Rohstoffgewinnungsschwerpunkte, Rohstoffpotentialflächen),
- Straßen,
- Eisenbahnen und
- Siedlungen

ermittelt.

Wurde ein Konflikt mit o.g. Rohstoffflächen ermittelt, wurde eine Einzelfallprüfung nach einer genaueren Modellierung der Beckenfläche durchgeführt. Lag weiterhin eine Betroffenheit vor, wurde der Standort als nicht geeignet gewertet.

Siedlungsflächen, die kleiner als 1 ha sind, werden berücksichtigt, wenn für einen Standort ein Grobkonzept entwickelt wird.

### 6.3.3 Kategorie Umwelt

Folgende Schutzgebiete und Schutzgüter wurden bei der Bewertung der Potentialstandorte berücksichtigt:

- Naturschutzgebiete und Nationalparks (wurden in einem früheren Schritt (Flächenscreening) bereits ausgeschlossen)
- Fauna- Flora-Habitat-Gebiete (Natura 2000); Kurzform: FFH-Gebiete (Natura 2000)
- Europäische Vogelschutzgebiete (Natura 2000); Kurzform: Vogelschutzgebiete (Natura 2000)
- Landschaftsschutzgebiete
- Naturparks
- Biosphärenreservate
- Alpenplan
- Moorböden nach der Moorbodenkarte des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (Nov. 2011)
- Geschützte Biotop nach § 30 und 39 BNatSchG sowie nach Art. 16 und 23 BayNatSchG
- geschützte Landschaftsbestandteile, Naturdenkmäler
- Ökoflächen
- BayernNetzNatur Projekte
- Naturschutzgroßprojekte des Bundesamtes für Naturschutz (z.Zt. 8 in Bayern)
- Wasserschutzgebiete (festgesetzt und planreif)
- Heilquellenschutzgebiete (festgesetzt und planreif)
- Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für die öffentliche Wasserversorgung (verbindlich und vorgeschlagen)
- Naturwaldreservate
- Bannwald

Grundsätzlich wurde die Bewertung in der Kategorie Umwelt im Rahmen der GIS-basierten Standortanalyse quantitativ über eine Flächenverschneidung durchgeführt. Dies ist für eine Ersteinschätzung der Betroffenheit sinnvoll, in der Detailplanung sind jedoch weitere Aspekte, vor allem qualitativer Art zu berücksichtigen.

Deshalb wurde bei einem weiteren Untersuchungsschritt - bei der Erstellung der Grobkonzepte für besonders geeignete Standorte - immer noch eine qualitative Einzelfallbewertung wichtiger Kriterien und Schutzgüter vorgenommen. Neben den genannten Kriterien sind in der Kategorie Umwelt beispielsweise weitere Kriterien relevant, die aber erst in oben erwähntem späteren Schritt bearbeitet werden:

- Ökologischer Zustand der Gewässer / Bewirtschaftungsziele nach EG Wasserrahmenrichtlinie
- Artenschutz (allgemein, sowie Fische und Rundmäuler)
- Landschaftsbild und Erholung

#### 6.3.4 Kategorie Geologie

Hier werden aus geologischer Sicht die Voraussetzungen für die Errichtung eines PSW abgeschätzt. Die Potentialflächen werden mit sensiblen Flächen wie Georisiken (Wasserdurchlässigkeit, Hinweise auf Verkarstung) und Geotopen (z. B. "Bayerns 100 schönste Geotope") verschnitten.

#### 6.3.5 Kategorie Ökonomie

In dieser Kategorie wurden über überschlägige Kostenansätze die spezifischen Kosten für die baulichen Anlagen in €/pro kW (Leistung) und in €/pro kWh (Energie) ermittelt.

Als Hilfsmittel für die qualitative Einschätzung der Potentialstandorte werden die Hauptparameter Leistung, Fallhöhe, Horizontale Entfernung, Pendelwasservolumen und der Abstand zur Energieableitung mit ökonomischen Standortfaktoren versehen. Ausgehend von einem einheitlichen Kraftwerklayout mit oberwasserseitigem vertikalem Druckschacht, Kavernenkraftwerk und Niederdruck-Unterwasserstollen werden - basierend auf folgenden ökonomischen Faktoren - spezifische Leistungskosten ermittelt und die Potentialstandorte dahingehend gereiht.

Folgende Zuordnungen werden hierzu vorgenommen:

- |                                 |   |  |
|---------------------------------|---|--|
| • Oberbecken                    | ≈ | €/pro m <sup>3</sup> Betriebsvolumen                       |
| • Oberwasserdruckschacht        | ≈ | €/pro m <sup>3</sup> Durchfluss x m Fallhöhe               |
| • Kaverne                       | ≈ | €/pro MW Leistung  |
| • Elektromechanische Ausrüstung | ≈ | €/pro MW Leistung  |
| • Unterwasserstollen            | ≈ | €/pro m <sup>3</sup> Durchfluss x m Horizontale Entfernung |
| • Unterbecken                   | ≈ | €/pro m <sup>3</sup> Betriebsvolumen                       |
| • Netzanbindung                 | ≈ | €/pro m Abstand zur Energieableitung                       |
| • Nebenkosten                   | ≈ | prozentuale Aufschläge auf die Summe der anderen Faktoren  |

Die einzelnen ökonomischen Standortfaktoren basieren auf den Erfahrungen von Lahmeyer Hydroprojekt und aus realisierten und in Planung befindlichen Pumpspeicherprojekten. Sie wurden mit Ansätzen aus der Literatur abgestimmt. Die Vergabe der Bewertungspunkte erfolgte anhand einer Klassifizierung.

Kategorie	Kriterium	Flächenscreening		GIS-basierte Bewertung der Potentialflächen	Einzelfallprüfung in den Grobkonzepten
		Ausschluss- kriterien	Mindest- kriterien		
Technik	Leistung [MW]		x	x	x
	Betriebsvolumen [Mo. m <sup>3</sup> ]			x	
	Arbeitsvermögen [MWh]			x	
	Spez. Flächenbedarf [m <sup>2</sup> /MW]			x	
	Fallhöhe zw. Ober- und Unterbecken [m]		x	x	
	Ebenheitskriterium		x	x	
	Horizontaldistanz zwischen Ober- und Unterbecken [m]		x	x	
	Abstand zu Gewässer für Erstbefüllung [km]			x	x
Infrastruktur	Abstand Energieableitung [km]			x	x
	geschl. Siedlungsbereiche mit 150m Pufferabstand [ha]	x			
	Siedlungsflächen < 1 ha			x	x
	Eisenbahnlinien	x			
	Autobahnen	x			
	Straßen			x	x
	Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Rohstoffabbau			x	x
	aktuelle Rohstoff-Gewinnungsschwerpte. Rohstoffpotenzialflächen			x	x
bestehende Wasserkraftnutzung und Hochwasserschutz			x	x	
Umwelt	Nationalpark	x			
	Naturschutzgebiete	x			
	FFH-Gebiete (NATURA 2000)			x	x
	SPA-Gebiete (NATURA 2000)			x	x
	Landschaftsschutzgebiete			x	x
	Naturpark			x	x
	Biosphärenreservat			x	x
	Naturdenkmale, geschützte Landschaftsbestandteile			x	
	Alpenplan			x	x
	Moorgebiete			x	x
	Biotope			x	x
	Ökoflächen				x
	Artenschutz allgemein				x
	Artenschutz Fische und Rundmäuler			x	x
	BayernNetzNatur Projekte			x	
	Naturschutzgroßprojekte des Bundesamtes für Naturschutz (z.Zt. 8 in Bayern)			x	
	Wasserschutzgebiete (festgesetzt und planreif)			x	x
	Heilquellenschutzgebiete (festgesetzt und planreif)			x	x
Vorrang- und Vorbehaltsgebiete Wasserversorgung (verbindlich und vorgeschlagen)			x	x	
Landschaftsbild und Erholung				x	
Gewässerökologie (Bewirtschaftungsziele nach WRRL)				x	
Bannwälder			x	x	
Naturwaldreservate			x	x	
Geologie	Georisiken			x	x
	gips- und anhydrithaltige Formationen	x			
	Rutschgebiete				x
	Geotope			x	x
Ökonomie	Eignung nach spezifischen Kosten [€/kW]			x	x
	Eignung nach spezifischen Kosten [€/kWh]			x	x

Abbildung 11: Bewertungsmatrix

### 6.3.6 Sensitivitätsanalyse

Anhand der Kenndaten aus der GIS-Analyse wird mithilfe der Bewertungsmatrix jedem Kriterium eine Punktzahl zugewiesen. Die Kategoriepunktzahl ergibt sich aus dem arithmetischen Mittel der Einzelpunkte. Die Ermittlung der Gesamtpunktzahl eines Potentialstandortes erfolgt über einen gewichteten Mittelwert der fünf Kategoriepunktzahlen. Ein Hauptaugenmerk der Studie liegt auf der Suche nach möglichst konfliktarmen Potentialstandorten. Daher wird die Kategorie Umwelt mit 40 % vergleichsweise stark gewichtet. Um ein PSW wirtschaftlich betreiben zu können, sind die technischen Daten entscheidend. Daher wird die Kategorie Technik mit 25 % ebenfalls stark gewichtet. Infrastruktur (12,5 %), Geologie (10,0 %) und insbesondere Ökonomie (12,5 %) werden zunächst geringer gewichtet, werden aber bei der endgültigen Wahl der TOP-Standorte gesondert berücksichtigt.

Die Gewichtungsvarianten ergeben sich aus der Standardgewichtung, indem jeweils eine Kategorie um 50 % stärker gewichtet wird. Das Verhältnis der anderen Kategorien zueinander bleibt gleich. Die Standardgewichtung und die Gewichtungsvarianten sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Gewichtungsvarianten

	Standard	Var_T	Var_I	Var_U	Var_G	Var_O
Technik (T)	25,0	37,50	23,21	16,67	23,61	23,21
Infrastruktur (I)	12,5	10,42	18,75	8,33	11,81	11,61
Umwelt (U)	40,0	33,33	37,14	60,00	37,78	37,14
Geologie (G)	10,0	8,33	9,29	6,67	15,00	9,29
Ökonomie (O)	12,5	10,42	11,61	8,33	11,81	18,75
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

## 6.4 Auswahl geeigneter Potentialstandorte

Für jede Gewichtungsvariante wird ein Ranking der Potentialstandorte erstellt. Das Ranking bezeichnet die tabellarische Auflistung der Potentialstandorte, die entsprechend ihrer gewichteten Gesamtpunktzahl absteigend sortiert sind. Um den Einfluss der Gewichtungsverteilung zu reduzieren, werden nur die Potentialstandorte berücksichtigt, die im Ranking aller Gewichtungsvarianten zu den geeignetsten 1.000 Potentialstandorten gehören. Von dieser Schnittmenge der Gewichtungsvarianten werden die 100 geeignetsten Beckenkombinationen näher betrachtet, bei denen das Ober- oder Unterbecken vom Beckentyp Talsperre ist. Diese Talsperren werden manuell an die topographischen Gegebenheiten angepasst. Durch die manuelle Anpassung (Festlegung der Dammachse und des Stauziels) wird eine sehr hohe Genauigkeit des möglichen Speichervolumens der Talsperren erreicht.

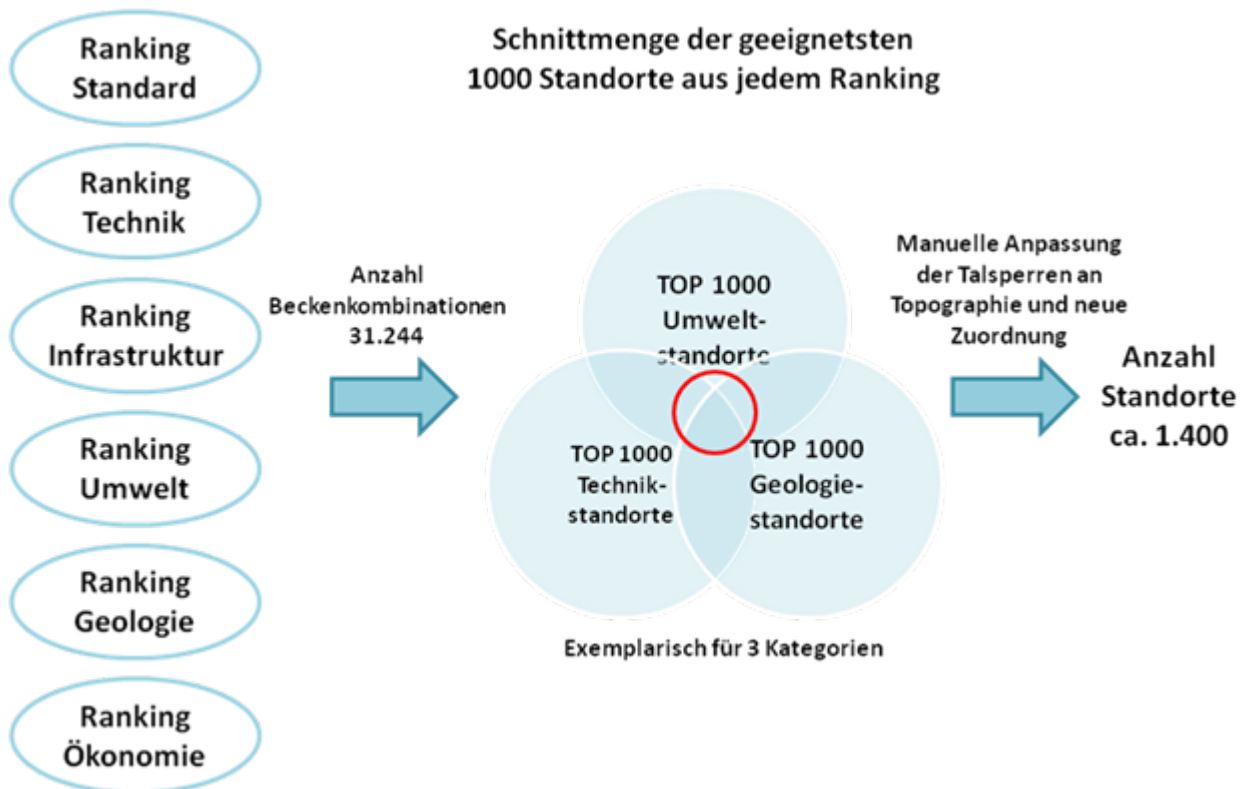


Abbildung 12: Reduzierung der potentiellen Standorte

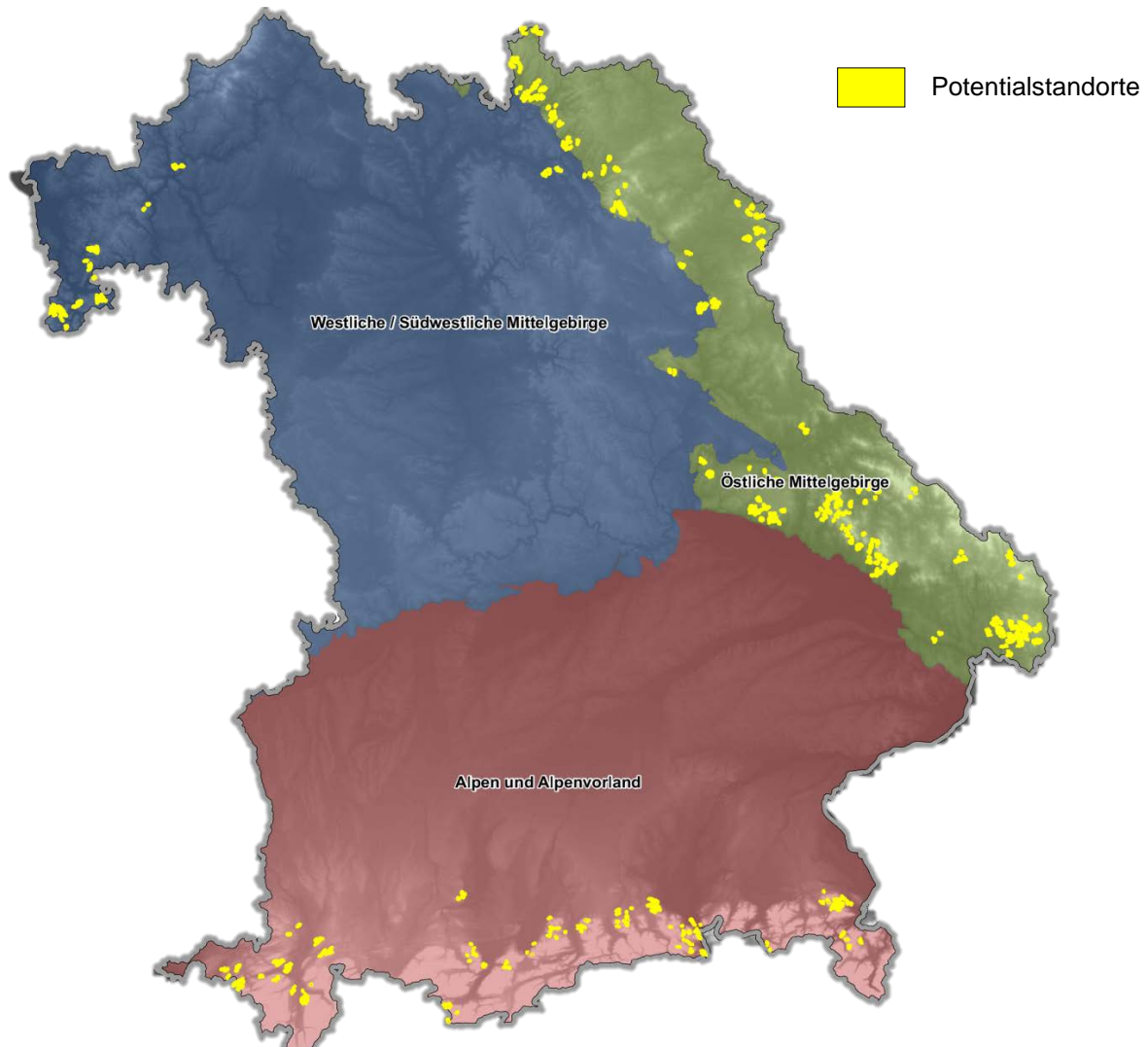
Dadurch reduziert sich die Liste von 31.244 Beckenkombinationen (2.202 Becken mit Ringdamm und 5.043 Talsperren) auf ca. 1.400 Potentialstandorte (Abbildung 12).

Anschließend wird erneut ein Ranking mit einer Standardgewichtung vorgenommen, da sich die Größe der Talsperren bei der Anpassung ändert und sich dadurch andere Verschneidungen mit den sensiblen Flächen aus der Bewertungsmatrix sowie abweichende Kenndaten ergeben.

Das Ergebnis dieses abschließenden Rankings ist eine Liste mit rund 1.400 potentiellen Standorten, die der Qualität nach geordnet sind und die Grundlage zur Auswahl der geeignetsten



Potentialstandorte für die Planung der Grobkonzepte bilden. Abbildung 13 zeigt diese potentiellen Standorte, die gleichmäßig über alle Gebirgsregionen in Bayern verteilt sind.



**Abbildung 13: 1400 potentielle Standorte für PSW (ausgewählt anhand von Mindestanforderungen, Ausschlusskriterien sowie Ranking mit Hilfe einer Bewertungsmatrix und Sensitivitätsanalyse)**

## 7 Pumpspeicherpotentiale an bestehenden Seen und Talsperren

### 7.1 Möglichkeiten zur Nutzung von Seen und Talsperren als Pumpspeicher

Den größten Flächenverbrauch und erhebliche Kosten beanspruchen die Ober- und Unterbecken eines PSW. Die Nutzung vorhandener Seen und Talsperren als Speicherbecken kann deshalb einerseits die Wirtschaftlichkeit eines Standortes für Pumpspeicherwerke deutlich steigern und gleichzeitig den Eingriff in das Landschaftsbild wesentlich reduzieren.

Aus diesem Grund werden die Möglichkeiten zur Nutzung von 10 vom LfU vorgegebenen Seen und Talsperren als Speicherbecken für Pumpspeicherwerke vertieft untersucht (Tabelle 5).

**Tabelle 5** Untersuchte Seen und Talsperren

<b>See</b>	<b>Landkreise</b>	<b>Bezirk</b>	<b>See / Talsperre</b>
Eixendorfer See	Schwandorf	Oberpfalz	Talsperre
Forggensee	Ostallgäu	Schwaben	Talsperre
Grüntensee	Oberallgäu	Schwaben	Talsperre
Kochelsee	Bad Tölz-Wolfratshausen	Oberbayern	See
Ammersee	Weilheim-Schongau / Starnberg / Landsberg am Lech	Oberbayern	See
Starnberger See	Starnberg	Oberbayern	See
Wörthsee	Starnberg	Oberbayern	See
Sylvensteinsee	Bad Tölz-Wolfratshausen	Oberbayern	Talsperre
Saalachsee	Berchtesgadener Land	Oberbayern	Talsperre
Walchensee	Bad Tölz-Wolfratshausen	Oberbayern	See

Die beiden Trinkwassertalsperren Mauthaus und Frauenau sind als Speicherbecken eines PSW nicht geeignet. Eine Schichtung des Wassers in der Talsperre ist für die Entnahme einer optimalen Rohwasser-Qualität wichtig. Durch den Pumpspeicherbetrieb würde diese Schichtung gestört. Die beiden Trinkwassertalsperren wurden deshalb nicht in die Untersuchung mit einbezogen.

In Abbildung 14 sind alle untersuchten Talsperren und Seen dargestellt.



Abbildung 14: Übersichtskarte der untersuchten Talsperren und Seen

## 7.2 Vorgehensweise und Ergebnis

Zu den zehn vorgegebenen Seen und Talsperren wurden Potentialflächen für mögliche Ober- und Unterbecken nach den bereits definierten Mindestanforderungen und Ausschlusskriterien gesucht. Nach den in Kapitel 6 beschriebenen Algorithmen wurde in diesen Potentialflächen in der Regel ein, beim Walchensee zwei, Vorzugsbecken modelliert. In allen Fällen dienen die Seen und Talsperren als Unterbecken, die Vorzugsbecken als Oberbecken.

Für die modellierten Vorzugsbecken wurden die Daten zu den Kategorien Technik, Ökonomie, Umwelt, Infrastruktur und Geologie erhoben und bewertet. Um die Qualität der Pumpspeicherpotentiale an bestehenden Seen und Talsperren beurteilen zu können wurde ein Ranking erstellt, welches, abgesehen von einigen Anpassungen, den gleichen Kriterien und Regeln folgt wie das Ranking der Beckenkombinationen.

Die Schwierigkeiten der Vereinbarkeit von Nutzungen der Talsperren (Hochwasserrückhalt, Niedrigwasseraufhöhung usw.), wie zum Beispiel an Sylvensteinsee oder Grüntensee, kann in einem Ranking nicht berücksichtigt werden, da kein allgemeingültiger Vergleichsmaßstab besteht. Aus diesem Grund werden auch das Ranking der GIS-basierten Standortanalyse und das Ranking der Pumpspeicherpotentiale an bestehenden Seen und Talsperren nicht miteinander kombiniert.

Ausgehend von den modellierten Vorzugsbecken existieren an Walchensee, Sylvensteinsee, Kochensee, Forggensee und Eixendorfer See Pumpspeicherpotentiale, die den Kriterien für eine landesweite Relevanz genügen. Am Grüntensee liegt die erwartete Leistung für das Vorzugsbecken knapp über den Zielvorgaben (100 MW). Für den Saalachsee konnte zwar ein Vorzugsbecken modelliert werden, jedoch ist das nutzbare Volumen des Saalachsees nicht bekannt, sodass keine konkrete Leistung angegeben werden kann.

Aufgrund des großen Potentials an Speichervolumen und aufgrund der vorhandenen potentiellen Unterbecken wurden der Sylvensteinsee und Forggensee im Rahmen von Grobkonzepten näher untersucht. Für den Kochel- und Walchensee wurden ebenfalls Grobkonzepte erstellt, da sich diese Standorte aufgrund der durchgeführten GIS-Analyse als besonders geeignete Standorte in Bayern herausgestellt haben.

Im Falle von Starnberger See, Ammersee und Wörthsee sind die Mindestanforderungen für eine Pumpspeichernutzung nicht erfüllt. Ein hohes Konfliktpotential ergibt sich zudem durch die intensive Freizeitnutzung.

Insgesamt konnte für die untersuchten Seen und Talsperren ein Gesamtpotential von der Größenordnung 3.000 MW ermittelt werden.

## 8 Erweiterungsmöglichkeiten an bestehenden Pumpspeicherkraftwerken

Die meisten Pumpspeicherkraftwerke in Bayern sind bereits vor mehreren Jahrzehnten erbaut worden. Im Rahmen dieser Studie wurden vorhandene Pumpspeicherkraftwerke in Bayern auf Erweiterungsmöglichkeiten hin geprüft. Das LfU hat eine Liste von 6 zu prüfenden Standorten vorgegeben (Tabelle 6). Es ist davon auszugehen, dass bei einer bereits installierten Leistung von insgesamt ca. 550 MW der Leistungszuwachs durch Erweiterung bestehender PSW im Vergleich zur Steigerung durch neue Standorte gering ist.

**Tabelle 6: Untersuchte Pumpspeicherwerke**

<b>Pumpspeicherwerke</b>	<b>Landkreise</b>	<b>Bezirk</b>
PSW Happurg	Nürnberger Land	Mittelfranken
PSW Langenprozelten	Main-Spessart	Unterfranken
PSW Leitzach	Miesbach	Oberbayern
PSW Oberberg	Deggendorf	Niederbayern
PSW Rabenleite	Neustadt an der Waldnaab	Oberpfalz
PSW Warmatsgund	Oberallgäu	Schwaben

Die Lage der untersuchten Pumpspeicherwerke kann Abbildung 15 entnommen werden. Zur Erhebung der Möglichkeiten der Erweiterung bestehender PSW wurde ein GIS-basiertes Flächenscreening mit den bereits beschriebenen Mindestanforderungen und Ausschlusskriterien durchgeführt. Bis auf einen Standort wurden an allen bestehenden PSW Potentialflächen identifiziert. Zum Teil ist Potential vorhanden, bestehende Becken zu erweitern, zum Teil müssten neue Becken angelegt werden. Einer Realisierung von Ober- und Unterbecken auf Basis der gefundenen Potentialflächen stehen häufig Konflikte (z. B. Überschneidungen mit Schutzgebieten, Wasserversorgungen, Infrastruktur) entgegen. Eine Beckenmodellierung wurde lediglich für den Standort Warmatsgund vorgenommen. Mit einem erweiterten Oberbecken und dem modellierten Unterbecken bestünde an diesem Standort eine Erweiterungsmöglichkeit, die über den Zielvorgaben von 100 MW liegt.

**Tabelle 7: Erweiterungsmöglichkeiten an bestehenden PSW**

<b>Pumpspeicherkraftwerk</b>	<b>Erweiterungsmöglichkeit</b>
PSW Happurg	Bedingt möglich bei neuem Ober- und Unterbecken
PSW Langenprozelten	Potentialflächen für Erweiterung von Ober- und Unterbecken
PSW Leitzach	Potentialfläche für neues Oberbecken, Unterbecken kritisch
PSW Oberberg	Keine Flächen identifiziert
PSW Rabenleite	Potentialflächen für neues Ober- und Unterbecken
PSW Warmatsgund	Potentialfläche für Erweiterung Oberbecken und neues Unterbecken oder Erweiterung Unterbecken



Abbildung 15: Übersichtskarte Erweiterungsmöglichkeiten an Pumpspeicherwerken

## 9 Standortvorschläge Dritter

Dem StMUV wurden von Dritten Standorte vorgeschlagen, die auf ihre Eignung zu PSW Standorten untersucht werden sollen. Das LfU hat diese Vorschläge in einer Liste mit 10 zu prüfenden Standorten zusammengestellt (Tabelle 8), die im Folgenden auf die bereits definierten Kategorien Technik, Infrastruktur, Umwelt, Ökonomie und Geologie untersucht werden. Es wird zudem überprüft, ob die Standorte bereits bei der GIS-Analyse identifiziert wurden, bzw. ob in der Nähe der Standorte potentielle Standorte identifiziert wurden.

**Tabelle 8: Untersuchte Standorte Dritter**

<b>Standort</b>	<b>Landkreise</b>	<b>Regierungsbezirk</b>
Saalachtalsperre	Berchtesgadener Land	Oberbayern
Energiespeicher Poschberg	Berchtesgadener Land	Oberbayern
Einöden	Rosenheim	Oberbayern
Trunstadt	Bamberg	Oberfranken
Dirlewang	Unterallgäu	Schwaben
Esterberg-Hochtal	Garmisch-Partenkirchen	Oberbayern
Eibsee	Garmisch-Partenkirchen	Oberbayern
Wunsiedler See und Burgsteinsee	Wunsiedel im Fichtelgebirge	Oberfranken
Hahnenkammsee	Weißenburg-Gunzenhausen	Mittelfranken
Wellheim	Eichstätt	Oberbayern

Die vorhandenen Nutzungsbeschränkungen und -konflikte werden beschrieben und erläutert. Die Lage der untersuchten Standorte Dritter kann Abbildung 16 entnommen werden.

Zusammenfassend sind die meisten Standortvorschläge Dritter im Sinne des bayernweit notwendigen Potentials von eher untergeordneter Bedeutung. Häufig werden die gesetzten Mindestanforderungen von mindestens einem Becken (Unter- oder Oberbecken) nicht erfüllt, sodass die Standorte nicht in der GIS-Analyse identifiziert wurden. Eine Realisierung kann jedoch trotzdem unter lokalen Bedingungen möglich sein. Neben technisch-ökonomischen Hindernissen, besteht an einigen Standorten auch Konfliktpotential in den Kategorien Umwelt, Geologie und Infrastruktur. Entsprechende Beeinträchtigungen müssten im Rahmen einer Genehmigungsplanung auch hinsichtlich Ausgleichsmaßnahmen detaillierter untersucht werden.



Abbildung 16: Übersichtskarte mit den Standorten Dritter



## 10 TOP-Standorte für PSW

Die Grundlage zur Auswahl der am besten geeigneten Standorte ist das Ranking der ca. 1.400 geeignetsten potentiellen Standorte sortiert nach Gesamtpunktzahl (siehe Kapitel 6.4). Diese Potentialstandorte, nachfolgend kurz „TOP-Standorte“ genannt, wurden abschließend noch einmal einzeln nach folgenden Kriterien untersucht:

- Fallhöhe zu Horizontaldistanz > 1/10
- Punkte in der Bewertungskategorie Ökonomie > 2,5
- geringe Schutzgebietsbetroffenheit
- erforderliche Umsiedlungen
- Einzelfallprüfung der Umsetzbarkeit (z. B. Rutschgebiete, Umweltkonflikte, Wasserversorgung)

Potentielle Standorte mit tiefgreifenden Rutschgebieten, die aufgrund nicht vollständiger Daten für Bayern nicht vorab identifiziert wurden, oder mit starken Konflikten bei Wasserschutzgebieten, Umweltschutzgütern oder Freizeit- und Erholungsnutzung wurden von der begleitenden Arbeitsgruppe des LfU bei der Auswahl der TOP-Standorte als ungeeignet ausgeschlossen.

Die Auswertung gemäß Bewertungsmatrix tendiert dazu, sehr große Standorte aufgrund ihres großen Volumens und der damit verbundenen großen Leistung und hohem Arbeitsvermögen besser zu bewerten als sehr gute kleinere Standorte mit großer Fallhöhe, die topographisch und ökonomisch sehr günstig sind. Daher wurden bei der Auswahl der TOP-Standorte abschließend noch einmal die Standorte gesucht, die gerade bzgl. der oben genannten Kriterien (Fallhöhe, Ökonomie, usw.) qualitativ hochwertig sind, aber aufgrund ihres geringeren Nutzvolumens in dem Ranking nach hinten gefallen sind.

Für die Einzelfallbetrachtung wurden insgesamt 14 Standorte in den Regierungsbezirken Oberbayern, Niederbayern, Oberfranken, Oberpfalz und Schwaben als TOP-Standorte ausgewählt. Für einen Standort gibt es zwei Varianten mit gleichem Oberbecken. Zu diesen 14 TOP-Standorten wurden zusätzlich zwei Standorte aus der Untersuchung „Pumpspeicherpotentiale an bestehenden Seen und Talsperren“ hinzugenommen.

Der Standort PSW Riedl wurde im Rahmen dieser Studie nicht untersucht, da er sich zur Zeit im Planfeststellungsverfahren befindet (Stand: 02/2014).

Für die 16 TOP-Standorte (Abbildung 17) wird ein technisches Grobkonzept basierend auf einer Kavernenlösung erstellt. Eine weitergehende Optimierung erfolgt nicht. Im Rahmen der Grobkonzepte wurden die jeweiligen Ober- und Unterbecken in das vorliegende Gelände modelliert und die Anlage mit maximal möglicher Leistung unter Einhaltung gegebener Randbedingungen ausgelegt. Im Rahmen der Grobkonzepte wurden ausgewählte, bereits in der Bewertungsmatrix genannte Kriterien aus den Kategorien Technik, Umwelt, Infrastruktur, Geologie und Ökonomie detailliert untersucht [31]. Zusätzlich zu den bereits in der Bewertungsmatrix geführten Kriterien werden in den Kategorien Umwelt und Geologie die folgenden Aspekte bei der Einzelfallprüfung berücksichtigt:



- Rutschgebiete
- Ökologischer Zustand der Gewässer / Bewirtschaftungsziele nach EG-Wasserrahmenrichtlinie
- Artenschutz und
- Landschaftsbild / Erholung.

Die folgende Ersteinschätzung der TOP-Standorte basiert auf landesweit verfügbaren, bestehenden Daten des LfU und zeigt auf, welche Relevanz die ermittelten Konflikte mit Schutzgütern, Wasserschutzgebieten u.a. in einem Genehmigungsverfahren haben könnten. Für eine Einzelfallbewertung im Verfahren sind ergänzende Untersuchungen oder Erhebungen notwendig, die standortbezogen im konkreten Fall festgelegt werden. Diese sind und bleiben Bestandteil von zukünftigen Planungen und sind unabhängig von der vorliegenden Erstbeurteilung für das Genehmigungsverfahren zu erbringen.

Im Bereich Umwelt ist beispielsweise für das Kriterium Artenschutz die Datenlage und Datendichte auf die Standorte bezogen relativ heterogen. Für das Kriterium „Geschützte Biotope“ ist zu berücksichtigen, dass im Rahmen der Biotopkartierung Bayern seit 1993 vorwiegend Biotope im Offenland erhoben bzw. aktualisiert werden. Zur Beurteilung nach §30 BNatSchG geschützten Biotopen im Wald sind ergänzende Informationen erforderlich. Auch im Bereich Gewässerökologie kann eine abschließende Bewertung nur der Grundlage umfangreicher Datenerhebungen im Rahmen einer konkreten Vorhabensplanung vorgenommen werden.

Bei der Wasserversorgung kann in den Grobkonzepten die Lage von Wasserschutzgebieten zur Beurteilung der Risiken für den Trinkwasserschutz nur als erstes Einschätzungskriterium dienen. In wieweit innerhalb eines Grundwassereinzugsgebietes ein Bau dennoch vertretbar sei könnte, ist Gegenstand einer differenzierten ingenieur- und hydrogeologischen Untersuchung.

Mit den identifizierten und weiter zu untersuchenden Standorten kann in Summe eine Pumpspeicherleistung von rund **11.000 MW** erreicht werden.

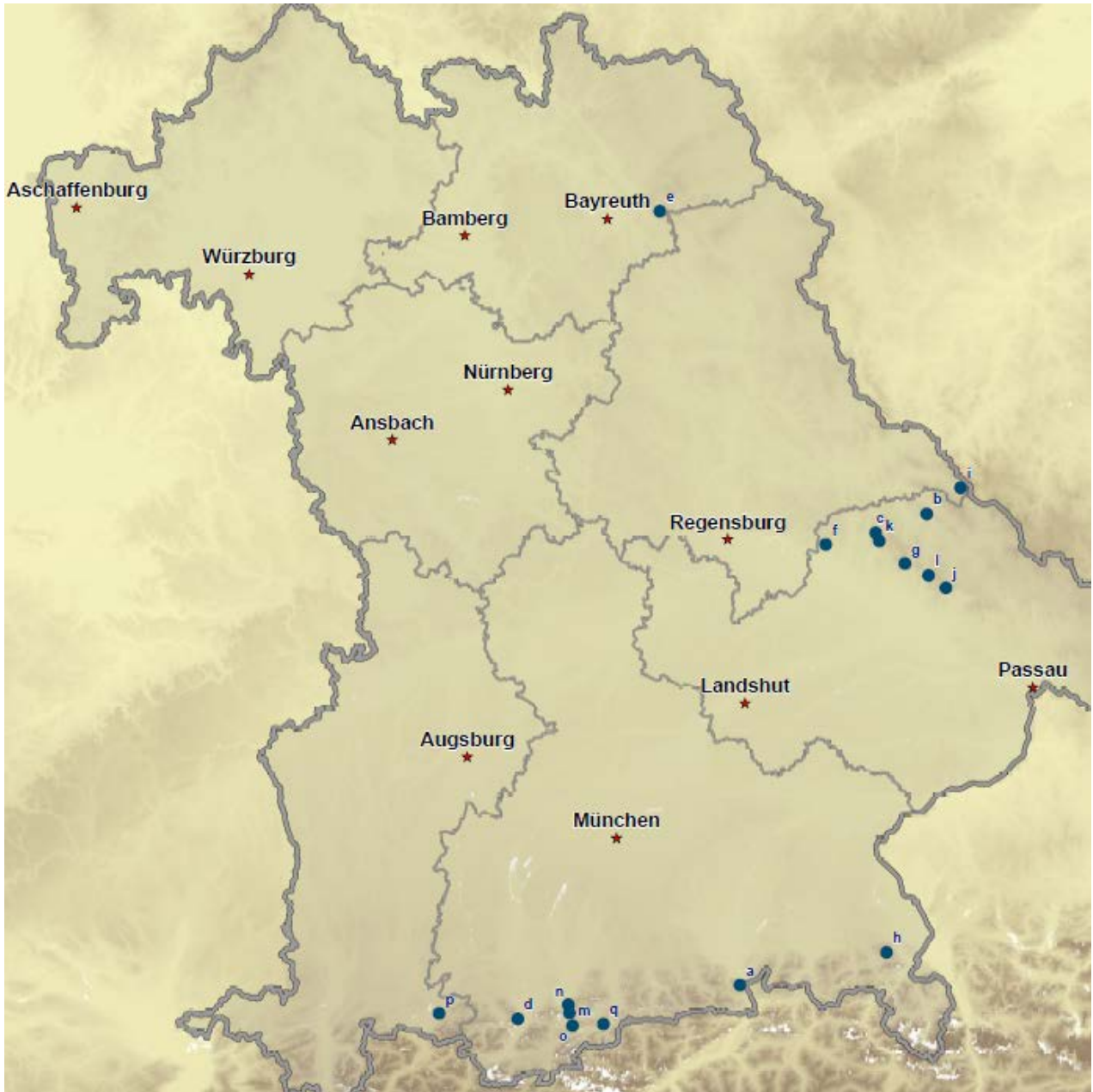


Abbildung 17: Lage der 16 TOP-Standorte in Bayern



## 10.1 TOP-Standort a

Landkreis / Regierungsbezirk	Rosenheim / Oberbayern
Ausbauleistung	< 500 MW (bei 6 h Turbinenbetrieb)
Herstellkosten	sehr hoch
Geologische Verhältnisse	eingeschränkt geeignet
Umweltfachliche Auswirkung	<p>Die Auswirkungen des Vorhabens werden für das naturschutzrechtliche Bewertungskriterium Artenschutz als hoch prognostiziert. Insbesondere der Bau des Oberbeckens und die dabei erforderliche Rodung von Bergwald kann für mehrere nach derzeitigem Datenstand im Umfeld des Standortes vorkommende Arten kaum oder nur mit erheblichem Aufwand kompensiert werden, so dass ein hohes Genehmigungsrisiko verbleibt. Die Verifizierung der tatsächlichen Besiedelung insbesondere des Oberbecken-Standortes durch hochgradig schützenswerte und empfindliche Arten insbesondere aus der Gruppe der Raufußhühner ist erforderlich.</p> <p>Für das Bewertungskriterium Landschaftsbild und Erholung ist ebenfalls eine hohe Beeinträchtigung gegeben, die in der nachhaltigen Reliefveränderung und Errichtung technischer Bauwerke besteht.</p> <p>An diesem Standort sind keine Natura 2000 Gebiete und keine Schutzgebiete betroffen, andere Aspekte wie Gewässerökologie und Alpenplan sind voraussichtlich eher von geringerer Relevanz.</p>
Wasserversorgung	Der potentielle Pumpspeicherstandort weist einen direkten Konflikt mit einem Wasserschutzgebiet unmittelbar östlich des Unterbeckens auf, sodass die Wasserfassung gegebenenfalls aufgelassen werden muss. Dies und die Auswirkungen auf ein nördlich gelegenes Vorranggebiet für Wasserversorgung sind durch genauere Untersuchungen vorab zu klären.
Weitere relevante Einschränkungen	k.A.
Optimierungsmaßnahmen	Optimierungsmaßnahmen bei der Errichtung des Unterbeckens sind möglich.



## 10.2 TOP-Standort b

Landkreis / Regierungsbezirk	Viechtach / Niederbayern
Ausbauleistung	> 1.000 MW (bei 6 h Turbinenbetrieb)
Herstellkosten	sehr günstig
Geologische Verhältnisse	geeignet
Umweltfachliche Auswirkung	<p>Die Auswirkungen des Vorhabens werden für das naturschutzrechtliche Bewertungskriterium Artenschutz als hoch prognostiziert. Der Bau des Oberbeckens und die dabei erforderliche Rodung von Bergwald sowie die Überbauung und der Anstau eines Baches kann für mehrere nach derzeitigem Datenstand im Umfeld der Beckenstandorte vorkommende Arten kaum oder nur mit erheblichem Aufwand kompensiert werden, so dass ein hohes Genehmigungsrisiko verbleibt. Die Verifizierung der tatsächlichen Besiedelung der Standorte und Gewässer durch hochgradig schützenswerte und empfindliche Arten insbesondere Auerhuhn, Schwarzstorch, Uhu, Fischotter, Flussperlmuschel ist erforderlich.</p> <p>Das Kriterium Gewässerökologie ist ebenfalls von hoher Genehmigungsrelevanz, da durch den starken Eingriff in einen natürlichen Bachlauf die Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie voraussichtlich nicht erfüllt werden.</p> <p>Für das Bewertungskriterium Landschaftsbild und Erholung ist ebenfalls eine hohe Beeinträchtigung gegeben, die insbesondere durch das hohe Dammbauwerk des Unterbeckens sowie die Fernwirkung beider Becken gegeben ist.</p> <p>An diesem Standort sind keine Natura 2000 Gebiete betroffen, andere Aspekte wie die Betroffenheit von Schutzgebieten sind voraussichtlich eher von mittlerer Relevanz.</p>
Wasserversorgung	Der potentielle Pumpspeicherstandort steht im Bereich des Unterbeckens in direktem Konflikt mit einer öffentlichen Wasserversorgung. Bei Realisierung wäre der Schutzzweck des Wasserschutzgebietes nicht mehr erfüllbar, die Wasserfassung aufzulassen und zu ersetzen. Die Möglichkeiten und Kosten hierfür (einschließlich Anbindung ans Versorgungsnetz) sind



	durch genauere Untersuchungen vorab zu klären.
Weitere relevante Einschränkungen	eventuell erforderliche Umsiedlung einiger Häuser.
Optimierungsmaßnahmen	Umsiedlung durch Standortverkleinerung evtl. vermeidbar



### 10.3 TOP-Standort c

Landkreis / Regierungsbezirk	Straubing-Bogen / Niederbayern
Ausbauleistung	< 500 MW (bei 6 h Turbinenbetrieb)
Herstellkosten	hoch
Geologische Verhältnisse	geeignet
Umweltfachliche Auswirkung	Die Auswirkungen des Vorhabens werden für die meisten Kriterien als gering bis mittel prognostiziert. Für das Bewertungskriterium Landschaftsbild und Erholung ist eine hohe Beeinträchtigung gegeben, die durch das hohe Dammbauwerk des Unterbeckens sowie die Fernwirkung beider Becken gegeben ist. An diesem Standort sind keine Natura 2000 Gebiete betroffen.
Wasserversorgung	In der Nähe des geplanten Standortes befinden sich mehrere Wasserschutzgebiete. Ob die die potentiellen Beckenstandorte im Grundwassereinzugsgebiet der Wasserfassungen liegen, ist durch genauere Untersuchungen vorab zu klären.
Weitere relevante Einschränkungen	erforderliche Umsiedlung einiger Häuser.
Optimierungsmaßnahmen	k.A.



## 10.4 TOP-Standort d

Landkreis / Regierungsbezirk	Garmisch-Partenkirchen / Oberbayern
Ausbauleistung	< 500 MW (bei 6 h Turbinenbetrieb)
Herstellkosten	hoch
Geologische Verhältnisse	geeignet
Umweltfachliche Auswirkung	<p>Die Auswirkungen des Vorhabens werden für das naturschutzrechtliche Bewertungskriterium Artenschutz als hoch prognostiziert. Der Bau der Becken und die dabei erforderliche Rodung von Bergwald kann für mehrere nach derzeitigem Datenstand im Umfeld des Standortes vorkommende Arten kaum oder nur mit erheblichem Aufwand kompensiert werden, so dass ein hohes Genehmigungsrisiko verbleibt. Die Verifizierung der tatsächlichen Besiedelung der Eingriffsflächen durch hochgradig schützenswerte und empfindliche Arten insbesondere Auerhuhn und Birkhuhn ist erforderlich. An diesem Standort sind keine Schutzgebiete betroffen, andere Aspekte wie die Betroffenheit von Natura 2000 Gebieten, geschützten Biotopen sowie der Gewässerökologie sind voraussichtlich eher von geringer Relevanz.</p>
Wasserversorgung	Keine Beeinträchtigung besteht bezüglich der Wasserversorgung.
Weitere relevante Einschränkungen	k.A.
Optimierungsmaßnahmen	k.A.





## 10.5 TOP-Standorte

Landkreis / Regierungsbezirk	Bayreuth / Oberfranken
Ausbauleistung	500 – 1.000 MW (bei 6 h Turbinenbetrieb)
Herstellkosten	günstig
Geologische Verhältnisse	geeignet
Umweltfachliche Auswirkung	<p>Die Auswirkungen des Vorhabens auf das Kriterium Gewässerökologie sind von hoher Genehmigungsrelevanz, da durch den starken Eingriff in ein natürliches Fließgewässer die Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie voraussichtlich nicht mehr erfüllt werden können.</p> <p>An diesem Standort sind keine Natura 2000 Gebiete betroffen, andere Aspekte wie die Betroffenheit von Schutzgebieten, des Artenschutzes, geschützter Biotope sowie von Landschaft und Erholung sind voraussichtlich eher von mittlerer Relevanz.</p>
Wasserversorgung	Keine Beeinträchtigung besteht bezüglich der Wasserversorgung.
Weitere relevante Einschränkungen	erforderliche Umsiedlungen mehrerer Häuser
Optimierungsmaßnahmen	k.A.



## 10.6 TOP-Standort f

Landkreis / Regierungsbezirk	Straubing-Bogen / Niederbayern
Ausbauleistung	500 – 1.000 MW (bei 6 h Turbinenbetrieb)
Herstellkosten	hoch
Geologische Verhältnisse	mäßig geeignet
Umweltfachliche Auswirkung	Die Auswirkungen des Vorhabens werden für die meisten Kriterien als mittel prognostiziert. Das Kriterium Gewässerökologie ist von hoher Genehmigungsrelevanz, da durch den Eingriff in ein natürliches Bachsystem die Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie voraussichtlich nicht mehr erfüllt werden können.
Wasserversorgung	Im Umgriff des Oberbeckens besteht ein direkter Konflikt mit einer öffentlichen Wasserversorgung, sodass der Bau eines Pumpspeichers eine weitere Nutzung voraussichtlich verhindert, da das (planreife) Wasserschutzgebiet seinen Zweck nicht mehr erfüllen könnte. Dies ist durch genauere Untersuchungen vorab zu klären. Ebenfalls zu prüfen ist der indirekte Einfluss des Oberbeckens auf den Zustrombereich zweier östlich bzw. südöstlich gelegenen Wasserfassungen.
Weitere relevante Einschränkungen	erforderliche Umsiedlungen mehrerer Häuser
Optimierungsmaßnahmen	k.A.



## 10.7 TOP-Standort g

Landkreis / Regierungsbezirk	Deggendorf / Niederbayern
Ausbauleistung	500 – 1.000 MW (bei 6 h Turbinenbetrieb)
Herstellkosten	hoch
Geologische Verhältnisse	geeignet
Umweltfachliche Auswirkung	<p>Die Auswirkungen des Vorhabens werden für das naturschutzrechtliche Bewertungskriterium Artenschutz als hoch prognostiziert. Der Bau der Becken und die dabei erforderliche Rodung von Bergwald sowie Überbauung von Fließgewässern und angrenzender Feuchtbiotope kann für mehrere nach derzeitigem Datenstand im Umfeld des Standortes vorkommende Arten kaum oder nur mit erheblichem Aufwand kompensiert werden, so dass ein hohes Genehmigungsrisiko verbleibt. Die Verifizierung der tatsächlichen Besiedelung der Standortumfelder durch hochgradig schützenswerte und empfindliche Arten insbesondere Auerhuhn, Haselhuhn, Schwarzstorch, Luchs und Fischotter ist erforderlich.</p> <p>Für die Bewertungskriterien Landschaftsbild und Erholung ist ebenfalls eine hohe Beeinträchtigung gegeben, die in der nachhaltigen Reliefveränderung der Landschaft, der Behinderung von Sichtbeziehungen und der visuellen Beeinträchtigung durch die Errichtung technischer Bauwerke insbesondere des hohen Dammbauwerkes des Unterbeckens besteht.</p> <p>Andere Aspekte wie die Betroffenheit von Natura 2000 Gebieten, Schutzgebieten, geschützten Biotopen sowie der Gewässerökologie sind voraussichtlich eher von geringer bzw. mittlerer Relevanz.</p>
Wasserversorgung	In der Nähe der potentiellen Beckenstandorte sind mehrere Wasserschutzgebiete ausgewiesen. Wieweit die Bauwerke innerhalb der Grundwassereinzugsgebiete liegen bzw. die Wasserfassungen beeinträchtigen können, ist durch genauere Untersuchungen vorab zu klären.
Weitere relevante Einschränkungen	erforderliche Umsiedlungen mehrerer Häuser
Optimierungsmaßnahmen	k.A.



## 10.8 TOP-Standort h

Landkreis / Regierungsbezirk	Traunstein / Oberbayern
Ausbauleistung	< 500 MW (bei 6 h Turbinenbetrieb)
Herstellkosten	hoch
Geologische Verhältnisse	bedingt geeignet
Umweltfachliche Auswirkung	<p>Die Auswirkungen des Vorhabens werden für das naturschutzrechtliche Bewertungskriterium Artenschutz als hoch prognostiziert. Der Bau der Becken und die dabei erforderliche Rodung von Bergwald kann für mehrere nach derzeitigem Datenstand potenziell im Umfeld des Standortes vorkommende Arten kaum oder nur mit erheblichem Aufwand kompensiert werden, so dass ein hohes Genehmigungsrisiko verbleibt. Die Verifizierung der tatsächlichen Besiedelung des Oberbecken-Standortes durch hochgradig schützenswerte und empfindliche Arten insbesondere Auerhuhn und Uhu ist erforderlich.</p> <p>Für das Bewertungskriterium Landschaftsbild und Erholung ist ebenfalls eine hohe Beeinträchtigung gegeben, die in der nachhaltigen Reliefveränderung und Errichtung der technischen Bauwerke in einem touristisch stark genutzten Gebiet besteht.</p> <p>An diesem Standort sind keine Natura 2000 Gebiete, Schutzgebiete sowie geschützte Biotope betroffen, andere Aspekte wie Gewässerökologie und Alpenplan sind voraussichtlich eher von geringer Relevanz.</p>
Wasserversorgung	Voraussichtlich keine Beeinträchtigungen der öffentlichen Wasserversorgung.
Weitere relevante Einschränkungen	eventuell erforderliche Umsiedlungen
Optimierungsmaßnahmen	k.A.



## 10.9 TOP-Standort i

Landkreis / Regierungsbezirk	Cham / Oberpfalz
Ausbauleistung	< 500 MW (bei 6 h Turbinenbetrieb)
Herstellkosten	sehr hoch
Geologische Verhältnisse	bedingt geeignet
Umweltfachliche Auswirkung	<p>Die Auswirkungen des Vorhabens werden für das naturschutzrechtliche Bewertungskriterium Artenschutz als hoch prognostiziert. Insbesondere der Bau des Oberbeckens und die dabei erforderliche Rodung von Bergwald kann für mehrere nach derzeitigem Datenstand im Umfeld des Standortes vorkommende Arten kaum oder nur mit erheblichem Aufwand kompensiert werden, so dass ein hohes Genehmigungsrisiko verbleibt. Die Verifizierung der tatsächlichen Besiedelung des Oberbecken-Standortes durch hochgradig schützenswerte und empfindliche Arten insbesondere Auerhuhn ist erforderlich.</p> <p>Für das Bewertungskriterium Landschaftsbild und Erholung ist ebenfalls eine hohe Beeinträchtigung gegeben, die in der nachhaltigen Reliefveränderung und Errichtung technischer Bauwerke insbesondere des Dammbauwerkes des Unterbeckens besteht.</p> <p>Andere Aspekte wie die Betroffenheit von Natura 2000 Gebieten, Schutzgebieten, geschützten Biotopen sowie der Gewässerökologie sind voraussichtlich eher von geringer bzw. mittlerer Relevanz.</p>
Wasserversorgung	Der potentielle Pumpspeicherstandort steht in Konflikt mit zwei nahe gelegenen Wasserschutzgebieten. In welchem Ausmaß die Baumaßnahmen für die Speicherbecken und die Stollenbauwerke die Wassergewinnungen beeinträchtigen können, ist durch genauere Untersuchungen vorab zu klären. Die Wasserfassungen müssen ggf. aufgelassen werden.
Weitere relevante Einschränkungen	das Unterbecken ist unmittelbar neben Siedlungsgebieten vorgesehen.
Optimierungsmaßnahmen	k.A.



## 10.10 TOP-Standort j

Landkreis / Regierungsbezirk	Deggendorf / Niederbayern
Ausbauleistung	> 1.000 MW (bei 6 h Turbinenbetrieb)
Herstellkosten	günstig
Geologische Verhältnisse	geeignet
Umweltfachliche Auswirkung	<p>Die Auswirkungen des Vorhabens werden für das naturschutzrechtliche Bewertungskriterium Artenschutz sowie für die Natura 2000 Gebiete als mittel bis hoch prognostiziert. Der Bau der Becken und die dabei erforderliche Rodung von Bergwald sowie Überbauung von Fließgewässern und angrenzender Feuchtbiotope kann für mehrere nach derzeitigem Datenstand im Umfeld des Standortes vorkommende Arten kaum oder nur mit erheblichem Aufwand kompensiert werden, jedoch liegen die Vorkommen nach Datenlage nicht unmittelbar am Standort. Die Verifizierung der tatsächlichen Besiedelung der Standortumfelder durch hochgradig schützenswerte und empfindliche Arten insbesondere Auerhuhn, Luchs und Fischotter ist daher erforderlich.</p> <p>Für die Bewertungskriterien Landschaftsbild und Erholung ist ebenfalls eine hohe Beeinträchtigung gegeben, die in der nachhaltigen Reliefveränderung der Landschaft und Errichtung technischer Bauwerke insbesondere des Dammbauwerkes des Unterbeckens besteht.</p> <p>Andere Aspekte wie die Betroffenheit von Schutzgebieten, geschützten Biotopen sowie der Gewässerökologie sind voraussichtlich eher von geringer bzw. mittlerer Relevanz.</p>
Wasserversorgung	Der potentielle Pumpspeicherstandort weist mehrere direkte und indirekte Konflikte mit nahe gelegenen Wasserschutzgebieten auf, sodass einige Wassergewinnungen voraussichtlich aufgelassen werden müssen, wobei deren Ersetzbarkeit besonders in Frage steht. Dies ist durch genauere Untersuchungen vorab zu klären.
Weitere relevante Einschränkungen	erforderliche Umsiedlungen mehrerer Häuser
Optimierungsmaßnahmen	k.A.



## 10.11 TOP-Standort k

Landkreis / Regierungsbezirk	Straubing-Bogen / Niederbayern
Ausbauleistung	500 - 1.000 MW (bei 6 h Turbinenbetrieb)
Herstellkosten	günstig
Geologische Verhältnisse	geeignet
Umweltfachliche Auswirkung	Für das Bewertungskriterium Landschaftsbild und Erholung ist eine hohe Genehmigungsrelevanz gegeben, die in der nachhaltigen Reliefveränderung der Landschaft und Errichtung technischer Bauwerke insbesondere des hohen Dammbauwerkes des Unterbeckens besteht. An diesem Standort sind keine Natura 2000 Gebiete betroffen, andere Aspekte wie die Betroffenheit von Schutzgebieten, des Artenschutzes, geschützter Biotope sowie der Gewässerökologie sind voraussichtlich eher von geringer bzw. mittlerer Relevanz.
Wasserversorgung	Der potentielle Pumpspeicherstandort steht voraussichtlich in Konflikt mit mehreren nahe gelegenen Wassergewinnungen. Wieweit die Baumaßnahmen und die Bauwerke des Pumpspeichers diese beeinträchtigen können, ist durch genauere Untersuchungen vorab zu klären.
Weitere relevante Einschränkungen	erforderliche Umsiedlungen mehrerer Häuser
Optimierungsmaßnahmen	k.A.



## 10.12 TOP-Standort I

Landkreis / Regierungsbezirk	Deggendorf / Niederbayern
Ausbauleistung	< 500 MW (bei 6 h Turbinenbetrieb)
Herstellkosten	sehr hoch
Geologische Verhältnisse	gut geeignet
Umweltfachliche Auswirkung	<p>Die Auswirkungen des Vorhabens werden für das naturschutzrechtliche Bewertungskriterium Artenschutz als hoch prognostiziert. Der Bau der Becken und die dabei erforderliche Rodung von Bergwald sowie Überbauung von Fließgewässern und angrenzenden Feuchtbiotopen kann für mehrere nach derzeitigem Datenstand im Umfeld des Standortes vorkommende Arten kaum oder nur mit erheblichem Aufwand kompensiert werden. Die Verifizierung der tatsächlichen Besiedelung der Standortumfelder durch hochgradig schützenswerte und empfindliche Arten insbesondere Auerhuhn, Luchs und Fischotter ist erforderlich. Für die Bewertungskriterien Landschaftsbild und Erholung ist ebenfalls eine hohe Beeinträchtigung gegeben, die in der nachhaltigen Reliefveränderung und Errichtung technischer Bauwerke insbesondere des Dammbauwerkes des Unterbeckens besteht. An diesem Standort sind keine Natura 2000 Gebiete betroffen, andere Aspekte wie die Betroffenheit von Schutzgebieten, geschützten Biotopen sowie der Gewässerökologie sind voraussichtlich eher von geringer bzw. mittlerer Relevanz.</p>
Wasserversorgung	Keine Beeinträchtigung besteht bezüglich der Wasserversorgung.
Weitere relevante Einschränkungen	k.A.
Optimierungsmaßnahmen	k.A.





### 10.13 TOP-Standort m

Landkreis / Regierungsbezirk	Bad Tölz-Wolfratshausen / Oberbayern
Ausbauleistung	500 – 1.000 MW (bei 6 h Turbinenbetrieb)
Herstellkosten	sehr günstig
Geologische Verhältnisse	geeignet
Umweltfachliche Auswirkung	<p>Die Auswirkungen des Vorhabens werden für das naturschutzrechtliche Bewertungskriterium Artenschutz als hoch prognostiziert. Der Bau des Oberbeckens kann für mehrere nach derzeitigem Datenstand im Umfeld des Standortes vorkommende Arten kaum oder nur mit erheblichem Aufwand kompensiert werden, so dass ein hohes Genehmigungsrisiko verbleibt. Die Verifizierung der tatsächlichen Besiedelung des Oberbecken-Standortes durch hochgradig schützenswerte und empfindliche Arten insbesondere Birkhuhn ist erforderlich.</p> <p>Für das Bewertungskriterium Landschaftsbild und Erholung ist ebenfalls eine hohe Beeinträchtigung gegeben, die in der nachhaltigen Reliefveränderung und Errichtung eines technischen Bauwerkes in einem touristisch stark genutzten Gebiet besteht.</p> <p>Andere Aspekte wie die Betroffenheit von Natura 2000 Gebieten, Schutzgebieten, geschützten Biotopen sowie der Gewässerökologie sind voraussichtlich eher von geringer Relevanz.</p>
Wasserversorgung	Der potentielle Pumpspeicherstandort steht möglicherweise in Konflikt mit einer nahe gelegenen Wasserversorgung. Wieweit die Baumaßnahmen diese beeinträchtigen können, ist durch genauere Untersuchungen vorab zu klären.
Weitere relevante Einschränkungen	Umsiedelung eines Almgebäudes ist erforderlich.
Optimierungsmaßnahmen	k.A.



## 10.14 TOP-Standort n

Landkreis / Regierungsbezirk	Bad Tölz-Wolfratshausen / Oberbayern
Ausbauleistung	< 500 MW (bei 6 h Turbinenbetrieb)
Herstellkosten	günstig
Geologische Verhältnisse	geeignet
Umweltfachliche Auswirkung	<p>Die Genehmigungsrelevanz des Bewertungskriteriums Natura 2000 Gebiete wird hinsichtlich der projektbedingten Wasserspiegelschwankungen des betroffenen Sees als mittel bis hoch prognostiziert. Zur genaueren Einstufung (mittel oder hoch) sind die Regulierungsmöglichkeiten des Wasserspiegelstandes des Sees einer näheren Überprüfung zu unterziehen. Darüber hinaus sind mögliche Veränderungen der Schichtung des Wasserkörpers ebenfalls prüfrelevant. Aus oben genannten Gründen ist auch das Kriterium Gewässerökologie hinsichtlich seiner Genehmigungsrelevanz zunächst als mittel bis hoch einzustufen.</p> <p>Das naturschutzrechtliche Bewertungskriterium Artenschutz wird als hoch prognostiziert. Der Bau des Oberbeckens kann für mehrere nach derzeitigem Datenstand im Umfeld des Standortes vorkommende Arten kaum oder nur mit erheblichem Aufwand kompensiert werden, so dass ein hohes Genehmigungsrisiko verbleibt. Die Verifizierung der tatsächlichen Besiedelung des Oberbecken-Standortes durch hochgradig schützenswerte und empfindliche Arten insbesondere Birkhuhn ist erforderlich.</p> <p>Für das Bewertungskriterium Landschaftsbild und Erholung ist ebenfalls eine hohe Beeinträchtigung mit hoher Genehmigungsrelevanz gegeben, die in der nachhaltigen Reliefveränderung und Errichtung eines technischen Bauwerkes in einem touristisch stark genutzten Gebiet besteht.</p> <p>An diesem Standort sind keine Schutzgebiete betroffen, andere Aspekte wie geschützte Biotope sowie Alpenplan sind voraussichtlich eher von mittlerer bzw. geringer Relevanz.</p>
Wasserversorgung	Der potentielle Pumpspeicherstandort steht möglicherweise in Konflikt mit einer nahe gelegenen



	Wasserversorgung. Wieweit die Baumaßnahmen diese beeinträchtigen können, ist durch genauere Untersuchungen vorab zu klären.
Weitere relevante Einschränkungen	k.A.
Optimierungsmaßnahmen	k.A.



## 10.15 TOP-Standort o

Landkreis / Regierungsbezirk	Garmisch-Partenkirchen / Oberbayern
Ausbauleistung	500 – 1.000 MW (bei 6 h Turbinenbetrieb)
Herstellkosten	sehr günstig
Geologische Verhältnisse	geeignet
Umweltfachliche Auswirkung	<p>Die Auswirkungen des Vorhabens werden für das naturschutzrechtliche Bewertungskriterium Artenschutz als mittel bis hoch prognostiziert. Der Bau des Oberbeckens und die dabei erforderliche Rodung von Bergwald kann für mehrere nach derzeitigem Datenstand potenziell im Umfeld des Standortes vorkommende Arten kaum oder nur mit erheblichem Aufwand kompensiert werden, so dass die Artvorkommen einer näheren Prüfung unterzogen werden müssen.</p> <p>Andere Aspekte wie Natura 2000 Gebiete, Schutzgebiete, Artenschutz, geschützte Biotope, Landschaft und Erholung, Gewässerökologie sowie Alpenplan sind voraussichtlich eher von geringer bzw. mittlerer Relevanz.</p>
Wasserversorgung	Der potentielle Pumpspeicherstandort weist einen indirekten Konflikt mit einem nahe gelegenen Wasserschutzgebiet auf. Wieweit die Bauwerke des Pumpspeichers dieses beeinträchtigen können, ist durch genauere Untersuchungen vorab zu klären.
Weitere relevante Einschränkungen	k.A.
Optimierungsmaßnahmen	k.A.



## 10.16 TOP-Standort p

Landkreis / Regierungsbezirk	Ostallgäu / Schwaben
Ausbauleistung	< 500 MW (bei 6 h Turbinenbetrieb)
Herstellkosten	sehr hoch
Geologische Verhältnisse	bedingt geeignet
Umweltfachliche Auswirkung	<p>Die Auswirkungen des Vorhabens werden für das naturschutzrechtliche Bewertungskriterium Artenschutz als hoch prognostiziert. Der Bau des Oberbeckens und die dafür erforderliche Rodung von Bergwald kann für mehrere nach derzeitigem Datenstand im Umfeld des Standortes vorkommende Arten kaum oder nur mit erheblichem Aufwand kompensiert werden, so dass ein hohes Genehmigungsrisiko verbleibt. Die Verifizierung der tatsächlichen Besiedelung des Oberbecken-Standortes durch hochgradig schützenswerte und empfindliche Arten insbesondere Auerhuhn und Haselhuhn ist erforderlich.</p> <p>Andere Aspekte wie Natura 2000 Gebiete, Schutzgebiete, geschützte Biotope, Landschaft und Erholung, Gewässerökologie sowie Alpenplan sind voraussichtlich eher von geringer bzw. mittlerer Relevanz.</p>
Wasserversorgung	Der potentielle Pumpspeicherstandort weist einen möglichen Konflikt mit einer Trinkwassergewinnung südöstlich des Oberbeckens auf. Wieweit ein Pumpspeicherkraftwerk diese beeinträchtigen kann, ist durch genauere Untersuchungen vorab zu klären.
Weitere relevante Einschränkungen	Es steht relativ wenig Fallhöhe im Vergleich zu einer großen Horizontalabstand zur Verfügung und die Nutzung des Unterbeckens für ein Pumpspeicherwerk steht in Konkurrenz mit der Nutzung als Speicher für die Wasserkraft.
Optimierungsmaßnahmen	k.A.



## 10.17 TOP-Standort q

Landkreis / Regierungsbezirk	Bald Tölz-Wolfratshausen / Oberbayern
Ausbauleistung	500 – 1.000 MW (bei 6 h Turbinenbetrieb)
Herstellkosten	günstig
Geologische Verhältnisse	geeignet
Umweltfachliche Auswirkung	<p>Die Auswirkungen des Vorhabens werden für das naturschutzrechtliche Bewertungskriterium Artenschutz als hoch prognostiziert. Der Bau des Oberbeckens und die dafür erforderliche Rodung von Bergwald, Überbauung von Almwiesen sowie Überbauung und Einstau von Bergbächen kann für mehrere nach derzeitigem Datenstand im Umfeld des Standortes vorkommende Arten kaum oder nur mit erheblichem Aufwand kompensiert werden, so dass ein hohes Genehmigungsrisiko verbleibt. Die Verifizierung der tatsächlichen Besiedelung des Oberbecken-Standortes durch hochgradig schützenswerte und empfindliche Arten insbesondere Auerhuhn und Birkhuhn ist erforderlich.</p> <p>Andere Aspekte wie Natura 2000 Gebiete, Schutzgebiete, geschützte Biotope, Landschaft und Erholung, Gewässerökologie sowie Alpenplan sind voraussichtlich eher von geringer bzw. mittlerer Relevanz.</p>
Wasserversorgung	Keine Beeinträchtigung besteht bezüglich der Wasserversorgung.
Weitere relevante Einschränkungen	konkurrierende Nutzung des Unterbeckens u.a. als wichtiger Hochwasserrückhaltespeicher Umsiedelung eines Almgebäudes ist erforderlich
Optimierungsmaßnahmen	k.A.

## 11 Quellen

- [1] Schluchseewerk AG (2010): PSW Atdorf. Pläne zum Raumordnungsverfahren. Anlage 1-06.
- [2] Donaukraft Jochenstein AG (2010): Energiespeicher Riedl. Speichersee Lageplan 1:2.000.
- [3] Donaukraft Jochenstein AG (2010): Energiespeicher Riedl. Übersichtslageplan 1:5.000.
- [4] Agentur für Erneuerbare Energien e. V. (AEE), Strom speichern, Renew's Spezial 2011
- [5] Arbeitsgemeinschaft Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Stuttgart, Institut für Technische Thermodynamik, Abt. Systemanalyse und Technikbewertung, Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Kassel, Ingenieurbüro für neue Energien (IFNE), Teltow, Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global, "Leitstudie 2010", BMU-FKZ 03MAP146
- [6] Arbeitsgemeinschaft Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Stuttgart, Institut für Technische Thermodynamik, Abt. Systemanalyse und Technikbewertung, Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Kassel, Ingenieurbüro für neue Energien (IFNE), Teltow, Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global, "Leitstudie 2011", BMU-FKZ 03MAP146
- [7] Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, „Energiebilanz Bayern – Daten, Fakten, Tabellen“
- [8] Bayerische Staatsregierung „Bayerisches Energiekonzept - Energie innovativ“ 2011
- [9] BMWi Studie „Stand und Entwicklungspotential der Speichertechniken für Elektroenergie - Ableitung von Anforderungen an und Auswirkungen auf Investitionsgüterindustrie“
- [10] DENA, „Analyse der Notwendigkeit des Ausbaus von Pumpspeicherwerken und anderen Stromspeichern zur Integration der erneuerbaren Energien“ Abschlussbericht 2010
- [11] DENA – „Kurzanalyse zu Kraftwerks- und Netzplanung“
- [12] DVGW - Gas als Systempartner – unser Beitrag zum Zusammenwachsen der Gas- und Stromnetze (2011)
- [13] Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft (FGH) e. V., CONSENTEC, IAEW, „Studie zur Ermittlung der technischen Mindesterzeugung des konventionellen Kraftwerksparks zur Gewährleistung der Systemstabilität in den deutschen Übertragungsnetzen bei hoher Einspeisung aus erneuerbaren Energien“, Abschlussbericht, 20.01.2012
- [14] Fraunhofer ISE, Fraunhofer AST, VKPartner, „Stand und Entwicklungspotential der Speichertechniken für Elektroenergie –Ableitung von Anforderungen an und Auswirkungen auf die Investitionsgüterindustrie“, Abschlussbericht



- [15] Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) „Studie zum Potential der Windenergienutzung an Land – Kurzfassung“
- [16] Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) „Dynamische Simulation der Stromversorgung in Deutschland nach dem Ausbauszenario der Erneuerbaren-Energien-Branche“ Abschlussbericht“ (2009)
- [17] GE Energy Germany GmbH (GE) blickpunkt Stadtwerke/Ausblicke/Einblick 01/2012 (2012)
- [18] IFEU Heidelberg, Wasserstoff- und Stromspeicher in einem Energiesystem mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien: Analyse der kurz- und mittelfristigen Perspektive, Kurzugutachten
- [19] Ludwig Bölkow Systemtechnik GmbH (LBS) „Energiespeicher in Stromversorgungssystemen mit hohem Anteil Erneuerbarer Energien“ Präsentation 2010
- [20] Prognos AG, Berlin – „Bedeutung der internationalen Wasserkraft-Speicherung für die Energiewende“, Studie, 2012
- [21] Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) „100% erneuerbare Stromversorgung bis 2050: klimaverträglich, sicher, bezahlbar“ Stellungnahme, 2010
- [22] SintefEnergiforskning AS, Risø– DTU, 3E, Kema Nederland BV, Technical Research Centre of Finland (VTT), Garrad Hassan and Partners Ltd, Tractebel, Engineering, Deutsche Energie-Agentur (dena) „Integrating Wind Developing Europe’s power market for the large-scale integration of wind power“
- [23] Trianel GmbH – Vorstellung Trianel Wasserspeicherkraftwerke, Präsentation, Berlin, 17.04.2012
- [24] Daniel H. Doughty, Paul C. Butler, Abbas A. Akhil, Nancy H. Clark und John D. Boyes (DBACB) „Batteries for Large-Scale Stationary Electrical Energy Storage“ (2010)
- [25] Matthias Willenbacher, Christian Hinsch (juwi Gruppe) „Das Grundversorgungskraftwerk“
- [26] Beck, H.-P. und Schmidt, M. (2011): Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke, Abschlussbericht; Goslar, 2011
- [27] Bundesnetzagentur (2008): Gutachten zur Höhe des Regelenergiebedarfs. Bonn.
- [28] Fraunhofer IWES (2009): Dynamische Simulation der Stromversorgung in Deutschland nach dem Ausbauszenario der Erneuerbaren-Energien-Branche. Abschlussbericht. Kassel.
- [29] Giesecke und Mosonyi (2009): Giesecke, Jürgen und Mosony, Emil: Wasserkraftanlagen: Planung, Bau und Betrieb; Heidelberg, 2009
- [30] Jansen, O. & T. Schöner (2011): Pumpspeicherkraftwerke – Vergleich unterschiedlicher Konzepte den Regelbedarf der Zukunft zu sichern. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 45. Dresden.
- [31] Datenquellen für Grobkonzepte:





- Digitale Topographische Karte (DTK25) Bayerisches Landesamt für Vermessung und Geoinformation, Alexandrastraße 4, 80538 München
- Digitales Geländemodell (DGM10 / DGM25) Bayerisches Landesamt für Vermessung und Geoinformation, Alexandrastraße 4, 80538 München
- Schutzgebiete FFH, Europäische Vogelschutzgebiete, NSG, Nationalpark, Naturpark, Ramsargebiete, LSG, Biosphärenreservate, Biotopkartierung, Brutvogelatlas, Daten Infoplattform Artenschutz, Moorgebiete, Alpenplan, Ökoflächen; Bayerisches Landesamt für Umwelt ([www.lfu.bayern.de/natur](http://www.lfu.bayern.de/natur)); Bezug kostenfrei per Download)
- Geologische Karte von Bayern Maßstab 1:500.000