

# **Ausbaupotenzial der Wasserkraft bis 1.000 kW im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars unter Berücksichtigung ökologischer Bewirtschaftungsziele (Aktualisierung 2016)**

Auftraggeber:                   Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft  
Baden-Württemberg

Bearbeitung:                   Fichtner Water & Transportation GmbH  
Dr. Stephan Heimerl

Hydra Institut für angewandte Hydrobiologie  
Andreas Becker

Büro am Fluss e.V.  
Johannes Reiss

Stand:                            19.04.2017



**Baden-Württemberg**

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG UND ANLASS .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>AUFGABENSTELLUNG .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>GRUNDLAGEN UND WASSERWIRTSCHAFTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN .....</b>	<b>13</b>
3.1	Übersicht über das Untersuchungsgebiet.....	13
3.2	Vorzüge der Erzeugung von Strom aus Wasserkraft.....	15
3.3	Von der Wasserkraft ausgehende Beeinträchtigungen .....	15
3.4	EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) .....	18
3.4.1	Bisherige Ergebnisse der Gewässerüberwachung .....	19
3.4.2	Umwelt- und Bewirtschaftungsziele.....	19
3.4.3	Maßnahmenprogramme .....	20
3.5	Vorgaben des Wasserrechts .....	20
3.5.1	Wasserhaushaltsgesetz (WHG).....	21
3.5.2	Wassergesetz für Baden-Württemberg (WG) .....	21
3.5.3	Wasserkrafterlass Baden-Württemberg.....	22
3.6	Durch den Natur- und Artenschutz sowie den Fischseuchenschutz vorgegebene Rahmenbedingungen .....	23
3.6.1	Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie).....	24
3.6.2	Fischereigesetz.....	25
3.6.3	Tierschutzgesetz .....	25
3.6.4	EG-Aalverordnung .....	26
3.6.5	EG-Aquakulturrichtlinie .....	27
3.7	Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG).....	30
3.8	Status der Wasserkraft in Baden-Württemberg .....	31
<b>4</b>	<b>DATENGRUNDLAGEN .....</b>	<b>33</b>
4.1	Wasserwirtschaftliche Daten .....	33
4.1.1	Daten des Anlagenkatasters Wasserbau (AKWB).....	33
4.1.2	Wasserrechtliche Informationen.....	36
4.1.3	Technische Daten bestehender Wasserkraftanlagen.....	36
4.1.4	Hydrologische Daten .....	37
4.2	Gewässerökologische und fischereiliche Datengrundlagen .....	37
4.3	Daten über die Stromeinspeisung aus Wasserkraftanlagen nach EEG.....	37
4.4	Unschärfen bei den verwendeten Datengrundlagen.....	38
4.4.1	Hydrologische Daten .....	38
4.4.2	Daten über die Stromeinspeisung aus Wasserkraftanlagen nach EEG .....	38
<b>5</b>	<b>ÖKOLOGISCHE ARBEITSWERTE FÜR DIE POTENZIALERMITTLUNG .....</b>	<b>39</b>
5.1	Szenario 1 – Orientierungswerte nach Wasserkrafterlass.....	42

5.2	Szenario 2 – Spezifische ökologische Abflüsse nach Wasserkrafterlass .....	43
5.2.1	Erfordernisse aus hydraulischer Sicht.....	45
5.2.2	Spezifische ökologische Abflüsse an Ausleitungskraftwerken .....	47
5.2.3	Spezifische ökologische Abflüsse an Flusskraftwerken .....	52
5.3	Übersicht der zur Potenzialberechnung berücksichtigten ökologischen Abflüsse .....	54
5.4	Von den standardisierten Arbeitswerten abweichende ökologische Abflüsse .....	56
<b>6</b>	<b>ERMITTLUNG VON WASSERKRAFTPOTENZIALEN .....</b>	<b>57</b>
6.1	Erster Bewertungsschritt .....	57
6.2	Betriebsstatus und Kraftwerkstyp.....	59
6.2.1	Flusskraftwerke.....	60
6.2.2	Ausleitungskraftwerke.....	62
6.2.3	Fischaufstiegsanlagen.....	64
6.2.4	Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen .....	66
6.3	Zweiter Bewertungsschritt.....	66
6.3.1	Theoretisches Gesamtpotenzial .....	66
6.3.2	Technisch-ökonomisches Kurzgutachten unter Beachtung ökologischer Belange .....	68
6.3.3	Technisch-ökonomisch-ökologisches Potenzial.....	71
6.3.4	Das Mindestwasserpotenzial.....	73
<b>7</b>	<b>ERGEBNISSE.....</b>	<b>75</b>
7.1	Bestehende Nutzung der Wasserkraft .....	76
7.1.1	Überblick.....	76
7.1.2	Auswertung der EEG-Daten.....	80
7.2	Ausbaupotenzial der Wasserkraft.....	86
7.2.1	Theoretisches Gesamtpotenzial .....	86
7.2.2	Technisch-ökonomisch-ökologisches Potenzial – Szenario 1 .....	88
7.2.3	Technisch-ökonomisch-ökologisches Potenzial – Szenario 2 .....	89
7.2.4	Vergleich der Szenarien 1 und 2 .....	90
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>93</b>
8.1	Datengrundlagen.....	93
8.2	Methoden.....	94
8.2.1	Festlegungen und Szenarien.....	94
8.2.2	Ermittlung der Wasserkraftpotenziale .....	95
8.3	Ergebnisse (noch aktualisieren) .....	100
<b>9</b>	<b>LITERATUR UND DATENQUELLEN .....</b>	<b>102</b>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 3-1: Übersichtskarte des baden-württembergischen Einzugsgebiets des Oberrheins mit wichtigen Nebenflüssen des Rheins.....	14
Abbildung 5-1: Darstellung links: Gewässer mit hohem (rot & gelb), erhöhtem (grün) und normalem (blau) Migrationsbedarf der Fischfauna im WRRL-Bearbeitungsgebiet Oberrhein (Dußling 2005). Darstellung in der Mitte: Rote Gewässerabschnitte sind Programmgewässer zur Wiederansiedlung des Lachses, orange hinterlegt ist das historische Verbreitungsgebiet des Lachse, gelb hinterlegt sind Gewässerabschnitte außerhalb des historischen Verbreitungsgebiets des Lachses, in denen historisch Meerforellen vorkamen (Dußling 2006). Darstellung rechts: Grau hinterlegt sind Gewässerabschnitte innerhalb des Aal-Einzugsgebietes (FFS 2013).....	49
Abbildung 6-1: Potenzialermittlung .....	58
Abbildung 6-2: Entscheidungsbaum bei Flusskraftwerken.....	60
Abbildung 6-3: Entscheidungsbaum bei Ausleitungskraftwerken.....	63
Abbildung 6-4: Spezifische Kosten von Fischaufstiegsanlagen .....	65
Abbildung 6-5: Jahresarbeit und Jahresertrag .....	68
Abbildung 6-6: Berechnung des Investitionsvolumens.....	70
Abbildung 6-7: Beurteilung der vereinfachten Amortisationszeit.....	71
Abbildung 6-8: Jahresarbeit und Jahresertrag unter Berücksichtigung der ökologischen Abflüsse nach Szenario 1 und 2.....	71
Abbildung 6-9: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	72
Abbildung 6-10: Mindestwasserpotenzial.....	74
Abbildung 6-11: Mindestdotationsansatz für Fischaufstiegsanlagen basierend auf Erfahrungswerten für funktionsfähige Fischaufstiegsanlagen in Abhängigkeit vom Mittelwasserabfluss MQ.....	74
Abbildung 7-1: Stadt- und Landkreise mit Flächenanteil am baden-württembergischen Einzugsgebiet des Oberrheins.....	75
Abbildung 7-2: Verteilung der bestehenden Wasserkraftstandorte auf die Stadt- und Landkreise des baden-württembergischen Einzugsgebiets des Oberrheins .....	76
Abbildung 7-3: Verteilung der installierten Leistung auf die Stadt- und Landkreise.....	78
Abbildung 7-4: Verteilung bestehender Wasserkraftanlagen auf Leistungsklassen .....	79
Abbildung 7-5: Installierte Leistung differenziert nach Leistungsklassen .....	79
Abbildung 7-6: Differenzierung der bestehenden Anlagen nach genutztem Gefälle <b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>	
Abbildung 7-7: Differenzierung der bestehenden Anlagen nach Schluckvermögen <b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>	
Abbildung 7-8: Differenzierung der bestehenden Anlagen nach dem Ausbaugrad <b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>	
Abbildung 7-9: Prozentualer Anteil der Leistungsklassen am nach EEG eingespeisten Strom aus Wasserkraft zwischen 2007 und 2012 .....	82
Abbildung 7-10: Mittlere jährliche EEG-Einspeisung 2007 bis 2012 in den Stadt- und Landkreisen des baden-württembergischen Oberrhein-Einzugsgebiets .....	83
Abbildung 7-11: Vergütungssätze der EEG-Anlagen bis 500 kW zwischen 2007 und 2012 .....	84
Abbildung 7-12: Vergütungssätze 2012 der EEG-Anlagen differenziert nach Leistungsklassen .....	84

Abbildung 7-13: Darstellung der für die Wasserkraft genutzten und nicht genutzten Regelungsbauwerke	<b>Fehler! Textmarke nicht d</b>
Abbildung 7-14: Relative Höhe der Mindestabflussregelungen an Ausleitungskraftwerken, die den Wasserrechtsakten entnommen werden konnten	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Abbildung 7-15: Verteilung der Sohlenbauwerke auf die Stadt- und Landkreise	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Abbildung 7-16: Wasserspiegeldifferenz der Sohlenbauwerke	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Abbildung 7-17: Anzahl der Standorte im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Oberrheins (Bauwerke ohne Potenzial gemäß Erläuterungen in Kapitel 6.1)	86
Abbildung 7-18: Technisches Gesamtpotenzial [kW] im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Oberrheins	87
Abbildung 7-19: Zusätzliches technisches Potenzial [kW] im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Oberrheins	87
Abbildung 7-20: Zusätzliches technisch-ökonomisch-ökologisches Potenzial [kW] nach Szenario 1 im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Oberrheins	88
Abbildung 7-21: Resultierende Jahresarbeit [MWh/a] auf der Basis des zusätzlichen technisch-ökonomisch-ökologischen Potenzials nach Szenario 1 im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Oberrheins	88
Abbildung 7-22: Zusätzliches technisch-ökonomisch-ökologische Potenzial [kW] nach Szenario 2 im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Oberrheins	89
Abbildung 7-23: Resultierende Jahresarbeit [MWh/a] auf der Basis des zusätzlichen technisch-ökonomisch-ökologischen Potenzials nach Szenario 2 im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Oberrheins	89
Abbildung 7-24: Mindestwasserpoteziale der Szenarien 1 und 2	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 3-1: Überblick über die wichtigsten Flüsse im Untersuchungsgebiet .....	13
Tabelle 3-2: Dem Aal-Einzugsgebiet zugeordnete Gewässer im baden-württembergischen Oberrhein-Einzugsgebiet gemäß Aalbewirtschaftungsplan – Flussgebietseinheit Rhein (LANUV 2008) .....	26
Tabelle 3-3: Querbauwerke, welche die stromabwärts gelegene Grenze eines Schutzgebiets nach Fischseuchenverordnung markieren; Stand Juni 2012. ....	29
Tabelle 3-4: Vergütungssätze für Strom aus Wasserkraft nach EEG 2009 (Auszug).....	30
Tabelle 3-5: Ausbaupotenzial der Wasserkraft in Baden-Württemberg nach Schmidt et al. (2008) .....	31
Tabelle 4-1: Ergänzungen und Korrekturen an Daten aus dem AKWB .....	35
Tabelle 4-2: Wasserrechtliche Informationen, die durch Akteneinsicht bei den unteren Verwaltungsbehörden erhoben wurden. ....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Tabelle 4-3: Zusätzlich erhobene technische Informationen zu vorhandenen und geplanten Wasserkraftanlagen.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Tabelle 5-1: Fischartabhängige Orientierungswerte für die zur funktionalen Gestaltung erforderliche Mindestdotations von Fischaufstiegsanlagen aus hydraulischer Rechnung ohne Berücksichtigung der Leitwirkung (Dumont 2005, DWA 2014, AG-FAH 2011).....	46
Tabelle 5-2: Im Szenario 2 verwendete Abweichungen vom Orientierungswert (1/3 MNQ; Szenario 1) zur standardisierten Berechnung von ökologischen Abflüssen für Ausleitungskraftwerke. ....	51
Tabelle 5-3: Im Szenario 2 verwendete Abweichungen von 1/6 MNQ (Szenario 1) zur standardisierten Berechnung von ökologischen Abflüssen für Flusskraftwerke. ....	53
Tabelle 5-4: Ökologische Abflüsse in den Szenarien zur Berechnung der Wasserkraftpotenziale im baden-württembergischen Oberrhein-Einzugsgebiet.....	55
Tabelle 6-1: Klassifizierung der Baumaßnahmen von Fischaufstiegsanlagen (FAA) .....	66
Tabelle 6-2: Berechnung von Wasserkraftpotenzialen im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Oberrheins – Auswertung der Ergebnisse .....	67
Tabelle 6-3: Volllaststunden, Dauerlinientyp Ia ( $MNQ/MQ > 0,27$ ) .....	68
Tabelle 6-4: Volllaststunden, Dauerlinientyp Ib ( $MNQ/MQ > 0,18$ & $MNQ/MQ \leq 0,27$ ).....	69
Tabelle 6-5: Volllaststunden, Dauerlinientyp IIa ( $MNQ/MQ > 0,09$ & $MNQ/MQ \leq 0,18$ ).....	69
Tabelle 6-6: Volllaststunden, Dauerlinientyp IIb ( $MNQ/MQ > 0,00$ & $MNQ/MQ \leq 0,09$ ).....	69
Tabelle 6-7: Wirtschaftlichkeitsstufen basierend auf den dynamischen Gestehungskosten .....	73
Tabelle 7-1: Einspeisung von Strom nach EEG in den Jahren 2007 bis 2012 im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Oberrheins .....	80
Tabelle 7-2: Vergleich der Szenarien 1 und 2 hinsichtlich der Standortgruppierung im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Oberrheins .....	90
Tabelle 7-3: Verteilung des Verlustes beim Potenzial zwischen den Szenarien 1 und 2 geordnet nach Anlagengrößenklassen .....	90

<i>Tabelle 7-4: Verteilung des Verlustes bei der Jahresarbeit zwischen den Szenarien 1 und 2 geordnet nach Anlagengrößenklassen</i> .....	91
<i>Tabelle 7-5: fischökologische Anforderungen an Standorte mit einem zusätzlichen Potenzial nach Szenario 1 von mindestens 8 kW</i> .....	91
<i>Tabelle 7-6: Änderung des Potenzials von Ausleitungskraftwerken durch Ausbau (bestehendes Ausleitungskraftwerk und Mindestwasserkraftwerk (&gt;8 kW) am Wehr).. Fehler! Textmarke nicht definiert.</i>	
<i>Tabelle 7-7: Änderung der Jahresarbeit von Ausleitungskraftwerken durch Ausbau (bestehendes Ausleitungskraftwerk und Mindestwasserkraftwerk (&gt;8 kW) am Wehr).. Fehler! Textmarke nicht definiert.</i>	
<i>Tabelle 8-1: verwendete Datengrundlagen im Überblick</i> .....	94
<i>Tabelle 8-2: Arbeitsschritte der Potenzialberechnung</i> .....	95

Die vorliegende Studie ersetzt ausdrücklich kein Zulassungsverfahren für den Bau und Betrieb von Wasserkraftanlagen und nimmt die hierfür erforderliche detaillierte Prüfung der standortbezogenen Rahmenbedingungen nicht vorweg.

Die im Rahmen dieser Studie ermittelten Potenziale für einzelne Standorte wurden mittels eines standardisierten Verfahrens auf der Basis von sorgfältig erhobenen Daten errechnet. Hierzu waren notwendigerweise und auftragsgemäß vereinfachende Annahmen zu treffen. Eine Einzelfallbetrachtung unter Berücksichtigung aller standortspezifischen Gegebenheiten kann im Ergebnis daher zu deutlichen Abweichungen von den im Rahmen der vorliegenden Studie für den einzelnen Standort ermittelten Ergebnissen zum Potenzial und zur Wirtschaftlichkeit führen. Für die Genauigkeit der betreffenden Werte wird daher in Bezug auf den Einzelstandort keine Gewähr übernommen. Auf der Ebene des gesamten Untersuchungsgebiets oder von Teilbearbeitungsgebieten kann aber davon ausgegangen werden, dass sich die methodisch bedingten Ungenauigkeiten herausmitteln.

Der vorliegende Bericht beschreibt Datengrundlagen, methodisches Vorgehen und Ergebnisse für das baden-württembergische Einzugsgebiet des Neckars. Methodische Details und Angaben zur regionalen Verteilung der ermittelten Potenziale sind im Anhang zu dieser Studie wiedergegeben.

## 1 Einleitung und Anlass

Im Zuge der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) verfolgt das Land Baden-Württemberg das Ziel spätestens bis 2027 Bäche und Flüsse im Land in einen guten ökologischen Zustand zu versetzen, soweit nicht erheblich veränderte oder künstliche Wasserkörper betroffen sind. Nach den Ergebnissen der aktualisierten Bestandsaufnahme 2013 und bestätigt durch die fortlaufende Gewässerüberwachung stellt die Nutzung der Wasserkraft für viele Fließgewässersysteme im Land eine bedeutsame Beeinträchtigung dar. Insbesondere die Unterbrechung der Durchwanderbarkeit der Gewässer, eine zu geringe Mindestwasserführung in Ausleitungsstrecken und die Unterbindung der natürlichen Gewässerdynamik mit der Folge eines Verlustes an Fließgewässerlebensraum sind Faktoren, die das Erreichen eines guten ökologischen Zustands gefährden können.

Zugleich ist die Wasserkraft die wichtigste regenerative Energiequelle in Baden-Württemberg und soll diese Rolle nach dem Willen der Landesregierung auch weiterhin spielen.

Es wurde in der Vergangenheit bereits eine Vielzahl einzelner Gewässer und Einzugsgebiete in Baden-Württemberg auf noch vorhandene Potenziale zum Ausbau der Wasserkraft untersucht. Parallel dazu wurden verschiedenste Studien als Grundlagen für die Maßnahmenplanung zur Umsetzung der WRRL erstellt. Insbesondere durch die Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes wurden auch regionale Untersuchungen über das mit den Bewirtschaftungszielen zu vereinbarende Ausbaupotenzial der Wasserkraft erstellt (Regierungspräsidium Freiburg und Landratsamt Emmendingen 2012). Die erstmalige Untersuchung des Ausbaupotenzials der Wasserkraft bis 1.000 kW im Einzugsgebiet des Neckars in den Jahren 2009/2010 war aber die erste überregionale, systematische und standortspezifische Untersuchung in Baden-Württemberg, bei der gewässerökologische Ziele und das energiewirtschaftliche Ziel, Wasserkraft verstärkt zu nutzen, zusammen betrachtet wurden. In dieser wurden ca. 1.500 Standorte im Einzugsgebiet des Neckars ohne Bundeswasserstraße Neckar untersucht. An rund 600 Standorten konnte ein zusätzliches Potenzial von mindestens 8 kW ermittelt werden. Bezogen auf das gesamte Einzugsgebiet des Neckars ergab sich ein zusätzliches Regelarbeitsvermögen von 3 bis 10 GWh/a.

Im Zuge der Bearbeitung der anderen Untersuchungsgebiete im Land Baden-Württemberg erfuhr die im Neckar-Einzugsgebiet entwickelte Methodik einige Modifikationen und Anpassungen an die aktuelle Rechtslage, die erneute Abschätzung der Potenziale notwendig machten, um für das ganze Land Baden-Württemberg zu vergleichbaren Aussagen über die vorhandenen Potenziale zum Ausbau der Wasserkraft zu gelangen. Deshalb beauftragte das Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg im Frühjahr 2016 den Büro am Fluss e. V. in Zusammenarbeit mit dem

Hydra Institut für angewandte Hydrobiologie sowie der Fichtner Water & Transportation GmbH mit der vorliegenden Aktualisierung der Studie zur Erhebung von Wasserkraftpotenzialen im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars.

## 2 Aufgabenstellung

Die Studie hat die Aufgabe, an den Fließgewässern des baden-württembergischen Einzugsgebiets des Neckars energetisch genutzte und ungenutzte Querbauwerke im Hinblick auf das mögliche Potenzial zur Erzeugung von Strom aus Wasserkraft zu beurteilen und dieses mit den ökologischen Bewirtschaftungszielen der WRRL, verankert im Wasserhaushaltsgesetz (WHG)<sup>1</sup> und im Landeswassergesetz (WG)<sup>2</sup>, abzustimmen.

Hierzu werden für das Untersuchungsgebiet:

- die Potenziale zur Optimierung bereits genutzter Standorte sowohl im Hinblick auf die Gewinnung von Strom aus Wasserkraft als auch auf die Minimierung der hiermit verbundenen Beeinträchtigungen der Längsdurchgängigkeit im Gewässersystem ermittelt;
- die Potenziale zur Nutzung der Wasserkraft an derzeit nicht energetisch genutzten Querverbauungen erhoben;
- die repräsentativen fischökologischen Anforderungen bei der energetischen Nutzung in Bezug auf das einzelne Bauwerk, vor allem aber im Hinblick auf zusammenhängende Funktionsräume in den Gewässern zugrunde gelegt;
- Standorte mit guter Eignung für die Nutzung der Wasserkraft identifiziert, die sich durch ein hohes Stromgewinnungspotenzial bei vertretbaren ökologischen Beeinträchtigungen auszeichnen;
- Abschätzungen des am Standort vorhandenen, gewässerökologisch vertretbaren Ausbaupotenzials der Wasserkraft gegeben und damit
- eine mögliche Grundlage für wasserwirtschaftliches Handeln im Hinblick auf das Bewirtschaftungsziel Herstellung der Durchgängigkeit und das gesellschaftliche Ziel der Förderung erneuerbarer Energien geschaffen.

Die Erhebung und Weiterverarbeitung der Daten erfolgte in einer systematischen und standardisierten Weise. Dies ermöglicht eine einheitliche Handhabung der enormen Datenmenge. Darüber hinaus wird eine grundsätzliche Vergleichbarkeit gewährleistet, indem die potenziellen Wasserkraftstandor-

---

<sup>1</sup> Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 21. Januar 2013 (BGBl. I S. 95)

<sup>2</sup> Wassergesetz für Baden-Württemberg (WG) vom 3. Dezember 2013 (GBl. Nr. 17, S. 389), in Kraft getreten am 22.12.2013 bzw. 01.01.2014

te durch eine festgelegte Methodik mit einem stufenweisen Vorgehen auf der Basis von fixierten Kriterien für verschiedene Szenarien dargestellt werden. Im Ergebnis werden insbesondere Umwelteinflüsse, Technik und Wirtschaftlichkeit beurteilt.

Sämtliche in dieser Studie erhobenen, zwischen den Projektpartnern ausgetauschten und berechneten Daten zum Standort sind stets über die jeweilige Identifikationsnummer im Umweltinformationssystem (UIS) den wasserbaulichen Anlagen getrennt nach Regelungsbauwerken, Wasserkraftanlagen und Sohlenbauwerken eindeutig zugeordnet.

Gegenstand der Untersuchung ist das baden-württembergische Einzugsgebiet des Neckars. Die Wasserkraftanlagen am schiffbaren Neckar, allesamt mit Leistungen von mehr als 1 MW sind nur nachrichtlich dargestellt und zur übrigen im Einzugsgebiet des Neckars installierten Leistung ins Verhältnis gesetzt. Gegenstand sind ferner nur bestehende Querbauwerke. Die Ermittlung eines theoretischen Linienpotenzials der Gewässer ist dagegen nicht Gegenstand der Arbeit.

### 3 Grundlagen und wasserwirtschaftliche Rahmenbedingungen

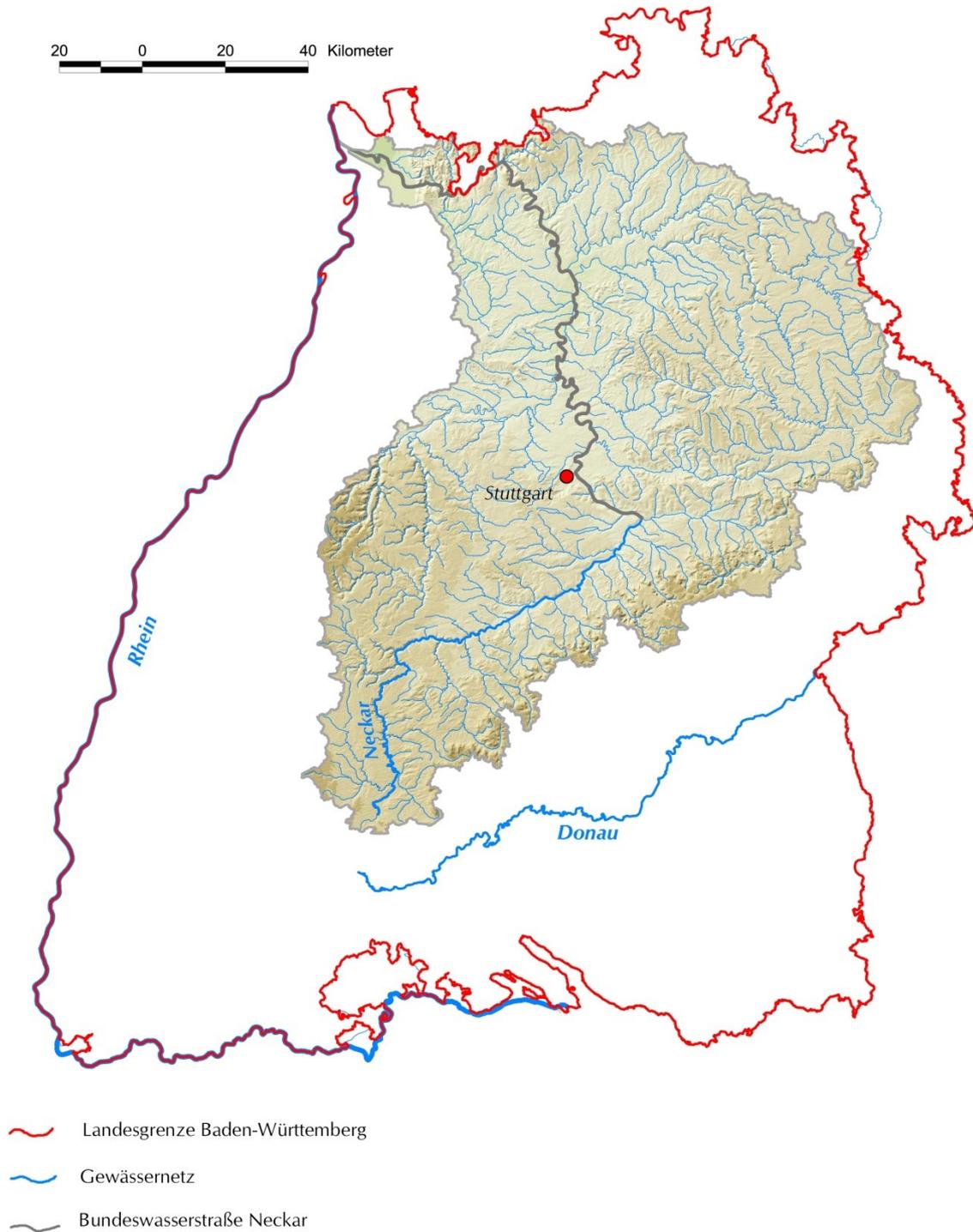
#### 3.1 Übersicht über das Untersuchungsgebiet

Gegenstand der vorliegenden Studie ist das baden-württembergische Einzugsgebiet des Neckars. Es hat eine Fläche von knapp 14.000 km<sup>2</sup> und umfasst ein Gewässernetz von ca. 15.000 km Länge gemäß dem amtlichen wasserwirtschaftlichen Gewässernetz Baden-Württemberg (AWGN, Stand 2015). Die Länge der Gewässer mit einem Einzugsgebiet von mindestens 10 km<sup>2</sup> im Untersuchungsgebiet, die Bestandteil des Teilnetzes "Wasserrahmenrichtlinie" sind, beträgt ca. 5.300 km.

Tabelle 3-1 gibt einen Überblick über die wichtigsten Fließgewässer im Untersuchungsgebiet.

**Tabelle 3-1:** Überblick über die wichtigsten Flüsse im Untersuchungsgebiet

Gewässername	Länge [km]*	Einzugsgebiet [km <sup>2</sup> ]**	Abfluss MQ [m <sup>3</sup> /s]**
Neckar	362,3	13.933	162,9
Eschach	38,1	218	2,671
Glatt	34,2	229	4,82
Eyach	50,5	349	3,361
Starzel	42,8	178	1,632
Erms	32,7	179	3,583
Aich	30,4	179	1,361
Lauter	25,8	191	2,899
Fils	62,9	707	9,848
Rems	78,4	582	6,964
Murr	51,8	508	5,977
Enz	105,6	2.228	23,81
Nagold	90,8	1.144	12,20
Würm	53,9	419	3,156
Kocher	168,7	1.961	25,99
Lein	57,1	250	3,574
Jagst	190,2	1.836	19,13
Elz	39,7	159	2,086
Elsenz	53,3	543	4,942
* laut AWGN Stand 2015			
** Abfluss-BW, Daten- und Kartendienst der LUBW, Stand 2016			



**Abbildung 3-1:** Übersichtskarte des baden-württembergischen Einzugsgebiets des Neckars mit dem WRRL-Gewässernetz

### 3.2 Vorzüge der Erzeugung von Strom aus Wasserkraft

Die Nutzung der Wasserkraft zur Erzeugung elektrischen Stroms zeichnet sich unter den erneuerbaren Energieträgern vor allem durch folgende Vorteile aus (Heimerl 2009):

- Vor allem große Laufwasserkraftanlagen sind als Grund-, Mittel- und Spitzenlastkraftwerke einsetzbar.
- Laufwasserkraftwerke haben mit bis zu 6.000 Betriebsstunden pro Jahr eine hohe durchschnittliche Ausnutzungsdauer.
- Im Vergleich zu anderen Energie-Erzeugungsformen verursacht die Wasserkraft in vergleichbaren Zeiträumen sehr geringe Emissionen (Kohlendioxid, Stickoxide, Schwefeldioxid, etc.).
- Aufgrund ihrer langen Lebensdauer können Wasserkraftanlagen trotz hoher Anfangsinvestitionen sehr günstig Energie erzeugen.
- Die Technik ist weitgehend ausgereift, wobei v. a. bei älteren Anlagen durch bauliche und technische Optimierung sowie innovative Entwicklung von Teilkomponenten noch Potenziale gehoben werden können.
- Wasserkraftanlagen können für Schifffahrt, Hochwasserschutz oder die Anlage von Freizeiteinrichtungen einen Zusatznutzen entfalten.

Aufgrund dieser bedeutenden Vorteile soll die Wasserkraft in Baden-Württemberg auch weiterhin eine wichtige Rolle zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien spielen.

### 3.3 Von der Wasserkraft ausgehende Beeinträchtigungen

Die Vielzahl der in heutiger Zeit zu unterschiedlichen Zwecken in Fließgewässern installierten Querbauwerke führt generell zu einer starken Störung des Fließgewässerlebensraums und des natürlichen Fließgewässerkontinuums. Querverbauungen stellen nicht nur eine Veränderung des Lebensraums und der Längsdurchgängigkeit der Fließgewässer dar, sondern beeinflussen darüber hinaus die natürliche Dynamik des Abflussgeschehens und des Geschiebehauhalts. Die resultierenden Beeinträchtigungen für Fließgewässer und ihre Lebewelt sind vielfältig. Die wichtigsten Aspekte sind:

- die Behinderung oder Unterbindung der Wanderbewegungen von Wassertieren, insbesondere von Fischarten, die in ihrem Fortbestand auf die Existenz und Erreichbarkeit von Laichgründen und anderen Habitaten angewiesen sind;

- die Behinderung oder Unterbindung des Transports und der regelmäßigen Umlagerung von Sohlsubstraten, die grundlegende Voraussetzungen für den Fortbestand bzw. das Entstehen funktionsfähiger Laichbiotope für eine Reihe von Fischarten sind;
- Veränderungen des natürlichen Temperaturregimes durch eine stärkere Erwärmung (Sommer) und stärkere Abkühlung (Winter) infolge längerer Verweilzeiten des Wassers (Staubeiche) und reduzierter Wassertiefen (Restwasserstrecken);
- ein allgemeiner Verlust natürlich vorhandener Fließgewässerstrukturen und -habitate durch Wasserentnahme, Einstau von Gewässern und damit einhergehenden gewässerbaulichen Eingriffen (Begradigungen, Ufersicherungsmaßnahmen usw.).

Weitere Beeinträchtigungen der Fließgewässerlebewelt ergeben sich durch die Wasserkraftanlagen selbst. Diesbezüglich von besonderer Bedeutung sind vor allem Schädigungen von Wasserorganismen durch Turbinen, mechanische Barrieren und in einigen Fällen auch große Absturzhöhen. Diese Schädigungen widersprechen Grundsätzen des Fischerei- und des Tierschutzgesetzes und sind daher bei Modernisierungen und Neubauten so gut als möglich zu reduzieren. Dies gilt im Neckargebiet insbesondere hinsichtlich des Aals. Für diese Fischart sind besonders hohe Mortalitätsraten durch Turbinenpassagen bekannt und es besteht diesbezüglich dringender Handlungsbedarf (vgl. LANUV NRW 2008). Zudem gehören große Teile des Neckargebiets zum Aal-Einzugsgebiet, in dem für diese stark gefährdete Art Schutzmaßnahmen umzusetzen sind (vgl. Kapitel 3.6.4).

In Folge der Eingriffe in den Fließgewässerlebensraum zählen in Baden-Württemberg jene Fischarten zu den am stärksten gefährdeten Tiergruppen, die auf diesen Lebensraum angewiesen sind (rheophile Fischarten).

Die vorliegende Studie wurde unter der Prämisse erstellt, insbesondere die negativen Auswirkungen der Wasserkraftnutzung auf den Aspekt der Fischwanderbewegungen in der standardisierten Betrachtung durch gestufte Szenarien zu berücksichtigen und in den Potenzialberechnungen möglichst ausreichend auszugleichen. Es ist zu betonen, dass die übrigen Beeinträchtigungen der Wasserkraftnutzung, insbesondere die negativen Auswirkungen auf den Fließgewässerlebensraum, hierbei noch nicht oder nur sehr eingeschränkt berücksichtigt sind. Mit der Betrachtung von Fischwanderbewegungen in ausreichendem Umfang wird nur einer der wesentlichen Faktoren für die fischökologische Funktionalität von Fließgewässern berücksichtigt.

Eine ausreichende Durchgängigkeit ist von besonderer Bedeutung, da viele Fischarten im Laufe ihrer Individualentwicklung auf die Nutzung unterschiedlicher Teillebensräume und Habitate angewiesen

sind. Das von ihnen genutzte Habitatspektrum ist dabei nicht immer lokal konzentriert verfügbar und kann dementsprechend nur durch Wanderbewegungen über entsprechende Distanzen erschlossen werden. Diese finden generell nicht nur stromaufwärts, sondern auch in Fließrichtung statt, und ihre Behinderung oder Unterbindung kann für Fischarten fatale Folgen haben.

Dies gilt in besonderem Maße für anadrome Langdistanz-Wanderfische, die einen Teil ihres Lebens im Meer verbringen, sich jedoch nur in Fließgewässern fortpflanzen können. Ihre ausgedehnten Laichwanderungen führen Lachs und Meerforelle beispielsweise vom Meer bis in die Oberlaufregionen der Fließgewässer. Infolge der nicht durchgängigen Gestaltung der meisten ihrer Wanderrouten sind anadrome Fischarten daher seit Jahrzehnten in besonderem Maße gefährdet. Ihre Bestände gingen ausnahmslos stark zurück und erloschen zum Teil ganz (Baer et al. 2014).

Ähnliches gilt für potamodrome Fischarten, die Laichwanderungen oder Laichzüge über längere Distanzen innerhalb der Fließgewässersysteme durchführen. Ein Beispiel ist die Nase, welche ursprünglich in allen größeren Fließgewässern Baden-Württembergs ein prägendes Faunenelement war, bis in unsere Zeit jedoch starke Bestandsrückgänge erfuhr und heute im Neckarsystem zu den stark gefährdeten Arten zählt (Dußling und Berg 2001).

Ein großer Anteil der heimischen Flussfischarten weist zwar eine Fortpflanzungsbiologie auf, die nicht durch ausgedehnte Laichwanderungen gekennzeichnet ist, doch auch diese Arten sind auf ausreichende Wechselmöglichkeiten zwischen unterschiedlichen Teillebensräumen angewiesen. Neben der Fortpflanzung dienen die Habitatwechsel hier insbesondere

- der Nahrungssuche,
- der Verringerung von Konkurrenz,
- der Kompensation von Abdrift,
- dem Aufsuchen geeigneter Habitate entsprechend der altersbedingten Entwicklung,
- dem zeitweiligen Aufsuchen von Winterlagern und Ruheplätzen und
- der Erschließung neuer Lebensräume.

Ferner ermöglichen längsdurchgängige Fließgewässer eine Rückkehr in vorübergehend als Lebensraum unbrauchbar gewordene Gewässerabschnitte und gewährleisten den ungehinderten Austausch zwischen verschiedenen Populationsteilen, was wichtig für die genetische Stabilität von Populationen ist.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten: Für die meisten Fluss-Fischarten ist die Durchgängigkeit des Gewässersystems von herausragender Bedeutung. Sie ist oftmals ausschlaggebend für die Ausprägung gewässeradäquater Bestände und das Fortbestehen einzelner Arten.

### 3.4 EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)<sup>3</sup>

Seit dem Jahr 2000 ist die im Jahr 2003 durch die Novelle von WHG und WG auch in deutsches sowie baden-württembergisches Recht umgesetzte EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) die wichtigste Grundlage wasserwirtschaftlichen Handelns. Zweck der WRRL ist die nachhaltige Nutzung der Ressource Wasser. Diese ist unter anderem mit dem verpflichtenden Ziel verbunden, Fließgewässer mit einem Einzugsgebiet größer 10 km<sup>2</sup> und Seen mit einer Fläche über 50 ha in einem guten ökologischen Zustand zu erhalten bzw. diesen gegebenenfalls bis zum Jahr 2015 durch geeignete Maßnahmen zu erreichen. Für künstliche und erheblich veränderte Gewässer gilt das gute ökologische Potenzial als Bewirtschaftungsziel.

Als Indikatoren für die Bewertung des ökologischen Gewässerzustands dienen biologische Qualitätskomponenten, die durch hydromorphologische und physikalisch-chemische unterstützt und im Rahmen von Monitoringprogrammen fortlaufend überwacht werden. Vor dem Hintergrund der vorliegenden Untersuchung kommt der Fischfauna unter den biologischen Qualitätskomponenten eine herausragende Bedeutung zu, da sie von den mit der Nutzung der Wasserkraft einhergehenden Auswirkungen auf Fließgewässerlebensräume in besonderem Maße betroffen ist. Im guten ökologischen Gewässerzustand darf die Fischfauna in Zusammensetzung, Abundanz und Altersstruktur nur geringfügig von den unter weitgehend unbeeinflussten Bedingungen zu erwartenden Verhältnissen abweichen.

Im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars (BG Neckar) sind laut Bewirtschaftungsplan 2015 3 erheblich veränderte Wasserkörper ausgewiesen (Regierungspräsidium Stuttgart 2015). Es handelt sich um die drei Wasserkörper des schiffbaren Neckars WK 4-03 „Neckar unterhalb Fils oberhalb Enz“, WK 4-04 „Neckar unterhalb Enz oberhalb Kocher“ und WK 4-05 „Neckar (BW) unterhalb Kocher“.

Auf Gewässerebene wurde ebenfalls eine Vielzahl von Fließgewässerabschnitten – teilweise über längere Strecken hinweg – aufgrund nutzungsbedingter stark veränderter Gewässermorphologie als

---

<sup>3</sup> Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 327: 1-72)

erheblich verändert eingestuft. Für die Gewässer des Neckar-Einzugsgebiets ist der gute ökologische Zustand somit ein anspruchsvolles Umweltziel.

Die Umsetzung der WRRL erfolgt mit Hilfe einzugsgebietsbezogener Bewirtschaftungspläne. Am 22.12.2015 ist der Bewirtschaftungsplan Neckar – Aktualisierung 2015 in Kraft getreten.

### **3.4.1 Bisherige Ergebnisse der Gewässerüberwachung**

Seit 2006 werden die Fließgewässer im Einzugsgebiet des Neckars dem Monitoring nach WRRL mit den teilweise neu entwickelten Verfahren zur Gewässerzustandsüberwachung unterzogen. Die Ergebnisse der Zustandsbewertung fanden Eingang in den Bewirtschaftungsplan für das Bearbeitungsgebiet Neckar.

Bei dessen Aufstellung konnte u.a. auf Untersuchungen zur Fischfauna mit dem fischbasierten Bewertungssystem (fiBS) aus den Jahren 2007 bis 2013 zurück gegriffen werden (Regierungspräsidium Stuttgart 2015). Diese dienen zur Ermittlung des ökologischen Zustands der Wasserkörper und geben Hinweise auf Ursachen möglicher Zielverfehlungen vor allem auch im Zusammenhang mit der Nutzung der Wasserkraft.

Demnach erreicht kein Flusswasserkörper im Bearbeitungsgebiet Neckar den guten Zustand im Hinblick auf die Fischfauna. In 34 Wasserkörpern indiziert die Fischfauna den mäßigen Zustand, in 13 Wasserkörpern den unbefriedigenden Zustand und in acht Wasserkörpern wurde keine abschließende Bewertung des Zustands anhand der Fischfauna durchgeführt. Diese Ergebnisse deuten auf weitverbreitete Defizite der Gewässerstruktur, der Durchgängigkeit, des Wasserhaushalts bzw. auch der spezifischen physikalisch-chemischen Kenngrößen hin (Regierungspräsidium Stuttgart 2015).

### **3.4.2 Umwelt- und Bewirtschaftungsziele**

Die in Kapitel 3.3 erläuterten Beeinträchtigungen der Fließgewässer wurden bereits im ersten Bewirtschaftungsplan für das baden-württembergische Bearbeitungsgebiet Neckar (Regierungspräsidium Stuttgart 2009) als mit der Existenz von Querbauwerken und der Nutzung der Wasserkraft zusammenhängende, signifikante Belastungen identifiziert. Diese sind mit ursächlich für das Verfehlen des guten ökologischen Zustands.

Der zweite Bewirtschaftungsplan benennt die Verbesserung der Hydromorphologie als allgemeines Ziel. Diese beinhaltet folgende Komponenten mit direkter Relevanz für die Nutzung der Wasserkraft

- Durchgängigkeit (Sicherstellung und Erreichbarkeit von Laichplätzen, Jungfischlebensräumen, Nahrungsgründen, Unterständen, usw.)
- Gewässerstruktur (Herstellung von Funktionsräumen für Gewässerorganismen)
- Gewährleistung ausreichender Mindestabflüsse
- Verringerung Rückstau.

Für 24 Flusswasserkörper wird im Bearbeitungsgebiet Neckar eine Fristverlängerung nach § 29 Abs. 2 WHG bis 2021 in Anspruch genommen, für 31 Wasserkörper eine Fristverlängerung bis zum Jahr 2027. In vielen Fällen werden die von Wasserkraftanlagen mit alten Rechten ausgehenden und nur langfristig zu vermindernden Beeinträchtigungen der Gewässersysteme (unveränderbare Dauer der Verfahren) u.a. als Gründe für die Fristverlängerung angegeben (Regierungspräsidium Stuttgart 2015).

### 3.4.3 Maßnahmenprogramme

Die Maßnahmenplanung erfolgt in Baden-Württemberg ausgehend von den durch den Menschen verursachten Belastungen der Gewässer und den hieraus resultierenden Defiziten des Zustands, also pflanzspezifisch. Während die grundlegenden Maßnahmen nach Artikel 11 Abs. 3 WRRL flächendeckend umgesetzt werden, werden die ergänzenden hydromorphologischen Maßnahmen nach Artikel 11 Abs. 4 WRRL in Baden-Württemberg auf die so genannten Programmstrecken konzentriert. Die Programmstrecken Morphologie/Durchgängigkeit/Mindestabfluss werden auf Basis fachlicher Kriterien zur Herstellung der ökologischen Funktionsfähigkeit definiert. Es wird davon ausgegangen, dass in den betreffenden Wasserkörpern der gute ökologische Zustand bzw. das gute ökologische Potenzial durch die konsequente Umsetzung der Maßnahmenprogramme erreicht werden kann.

Die Programmstrecken umfassen im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars neben dem Neckar zwischen Rottweil und Mannheim praktisch alle Unter- und Mittelläufe der größeren Neckar-Zuflüsse. Sie können der interaktiven Karte zu den hydromorphologischen Maßnahmen unter [www.wrrl.baden-wuerttemberg.de](http://www.wrrl.baden-wuerttemberg.de) entnommen werden.

## 3.5 Vorgaben des Wasserrechts

Im Folgenden sind die für die Nutzung der Wasserkraft relevanten wasserrechtlichen Vorschriften genannt.

### 3.5.1 Wasserhaushaltsgesetz (WHG)<sup>4</sup>

Das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) trifft in § 35 wesentliche Regelungen zur Nutzung der Wasserkraft.

Nach § 35 Absatz 1 ist die Zulässigkeit der Wasserkraftnutzung an geeignete Maßnahmen zum Schutz der Fischpopulationen gebunden. Für die Vielzahl der Bestandsanlagen, für die diese Voraussetzungen bislang nicht zutreffen, sind die erforderlichen Maßnahmen nach Absatz 2 in angemessener Frist durchzuführen.

Nach § 35 Absatz 3 prüft die zuständige Behörde, ob an Querbauwerken, die am 1. März 2010 bestehen und deren Rückbau zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele auch langfristig nicht vorgesehen ist, eine Wasserkraftnutzung möglich ist. Die vorliegende Studie erfüllt die Anforderungen des § 35 Absatz 3 WHG für das baden-württembergische Einzugsgebiet des Neckars.

### 3.5.2 Wassergesetz für Baden-Württemberg (WG)<sup>5</sup>

Für die vorliegende Studie relevante Regelungen im Wassergesetz von Baden-Württemberg finden sich in den §§ 23 und 24 WG.

In Absatz 1 des **§ 23 WG Mindestwasserführung, Durchgängigkeit, Wasserkraftnutzung** wird die oberste Wasserbehörde ermächtigt, per Rechtsverordnung die Kriterien zur Bemessung der Mindestwasserführung, für die Durchgängigkeit und in Bezug auf die ökologische Funktionsfähigkeit festzulegen (siehe Kapitel 3.5.3 Wasserkrafterlass Baden-Württemberg). Nach § 23 Absatz 2 WG sind Schwall und Sunk zu vermeiden; die Wasserbehörde kann auf Antrag Ausnahmen zulassen.

Nach **§ 24 WG Wasserkraftnutzung** Absatz 1 ist die Wasserkraftnutzung im Rahmen des Bewirtschaftungsermessens nach § 12 Absatz 2 WHG zuzulassen, wenn kein Versagungsgrund nach § 12 Absatz 1 WHG vorliegt. Absatz 3 verlangt, Vorhaben zur Wasserkraftnutzung und Maßnahmen, die sich auf den ökologischen Zustand auswirken können (auch positiv), vor der Durchführung der Wasserbehörde anzuzeigen. Absatz 4 verpflichtet die Betreiber von Wasserkraftanlagen, die unter ökologischen Gesichtspunkten verfügbare Wassermenge effizient entsprechend dem Stand der Technik zu nutzen.

---

<sup>4</sup> Wasserhaushaltsgesetz (WHG) vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 21. Januar 2013 (BGBl. I S. 95)

<sup>5</sup> Wassergesetz für Baden-Württemberg (WG) vom 3. Dezember 2013 (GBl. Nr. 17, S. 389), in Kraft getreten am 22.12.2013 bzw. 01.01.2014

### 3.5.3 Wasserkrafterlass Baden-Württemberg<sup>6</sup>

Die "Gemeinsame Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums, des Ministeriums für Ernährung und Ländlichen Raum und des Wirtschaftsministeriums zur gesamtökologischen Beurteilung der Wasserkraftnutzung; Kriterien für die Zulassung von Wasserkraftanlagen bis 1.000 kW" in der Fassung vom 30. Dezember 2006 richtet sich an die für die Zulassung von Wasserkraftanlagen mit einer Leistung bis 1.000 kW zuständigen Behörden und enthält umfangreiche Hinweise und Regelungen für die wasserrechtlichen Verfahren.

Für die Untersuchung der Wasserkraftpotenziale im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars sind vor allem die in Teil III des Wasserkrafterlasses genannten fachlichen Kriterien für die Gesamtbeurteilung einer Wasserkraftnutzung sowie die in Teil IV getroffenen Regelungen zur Gestaltung der Durchgängigkeit und Ermittlung der Mindestabflüsse von Bedeutung.

Nach Teil III sind für die Gesamtbeurteilung der Wasserkraftnutzung besonders zu berücksichtigen:

- Wasserwirtschaftliche Auswirkungen, insbesondere auf Abflussregime, Fließgeschwindigkeit, Stabilität des Gewässerbetts, Feststoffhaushalt, Grundwasser und Wasserbeschaffenheit;
- Auswirkungen auf den Lebensraum Fließgewässer, insbesondere Erhalt und Entwicklung einer fließgewässertypischen Fauna und Flora;
- Auswirkungen auf sonstige Gewässerfunktionen, z. B. Erholungswert, Gewässerlandschaft und fischereiliche Nutzung;
- CO<sub>2</sub>- und Schadstoffreduzierung im Vergleich zu einer Stromerzeugung auf fossiler Basis.

Im ersten Abschnitt von Teil IV schreibt der Wasserkrafterlass die grundsätzliche Gewährleistung der Durchgängigkeit bei Nutzung der Wasserkraft vor. In bestimmten Fällen umfasst dies auch Anforderungen an die flussabwärts gerichtete Durchgängigkeit. Im Hinblick auf fachliche Details verweist der Wasserkrafterlass explizit auf die Leitfäden "Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern" der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (LfU (Hrsg.) 2005a, LfU (Hrsg.) 2005b, LUBW 2006a, LUBW 2006b).

---

<sup>6</sup> Gemeinsame Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums, des Ministeriums für Ernährung und Ländlichen Raum und des Wirtschaftsministeriums zur gesamtökologischen Beurteilung der Wasserkraftnutzung; Kriterien für die Zulassung von Wasserkraftanlagen bis 1000 kW, GABl. vom 28. Februar 2007, S. 105 ff.

Abschnitt 2 von Teil IV des Wasserkrafterlasses befasst sich mit der Ermittlung und Sicherstellung der Mindestabflüsse im konkreten wasserrechtlichen Verfahren. Demnach sind notwendige Mindestabflüsse grundsätzlich in einem zweistufigen Verfahren zu ermitteln. Im ersten Schritt werden aus den hydrologischen Daten des Standortes Orientierungswerte ermittelt, diese Werte sind im zweiten Schritt anhand der örtlichen Gegebenheiten zu überprüfen. Im Hinblick auf fachliche Details verweist der Wasserkrafterlass auf den Leitfaden "Mindestabflüsse in Ausleitungsstrecken" der Landesanstalt für Umweltschutz (LfU (Hrsg.) 2005b). Für Ausleitungskraftwerke nennt der Wasserkrafterlass einen Orientierungswert für den Mindestabfluss von  $1/3$  MNQ. Dieser kann u. a. anhand folgender standortbezogener Kriterien angepasst werden:

- Durchgängigkeit der Ausleitungsstrecke und Gewährleistung einer Leitströmung, Funktionsfähigkeit der Fischaufstiegsanlage,
- Erhaltung eines zusammenhängenden und funktionsfähigen Lebensraums.

Ein Abfluss von  $1/6$  MNQ darf in den Ausleitungsstrecken nicht unterschritten werden.

Für Flusskraftwerke bemisst sich der Mindestabfluss nach den Anforderungen einer funktionsfähigen Fischaufstiegsanlage inklusive ausreichender Leitströmung. Darüber hinaus kann nach Wasserkrafterlass zum Erhalt von hochwertigen Lebensräumen unterhalb von Wehranlagen eine zusätzliche Dotation notwendig sein.

Im LfU-Leitfaden (LfU (Hrsg.) 2005b) ist die Methodik zur Ermittlung des Mindestabflusses an konkreten Standorten im Einzelnen beschrieben. Unter anderem sind die Anforderungen wichtiger gewässertypischer Fischarten (Indikatorfischarten) an Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit in der Ausleitungsstrecke heranzuziehen.

### **3.6 Durch den Natur- und Artenschutz sowie den Fischseuchenschutz vorgegebene Rahmenbedingungen**

Vorgaben und Rechtsvorschriften des Natur- und Artenschutzes sowie zum Schutz vor Fischseuchen haben die Wasserkraft nicht unmittelbar zum Gegenstand. Sie enthalten jedoch Regelungen, die in der Praxis zu Konsequenzen für die Nutzung der Wasserkraft führen können. Diese werden im Nachfolgenden in zusammenfassender Form erläutert.

### 3.6.1 Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie)<sup>7</sup>

Die FFH-Richtlinie (1992, 1997) der EU dient dem Schutz und dem Erhalt bestimmter Lebensräume sowie bestimmter wildlebender Tier- und Pflanzenarten, die in Europa stark zurückgedrängt wurden und in besonderem Maße gefährdet sind. Die Umsetzung in nationales Recht erfolgte durch das Bundesnaturschutzgesetz<sup>8</sup>. Schutzziele sind unter anderem auch gewässergebundene Arten, darunter sämtliche in Baden-Württemberg heimischen Neunaugenarten und verschiedene Fischarten, aber auch Wirbellose, wie z. B. der Steinkrebs, die Bachmuschel oder diverse Libellen, deren mehrjährige Larven ebenfalls in Fließgewässern leben. Zur Umsetzung der FFH-Richtlinie wurde ein Netzwerk von Schutzgebieten – die FFH-Gebiete – ausgewiesen, welches auch eine Reihe von Gewässerabschnitten des Untersuchungsgebiets umfasst, wie aus dem Verzeichnis der Schutzgebiete im Rahmen des Bewirtschaftungsplans für das Bearbeitungsgebiet Neckar<sup>9</sup> ersichtlich ist. FFH-Gebiete unterliegen hierbei grundsätzlich dem Verschlechterungsverbot gemäß § 33 Abs. 1 Bundesnaturschutzgesetz. Eingriffe, die zu einer erheblichen Beeinträchtigung der geschützten Lebensraumtypen und Arten führen, sind demnach unzulässig.

Für die Populationen der Neunaugen- und Fischarten stellt der Ausbau der Wasserkraftnutzung a priori eine mögliche erhebliche Beeinträchtigung in diesem Sinne dar, wenn entsprechende Vorhaben mit Veränderungen der Lebensräume einhergehen. Die Zulässigkeit solcher Maßnahmen ist in FFH-Gebieten daher in jedem Einzelfall zu prüfen. Damit ist der Ausbau der Wasserkraftnutzung in den betreffenden Fließgewässerabschnitten zwar grundsätzlich möglich, jedoch gegebenenfalls mit strengeren ökologischen Restriktionen und Anforderungen verbunden. Weitere Restriktionen im Einzelfall können sich in FFH-Gebieten ergeben, wenn andere, nicht zur Artengruppe Neunaugen und Fische gehörige, gewässergebundene Arten oder Fließgewässerlebensraumtypen der FFH-Richtlinie betroffen sind.

Ergänzend zu beachten sind die in den Managementplänen für jedes FFH-Gebiet spezifisch formulierten Erhaltungs- und Entwicklungsmaßnahmen. Diese dienen der nachhaltigen Sicherung sowie Förderung der geschützten Lebensraumtypen und Populationen. Für gewässerabhängige FFH-Gebiete ist

---

<sup>7</sup> Richtlinie 97/62/EG des Rates vom 27. Oktober 1997 zur Anpassung der Richtlinie 92/43/EWG zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen an den technischen und wissenschaftlichen Fortschritt (Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie) (Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 305: 42-65)

<sup>8</sup> Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), zuletzt geändert durch Artikel 4 Absatz 100 des Gesetzes vom 7. August 2013 (BGBl. I S. 3154)

<sup>9</sup> Einsehbar unter [www.wrrl.baden-wuerttemberg.de](http://www.wrrl.baden-wuerttemberg.de) unter Kartenservice LUBW | Schutzgebiete Kapitel 1

in den bislang ausgearbeiteten Managementplänen oftmals der Rückbau nicht (mehr) zur Energiegewinnung genutzter Querbauwerke als Entwicklungsziel festgehalten. In diesen Fällen besteht ein Zielkonflikt mit dem Ausbau der Wasserkraftnutzung.

Von weiterer Relevanz für die Zulassung von Wasserkraftanlagen können schließlich die Festsetzungen in Naturschutz- und Landschaftsschutzgebietsverordnungen oder biotop- und artenschutzrechtliche Vorschriften sein.

### 3.6.2 Fischereigesetz<sup>10</sup>

Das Fischereigesetz des Landes Baden-Württemberg regelt in erster Linie das Fischereirecht und die Ausübung der Fischerei. Daneben werden aber auch Vorgaben für den Schutz der Fischbestände formuliert. Die Paragraphen 39 (Maßnahmen an Anlagen zur Wasserentnahme und an Triebwerken), 40 (Fischwege) und 41 (Fischwege bei bestehenden Anlagen) haben dabei Auswirkungen auf die Wasserkraftnutzung. So ist der „Fischwechsel mit Fischwegen oder sonstigen für den Wechsel der Fische geeigneten Einrichtungen von ausreichender Größe und Wasserbeschickung anzulegen, zu betreiben und zu unterhalten“. Weiterhin sind Vorrichtungen anzubringen und zu unterhalten, die das Eindringen von Fischen in Anlagen zur Wasserentnahme oder Triebwerke verhindern.

### 3.6.3 Tierschutzgesetz<sup>11</sup>

Das Tierschutzgesetz der Bundesrepublik Deutschland ist zu dem Zweck erlassen worden, "aus der Verantwortung des Menschen für das Tier als Mitgeschöpf dessen Leben und Wohlbefinden zu schützen." In der Hauptsache werden mit diesem Gesetz Vorgaben für die Tierhaltung und -schlachtung sowie für die Durchführung von Tierversuchen festgehalten. Der Grundsatz, dass niemand einem Tier ohne vernünftigen Grund Schmerzen, Leiden oder Schäden zufügen darf, hat jedoch auch Auswirkungen auf die Wasserkraftnutzung. Insbesondere durch Turbinenpassagen und unzureichend konzipierte Fischschutzeinrichtungen wird Wirbeltieren in großer Zahl Schaden zugefügt. Da diese Schädigungen durch geeignete Fischschutzeinrichtungen drastisch reduziert werden können – die Erforderlichkeit der Tiertötung und -schädigung also nicht gegeben ist –, ist die Errich-

---

<sup>10</sup> Fischereigesetz für Baden-Württemberg (FischG) vom 14. November 1979. Stand: letzte berücksichtigte Änderung: § 8 geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 3. Dezember 2013 (GBl. S. 389, 440)

<sup>11</sup> Tierschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006 (BGBl. I S. 1206, 1313), das durch Artikel 3 des Gesetzes vom 28. Juli 2014 (BGBl. I S. 1308) geändert worden ist

tung derartiger Anlagen an Wasserkraftwerken aus tierschutzrechtlicher Sicht unter dem Vorbehalt einer Verhältnismäßigkeitsprüfung erforderlich.

### 3.6.4 EG-Aalverordnung<sup>12</sup>

Der Aal ist eine katadrome Fischart, die als juveniler Fisch (Glas- und Steigaal) aus dem Meer kommend, mitunter weit in die atlantischen Stromsysteme aufsteigt und dort den größten Teil des Lebens bis zum Eintritt der Geschlechtsreife verbringt. Die Fortpflanzung erfolgt jedoch ausschließlich in der im Westatlantik gelegenen Sargassosee. Geschlechtsreife Aale (Blankaale) führen daher stromabwärts gerichtete Laichwanderungen innerhalb der atlantischen Stromsysteme durch, um ins Meer zu gelangen und sich fortzupflanzen.

Die EG-AALVERORDNUNG (2007) wurde verabschiedet, nachdem die jährlich aus den Laichgebieten an die europäischen Küstengewässer gelangenden Glasaalbestände in jüngerer Vergangenheit auf eine höchst kritische, den europäischen Gesamtbestand gefährdende Größe zusammengeschrumpft sind. Dieser Befund geht auf verschiedene Faktoren zurück. Eine Ursache sind die im Rahmen der Abwanderung aus dem Binnenbereich eintretenden Mortalitätsverluste durch Turbinenpassagen an Wasserkraftanlagen.

**Tabelle 3-2:** Dem Aal-Einzugsgebiet zugeordnete Gewässer im baden-württembergischen Neckar-Einzugsgebiet gemäß Aalbewirtschaftungsplan – Flussgebietseinheit Rhein (LANUV NRW (Hrsg.) 2008)

Gewässername	von (Stadt, ggf. E = Einmündung)	bis (M = Mündung)	Fläche [ha]
Neckar	Rottenburg, E Starzel	M Rhein	2090
Elsenz	Zuzenhausen, E Schwarzbach	M Neckar	15
Enz	Pforzheim, E Nagold	M Neckar	182
Jagst	Ellwangen, E Rotbach	M Neckar	325
Kocher	Aalen, E Aal	M Neckar	371
Rems	Schorndorf, E Wieslauf	M Neckar	34

Diese Angaben zur Ausdehnung des Aal-Einzugsgebiets wurden durch eine Nachmeldung der Fischereiforschungsstelle aktualisiert. Zur Bearbeitung im Rahmen vorliegender Studie wurde ein dieser Nachmeldung entsprechendes Shapefile der Fischereiforschungsstelle BW, Stand 2013, herangezogen.

<sup>12</sup> EG-AALVERORDNUNG (2007): Verordnung (EG) Nr. 1100/2007 des Rates vom 18. September 2007 mit Maßnahmen zur Wiederauffüllung des Bestands des Europäischen Aals. Amtsblatt der Europäischen Union, L 248: 17-23.

Zur Umsetzung der EG-Aalverordnung wurden der EU-Kommission vorzulegende einzugsgebietsbezogene Aalbewirtschaftungspläne erstellt, in denen unterschiedliche Maßnahmen zum Schutz, zur Schonung und zur Förderung der verbliebenen Aalbestände formuliert sind. Ferner ist darin definiert, welche Gewässer aufgrund der Datenlage als Aal-Einzugsgebiete im Kontext der EG-Aalverordnung zu berücksichtigen sind (Tabelle 3-2). Der Neckar und seine Zuflüsse sind in dem im Dezember 2008 vorgelegten und durch Beschluss der Kommission vom 08.04.2010 genehmigten Aalbewirtschaftungsplan – Flussgebietseinheit Rhein (LANUV 2008) behandelt. Dieser enthält in Bezug auf den Gefährdungsfaktor Wasserkraft folgende für die vorliegende Studie relevanten Festlegungen:

- Errichtung neuer Wasserkraftanlagen im Aal-Einzugsgebiet nur mit funktionsfähigen Auf- und Abstiegsanlagen auch für Aale;
- die langfristige Ausstattung bestehender Kraftwerke mit geeigneten Schutzeinrichtungen und funktionierendem Bypass, wo dies technisch möglich ist;
- die kurz- bis mittelfristige zeitweilige Abschaltung/Drosselung der Kraftwerke in den Hauptwanderzeiten, soweit die Aalabwanderungszeiten hinreichend genau feststellbar sind;
- die Initialisierung so genannter "Fang & Transport"-Maßnahmen an Flüssen mit hoher Kraftwerksmortalität, solange die Installation geeigneter Schutzeinrichtungen sowie die zeitweilige Abschaltung/Drosselung nicht realisiert werden.

Damit wird deutlich, dass Maßnahmen zur Verbesserung der Abwanderungsraten für geschlechtsreife Aale dringend geboten sind. Im Aal-Einzugsgebiet des Neckarsystems (Tabelle 3-2) können diesbezüglich Rechen-Bypass-Systeme als technisch realisierbare und wirksame Lösungen zur Verbesserung der Aalabwanderung angesehen werden.

### 3.6.5 EG-Aquakulturrichtlinie<sup>13</sup>

Maßnahmen zum Schutz vor und zur Eindämmung von Fischseuchen berühren ebenfalls den Themenkomplex Gewässerdurchgängigkeit. In diesem Zusammenhang ist die EG-Aquakulturrichtlinie bzw. die auf nationaler Ebene gültige Fischseuchenverordnung<sup>14</sup> von Bedeutung. Demnach können Fischzuchtbetriebe und Anlagen, aber auch ganze Gewässerabschnitte oder Teileinzugsgebiete, die

---

<sup>13</sup> Richtlinie 2006/88/EG des Rates vom 24. Oktober 2006 mit Gesundheits- und Hygienevorschriften für Tiere in Aquakultur und Aquakulturerzeugnisse und zur Verhütung und Bekämpfung bestimmter Wassertierkrankheiten (Amtsblatt der Europäischen Union, L 328: 14 und L 140: 59)

<sup>14</sup> Fischseuchenverordnung vom 24. November 2008 (BGBl. I S. 2315), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 14. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2697)

nachweislich frei von meldepflichtigen Fischseuchen sind, den Status eines Schutzgebiets nach Fischseuchenverordnung (ehemals als "zugelassener Betrieb" bzw. "zugelassenes Gebiet" bezeichnet) zuerkannt bekommen. Dieser Status ist unter anderem mit restriktiven Regelungen zur Verbringung von Fischen oder zum Fischbesatz in das Schutzgebiet verbunden.

In Baden-Württemberg gelangte die Fischseuchenverordnung vergleichsweise umfangreich zur Anwendung, darunter auch in untersuchungsrelevanten Gewässern der vorliegenden Studie. Die stromabwärts gelegene Grenze seuchenfreier Schutzgebiete ist dabei in aller Regel an ein nicht durchgängiges Querbauwerk gebunden, welches die fischseuchenfreien Gewässerbereiche vor der Einschleppung von Fischkrankheiten durch einwandernde wildlebende Fische schützt. Die betreffenden Querbauwerke sind in Tabelle 3-3 zusammengestellt.

Naturgemäß kollidieren die getroffenen fischseuchenrechtlichen Vorkehrungen bei den in Tabelle 3-3 gelisteten Querbauwerken mit dem Ziel einer möglichst umfassenden Gewässerdurchgängigkeit. Ihre durchgängige Umgestaltung darf daher nur nach einvernehmlicher Abstimmung mit den zuständigen Fachbehörden (Fischereibehörde und Fischgesundheitsdienst) erfolgen. Die Erfordernisse angemessener Mindestabflussregelungen bleiben hiervon unberührt.

Aus fischökologischer Sicht wird der Verzicht auf die durchgängige Gestaltung fischseuchenrechtlich relevanter Querbauwerke als weitgehend unproblematisch eingeschätzt. Aufgrund der geringen Anzahl dieser Bauwerke werden die durch die EG-WRRRL<sup>15</sup> vorgegebenen Bewirtschaftungsziele hierdurch nicht zwangsläufig gefährdet. Eine detaillierte Prüfung muss dem Einzelfall vorbehalten bleiben.

---

<sup>15</sup> Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 327: 1-72)

**Tabelle 3-3:** Querbauwerke, welche die stromabwärts gelegene Grenze eines Schutzgebiets nach Fischseuchenverordnung<sup>16</sup> markieren; Stand Oktober 2016<sup>17</sup>.

UIS-ID	Wasserkörper Nr.	Gewässer	Bezeichnung und Vet. Nr. des Schutzgebiets
2.350.000.000.141 (RBW)	43-01	Enz	Wassereinzugsgebiet der Enz, D-BW-G-07, D-BW-VG-02
900.000.000.042 (RBW)	4-01	Lautenbach	Unterer Lautenbach, D-BW-F-09
920.000.000.127 (SBW)	41-09	Rohrbach	Wassereinzugsgebiet des Rohrbachs, D-BW-F-16
3.250.000.000.105 (RBW)	4-01	Lautenbach	Oberer Lautenbach, D-BW-F-06
610.000.000.137 (RBW)	41-06	Erms	Wassereinzugsgebiet der Erms, D-BW-G-08
570.000.000.120 (RBW)	49-02	Reisenbach	Wassereinzugsgebiet des Reisenbachs
630.000.000.075 (SBW)	47-11	Brettach	Wassereinzugsgebiet der Brettach, geplant
3.250.000.000.044 (RBW)	4-01	Schenkenbach	Schenkenbach, D-BW-F-38
3.250.000.000.043 (SBW)	4-01	Sulzbach	Sulzbach, D-BW-F-08
640.000.000.228 (RBW)	47-01	Kocher	Kocher, D-BW-F-42
560.000.000.042 (RBW)	44-01	Nagold	Wassereinzugsgebiet der oberen Nagold, D-BW-G-09
560.000.000.133 (RBW)	43-01	Enz	Wassereinzugsgebiet der Enz, D-BW-VG-02
560.000.000.240 (RBW)	44-02	Teinach	Wassereinzugsgebiet der Teinach, D-BW-G-12
590.000.000.091 (RBW)	40-06	Eyach	Wassereinzugsgebiet der Eyach und Stunzach
900.000.000.279 (SBW)	4-01	Lautenbach	Unterer Lautenbach, D-BW-F-09
560.000.000.051 (RBW)	44-01	Nagold	Wassereinzugsgebiet der Nagold bis auf Gemarkung Ebhausen gelegenem Wehr

<sup>16</sup> Fischseuchenverordnung vom 24. November 2008 (BGBl. I S. 2315), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 14. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2697)

<sup>17</sup> vgl. [http://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/menu/1296749\\_11/index.html](http://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/menu/1296749_11/index.html)

### 3.7 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)<sup>18</sup>

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz des Bundes hat den Gesetzeszweck,

*"eine nachhaltige Energieversorgung zu ermöglichen und [...] die Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien zu fördern".*

Das Gesetz verfolgt das Ziel, den Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromversorgung in Deutschland bis zum Jahr 2025 auf mindestens 40 Prozent zu erhöhen.

Um dieses Ziel zu erreichen, schafft das EEG ökonomische Anreize in Form festgelegter Vergütungssätze für Strom aus erneuerbaren Energien, die für Wasserkraftanlagen mit einer Leistung bis 5 MW und damit potenziell für alle im Rahmen dieser Studie betrachteten Standorte über einen Zeitraum von 20 Jahren gewährt werden. Die entsprechenden Vergütungsvorschriften sind eine wesentliche Grundlage zur Ermittlung eines technisch-ökonomisch-ökologischen Wasserkraftpotenzials. Die dieser Studie zugrunde liegenden Vergütungssätze aus § 23 EEG 2009<sup>19</sup> sind, soweit für die vorliegende Studie relevant, in Tabelle 3-4 zusammengefasst.

**Tabelle 3-4:** Vergütungssätze für Strom aus Wasserkraft nach EEG 2009 (Auszug)

Leistungsklasse	Neubau	Modernisierung
Bis einschließlich 500 kW	12,67 ct/kWh	11,67 ct/kWh
Bis einschließlich einer Leistung von 2 MW	8,65 ct/kWh	8,65 ct/kWh
Bis einschließlich einer Leistung von 5 MW	7,65 ct/kWh	8,65 ct/kWh

Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass ein Anspruch auf die Vergütung nach EEG nur besteht, wenn die Wasserkraftanlage den Anforderungen der §§ 33 bis 35 und 6 Absatz 1, Satz 1 Nummer 1 und 2 des Wasserhaushaltsgesetzes entspricht, also an Ausleitungskraftwerken ein ökologisch ausreichender Mindestabfluss gewährleistet, die Durchgängigkeit des Gewässers gesichert und Maßnahmen zum Schutz der Fischpopulationen ergriffen sind.

<sup>18</sup> Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014, zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 22. Juli 2014 (BGBl. I S. 1218)

<sup>19</sup> Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 20. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2730) geändert (Zur Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der Studie für die anderen Teilräume Baden-Württembergs wurden die Vergütungssätze aus § 23 EEG 2009 anstelle der aktuell gültigen Vergütungssätze des am 1. August 2014 in Kraft getretenen, novellierten EEG verwendet.)

### 3.8 Status der Wasserkraft in Baden-Württemberg

Innerhalb der Bundesrepublik Deutschland verfügt das Land Baden-Württemberg nach Bayern über die zweitgrößten Potenziale zur Nutzung der Wasserkraft (Anderer et al. 2010).

Die Wasserkraft ist in Baden-Württemberg der wichtigste erneuerbare Energieträger. Im Jahr 2014 wurden in Baden-Württemberg durch Wasserkraftanlagen insgesamt 4,8 TWh Strom erzeugt. Das sind 32,5 % der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen und entspricht einem Anteil von 6,5 % am Stromverbrauch des Landes (Umweltministerium Baden-Württemberg (Hrsg.) 2014). Die Erzeugung von Strom aus Wasserkraft vermied damit im Jahr 2012 ca. 4 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zur Energieerzeugung aus fossilen Energieträgern. Insgesamt ist im Land an ca. 1.700 Wasserkraftanlagen (ohne Pumpspeicherkraftwerke) eine Leistung von knapp 850 MW installiert.

Politisches Ziel der Landesregierung ist es, den Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung in Baden-Württemberg von 13,6 % im Jahr 2008 auf über 36 % im Jahr 2020 zu steigern. Im Energiekonzept Baden-Württemberg 2020 (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.) 2009) wird für die Wasserkraft ein Ausbau des im Land installierten Regelarbeitsvermögens von 4,9 TWh/a auf 5,5 TWh/a pro Jahr angestrebt. Das zusätzliche Regelarbeitsvermögen von ca. 600 GWh/a soll dabei aus den in Tabelle 3-5 aufgeführten Teilen zusammengesetzt sein (Schmidt et al. 2008).

**Tabelle 3-5:** Ausbaupotenzial der Wasserkraft in Baden-Württemberg nach Schmidt et al. (2008)

Standort/Anlagengröße	Ausbaupotenzial GWh/a
Rheinfelden <sup>1), 2)</sup>	ca. 300
Albbruck-Dogern <sup>1), 3)</sup>	ca. 62
Iffezheim <sup>1), 4)</sup>	ca. 62
Ausbau weiterer Hochrheinkraftwerke (erst nach 2020)	ca. 160
Sonstige Wasserkraftanlagen > 5 MW	65
Wasserkraftanlagen zwischen 1 MW und 5 MW	75
Wasserkraftanlagen < 1 MW	150
SUMME (ohne Hochrheinkraftwerke nach 2020)	ca. 715
<sup>1)</sup> nur deutscher Anteil bei Grenzkraftwerken, <sup>2)</sup> Inbetriebnahme 2011, <sup>3)</sup> Inbetriebnahme 2009, <sup>4)</sup> Inbetriebnahme 2013	

Die zusätzlichen Potenziale sollen in erster Linie durch Sanierung und energetische Optimierung bestehender Anlagen erschlossen werden. Der Neubau von Anlagen ist nur an bestehenden Querbauwerken, wie z. B. Sohlenschwellen und Kulturwehren, vorgesehen und strebt parallel eine Verbesserung des ökologischen Zustands an diesen Querbauwerken an.

Um auch Modernisierungspotenziale an kleineren Anlagen zu erschließen, an denen die Vergütungssätze des EEG keinen ausreichenden ökonomischen Anreiz darstellen, empfehlen Schmidt et al. (2008) dem Land, insbesondere Wasserkraftbetreiber und Wasserbehörden bei der Suche nach einvernehmlichen Lösungen für die Anlagenmodernisierung zu unterstützen.

Im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars sind rund 825 Laufwasserkraftwerke bekannt (Quelle Umweltinformationssystem Baden-Württemberg, Stand 2016). Der Neckar und seine Zuflüsse werden also bereits intensiv zur Gewinnung von Energie genutzt. Die größten Wasserkraftanlagen finden sich entlang der Bundeswasserstraße Neckar zwischen Plochingen und Mannheim. Hier besitzen 27 Wasserkraftanlagen ein Regelarbeitsvermögen von ca. 575 GWh/a.

Die Ergebnisse der im Rahmen dieser Studie durchgeführten Erhebungen zur Wasserkraftnutzung im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars sind in Kapitel 7.1 dargestellt.

## 4 Datengrundlagen

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden verschiedene Datengrundlagen aus den Bereichen Wasserwirtschaft, Gewässerökologie und Energiewirtschaft erhoben und zum Zwecke der Potenzialermittlung aufbereitet. Diese Daten werden nach Projektende an die Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes übergeben.

### 4.1 Wasserwirtschaftliche Daten

Folgende Daten der Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes Baden-Württemberg fanden Eingang in die Ermittlung der Ausbaupotenziale der Wasserkraft im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Oberrheins:

- Auszüge aus dem Anlagenkataster Wasserbau (AKWB)<sup>20</sup>,
- Amtliches digitales wasserwirtschaftliches Gewässernetz (AWGN) Stand 2015,
- Hydrologische Daten,
- Daten zum wasserrechtlichen Status bestehender Wasserkraftanlagen,
- Technische Daten aus den Triebwerksakten bestehender Wasserkraftanlagen sowie aus Plan- bzw. Genehmigungsunterlagen geplanter Anlagen.

#### 4.1.1 Daten des Anlagenkatasters Wasserbau (AKWB)

Durch die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) wurden dem Büro am Fluss im Juni 2016 Daten zu folgenden wasserwirtschaftlichen Objekten im Bereich des baden-württembergischen Einzugsgebiets des Oberrheins in Form von Shape-Dateien zur Verfügung gestellt:

- Wasserkraftanlagen,
- Regelungsbauwerke,
- Sohlenbauwerke inklusive Abstürze,  
nach DIN 4047/ Teil 5 bzw. DIN 19661/Teil2: Sohlenstufen: Absturz, Absturztreppe, Sohlenrampe, Sohlengleite und Schwellen: Stützwehr, Grundschwelle, Sohlenschwelle

---

<sup>20</sup> Alle in dieser Studie behandelten Standorte sind mit einer Identifikationsnummer im Umweltinformationssystem Baden-Württemberg (UIS BW) verbunden. Wasserbauliche Anlagen werden im Rahmen des AKWB im Informationssystem Wasser, Immissionsschutz, Boden, Abfall, Arbeitsschutz (WIBAS) als Teil des UIS geführt.

- Anlagen zur Herstellung der Durchgängigkeit.

Die in den Shape-Dateien enthaltenen Sachdaten wurden zur weiteren Bearbeitung in eine Access-Datenbank importiert. Dort wurden sie in nach Bauwerkstyp getrennten Tabellen geführt und ggf. um notwendige weitere Datenfelder erweitert. Auf diese Weise war gewährleistet, dass alle neu erhobenen Daten immer über die UIS-Nummer mit dem im AKWB geführten Bauwerk verknüpft waren. Auch die Berechnung von Wasserkraftpotenzialen erfolgte stets getrennt nach den Objektarten des AKWB.

Insgesamt umfassten die übermittelten Daten:

- 1.179 Regelungsbauwerke,
- 854 Wasserkraftanlagen,
- 3.278 Sohlenbauwerke sowie
- 441 Anlagen zur Herstellung der Durchgängigkeit.

Bei diesem historisch gewachsenen Bestand ist zu beachten, dass die allermeisten wasserbaulichen Anlagen bzw. Querbauwerke enthalten sind, allerdings die Bezeichnung Wehr manchmal irreführend sein kann. Auch ist beim beschriebenen Datensatz der Ersatz von Querbauwerken durch raue Rampen unberücksichtigt. Die vorliegenden Angaben erhalten keine Informationen zum faktischen Erscheinungsbild vor Ort, d.h. es enthält keine Informationen wie

- Verlust – ganz oder teilweise – der Funktion eines Bauwerks (z. B. Sicherung der Gewässer-  
sohle, Aufstau),
- (noch) Abdeckung einer maßgeblichen Gewässerbreite,
- bereits eingetretener Verfall des Querbauwerks.

Je weiter das faktische Erscheinungsbild sich aufgrund solcher Aspekte einer frei fließenden Strecke angenähert hat, umso eher können fischökologische Belange – z. B. die Zerstörung von Laichplätzen bei einem zusätzlichen Aufstau oder Ausbau – gegeben sein, die einer Wasserkraftnutzung entgegenstehen.

Die Informationen über die ca. 800 Wasserkraftanlagen < 1 MW Leistung im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars waren bis zur Erarbeitung der Potenzialstudie im Jahr 2010 (Heimerl et al. 2011) von heterogener Qualität. Aufgrund der Regelungen des EEG stehen für die Jahre 2006 bis 2013 zumindest für die in das Stromnetz einspeisenden Anlagen jährliche Angaben über die erzeugte Strommenge und die erhaltene Vergütung zur Verfügung. Diese Daten wurden für

diese Untersuchung mit den wasserwirtschaftlichen Daten der öffentlichen Verwaltung so weit als möglich verknüpft und abgeglichen.

Im Rahmen der vorliegenden Aktualisierung der Potenzialstudie für das Neckar-Einzugsgebiet erfolgten keine Datenerhebungen im Gelände. Entsprechende Informationen zu biologischen Durchgängigkeit der Querbauwerke oder dem Betriebsstatus der Wasserkraftanlagen wurden dem Auszug aus dem AKWB entnommen.

Im AKWB ggf. vorhandene Datenlücken und Datenunschärfen wurden bei den relevanten Objekten auf die in Tabelle 4-1 beschriebene Weise ergänzt bzw. korrigiert, um eine möglichst vollständige und umfassende Datengrundlage für die spätere Potenzialberechnung zu erhalten.

**Tabelle 4-1:** Ergänzungen und Korrekturen an Daten aus dem AKWB

Datenfeld	Vorgenommene Ergänzungen und Korrekturen
<b>Objekt Wasserkraftanlagen</b>	
Nettofallhöhe	Soweit die AKWB-Daten keine Angaben zur Nettofallhöhe enthielten, wurden diese aus den Originaldaten der Wasserkraftpotenzialstudie von 2010 übernommen, soweit keine entgegengesetzten Informationen vorlagen (z.B. Historisierung: „Anlage zurückgebaut“)
Status	Angaben zum Status der Wasserkraftanlagen wurden in Einzelfällen auf folgenden Grundlagen geändert: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktuelle Informationen der unteren Wasserbehörden</li> <li>• Daten zur Einspeisung von Strom nach EEG</li> <li>• Persönliche Informationen des Büro am Fluss e.V. aus anderen aktuellen Projekten</li> </ul>
<b>Objekt Regelungsbauwerke</b>	
Wasserspiegeldifferenz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soweit die AKWB-Daten keine Angaben zur Nettofallhöhe enthielten, wurden diese aus den Originaldaten der Wasserkraftpotenzialstudie von 2010 übernommen, soweit keine entgegengesetzten Informationen vorlagen (z.B. Historisierung: „Anlage zurückgebaut“)</li> </ul>
<b>Objekt Sohlenbauwerke</b>	
Wasserspiegeldifferenz	Soweit die AKWB-Daten keine Angaben zur Nettofallhöhe enthielten, wurden diese aus den Originaldaten der Wasserkraftpotenzialstudie von 2010 übernommen, soweit keine entgegengesetzten Informationen vorlagen (z.B. Historisierung: „Anlage zurückgebaut“)

Prüfung und Übernahme der geänderten Daten zu wasserbaulichen Anlagen in das UIS BW stehen in aller Regel in der Verantwortung der zuständigen datenführenden Stellen.

In wenigen Einzelfällen wurden die Daten aus dem AKWB um zusätzliche Datensätze ergänzt, wenn entsprechende Informationen aus anderen laufenden Projekten vorlagen. In der Datenbank wurde jedem neuen Datensatz eine interne UIS-Nummer nach dem nachfolgend beschriebenen System vergeben.

In der zwölfstelligen Nummer geben die ersten vier Ziffern den Oberflächenwasserkörper wieder, in dem sich das Bauwerk befindet, z. B. liegt das Bauwerk mit der vorläufigen UIS-Nummer 33030000001 im Wasserkörper 33-03-or4. Entsprechend dem Aufbau des AKWB wurden neue Bauwerke getrennt nach Wasserkraftanlagen, Regelungsbauwerken, Sohlenbauwerken und Anlagen zur Herstellung der Durchgängigkeit erhoben.

Soweit möglich wurden für neu in die Bearbeitung aufgenommene Bauwerke alle verfügbaren Informationen erhoben und in der Datenbank dokumentiert. Alle Daten werden dem Auftraggeber am Ende der Arbeiten in digitaler Form als File-Geodatabase für geografische Informationssysteme bzw. Shapes zur Verfügung gestellt.

#### **4.1.2 Wasserrechtliche Informationen**

Im Zuge der Aktualisierung der Potenzialstudie 2016 für das Neckar-Einzugsgebiet fanden keine Recherchen zum wasserrechtlichen Status der Wasserkraftanlagen statt. Im Zuge der standardisierten Abschätzung von Wasserkraftpotenzialen spielt aber der wasserrechtliche Status von aktuell nicht betriebenen Ausleitungskraftwerken eine Rolle. In Abstimmung mit dem Auftraggeber erfolgte daher folgende pauschale Zuordnung:

- Für Wasserkraftanlagen, deren Status laut AKWB „außer Betrieb, stillgelegt“ ist, wird angenommen, dass keine wasserrechtliche Genehmigung mehr vorliegt. Hier wird nur der Bau eines Flusskraftwerks am Regelungsbauwerk geprüft.
- Für Wasserkraftanlagen, deren Status laut AKWB „außer Betrieb, betriebsfähig“ ist, wird angenommen, dass noch eine wasserrechtliche Genehmigung vorliegt. Hier wird die Reaktivierung der Anlage als Ausleitungskraftwerk geprüft.

#### **4.1.3 Technische Daten bestehender Wasserkraftanlagen**

Im Zuge der Aktualisierung der Potenzialstudie 2016 für das Neckar-Einzugsgebiet fanden keine Recherchen zu technischen Parametern der Wasserkraftanlagen statt. Für Wasserkraftanlagen mit dem Status „in Betrieb“, zu denen keine Angabe der elektrischen Anlagenleistung aus EEG-Daten vorlagen,

wurde – soweit bekannt – aus den Daten der Potenzialstudie 2010 Angaben zum Gesamtschluckvermögen der Anlage zu Abschätzung der Anlagenleistung herangezogen.

#### **4.1.4 Hydrologische Daten**

Die in der vorliegenden Studie verwendeten hydrologischen Daten wurden mittels der Anwendung Abfluss-BW (Stand 2016) generiert. Nähere Details zur Vorgehensweise können (Heimerl et al. 2011) entnommen werden.

## **4.2 Gewässerökologische und fischereiliche Datengrundlagen**

Um die im Rahmen des Projekts geforderten fischökologischen Fragestellungen sachgerecht bearbeiten zu können, war in erster Linie ein Abgleich der geografischen Lage der für die Studie relevanten Querbauwerksstandorte mit dem Status des jeweiligen Gewässers zum Arten- und Fischseuchenschutz sowie zum Migrationsbedarf der Referenz-Fischzönosen vorzunehmen. Hierfür konnte zurückgegriffen werden auf:

- GIS-Shapes der in Baden-Württemberg ausgewiesenen FFH-Gebiete, Naturschutzgebiete und der geschützten Biotop nach Naturschutzgesetz mit Bearbeitungsstand September 2016;
- einen GIS-Shape zum Migrationsbedarf der Fischfauna in den Fließgewässern Baden-Württembergs gemäß Dußling (2005) mit Bearbeitungsstand November 2015 (Dußling 2014);
- einen GIS-Shape zum baden-württembergischen Aal-Einzugsgebiet (FFS 2013)
- eine Liste der baden-württembergischen Schutzgebiete gemäß Fischseuchenverordnung (2008) mit Bearbeitungsstand Oktober 2016.

Zudem wurden die historischen Verbreitungsgebiete des atlantischen Lachses und der Meerforelle nach den Angaben in Dußling (2006) berücksichtigt.

## **4.3 Daten über die Stromeinspeisung aus Wasserkraftanlagen nach EEG**

Um einen Überblick über die aktuell im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars in das Netz einspeisenden Wasserkraftanlagen zu gewinnen, und zur Plausibilisierung der errechneten Potenziale wurden Daten zur Einspeisung von Wasserkraftanlagen nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) erhoben.

Zu diesem Zweck wurden die öffentlich zugänglichen Daten über Wasserkraftanlagen ausgewertet, die nach dem EEG vergütet werden. Hierzu dienten insbesondere die Daten, die die EnBW Transportnetze AG im Internet<sup>21</sup> zur Verfügung stellt, sowie Daten weiterer Netzbetreiber, die öffentlich zugänglich sind. Mittels dieser Daten wurden in der Datenbank die Anlagenschlüssel nach EEG mit den UIS-Nummern der Wasserkraftanlagen verknüpft, um die weitere Auswertung zu erleichtern. Aus den öffentlich zugänglichen Daten wurden Daten zur Einspeisung aus den Jahren 2007 bis 2013 sowie der für die Anlagen zuständige Netzbetreiber erhoben.

## 4.4 Unschärfen bei den verwendeten Datengrundlagen

### 4.4.1 Hydrologische Daten

Gemäß LUBW 2007 ist bei den mit Hilfe des Informationssystems BW\_Abfluss errechneten Abflusswerten für den MQ mit einem Fehlerbereich von  $\pm 10\%$  und für den MNQ mit einem Fehlerbereich von  $\pm 15\%$  zu rechnen. In kleinen Einzugsgebieten, insbesondere  $< 5 \text{ km}^2$  sind die Unsicherheiten deutlich größer.

### 4.4.2 Daten über die Stromeinspeisung aus Wasserkraftanlagen nach EEG

Im Internet sind die Daten zu den nach EEG vergüteten Wasserkraftanlagen nur mit unvollständigen Angaben zur Lage der Anlage verknüpft. In der Folge ist die Zuordnung der EEG-Daten zu Wasserkraftanlagen immer dort mit Unsicherheiten verbunden, wo auf engem Raum viele Wasserkraftanlagen installiert sind.

Trotz der Verwendung ergänzender Informationen, wie der Angaben zur Anlagenleistung oder Modernisierung der Anlage laut Wasserbehörde, die anhand der Einspeisevergütung nachvollzogen werden kann, konnte nicht immer eine zweifelsfreie Zuordnung erfolgen. Darüber hinaus enthalten die EEG-Daten auch Informationen über Wasserkraftanlagen, die im Kataster wasserbaulicher Anlagen nicht geführt werden. Neben Laufwasserkraftanlagen, die aus unterschiedlichen Gründen nicht im AKWB geführt werden, fallen unter diese Kategorie auch Wasserkraftanlagen, die im Verbund mit Kläranlagen und Trinkwasserversorgungsanlagen betrieben werden und nicht Gegenstand dieser Studie sind.

Nach der Änderung der Datenstruktur der EEG-Daten ab 2015 ist eine Zuordnung der Datensätze zu den Anlagen des AKWB nur noch teilweise möglich.

---

<sup>21</sup> <https://www.transnetbw.de/de>

## 5 Ökologische Arbeitswerte für die Potenzialermittlung

Nach dem Wasserkrafterlass Baden-Württemberg werden ökologische Abflüsse in einem zweistufigen Verfahren ermittelt. In einem ersten Schritt wird dabei ein Orientierungswert auf Basis von Abflusscharakteristiken festgelegt. In Abhängigkeit der Rahmenbedingungen eines Standorts werden dann die spezifischen fischökologischen Anforderungen mit berücksichtigt, um ausgehend vom Orientierungswert ökologisch erforderliche Abflüsse herzuleiten. Diese ökologischen Abflüsse müssen die Durchwanderbarkeit des von der Wasserkraftnutzung beeinflussten Gewässerabschnitts sowie die ökologische Funktionsfähigkeit von Ausleitungsstrecken sicherstellen. Um hierfür belastbare Abflüsse ermitteln zu können, ist eine ausgiebige Einzelfallbetrachtung notwendig, in der Regel anhand der Durchführung einer Detailstudie. Im Rahmen vorliegender Studie war dies jedoch weder möglich noch beabsichtigt. Stattdessen wurde das Ziel verfolgt, Arbeitswerte für ökologische Abflüsse zu ermitteln, die standardisiert in die Potenzialberechnung der Standorte einfließen können.

Entsprechend der zweistufigen Herangehensweise nach dem Wasserkrafterlass wurden in vorliegender Studie zwei unterschiedliche Ansätze ausgearbeitet, die parallel verfolgt wurden:

- Szenario 1:** Annahme ökologischer Abflüsse ausschließlich vor dem Hintergrund des im Wasserkrafterlass Baden-Württemberg genannten Orientierungswertes<sup>22</sup>.
- Szenario 2:** Annahme spezifischer ökologischer Abflüsse in standardisierter Weise nach fischökologischen Anforderungen, die von Rahmenbedingungen des Standorts abhängen sind, orientiert am Wasserkrafterlass Baden-Württemberg.

Die grundsätzliche Vorgehensweise wurde bereits in der Vorgängerstudie für das Neckargebiet festgelegt (Heimerl et al. 2011). Nach diesem Muster wurden anschließend in Rücksprache mit der begleitenden Arbeitsgruppe auch die Studien zu den Einzugsgebieten Donau, Alpenrhein/Bodensee, Hochrhein, Oberrhein und Main erarbeitet (Heimerl et al. 2015d, Heimerl et al. 2015b, Heimerl et al. 2015a, Heimerl et al. 2015c, Heimerl et al. 2016). Da bei den Studien aus den Jahren 2015 und 2016 zudem fischökologische Besonderheiten der jeweiligen Gebiete berücksichtigt und höhere Anforderungen zugrunde gelegt wurden, war eine Vergleichbarkeit mit der ursprünglichen Neckarstudie nur noch eingeschränkt gegeben. Auch aus diesem Grund war vorliegende Überarbeitung des Neckargebiets angezeigt. In den folgenden Kapiteln 5.1-5.3 sind alle der vorliegenden Studie zugrundeliegenden standardisierten Berechnungsverfahren für ökologische Abflüsse aufgeführt.

---

<sup>22</sup> 1/3 MNQ für Ausleitungskraftwerke. Bei Flusskraftwerken wurde pauschal eine Dotation der notwendigen Fischaufstiegsanlage von 1/6 MNQ angenommen.

Zur Verwendung der Studie ergeben sich aus den vorgängigen Erläuterungen folgende Einschränkungen:

1. Aufgrund der standardisierten Herangehensweise ist die erarbeitete Information ausschließlich dazu geeignet, flussgebietsbezogene Bilanzierungen und erste, grobe Abschätzungen für einzelne Standorte durchzuführen.
2. Die festgelegten Arbeitswerte sind ausschließlich für das betrachtete Bearbeitungsgebiet gültig. Eine direkte Übertragbarkeit zur standardisierten Betrachtungsweise von Standorten außerhalb des Neckargebietes ist aufgrund abweichender fischökologischer Anforderungen nicht gegeben.
3. Die festgelegten Arbeitswerte lassen keine allgemein gültigen Rückschlüsse auf die Abflussmenge zu, die zur Sicherstellung der fischökologischen Funktionsfähigkeit am jeweiligen Standort bzw. dessen Ausleitungsstrecke tatsächlich benötigt wird. Die abschließende Ermittlung von ökologischen Abflüssen für konkrete Einzelfälle bleibt umfangreichen, fachlichen Prüfungen vorbehalten. Die im Rahmen vorliegender Studie durchgeführten standardisierten Berechnungen können das Ergebnis einer Detailstudie auch nicht abschätzend vorwegnehmen. Ebenso kann auch die Notwendigkeit einer zweiten Fischaufstiegsanlage am Krafthaus und eines Rechen-Bypasses erst im Rahmen einer Detailstudie abschließend geklärt werden.

Aus diesen Gründen können die Berechnungen auch bei standardisierter Berücksichtigung spezifischer ökologischer Abflüsse (Szenario 2) im konkreten wasserrechtlichen Verfahren nicht ungeprüft übernommen werden. Bei der Durchführung eines zweistufigen Verfahrens zur Ermittlung des ökologischen Abflusses sind zusätzliche ökologische Fragestellungen zu berücksichtigen, die im Rahmen eines standardisierten Verfahrens nicht berücksichtigt werden können. Zu diesen weitergehenden Fragestellungen gehören insbesondere die folgenden Überlegungen:

### **Herstellung der Durchgängigkeit an Wasserkraftanlagen**

Die Wasserkraftpotenzialberechnungen berücksichtigen jene fischökologischen Erfordernisse, die die Herstellung der Durchgängigkeit an einer üblichen Wasserkraftanlage betreffen. Für die hierfür veranschlagten Dotationsmengen wurden in der Regel Mindestwerte aus der Fachliteratur für den Fall einer Schlitzpassanlage herangezogen, wie sie nach dem aktuellen Stand der Technik errichtet werden kann. Je nach Typ und Bauweise der Fischaufstiegsanlage wird eine zusätzliche Beaufschlagung mit Dotierwasser erforderlich sein, um die Funktionsfähigkeit der Anlage sicherzustellen. Ebenso

können zur Sicherung des Aufstiegs lokal relevanter Arten und Größenklassen ein zweiter Einstieg, eine weitere Fischaufstiegsanlage und/oder eine höhere Wassermenge erforderlich sein.

Diese Einschränkungen gelten in gleicher Weise auch für die Berücksichtigung von Fischabstiegs-/Fischschutzeinrichtungen.

Die Wasserkraftpotenzialberechnungen berücksichtigen nicht die erforderliche Auffindbarkeit der Fischaufstiegsanlage für die Fische, da diese wesentlich abhängig ist von Gestaltung und baulicher Einbindung der Anlage, konkurrierenden Strömungen, Anordnung der Turbinenausläufe, der Gewässermorphologie des Unterwassers und den betrachteten Fischarten.

Die Potenzialberechnungen berücksichtigen mit Ausnahme der Standorte in Abschnitten mit hohem Migrationsbedarf nur die Anlage **einer** Fischaufstiegsanlage. Je nach Typ und Bauweise der Wasserkraftanlage kann der Bau mehrerer Fischaufstiegsanlagen erforderlich sein – auch in Gewässern, für die kein hoher Migrationsbedarf ausgewiesen ist (z. B. am Wehr und am Krafthaus).

### **Durchwanderbarkeit von Ausleitungsstrecken**

Die Potenzialberechnungen mit den standardisiert veranschlagten ökologischen Abflüssen berücksichtigen nicht die für die Durchwanderbarkeit von Ausleitungsstrecken spezifisch erforderlichen Abflüsse und Wasserstände in der Ausleitungsstrecke, da diese in starkem Maße abhängig sind von der Gewässermorphologie des Unterwassers und den betroffenen Fischarten.

### **Fischökologische Funktionsfähigkeit von Ausleitungsstrecken**

Spezielle Erfordernisse zum Erhalt bestehender bzw. zur Wiederherstellung durch Wasserkraftnutzung zerstörter Fischlebensräume (Kieslaichflächen, Deckungsstrukturen, Altarmbindung, Überschwemmungsflächen etc.) sind in den Wasserkraftpotenzialberechnungen hier noch nicht berücksichtigt. Hierzu zählen auch Aspekte der Gewässerdynamik in Ausleitungsstrecken und ihr Zusammenhang mit dem Ausbaugrad der Wasserkraftanlagen. Wird bspw. das Schluckvermögen einer Wasserkraftanlage erhöht, um die energetische Nutzung eines Wasserkraftpotenzials zu optimieren, führt dies meist zu einer ökologischen Verschlechterung in der Ausleitungsstrecke.

### **Weitere ökologische Belange**

Die Potenzialberechnungen berücksichtigen ausschließlich fischökologische Erfordernisse. Die ökologischen Belange weiterer Tiere oder Pflanzen des aquatischen Lebensraumes, der Auen oder der gewässerbegleitenden terrestrischen Strukturen sowie landschaftsökologische Belange sind noch nicht berücksichtigt.

Zwar kann sich im konkreten Einzelfall nach eingehender Detailuntersuchung der wichtigsten ökologischen Fragestellungen herausstellen, dass der in vorliegender Studie angenommene ökologische Abfluss nach Szenario 2 für den ordnungsgemäßen Betrieb der entsprechenden Wasserkraftanlage ausreichend ist. Andererseits können nach standortspezifischer Berücksichtigung der wesentlichen ökologischen Belange auch beträchtliche zusätzliche Wasserabgaben erforderlich sein.

## 5.1 Szenario 1 – Orientierungswerte nach Wasserkrafterlass

Die angenommenen Arbeitswerte zu ökologischen Abflüssen in Szenario 1 orientieren sich ausschließlich an den hierzu im Wasserkrafterlass Baden-Württemberg enthaltenen quantitativen Vorgaben. Bei dieser Betrachtungsweise werden weder ökologische Rahmenbedingungen der Standorte noch spezifische Erfordernisse zur Sicherstellung der Gewässerdurchgängigkeit berücksichtigt.

Für **Ausleitungskraftwerke** wird im Wasserkrafterlass ein Orientierungswert von 1/3 MNQ zur Mindestdotations von Ausleitungsstrecken vorgegeben. Dieser Wert wurde auch für die Potenzialberechnung nach Szenario 1 herangezogen. Mit diesem Mindestabfluss muss gemäß Wasserkrafterlass theoretisch auch die Gewässerdurchgängigkeit hergestellt werden. Daher ist aus fischökologischer Sicht anzustreben, dass der für Szenario 1 angenommene ökologische Abfluss von 1/3 MNQ auch vollständig für die Dotation der Fischaufstiegsanlage zur Verfügung steht. Unter dieser Vorgabe entfällt eine energetische Mindestwassernutzung.

Demgegenüber gibt der Wasserkrafterlass keinen Orientierungswert für Flusskraftwerke vor. Bei Flusskraftwerken entsteht keine Ausleitungsstrecke von bedeutendem Ausmaß, da das zur Energiegewinnung entnommene Wasser in der Regel direkt unterhalb des Regelbauwerks wieder rückgeleitet wird. Demnach ist an diesen Anlagen aus fischökologischer Sicht lediglich die Durchgängigkeit herzustellen. In der Praxis wird derzeit unter normalen Bedingungen häufig etwa 1/6 MNQ zur Dotation der Fischaufstiegsanlage angesetzt. Dieser Wert wurde daher auch zur Berechnung der Wasserkraftpotenziale in Szenario 1 verwendet.

Im Rahmen vorliegender Studie sind als Flusskraftwerke Anlagen definiert, bei denen der zur Energieerzeugung genutzte Abfluss unmittelbar unterhalb des Querbauwerks wieder in das Gewässerbett zurückgeführt wird und bei denen keine fischökologisch relevante Gewässerstrecke mit verringerter Restwasserführung entsteht. Sofern in den Datenbeständen als Flusskraftwerk geführte Anlagen diese Bedingungen aufgrund ihrer derzeitigen baulichen Konstruktion nicht erfüllen, wurden sie in Bezug auf die Berechnung der Wasserkraftpotenziale im Rahmen vorliegender Studie wie Ausleitungskraftwerke (d. h. unter Berücksichtigung einer Mindestdotations von 1/3 MNQ für den Fischauf-

stieg) behandelt. Regelungsbauwerke, die aktuell kein Wasser zur Wasserkraftnutzung ausleiten, und Sohlenbauwerke fließen in die Potenzialberechnung wie Flusskraftwerke ein.

Sämtliche in Kapitel 5.3 aufgeführten Werte und Annahmen entsprechen vollständig den entsprechenden Vorgaben, unter denen die Vorgängerstudie für das Neckargebiet (Heimerl et al. 2011) erstellt wurde. Bezüglich des Szenario 1 besteht daher eine direkte Vergleichbarkeit zwischen vorliegendem Bericht und der Neckarstudie.

## 5.2 Szenario 2 – Spezifische ökologische Abflüsse nach Wasserkrafterlass

Im Szenario 2 werden zusätzlich ökologische Rahmenbedingungen der Standorte und spezifische Anforderungen an die Herstellung der Gewässerdurchgängigkeit betrachtet. Im Einzelnen werden dabei für die Berechnung ökologischer Gesamtabflüsse ( $Q_{\text{ök}}$ ) berücksichtigt:

- Mindestabflüsse für Ausleitungsstrecken ( $Q_{\text{min}}$ );
- Abflüsse zur Dotation von Fischaufstiegsanlagen an Regelungsbauwerken ( $Q_{\text{FAA1}}$ ) und, sofern aus fischökologischer Sicht erforderlich, im Bereich von Krafthäusern ( $Q_{\text{FAA2}}$ );
- Abflüsse zur Dotation von Rechen-Bypass-Systemen für den Fischabstieg ( $Q_{\text{Bypass}}$ ).

Für Ausleitungskraftwerke entspricht dabei  $Q_{\text{ök}}$  dem  $Q_{\text{min}}$  für jene Fälle, in denen am Krafthaus keine zweite Fischaufstiegsanlage (FAA2) und keine Fischabstiegshilfe (Bypass) angenommen wurde. (Da Fischabstiegsanlagen grundsätzlich berücksichtigt wurden und in der Regel in den Unterwasserkanal münden, entspricht  $Q_{\text{min}}$  dem  $Q_{\text{ök}}$  abzüglich der Summe aus  $Q_{\text{Bypass}}$  und  $Q_{\text{FAA2}}$ .)

Zur Herleitung von Arbeitswerten wurden fischökologische Besonderheiten im Neckarsystem berücksichtigt. Dabei ist insbesondere das historische Vorkommen der Langdistanzwanderfische Lachs und Aal zu nennen, die in den Neckar und zahlreiche seiner Nebengewässer gezogen sind (Dußling und Berg 2001). Aber auch andere Langdistanzwanderfische sind aus der Nordsee bis ins Neckarsystem eingeschommen, so das Fluss- und das Meerneunauge, die Meerforelle und der Maifisch. All diese Fischarten haben aktuell einen hohen Gefährdungsstatus im Neckarsystem: Der Maifisch wird als verschollen geführt, Fluss- und Meerneunauge, Lachs und Meerforelle sind vom Aussterben bedroht und der Aal gilt als stark gefährdet (Baer et al. 2014).

Zwar enthält das Neckarsystem keine Programmgewässer zur Wiederansiedlung des Lachses, dennoch hat der Lachs für vorliegende Studie als Indikatorart einen besonderen Stellenwert, da

- er erhöhte ökologische Anforderungen an durch Wasserkraftnutzung beeinflusste Gewässerabschnitte stellt, deren Berücksichtigung zahlreichen anderen Fischarten verbesserte Lebensbedingungen gewährleistet,
- sein historisches Verbreitungsgebiet das historisch belegte Vorkommen anderer Langdistanzwanderer wie Meerforelle, Maifisch, Fluss- und Meerneunauge komplett abdeckt.

Daher wurden analog zu den Gebieten Oberrhein, Hochrhein und Main, in denen Lachse ebenfalls heimisch waren, vereinbart, dass aus fischökologischen Gründen das historische Verbreitungsgebiet des Lachses im Rahmen vorliegender Studie berücksichtigt wird.

Der Aal hat deutlich abweichende Ansprüche, insbesondere in Bezug auf seine Anforderungen an Fischschutzanlagen und Fischwanderhilfen. Gemäß dem Aalbewirtschaftungsplan für das Rheinsystem, indem das Neckarsystem enthalten ist, sind auch zahlreiche Nebengewässer zum Aal-Einzugsgebiet zu zählen (vgl. Kap. 3.6.4). Daher wurden auch für das Aal-Einzugsgebiet im Neckarsystem – gemäß dem Aalbewirtschaftungsplan für die Flussgebietseinheit Rhein (FFS 2013) – mit der Berücksichtigung einer weiteren Bypass-Anlage erhöhte Anforderungen in das standardisierte Berechnungsverfahren übernommen. Insgesamt wurde mit dem Szenario 2 versucht, den ökologischen Anforderungen differenzierter gerecht zu werden als bei der Betrachtung des Szenario 1 (vgl. Tabelle 5-2 und Tabelle 5-3). Damit kann auch dem Wasserkrafterlass Baden-Württemberg besser entsprochen werden, indem auf folgende dort genannte Vorgaben in stärkerem Maß eingegangen wird:

- Die Fließgewässerdurchgängigkeit für Fische ist grundsätzlich zu gewährleisten, in bestimmten Fällen auch in Bezug auf Anforderungen an stromabwärts gerichtete Fischwanderung (Teil IV Abschnitt 1, Wasserkrafterlass).
- Der Orientierungswert für Mindestabflüsse in Ausleitungsstrecken kann örtlich angepasst werden, insbesondere auch in Hinblick auf die Erhaltung eines zusammenhängenden und funktionsfähigen Lebensraums (Teil IV Abschnitt 2.2, Wasserkrafterlass).

Dennoch ist auch die Bearbeitung auf Basis des Szenarios 2, wie bereits angeführt, ein standardisiertes Verfahren, welches eine einzelstandortbezogene Detailbetrachtung nicht ersetzen kann. Zu dieser standardisierten Herleitung ökologischer Abflüsse wurden in Absprache mit der begleitenden Arbeitsgruppe – und dabei insbesondere mit Vertretern der Fischereiverwaltung Baden-Württembergs – Arbeitswerte zur Dotation von Ausleitungsstrecken, Fischaufstiegsanlagen und Fischabstiegsanlagen (Rechen-Bypass-Anlagen) angenommen, die einen aus ökologischer Sicht vertretbaren Kompromiss zwischen den fischökologischen Erfordernissen zur Herstellung der Durchgän-

gigkeit nach aktuellem Wissensstand und den Interessen der Wasserkraftnutzung entsprechen. Dies wird im Einzelnen nachfolgend erläutert.

### 5.2.1 Erfordernisse aus hydraulischer Sicht

Um die Gewässerdurchgängigkeit im Bereich von Querbauwerken herzustellen, müssen entsprechende hydraulische Voraussetzungen erfüllt sein. Diese beziehen sich auf die Dotation und Bemessung der Fischaufstiegsanlagen, Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen sowie für Ausleitungskraftwerke auch auf die Wasserführung in der Ausleitungsstrecke.

Während für Fischaufstiegsanlagen – orientiert an den jeweiligen Zielfischarten – allgemein gültige Mindest-Vorgaben gemacht werden können, ist dies für Ausleitungsstrecken ohne Untersuchung des Gewässermutterbetts allenfalls grob abschätzend möglich. Herrschen dort Strömungs- und Tiefenverhältnisse vor, die von den betreffenden Zielfischarten gemieden werden, ist die Durchgängigkeit der Ausleitungsstrecke unter Mindestwasserführung nicht gegeben. Dies gilt auch, wenn die Ausleitungsstrecke im Bereich der Rückleitung durch fehlende oder zu geringe Lockströmung für aufwärts wandernde Fische kaum auffindbar ist. Unter diesen Voraussetzungen erreichen die Zielfischarten die Fischaufstiegsanlage am Wehr nicht, wodurch diese die ihr zugeordnete Funktion nicht erfüllen kann.

Für die angesprochenen Strömungs- und Tiefenverhältnisse in Ausleitungsstrecken existieren wissenschaftliche Erkenntnisse (Dumont 2005, LfU (Hrsg.) 2005b, DWA 2014). Ab welchem Mindestabfluss sich diese Verhältnisse in der jeweils betrachteten Ausleitungsstrecke einstellen, ist ohne entsprechende Untersuchung jedoch nicht vorhersagbar. Hinzu kommt, dass in zahlreichen Ausleitungsstrecken weitere Wanderhindernisse wie natürliche Abstürze vorhanden sind, die in Abhängigkeit von der Mindestwasserdotations für Zielarten überwindbar sein können. Auch dieser Aspekt muss im Rahmen einer Detailstudie abgeklärt werden, um einen Mindestabfluss zu ermitteln, ab dem die Durchwanderbarkeit der Ausleitungsstrecke möglich ist.

Die funktionale Gestaltung von Fischaufstiegsanlagen an Wasserkraftstandorten hängt entscheidend davon ab, ob deren Konstruktion und Dotation an den Körpergrößen, Verhaltensweisen und Schwimmleistungen der entsprechenden Zielfischarten ausgerichtet ist. Auf Basis von aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen zu diesen Aspekten lassen sich fischartenspezifische Werte für die erforderliche Mindestdotations von Fischaufstiegsanlagen formulieren. Diese sind in Tabelle 5-1 für einige wichtige Zielfischarten des Neckarsystems zusammengestellt. Eine Unterschreitung dieser Werte führt zwangsläufig dazu, dass für die betreffenden Fischarten ein Aufstieg in ökologisch aus-

reichendem Umfang aus hydraulischen Gründen nicht mehr gewährleistet ist. Da es sich bei diesen Werten um Grenzwerte handelt, ist in der Praxis sicherzustellen, dass diese auch bei wechselnden Abflussbedingungen im Oberwasser eingehalten werden. Daher sollte bei der Bemessung von Fischaufstiegsanlagen grundsätzlich ein Sicherheitszuschlag eingerechnet werden.

**Tabelle 5-1:** Fischartabhängige Orientierungswerte für die zur funktionalen Gestaltung erforderliche Mindestdotations von Fischaufstiegsanlagen aus hydraulischer Rechnung ohne Berücksichtigung der Leitwirkung (Dumont 2005, AG-FAH 2011, DWA 2014)

Fischart	Beckenartige Bauweise; $Q_{FAA \min}$	Umgehungsgerinne; $Q_{FAA \min}$
Bachforelle	0,1 m <sup>3</sup> /s	0,2 m <sup>3</sup> /s
Äsche, Döbel, Rotaugen, Hasel	0,15 - 0,25 m <sup>3</sup> /s	0,35 m <sup>3</sup> /s
Barbe, Lachs, Meerforelle	0,4 – 0,5 m <sup>3</sup> /s	0,5 - 0,55 m <sup>3</sup> /s

Die in Tabelle 5-1 zusammengefassten Werte basieren allerdings ausschließlich auf hydraulischen Erwägungen zur funktionalen Gestaltung der Fischaufstiegsanlage selbst. Sie lassen insbesondere noch keine detaillierten Rückschlüsse darüber zu, inwieweit andere für die durchgängige Gestaltung von Wasserkraftstandorten wichtige Rahmenbedingungen erfüllt sind.

In diesem Zusammenhang ist die Erzeugung einer ausreichend hohen Leitströmung am Einstieg der Fischaufstiegsanlage von grundsätzlicher Bedeutung. Dies setzt voraus, dass neben einer angemessenen Dotation vor allem auch eine günstige geometrische Dimensionierung und kleinräumige Anordnung der Fischaufstiegsanlage (insbesondere die Lage des Einstiegs betreffend) im Gewässer erfolgt. Hier ist auch zu beachten, dass einige Arten mit der Hauptströmung in Flussmitte wandern, während andere Zielarten, wie bspw. die Bachforelle vor allem uferorientiert wandern (AG-FAH 2011). Um eine selektive Funktion einer Fischaufstiegsanlage zu verhindern, ist daher in einigen Fällen der Bau von zwei Anlagen bzw. einer Anlage mit mehreren Einstiegen notwendig. Aus diesen Gründen hat eine standardisierte Betrachtungsweise auch für die Bemessung von Dotationen für Fischaufstiegsanlagen der einzelnen Standorte allenfalls grob abschätzenden Charakter.

Stromabwärts gerichtete Fischwanderbewegungen stellen die Betreiber von Wasserkraftanlagen in erster Linie vor die Herausforderung, Schädigungen von Fischen durch Turbinen, mechanische Barrieren und große Absturzhöhen weitestgehend zu vermeiden. In der Regel sind dazu nach aktuellem Wissensstand Rechen-Bypass-Systeme die geeignetsten Fischschutz- und Abstiegsanlagen. Mit der funktionalen Gestaltung dieser Anlagen zusammenhängende hydraulische Fragestellungen betreffen in erster Linie die Anströmgeschwindigkeit sowie die Neigung und Stabweite der Rechen (Dumont 2005). Weiterhin ist entscheidend, dass Zielfischarten nach ihrem Wanderverhalten entsprechend positionierte Einstiegsöffnungen vorfinden. Die eigentliche Dotation der Fischabstiegsanlage ist

weit weniger bedeutend als für Fischaufstiegsanlagen. Insgesamt gehen diese Aspekte jedoch deutlich über die Aufgabenstellung vorliegender Studie hinaus und werden an dieser Stelle deshalb nicht näher behandelt. Dagegen muss klargestellt werden, dass die Notwendigkeit von Fischschutz- und Abstiegsanlagen durch das Fischerei- und das Tierschutzgesetz vorgegeben ist. Daher sind bei der Errichtung neuer Wasserkraftanlagen sowie bei der Modernisierung bestehender Anlagen in der Regel entsprechende Systeme umzusetzen.

## 5.2.2 Spezifische ökologische Abflüsse an Ausleitungskraftwerken

### Mindestabfluss in Ausleitungsstrecken

Wie bereits erläutert, gibt der Wasserkrafterlass Baden-Württemberg in Bezug auf den erforderlichen Mindestabfluss in Ausleitungsstrecken einen Orientierungswert von  $1/3$  MNQ vor. In vielen Fällen kann sich dieser Abfluss aus fischökologischer Sicht als ausreichend herausstellen, um die Durchgängigkeit von Ausleitungsstrecken und der Fischaufstiegsanlage zu gewährleisten. Damit mit dem verfügbaren Abfluss eine möglichst optimale Durchgängigkeit erzielt werden kann, ist aus fischökologischer Sicht auch in Szenario 2 anzustreben,  $1/3$  MNQ vollständig über die Fischaufstiegsanlage abzuführen. Damit entfällt eine energetische Mindestwassernutzung am Ausleitungswehr.

Zu ungünstigen Bedingungen führt ein Abfluss von  $1/3$  MNQ dagegen, wenn er nicht mehr ausreichend ist, um die bereits erwähnten Erfordernisse aus hydraulischer Sicht zu erfüllen. Nach den hierzu vorliegenden Abflussdaten tritt dieses Problem in erster Linie in den natürlicherweise bereits mit geringen Abflüssen ausgestatteten Gewässerabschnitten der Forellen- und Äschenregion bzw. der Übergangsbereiche beider Fischregionen auf. Die in Fischaufstiegsanlagen erforderlichen Dotationen für die betreffenden Leitfischarten betragen gemäß Tabelle 5-1 mindestens  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$  (Bachforelle) bzw.  $0,15\text{-}0,25 \text{ m}^3/\text{s}$  (Äsche). Es ist allerdings in den meisten Fällen zu bezweifeln, ob diese für die Abmessungen eines Beckenpasses – insbesondere in der Forellenregion – gerade noch ausreichenden Abflusswerte in den größeren Querschnitten der Ausleitungsstrecken zu ausreichenden Tiefen- und Strömungsverhältnissen führen. Aus fischökologischer Sicht sind deshalb bereits Abflüsse von  $< 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$  in Ausleitungsstrecken problematisch bzw. für deren durchgängige Gestaltung als unzureichend einzuschätzen.

Dementsprechend sollte für die standardisierte Betrachtung ein Wert von  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$  bei der Bemessung von Mindestabflüssen für Ausleitungsstrecken generell nicht unterschritten werden. Der Arbeitswert für den ökologischen Mindestabfluss beträgt in Szenario 2 dementsprechend  $1/3$  MNQ, mindestens jedoch  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dies entspricht dem Sockelwert aller zuvor in dieser Reihe veröffentlicht-

ten Studien (Heimerl et al. 2011, Heimerl et al. 2015c, Heimerl et al. 2015a, Heimerl et al. 2015b, Heimerl et al. 2015d, Heimerl et al. 2016), was die Vergleichbarkeit zwischen den Berichten verbessert. Großsalmoniden wie der Lachs und die Meerforelle weisen deutlich höhere Ansprüche an die hydraulischen Erfordernisse einer Fischaufstiegsanlage auf. Im Einvernehmen mit Vertretern der Fischereiverwaltung wurde daher für das standardisierte Berechnungsverfahren als Arbeitswert eine Mindestdotations von  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  für Standorte in den historischen Verbreitungsgebieten des Lachses und der Meerforelle veranschlagt. Zudem wurden die bisherigen Erfahrungen aus Detailuntersuchungen für Standorte in baden-württembergischen Lachsgewässern berücksichtigt, indem für alle Standorte in den historischen Verbreitungsgebieten des Lachses der ökologische Mindestabfluss mit  $3/4$  statt mit  $1/3$  MNQ berechnet wurde.

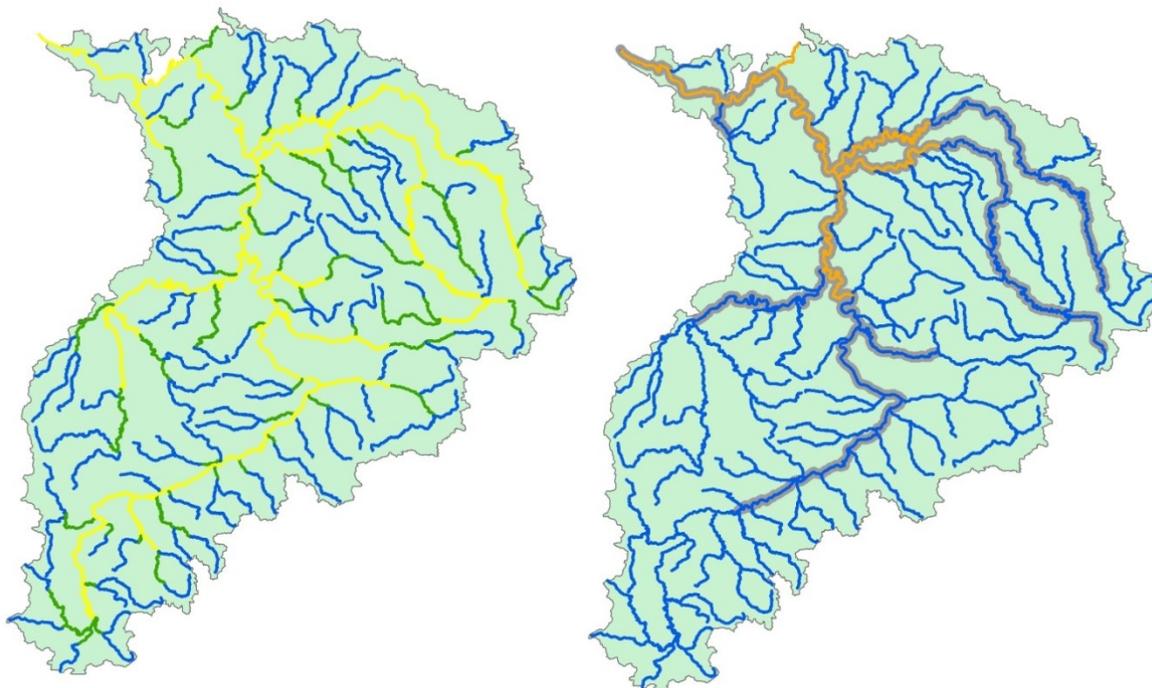
Im Neckargebiet weisen viele Gewässer bzw. Gewässerabschnitte einen hohen Migrationsbedarf auf (Dußling 2014) und liegen gleichzeitig außerhalb der historischen Verbreitungsgebiete anadromer Großsalmoniden. Dies unterscheidet das Neckargebiet von den Gebieten Hochrhein, Oberrhein und Main, wo Gewässerabschnitte mit hohem Migrationsbedarf zumeist auch zum historischen Verbreitungsgebiet von Lachsen gehören. Um im Neckargebiet in den Bereichen mit hohem Migrationsbedarf aber ohne historische Lachsvorkommen die höheren Anforderungen an die Bemessung von Fischpässen zu berücksichtigen, wurde – wie auch bei den Flusskraftwerksstandorten – ein Sockelwert von  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$  veranschlagt.

Nach dem Wasserkrafterlass Baden-Württemberg hat eine Mindestdotations von Ausleitungsstrecken auch die ökologische Funktionsfähigkeit im hydrologisch beeinflussten Gewässerabschnitt zu gewährleisten. Dabei sind insbesondere die Anforderungen der Zielarten an die Parameter Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe zu erfüllen. Um den hierfür tatsächlich jeweils benötigten Mindestabfluss zu ermitteln, sind – wie bereits mehrfach aufgeführt – Detailstudien notwendig.

### **Mindestabfluss für einen zweiten Fischaufstieg im Bereich des Krafthauses**

Fließgewässerfischarten orientieren sich im Rahmen ihrer stromaufwärts gerichteten Wanderbewegungen in erster Linie an der Strömung. Ausleitungskraftwerke sind dadurch gekennzeichnet, dass die Strömungen der Ausleitungsstrecke (im Mutterbett) und des Unterwasserkanals miteinander konkurrieren. Fast immer geht die deutlich stärkere Leitströmung hierbei von dem mit signifikant höheren Abflüssen dotierten Unterwasserkanal aus, in den aufstiegswillige Fische in der Folge vermehrt geleitet werden. Sofern am Krafthaus keine weitere funktionstüchtige Fischaufstiegsanlage installiert ist, entsteht für die betreffenden Fische ein Sackgasseneffekt.

Letzterer hat vor allem in den Flussabschnitten mit hohem Migrationsbedarf der Fischfauna (Abbildung 5-1) besonders nachteilige fischökologische Folgen: Diese Flussabschnitte stellen natürlicherweise die klassischen Lebensräume der innerhalb der Fließgewässer über vergleichsweise weite Distanzen wandernden Migranten dar. Damit sind nicht nur die bereits mehrfach genannten Langdistanzwanderfische gemeint, sondern auch innerhalb des Flusssystemes wandernde Fischarten wie Barben und Nasen. Gleichzeitig ist die Möglichkeit, ungehinderte Längswanderungen durchführen zu können, für die Biologie und gewässeradäquate Bestandsentwicklung dieser Arten von erheblicher Relevanz.



**Abbildung 5-1:** Darstellung links: Gewässer mit hohem (gelb), erhöhtem (grün) und normalem (blau) Migrationsbedarf der Fischfauna im WRRL-Bearbeitungsgebiet Neckar (FFS 2015). Darstellung rechts: orange Gewässerabschnitte stellen das historische Verbreitungsgebiet des Lachses dar (Dußling 2016), grau hinterlegt sind Gewässerabschnitte innerhalb des Aal-Einzugsgebietes (FFS 2013).

Aus diesem Grund und um die Vergleichbarkeit mit den vorgängigen Studien an diesem Punkt beizubehalten wurde in der standardisierten Berechnung für die Gewässerabschnitte, in denen besonders hohe Anforderungen an die Herstellung der Durchwanderbarkeit gestellt werden müssen, also der hohe Migrationsbedarf vergeben wurde, eine weitere Fischaufstiegsanlage im Bereich des Krafthauses angenommen.

Diese zweite Fischaufstiegsanlage wurde mit einem Arbeitswert von 0,2 m<sup>3</sup>/s veranschlagt. Diese Annahme entspricht der Vorgabe aus den Vorgängerstudien (Heimerl et al. 2011) und ist als im Rah-

men der Potenzialberechnungen anzurechnender ganzjähriger Durchschnittswert zu verstehen. Die Heranziehung dieses Durchschnittswertes zur standardisierten Potenzialberechnung wurde aufgrund der Möglichkeit einer im Einzelfall angepassten dynamischen Abflussregelung als zulässig eingeschätzt. Es muss jedoch klargelegt werden, dass mit diesem Arbeitswert ein Sackgasseneffekt im Unterwasserkraftwerkskanal nicht für alle aufstiegswilligen Fische aufgehoben werden kann. Nicht nur aus diesem Grund ersetzt der Arbeitswert damit keineswegs die im Rahmen der Bewertung konkreter Vorhaben erforderlichen standortspezifischen Betrachtungen. Letztere sollten auch generell die Gewährleistung der Auffindbarkeit der Ausleitungsstrecke im Bereich der Rückleitung berücksichtigen, da zusätzlich zur Gewässerdurchgängigkeit auch die Erreichbarkeit von Lebensraumfunktionen in der Ausleitungsstrecke selbst fischökologisch von großer Bedeutung ist.

### **Mindestabfluss für den Fischabstieg (Bypass)**

Rechen-Bypass-Systeme sind besonders in Flussabschnitten mit hohem Migrationsbedarf der Fischfauna fischökologisch sehr bedeutsam. Sie ermöglichen die stromabwärts gerichtete Migration, welche für die betreffenden Mitteldistanz-Migranten aufgrund ihrer Biologie in erhöhtem Maße relevant und für Langdistanzwanderer wie Aal und Lachs gar eine zwingende Voraussetzung für sich selbst erhaltende Beständen ist.

In Bezug auf die Dotation von funktionalen Rechen-Bypass-Systemen wird für Szenario 2 für alle Gewässer innerhalb der historischen Verbreitungsgebiete des Lachses ein Standardwert von  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$  angenommen. Dieser Arbeitswert ist höher als die entsprechenden Arbeitswerte in der ersten Neckarstudie (Heimerl et al. 2011). Die Veränderung dieses Arbeitswertes wurde in Absprache mit der begleitenden Arbeitsgruppe durchgeführt, da dem Fischschutz/-abstieg im Neckar-, Main-, Hochrhein- und Oberrheinsystem mit ihren in der natürlichen Fischfauna vorkommenden Langdistanzwanderarten eine besondere Bedeutung zukommt.

Für Gewässer außerhalb der historischen Verbreitungsgebiete des Lachses wurde für alle Standorte ein Arbeitswert von  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$  für den Betrieb von Fischschutz/-abstiegsanlagen angenommen. Dies wurde eingeführt, um der Forderung aus dem Fischereigesetz (§§ 39, 40) Rechnung zu tragen, dass bei Neuanlagen bzw. umfangreichen Anlagenmodernisierungen Fischwanderungen in beide Richtungen ermöglicht werden müssen. Damit sind die Notwendigkeiten für Fischaufstiegsanlagen und Rechen-Bypassanlagen gleichbedeutend und müssen daher auch als Arbeitswerte für jeden betrachteten Standort berücksichtigt werden.

Da der Aal in seiner flussabwärts gerichteten Wanderaktivität ein deutlich anderes Verhalten als Lachs, Meerforelle und viele andere Arten zeigt, muss eine Bypassanlage für Aale mit mindestens

einer zusätzlichen, grundnahen Einlassöffnung versehen werden. Aus diesem Grund wurde für Standorte im Aal-Einzugsgebiet eine weitere Bypassanlage/-öffnung angenommen und mit einem Arbeitswert von  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$  veranschlagt.

Ergänzend zu den genannten Arbeitswerten wird darauf hingewiesen, dass ebenso wie bei den Fisch-aufstiegsanlagen eine funktionale Gestaltung mit diesen Annahmen in vielen Fällen nicht erreicht werden kann. Bei der detaillierten Einzelfallbetrachtung können daher deutlich höhere Dotationen als die genannten Arbeitswerte notwendig werden, um eine ausreichende Abwanderungsrate zu ermöglichen.

Sämtliche im Text genauer erläuterten Abweichungen vom Szenario 1 für Ausleitungskraftwerke sind in Tabelle 5-2 zusammengefasst.

**Tabelle 5-2:** Im Szenario 2 verwendete Abweichungen vom Orientierungswert ( $1/3 \text{ MNQ}$ ; Szenario 1) zur standardisierten Berechnung von ökologischen Abflüssen für Ausleitungskraftwerke.

Abweichung	Bedingungen betroffener Standorte	Herleitung
$Q_{\min} = Q_{\text{FAA1}}^* = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>1/3 \text{ MNQ} &lt; 0,2 \text{ m}^3/\text{s}</math></li> <li>außerhalb des historischen Verbreitungsgebietes des Lachses<sup>&amp;</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abflüsse <math>&lt; 0,2 \text{ m}^3/\text{s}</math> sind aus fisch-ökologischer Sicht unzureichend</li> <li>Vergleichbarkeit mit Vorgängerstudien<sup>5</sup></li> </ul>
$Q_{\text{FAA}} = 0,4 \text{ m}^3/\text{s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>1/3 \text{ MNQ} &lt; 0,4 \text{ m}^3/\text{s}</math></li> <li>Hoher Migrationsbedarf aber außerhalb des historischen Verbreitungsgebietes des Lachses<sup>&amp;</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>erhöhte ökologische Anforderungen von Wanderfischen</li> </ul>
$Q_{\min} = Q_{\text{FAA1}}^* = 3/4 \text{ MNQ}$	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>3/4 \text{ MNQ} \geq 0,5 \text{ m}^3/\text{s}</math></li> <li>innerhalb des historischen Verbreitungsgebietes des Lachses<sup>&amp;</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>erhöhte ökologische Anforderungen von Lachsen</li> </ul>
$Q_{\min} = Q_{\text{FAA1}}^* = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>3/4 \text{ MNQ} &lt; 0,5 \text{ m}^3/\text{s}</math></li> <li>innerhalb der historischen Verbreitungsgebiete des Lachses<sup>&amp;</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>erhöhte ökologische Anforderungen von Lachsen</li> </ul>
$Q_{\text{FAA2}} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>hoher Migrationsbedarf<sup>#</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ungehinderte Längswanderung hat besonders hohen Stellenwert</li> <li>Vergleichbarkeit mit Vorgängerstudien<sup>5</sup></li> </ul>
$Q_{\text{Bypass1}} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>innerhalb der historischen Verbreitungsgebiete des Lachses<sup>&amp;</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ungehinderte Längswanderung hat besonders hohen Stellenwert</li> </ul>
$Q_{\text{Bypass1}} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>außerhalb der historischen Verbreitungsgebiete des Lachses<sup>&amp;</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Forderung im Fischereigesetz nach Ermöglichung des Fischwechsels, also auch der Abwärtswanderung</li> </ul>

$Q_{\text{Bypass2}} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• innerhalb des Aal-Einzugsgebiets<sup>†</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• artspezifisch besondere Anforderungen an die Herstellung der Durchgängigkeit für die Abwärtswanderung</li> </ul>
<p>* aus fischökologischer Sicht ist anzustreben, <math>Q_{\text{min}}</math> vollständig über eine geeignete Fischaufstiegsanlage abzuführen.  <sup>#</sup> gemäß FFS (2015)  <sup>&amp;</sup> gemäß Dußling (2006)  <sup>§</sup> vorgängige Studien (Heimerl et al. 2011, 2015a-d, 2016)  <sup>†</sup> gemäß FFS (2013)</p>		

### 5.2.3 Spezifische ökologische Abflüsse an Flusskraftwerken

Die für ökologische Abflüsse an Flusskraftwerken getroffenen Annahmen basieren auf analogen Überlegungen wie in Kapitel 5.2.2. Ein entscheidender Unterschied besteht jedoch darin, dass an Flusskraftwerken definitionsgemäß kein Wasser aus dem Gewässerbett ausgeleitet wird und somit keine Ausleitungsstrecke mit verringerter Wasserführung entsteht. Eine Regelung für einen entsprechenden ökologischen Mindestabfluss kann damit entfallen. Für in den Datenbeständen als Flusskraftwerke geführte Anlagen, an denen aufgrund der baulichen Konstruktion eine fischökologisch relevante Strecke mit Restwasserführung vorhanden ist, gelten dagegen die für Ausleitungskraftwerke festgelegten Arbeitswerte (vgl. Kapitel 5.2.2).

#### Mindestabfluss für den Fischaufstieg

Zur funktionalen Gestaltung von Fischaufstiegsanlagen an Flusskraftwerken wird aus fischökologischer Sicht eine Dotation von 1/6 MNQ als in der Regel angemessener Arbeitswert für die Potenzialermittlung eingeschätzt. Dies gilt jedoch nur, sofern im Rahmen dieser Vorgabe bestimmte, vom Migrationsbedarf der Fischfauna abhängige Minimalabflüsse eingehalten werden können. In Anlehnung an Tabelle 5-1 und entsprechend den Annahmen aus der Neckarstudie (Heimerl et al. 2011) betragen diese 0,2 m<sup>3</sup>/s in Gewässerabschnitten mit normalem oder erhöhtem Migrationsbedarf der Fischfauna, 0,4 m<sup>3</sup>/s in Gewässerabschnitten mit hohem Migrationsbedarf aber außerhalb der historischen Verbreitungsgebiete des Lachses und 0,5 m<sup>3</sup>/s innerhalb des genannten Verbreitungsgebietes. Diese Abflusswerte werden für Szenario 2 daher als vom Migrationsbedarf der Fischfauna abhängige Mindestwerte zur Dotation von Fischaufstiegsanlagen berücksichtigt (d. h. wenn 1/6 MNQ die genannten Werte unterschreitet).

Darüber hinaus ist anzumerken, dass in Fließgewässerabschnitten mit hohem Migrationsbedarf der Fischfauna grundsätzlich auch quantitative Aufstiegsziele für Fische verfolgt werden, d.h. es dürfen nur wenige Individuen an Migrationsbarrieren zurückgehalten werden. Daher ist für entsprechende

Anlagen eine besonders gute Funktionsfähigkeit sicherzustellen, was in vielen Fällen nur mit deutlich höheren Mindestdotationen zu erreichen ist.

### Mindestabfluss für den Fischabstieg (Bypass)

Die in Kapitel 5.2.2 gemachten Anmerkungen gelten auch hier.

Sämtliche im Text genauer erläuterten Abweichungen vom Szenario 1 für Flusskraftwerke sind in Tabelle 5-3 zusammengefasst.

**Tabelle 5-3:** Im Szenario 2 verwendete Abweichungen von 1/6 MNQ (Szenario 1) zur standardisierten Berechnung von ökologischen Abflüssen für Flusskraftwerke.

Abweichung	Bedingungen betroffener Standorte	Herleitung
$Q_{FAA} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>1/6 \text{ MNQ} &lt; 0,2 \text{ m}^3/\text{s}</math></li> <li>• außerhalb der historischen Verbreitungsgebiete des Lachses<sup>&amp;</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dotationen von <math>&lt; 0,2 \text{ m}^3/\text{s}</math> sind problematisch für die Funktionsfähigkeit von Fischaufstiegsanlagen</li> <li>• Vergleichbarkeit mit vorgängigen Studien<sup>§</sup></li> </ul>
$Q_{FAA} = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>1/6 \text{ MNQ} &lt; 0,5 \text{ m}^3/\text{s}</math></li> <li>• innerhalb der historischen Verbreitungsgebiete des Lachses<sup>&amp;</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erhöhte ökologische Anforderungen von Lachsen</li> </ul>
$Q_{FAA} = 0,4 \text{ m}^3/\text{s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>1/6 \text{ MNQ} &lt; 0,4 \text{ m}^3/\text{s}</math></li> <li>• hoher Migrationsbedarf aber außerhalb des historischen Verbreitungsgebietes des Lachses<sup>&amp;</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erhöhte ökologische Anforderungen anderer Wanderfischarten</li> <li>• Vergleichbarkeit mit vorgängigen Studien<sup>§</sup></li> </ul>
$Q_{Bypass1} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• innerhalb der historischen Verbreitungsgebiete des Lachses<sup>&amp;</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ungehinderte Längswanderung hat besonders hohen Stellenwert</li> </ul>
$Q_{Bypass1} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• außerhalb der historischen Verbreitungsgebiete des Lachses<sup>&amp;</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forderung im Fischereigesetz nach Ermöglichung des Fischwechsels, also auch der Abwärtswanderung</li> </ul>
$Q_{Bypass2} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• innerhalb des Aal-Einzugsgebiets<sup>+</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• artspezifisch besondere Anforderungen an die Herstellung der Durchgängigkeit für die Abwärtswanderung</li> </ul>
<p><sup>#</sup> gemäß Dußling (2014)  <sup>&amp;</sup> gemäß Dußling (2006)  <sup>§</sup> vorgängige Studien (Heimerl et al. 2011, 2015a-d, 2016)  <sup>+</sup> gemäß FFS (2013)</p>		

### **5.3 Übersicht der zur Potenzialberechnung berücksichtigten ökologischen Abflüsse**

Die in den vorangegangenen Kapiteln erläuterten Arbeitswerte zu ökologischen Abflüssen, die im Rahmen der Szenarien 1 und 2 berücksichtigt werden, sind zur Übersicht nochmals in Tabelle 5-4 zusammengestellt.

**Tabelle 5-4:** Ökologische Abflüsse in den Szenarien zur Berechnung der Wasserkraftpotenziale im baden-württembergischen Neckar-Einzugsgebiet

Ökologische Funktion	<b>Szenario 1:</b> Orientierungswerte nach Wasserkrafterlass	<b>Szenario 2:</b> Spezifische ökologische Abflüsse nach Wasserkrafterlass
<b>Ausleitungskraftwerke</b>		
A) Mindestabfluss (Ausleitungsstrecke): $Q_{\min} = Q_{FAA1}^*$	$Q_{\min} = Q_{FAA}^* = 1/3 \text{ MNQ}$ ; ohne Mindestwert	<b>Im Verbreitungsgebiet des Lachses<sup>&amp;</sup>:</b> $Q_{\min} = Q_{FAA1}^* = 3/4 \text{ MNQ}$ ; jedoch mindestens: $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  <b>In den restlichen Gewässern:</b> $Q_{\min} = Q_{FAA1}^* = 1/3 \text{ MNQ}$ ; jedoch mindestens: $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ bei hohem Migrationsbedarf <sup>#</sup> $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ für die übrigen Standorte
B) Dotation 2. Fischaufstieg am Krafthaus: $Q_{FAA2}$	Keine	$Q_{FAA2} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (nur bei hohem Migrationsbedarf <sup>#</sup> )
C) Dotation Fischabstieg (Bypass): $Q_{Bypass1}$	Keine	<b>Im Verbreitungsgebiet des Lachses<sup>&amp;</sup>:</b> $Q_{Bypass1} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$  <b>In den restlichen Gewässern:</b> $Q_{Bypass1} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$
D) Dotation 2. Fischabstieg (Bypass):	Keine	$Q_{Bypass2} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (nur im Aalmanagementgebiet <sup>§</sup> )
<b>Ausleitungskraftwerke</b> - ökologischer Gesamtabfluss: $Q_{ök}(\text{ALK})$	$Q_{ök}(\text{ALK}) = Q_{\min} = 1/3 \text{ MNQ}$	$Q_{ök}(\text{ALK}) = Q_{\min} + Q_{FAA2} + Q_{Bypass1} + Q_{Bypass2}$
<b>Flusskraftwerke</b>		
A) Dotation Fischaufstieg: $Q_{FAA}$	$Q_{FAA} = 1/6 \text{ MNQ}$ ; ohne Mindestwert	$Q_{FAA} = 1/6 \text{ MNQ}$ ; jedoch mindestens: $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ im Verbreitungsgebiet des Lachses <sup>&amp;</sup> $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ bei hohem Migrationsbedarf <sup>#</sup> $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ für die übrigen Standorte
B) Dotation Fischabstieg (Bypass): $Q_{Bypass1}$	Keine	<b>Im Verbreitungsgebiet des Lachses<sup>&amp;</sup>:</b> $Q_{Bypass} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$  <b>In den restlichen Gewässern:</b> $Q_{Bypass} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$
C) Dotation 2. Fischabstieg (Bypass): $Q_{Bypass2}$	Keine	$Q_{Bypass2} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (nur im Aalmanagementgebiet <sup>§</sup> )
<b>Flusskraftwerke</b> - ökologischer Gesamtabfluss: $Q_{ök}(\text{FKW})$	$Q_{ök}(\text{FKW}) = Q_{FAA} = 1/6 \text{ MNQ}$	$Q_{ök}(\text{FKW}) = Q_{FAA} + Q_{Bypass1} + Q_{Bypass2}$

\* aus fischökologischer Sicht ist anzustreben,  $Q_{\min}$  vollständig über eine geeignete Fischaufstiegsanlage abzuführen.  
# gemäß FFS (2015)  
& gemäß Dußling (2006)  
§ gemäß FFS (2013)

Für die Potenzialberechnung wurden die in Tabelle 5-4 enthaltenen Abflusswerte in Abhängigkeit von den jeweiligen Rahmenbedingungen für alle im Untersuchungsgebiet dokumentierten Regelbauwerke standortbezogen ermittelt. Um den entsprechenden Aufwand für die weitaus größere Zahl der Sohlenbauwerke in angemessenem Rahmen zu halten, erfolgte der gleiche Arbeitsschritt hier nur für solche Sohlenbauwerke, die gemäß der in Kapitel 5 beschriebenen Berechnungsformel ein theoretisches Rohpotenzial von  $\geq 8$  kW zur Verfügung stellen.

Sämtliche ökologischen Abflusswerte wurden in einer Tabelle unter Berücksichtigung der im nachfolgenden Kapitel 5.4 erläuterten Sonderfälle zusammengestellt. Diese wurde den Projektpartnern zusammen mit einem inhaltsgleichen Datenbankmodul übergeben.

## 5.4 Von den standardisierten Arbeitswerten abweichende ökologische Abflüsse

Für einige in der vorliegenden Untersuchung behandelten Querbauwerksstandorte wurden aufgrund besonderer Rahmenbedingungen von den in Tabelle 5-4 dargestellten Werten abweichende ökologische Abflüsse zugrunde gelegt:

Ein genereller Verzicht auf die stromauf gerichtete Durchgängigkeit für Fische und damit auf die entsprechenden ökologischen Abflusswerte für Fischaufstiegsanlagen erfolgte für Querbauwerke, welche die stromabwärts gelegene Grenze eines Schutzgebietes nach Fischseuchenverordnung (2008) bilden. Dies erfolgte im Neckargebiet in insgesamt 16 Fällen. In sieben Fällen waren dabei Ausleitungskraftwerks-Standorte betroffen. Für diese wurden die beschriebenen Berechnungsregeln angewendet und die daraus resultierenden ökologischen Abflüsse als Mindestabfluss für die Ausleitungstrecke veranschlagt.

An allen bestehenden Wasserkraftstandorten, an denen geltende wasserrechtliche Bestimmungen zu Mindestabfluss und Anlagen zu Fischaufstieg bzw. Fischschutz und -abstieg über die nach dem standardisierten Vorgehen des Szenario 2 ermittelten Werte für die ökologischen Abflüsse hinaus gehen, wurden die geltenden wasserrechtlichen Regelungen der Potenzialberechnung nach Szenario 2 zugrunde gelegt.

## 6 Ermittlung von Wasserkraftpotenzialen

Zur Ermittlung des Wasserkraftpotenzials im Oberrhein-Einzugsgebiet an bestehenden Wasserkraftanlagen sowie an Standorten mit existierenden Regelungs- und Sohlenbauwerken wurde eine EDV-basierte systematische und standardisierte Methodik verwendet, die nachfolgend im Detail erläutert wird.

### 6.1 Erster Bewertungsschritt

Aufbauend auf den zur Verfügung stehenden wasserwirtschaftlichen Daten (siehe Kapitel 4.1) wurden die Standorte einer ersten Sichtung unterzogen.

Hierbei wurden einige Standorte bei den weiteren Berechnungen gesondert behandelt:

- Standorte mit einer Nettofallhöhe an der WKA von  $h < 0,3$  m wurden ausgeschlossen, da die Errichtung einer Wasserkraftanlage bei derartig geringen Fallhöhen als technisch und ökonomisch nicht machbar eingeschätzt wird.
- Für einige gewässerökologische Sonderfälle wurden von den Standardwerten abweichende ökologische Abflüsse berücksichtigt (siehe Kapitel 5)
- Standorte mit spezifischen Randbedingungen, wie beispielsweise mehrere parallel oder seriell geschaltete Wasserkraftanlagen oder mehrere Wehre pro Wasserkraftanlage, wurden als Grundlage der Potenzialberechnung jeweils zu einer ideellen Anlage, bestehend aus einem Regelungsbauwerk und einer Wasserkraftanlage, zusammengefasst (siehe Anhang A1). Für alle weiteren einer Wasserkraftanlage zugeordneten Regelungsbauwerke wurde das Potenzial zu Null gesetzt.
- Bei Bauwerken, die im AKWB doppelt geführt sind, wurde das Potenzial eines Datensatzes ebenfalls zu Null gesetzt.

Für die nicht ausgeschlossenen Standorte wurde dann vereinfachend das theoretische Potenzial  $P$  errechnet (siehe Abbildung 6-1).

Im nächsten Schritt wurden die vorhandenen Daten des Querbauwerks und der gegebenenfalls vorhandenen, zugehörigen Wasserkraftanlage gesichtet, um anhand des Betriebsstatus festzulegen, ob an dem Standort eine Wasserkraftanlage vorhanden ist und jeweils ein Ausbau der bestehenden Anlage oder ein Neubau zu betrachten ist.

Die Entscheidung, ob eine Wasserkraftanlage als Neubau oder Ausbau eingordnet wird, bestimmt in erster Linie die Vergütung nach EEG für die von der Anlage erzeugte Energie.

In zweiter Linie basiert hierauf die Kostenermittlung für die baulichen Maßnahmen des Kraftwerks inklusive Krafthaus, Einlaufbauwerk, Kanälen usw. und der maschinen- und elektrotechnischen Ausrüstung. Durch die Festlegung der Bauweise ergeben sich des Weiteren die Randbedingungen für die Ausgestaltung von Fischaufstiegsanlagen (FAA) sowie Fischschutz- und -abstiegsanlagen (FAB) und die bautechnische Bewertung bezüglich deren Umsetzung.

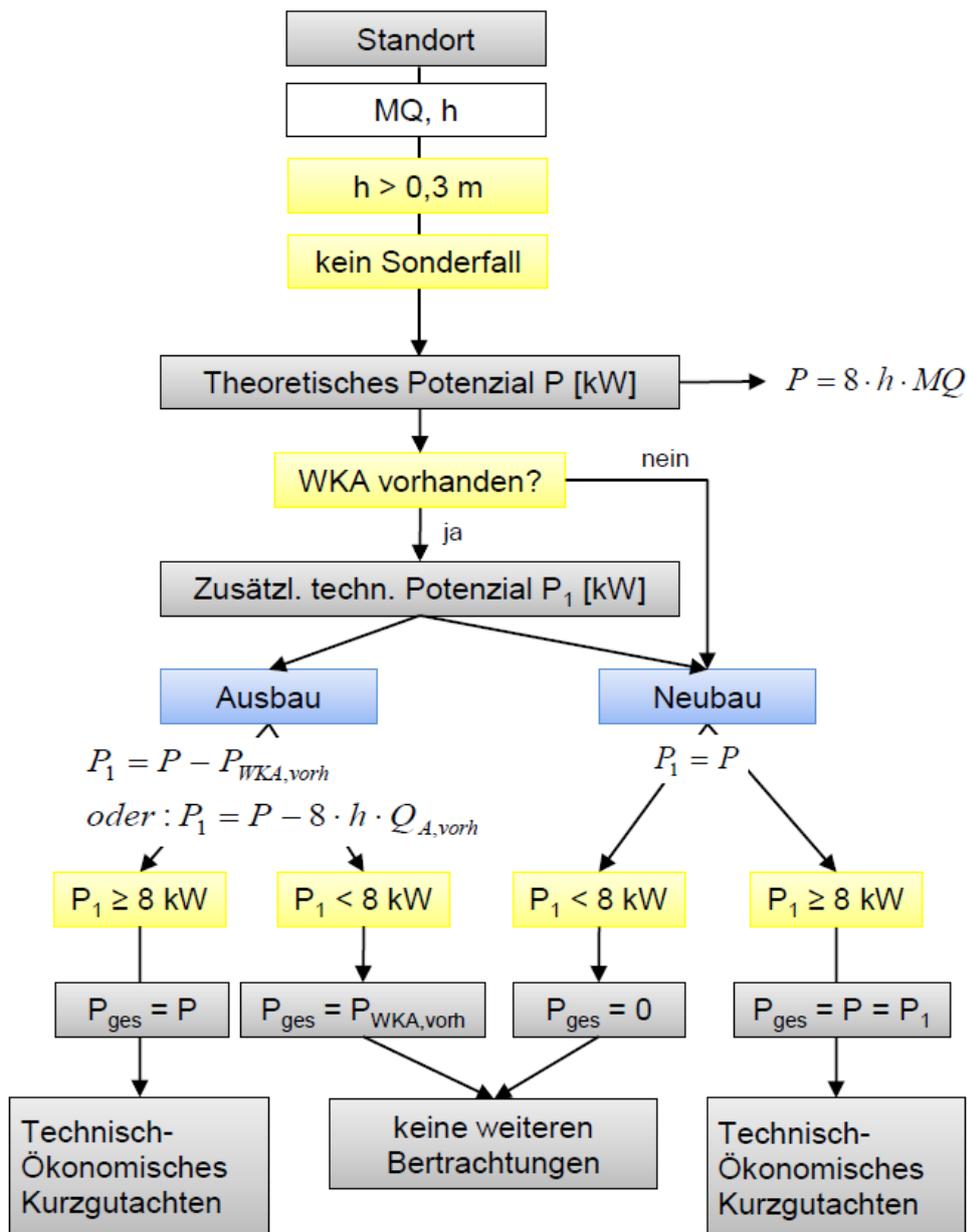


Abbildung 6-1: Potenzialermittlung

Dabei muss hervorgehoben werden, dass es sich bei dieser Entscheidung nicht zwingend um die Maßnahme handelt, die durchgeführt würde, wenn das Bauvorhaben tatsächlich realisiert würde. Soll die Baumaßnahme durchgeführt werden, um das eventuell zusätzlich vorhandene Potenzial zu nutzen, würden weitere Faktoren, wie etwa die örtlichen Gegebenheiten und spezielle Restriktionen, eine große Rolle bei der Wahl des Kraftwerktyps spielen. Vor allem infolge limitierter, zur Verfügung stehender Informationen musste hier eine vereinfachte Betrachtungsweise gewählt werden.

Hierauf aufbauend kann im Rahmen dieser ersten Bewertung das zusätzliche technische Potenzial  $P_1$  der einzelnen Standorte ermittelt werden (siehe Abbildung 6-1). Ist dieses Potenzial  $P_1 \geq 8 \text{ kW}$  – dies entspricht rein rechnerisch einem Standort mit einem Abfluss von etwa  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  bei  $1 \text{ m}$  Fallhöhe –, wird eine weitere Betrachtung des Standortes vorgenommen.

## 6.2 Betriebsstatus und Kraftwerkstyp

Alle Entscheidungen und Berechnungen gehen vom Standort des Querbauwerks (QBW) – d. h. des Wehres oder des Sohlenbauwerks – aus (Anderer et al. 2010).

Ist dem QBW **keine Wasserkraftanlage zugeordnet**, werden alle weiteren Berechnungen unter der Annahme geführt, dass ein **Neubau als Flusskraftwerk** ausgeführt wird. Die Herangehensweise stützt die ökologische Sichtweise. Das theoretische Potenzial ist gleich dem zusätzlichen technischen Potenzial und wird, wie in Abbildung 6-1 dargestellt, berechnet. Es werden die vollen Kosten sowohl für den Bau der Wasserkraftanlage inklusive Krafthaus, Einlaufbauwerk usw. als auch für die maschinen- und elektrotechnische Ausrüstung angesetzt. Die Errichtung einer FAA sowie einer Fischschutz und -abstiegseinrichtung wird mit einkalkuliert.

Ist dem QBW **eine Wasserkraftanlage zugeordnet**, wird entsprechend des Kraftwerktyps eine Unterscheidung zwischen Ausleitungs- und Flusskraftwerken vorgenommen.

In Abbildung 6-1 ist dargestellt, dass bei neu zu errichtenden Anlagen das theoretische Potenzial  $P$  gleich dem zusätzlichen Potenzial  $P_1$  ist. Nun gibt es aber Standorte in den Datensätzen, die den Betriebsstatus "Außer Betrieb, betriebsfähig" aufweisen und für die gleichzeitig jedoch eine eingespeiste Leistung aus den Jahren 2007-2012 vorliegt. In diesen Fällen ist das zusätzliche Potenzial nicht äquivalent zum theoretischen Potenzial und es wird ein Neubau mit den Kosten in Abhängigkeit vom zusätzlichen Potenzial berechnet. Bei stillgelegten Anlagen wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass kein Potenzial genutzt wird ( $P_{\text{vorh}}=0$ ) und somit der Standort als Neubau berechnet wird.

Umgekehrt gibt es auch Standorte, die aufgrund ihres Status als Ausbau berechnet werden, bei denen aber in den Datensätzen keine Leistungsangabe vorliegt und somit das zusätzliche Potenzial gleich dem theoretischen Potenzial ist.

### 6.2.1 Flusskraftwerke

In Abbildung 6-2 ist die weitere Vorgehensweise für Flusskraftwerke dargestellt.

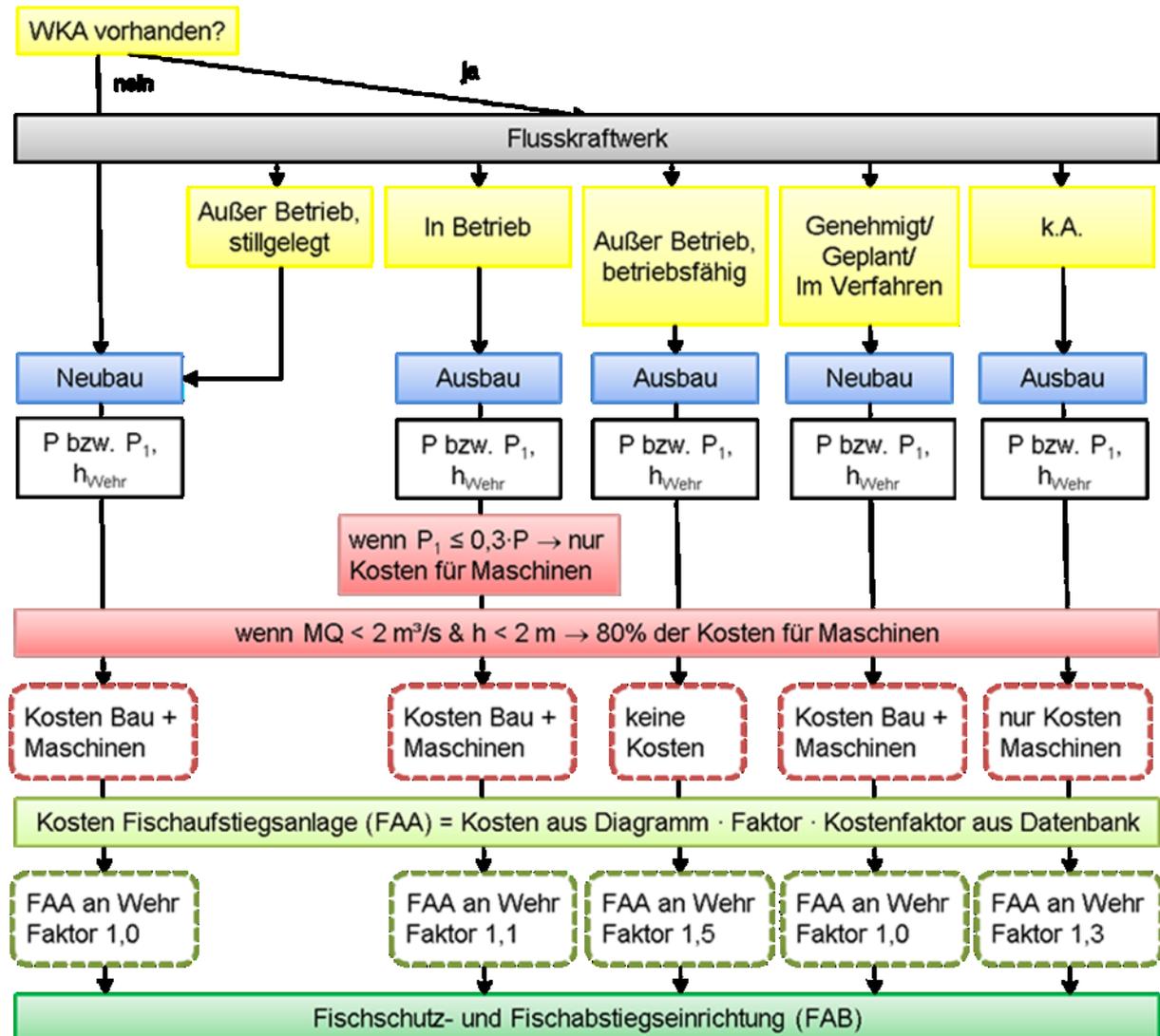


Abbildung 6-2: Entscheidungsbaum bei Flusskraftwerken

Ausgehend vom Betriebsstatus wird über die Ausbaumöglichkeiten der Anlage entschieden. In der Datenbank sind 7 verschiedene Einträge, die den Betriebsstatus einer bestehenden Anlage charakterisieren, zu finden. Diese werden in die folgenden 5 Gruppen eingeteilt:

- "Außer Betrieb, stillgelegt"

- "In Betrieb"
- "Außer Betrieb, betriebsfähig"
- "Genehmigt", "Geplant", "Im Verfahren"
- und "k.A."

Ist ein bestehendes Flusskraftwerk "**Außer Betrieb, stillgelegt**" wird die Anlage, wie bereits oben erwähnt, aus ökologischen Gründen als Neubau eines Flusskraftwerkes berechnet. Die Unterscheidung über Neubau oder Erweiterung spielt eine Rolle bei der Vergütung nach EEG 2009. Das theoretische Potenzial  $P$  ist gleich dem zusätzlichen technischen Potenzial  $P_1$ . Mit dieser Größe werden alle weiteren Berechnungen, wie die Kostenberechnung der Wasserkraftanlage und des Fischaufstieges (siehe Kapitel 6.3.2), fortgeführt.

Wird der Betriebsstatus eines bestehenden Flusskraftwerkes als "**In Betrieb**" angegeben, wird eine Erweiterung der bestehenden Anlage um das zusätzliche technische Potenzial, welches sich aus der Differenz aus theoretischem Potenzial  $P$  und der vorhandenen Ausbauleistung  $P_{WKA, \text{vorh}}$  ergibt, geprüft. Es müssen Kosten für den Bau und die maschinen- und elektrotechnische Ausrüstung (Abbildung 6-2) entsprechend des zusätzlichen technischen Potenzials  $P_1$  kalkuliert werden. Bei zu erweiternden Wasserkraftanlagen wird weiterhin geprüft, ob die zusätzliche Leistung  $P_1$ , um die die Wasserkraftanlage ausgebaut wird,  $\leq 30\%$  des theoretischen Potenzials ist:

$$P_1 \leq 0,3 \cdot P$$

In diesem Fall wird aufgrund von Erfahrungswerten vereinfachend davon ausgegangen, dass die Baukosten entfallen und nur Kosten für die maschinen- und elektrotechnische Ausrüstung angesetzt werden. Diese Besonderheit stammt aus der Überlegung, dass durch das Installieren einer zusätzlichen kleinen Turbine kein weiterer maßgeblicher Ausbau des Krafthauses oder der Kanäle von Nöten ist.

Ferner wird für Standorte, in denen die Forderungen:

$$MQ < 2 \text{ m}^3/\text{s} \text{ UND } h < 2 \text{ m}$$

erfüllt sind, die Installation einer einfachen Technik, wie z. B. einer Wasserkraftschnecke bzw. eines Wasserrades für die Energiegewinnung in Betracht gezogen. Sind die genannten Kriterien erfüllt, werden die Kosten für maschinen- und elektrotechnische Ausrüstung auf 80 % reduziert.

Anlagen, deren Betriebsstatus als "**Außer Betrieb, betriebsfähig**" angegeben ist, werden wie eine Erweiterung des bestehenden Kraftwerkes behandelt. Es werden das theoretische sowie das zusätzli-

che technische Potenzial berechnet. Kosten für den Bau des Krafthauses oder die maschinen- und elektrotechnische Ausrüstung werden nicht berücksichtigt, da sie als vorhanden und funktionsfähig eingeschätzt wurden. Die Kosten für eine Fischaufstiegsanlage (FAA) werden allerdings mit dem höchsten Faktor beaufschlagt.

Sind Anlagen "**Genehmigt**", "**Geplant**", oder "**Im Verfahren**" werden die weiteren Berechnungen wie für Neubauten durchgeführt. Bezüglich der Vergütung muss laut EEG 2009 eine Differenzierung zwischen Neubauten und Modernisierungen vorgenommen werden. Vereinfachend wird hier mit der Vergütung für Neubauten gerechnet, da die in den Daten enthaltenen Informationen keine Unterscheidung zulassen. Es werden Kosten für den Bau und die maschinen- und elektrotechnische Ausrüstung sowie für die Errichtung einer FAA berücksichtigt.

Bestehende Flusskraftwerke, deren Betriebsstatus mit "**k. A.**" angegeben ist, werden wie Erweiterungen behandelt und mit dem theoretischen sowie dem zusätzlich technischen Potenzial berechnet. Es werden nur Kosten für die maschinen- und elektrotechnische Ausrüstung berechnet. Für die Baukosten der FAA wird ein erhöhter Faktor angesetzt.

In allen Fällen werden zusätzlich Kosten für eine Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtung (GAB) berücksichtigt (s.a. Kapitel 6.2.4).

## 6.2.2 Ausleitungskraftwerke

In Abbildung 6-3 ist der Entscheidungsbaum für bestehende Ausleitungskraftwerke dargestellt.

Im Falle eines bestehenden Ausleitungskraftwerkes verhält sich die Entscheidungsroutine ähnlich wie bei Flusskraftwerken. Bei bezüglich des Betriebsstatus als "**Außer Betrieb, stillgelegt**" eingestuft Kraftwerken werden zwei Fälle unterschieden:

- Stillgelegte Anlagen mit einem bestehenden Recht werden als zu reaktivierende Ausleitungskraftwerke betrachtet
- Stillgelegte Anlagen, für die kein Wasserrecht mehr besteht, werden als neugebaute Flusskraftwerke berechnet (siehe Kapitel 6.2.1).

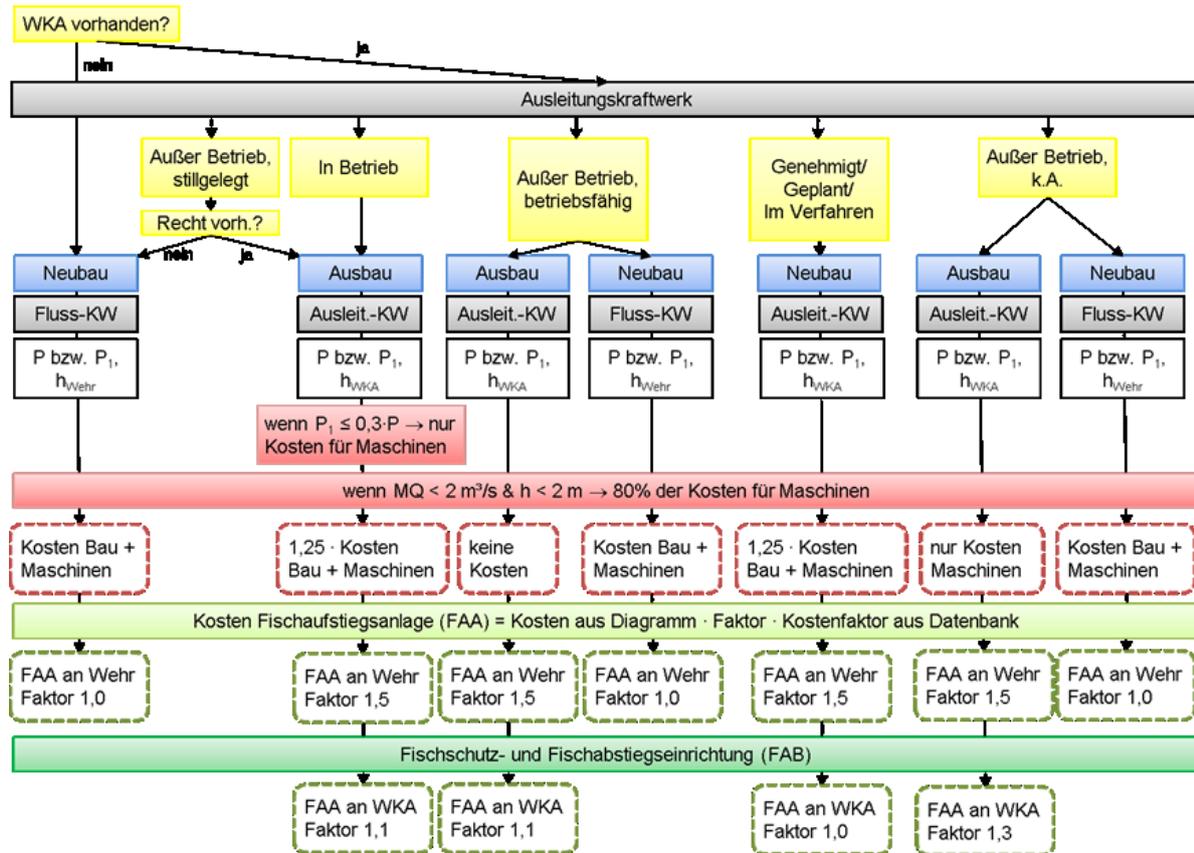


Abbildung 6-3: Entscheidungsbaum bei Ausleitungskraftwerken

Bei bestehenden Ausleitungskraftwerken, über deren Betriebsstatus nichts bekannt ist, ("k. A."), werden zwei alternative Szenarien betrachtet und das Günstigste weiterverfolgt. Zum einen werden das zusätzliche technische Potenzial und das theoretische Potenzial an einem neu zu errichtenden Flusskraftwerk inklusive aller Kosten für den Bau des Kraftwerkes und der Kosten für die maschinen- und elektrotechnische Ausrüstung berechnet. Zum zweiten wird die Erweiterung als Ausleitungskraftwerk betrachtet, wobei nur Kosten für die maschinen- und elektrotechnische Ausrüstung anfallen. In diesem Fall sind allerdings die Kosten für eine FAA mit einem hohen Faktor zu bewerten und im Falle eines Standortes in einem Gewässerabschnitt mit hohem Migrationsbedarf ist eine zweite FAA am Krafthaus sowie immer eine Fischschutz- und Fischabstiegsanlage an der WKA vorzusehen.

"Genehmigte", "Geplante", oder "Im Verfahren" befindliche Anlagen werden wie der Neubau eines Ausleitungskraftwerkes berechnet. Auch hier wird vereinfachend (i. d. R. aufgrund fehlender Daten) mit der Vergütung für Neubauten gerechnet; diese Vorgehensweise wurde bei den nachvollziehbaren Fällen im Rahmen der Datenerhebung bestätigt. Die Baukosten und die Kosten für maschinen- und elektrotechnische Ausrüstung werden, da es sich um ein Ausleitungskraftwerk handelt, um 25 %

erhöht. Auch die Kosten für die Installation einer FAA am Wehr werden mit berücksichtigt. Im Falle des hohen Migrationsbedarfs sind auch hier eine zweite FAA am Krafthaus mit dem höchsten Kostenfaktor sowie an allen Standorten eine FAB einzuplanen.

Ist der Betriebsstatus eines bestehenden Ausleitungskraftwerkes "**Außer Betrieb, betriebsfähig**", müssen wiederum zwei alternative Szenarien berechnet werden, da nicht eindeutig festgelegt werden kann, welche Maßnahme die günstigste ist. Wird der Neubau als Flusskraftwerk berechnet, müssen alle Kosten für Bau und für maschinen- und elektrotechnische Ausrüstung kalkuliert werden inklusive einer FAA am Wehr. Im Falle der Erweiterung als Ausleitungskraftwerk um das zusätzliche technische Potenzial fallen weder Baukosten noch die Kosten für maschinen- und elektrotechnische Ausrüstung an. Allerdings stellt sich hier die Frage, warum die bestehende Anlage keine Energie gewinnt und außer Betrieb gesetzt wurde, obwohl sie funktionstüchtig ist. In diesem Fall müssen entweder wenigstens Kosten für eine Sanierung oder Anpassung an heutige Standards anfallen oder aber die Nutzung als Ausleitungskraftwerk wurde z. B. aus ökologischen Gründen untersagt, infolgedessen die Berechnung dieses Szenarios hinfällig wird. Hier sind des Weiteren die Kosten für eine bzw. zwei FAA sowie ggf. einer FAB zu berechnen.

"**In Betrieb**" befindliche Anlagen werden um das zusätzliche technische Potenzial erweitert und die Kosten entsprechend der Zubauleistung berechnet. Da es sich um ein Ausleitungskraftwerk handelt, müssen die Baukosten um 25 % erhöht werden. Allerdings ist zu prüfen, ob das zusätzliche technische Potenzial weniger als 30 % des theoretischen Potenzials beträgt. In diesem Fall müssen nur die Kosten für die maschinen- und elektrotechnische Ausrüstung mit berechnet werden. Weiterhin ist eine FAA am Wehr einzuplanen und evtl. eine zusätzliche FAA am Krafthaus mit dem höchsten Kostenfaktor.

### 6.2.3 Fischaufstiegsanlagen

Da aus fischökologischer Sicht eine Fischaufstiegsanlage (FAA) unabkömmlich ist, werden für alle Standorte, an denen der Fischaufstieg nicht gewährleistet ist, die Kosten für Fischaufstiegsanlagen berechnet.

Die Kosten von Fischaufstiegsanlagen werden nach den im Merkblatt DWA-M 509 (DWA 2014) angegebenen Erfahrungswerten von bereits errichteten Fischaufstiegsanlagen berechnet. Das hierauf aufbauende Diagramm in Abbildung 6-4 gibt die Kostenberechnung von Fischaufstiegsanlagen inklusive der Berechnungsformeln wieder.

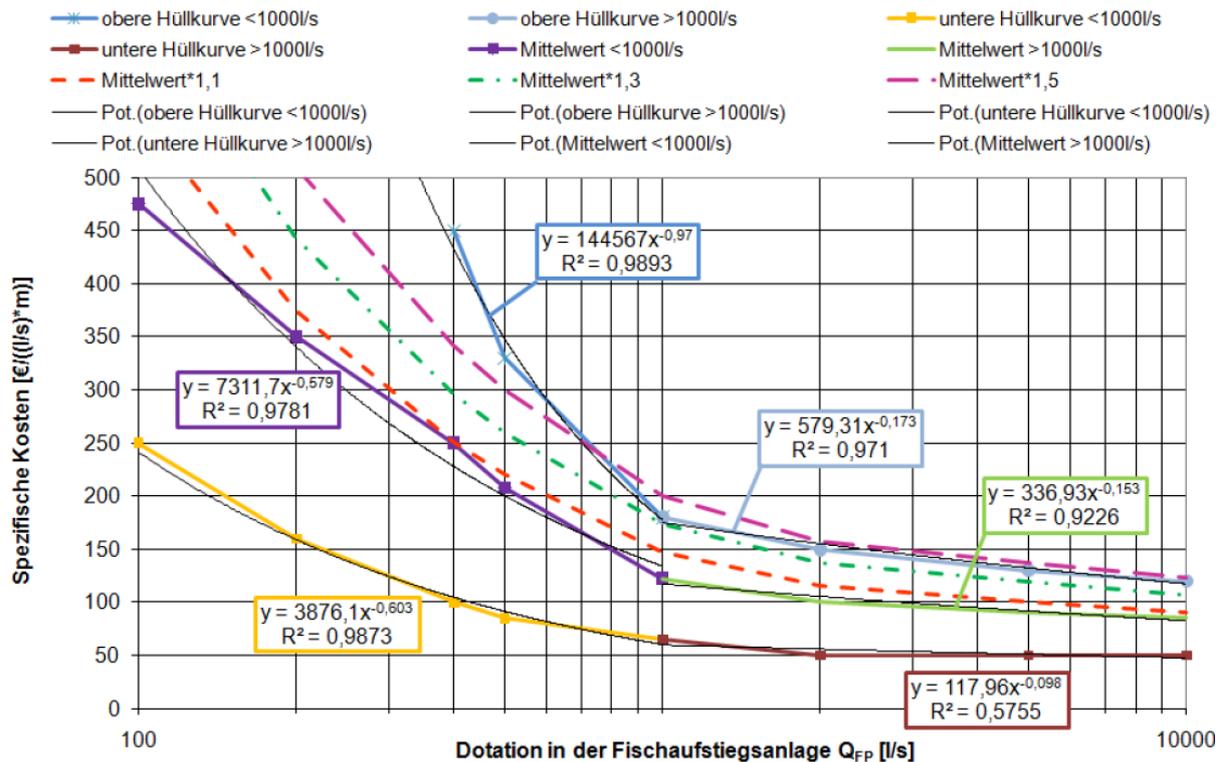


Abbildung 6-4: Spezifische Kosten von Fischaufstiegsanlagen

Die Kosten für FAA liegen im Bereich zwischen der oberen sowie der unteren Hüllkurve. Im Allgemeinen werden Beckenpässe teurer eingestuft als Umgehungsgerinne. Für Umgehungsgerinne liegen die Kosten im unteren Drittel, für Beckenpässe im oberen Drittel. Da die Meinungen über den bevorzugten Anwendungsbereich der einzelnen Konstruktionstypen von Fischaufstiegsanlagen weit auseinander gehen und dies auch von speziellen Gegebenheiten am Standort abhängt, wurden die Kosten im Rahmen dieser Studie vereinfacht mit einer mittleren Kurve wie folgt berechnet:

$$K_{FAA} = K_{spez.} \cdot Q_{FAA} \cdot h_f$$

Aus dem Diagramm in Abbildung 6-4 ersieht man, dass die spezifischen Kosten für FAA von deren Dotation  $Q_{FAA}$  abhängig sind.

Die so ermittelten Kosten werden mit einem Faktor gemäß Tabelle 6-1 multipliziert, der die Schwierigkeit bzw. den Aufwand der Baumaßnahme am jeweiligen Standort berücksichtigt.

**Tabelle 6-1:** Klassifizierung der Baumaßnahmen von Fischaufstiegsanlagen (FAA)

Faktor	Maßnahme	Begründung
0	Bau einer FAA nicht notwendig	Z. B. die Durchgängigkeit einer bestehenden FAA wurde als "gut" eingestuft oder die Herstellung der Durchgängigkeit war aus ökologischen Gründen nicht erforderlich.
0,5	Ertüchtigung einer bestehenden FAA	Verbesserungsmaßnahmen zur Gewährleistung der Durchgängigkeit.
1,0	Bau einer FAA im Zuge eines Neubaus einer WKA	Es sind keine zusätzlichen Aufwendungen und Kosten für Baustelleneinrichtung, Bodenuntersuchungen u. a. zu erwarten.
1,1	Bau einer FAA an einer zu erweiternden WKA	Es werden geringfügig höhere Kosten für zusätzliche Baustelleneinrichtung usw. eingeplant.
1,3	Bau einer FAA an einer nur geringfügig zu erweiternden WKA	Falls zum Beispiel nur die Turbinen modernisiert werden, erfordert der Bau der FAA weitere Aushubarbeiten und evtl. Umbauten.
1,5	Bau einer FAA ohne Baumaßnahmen an der WKA oder am Wehr	Ausleitungskraftwerke benötigen eine FAA am Wehr. Das bedeutet zusätzliche Baustelleneinrichtung, weitere Infrastruktur, Aushubarbeiten und Bodenuntersuchungen etc.

#### 6.2.4 Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen

Grundsätzlich werden zusätzlich Kosten für eine Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtung (FAB) nach Abbildung 6-6 berechnet.

### 6.3 Zweiter Bewertungsschritt

#### 6.3.1 Theoretisches Gesamtpotenzial

Zu Beginn der Potenzialberechnung erfolgt die Abschätzung des theoretischen Potenzials  $P$  und zusätzlichen technischen Potenzials  $P_1$  nach Abbildung 6-1.

Für das theoretische Potenzial  $P$  eines Standortes wird der Gesamtwirkungsgrad der Anlage vereinfachend pauschal mit  $\eta = 0,815$  angenommen, was einen mittleren Erfahrungswert darstellt. Dieser Mittelwert wird von neu errichteten Anlagen oft überschritten, von bestehenden Anlagen wird er aber ebenso häufig unterschritten. Weiterhin wird, aufgrund fehlender weiterer Informationen, ein Ausbaugrad  $f_a = Q_a/MQ = 1,0$ , d. h. ein Ausbaudurchfluss  $Q_a$  in Höhe des mittleren Abflusses  $MQ$  angenommen (Giesecke et al. 2009):

$$P = \rho_w \cdot g \cdot \eta \cdot h_f \cdot Q_a = 1 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,815 \cdot h_f \cdot MQ \approx 8 \cdot h_f \cdot MQ$$

Darauf aufbauend ergibt sich das zusätzliche technische Potenzial  $P_1$ , das entsprechend Tabelle 6-2 bei Erfüllung der Bedingung  $P_1 \geq 8 \text{ kW}$  in die weitere Betrachtung des Gesamtpotenzials wie folgt eingeht:

- Ausbau-Standort:  $P_{\text{ges}} = P_{\text{WKA,vorh}} + P_1$
- Neubau-Standort:  $P_{\text{ges}} = P_1$

**Tabelle 6-2:** Berechnung von Wasserkraftpotenzialen im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Oberrheins – Auswertung der Ergebnisse

Standorte Ausbau <sup>1</sup>	Standorte Neubau
<b><u>Wenn Ausbaupotenzial &lt; 8 kW:</u></b> Standort geht mit Status quo in das Gesamtpotenzial ein	<b><u>Wenn Rohpotenzial &lt; 8 kW:</u></b> Keine Potenzialberechnung für den Standort; Standort geht nicht in das Gesamtpotenzial ein
<b><u>Wenn Ausbaupotenzial ≥ 8 kW:</u></b> Standort geht mit Status quo + Ausbaupotenzial in das Gesamtpotenzial ein	<b><u>Wenn Rohpotenzial ≥ 8 kW:</u></b> Potenzialberechnung für den Standort, Standort geht in das Gesamtpotenzial ein
<sup>1</sup> Standorte Ausbau entsprechend Entscheidungsbäumen in <i>Abbildung 6-2</i> und <i>Abbildung 6-3</i>	

### 6.3.2 Technisch-ökonomisches Kurzgutachten unter Beachtung ökologischer Belange

Das technisch-ökonomische Kurzgutachten bewertet näherungsweise die Wirtschaftlichkeit eines potenziellen Standortes mithilfe des Verhältnisses von Investitionen und Jahresertrag, hier als "vereinfachte Amortisationszeit" bezeichnet. Dazu werden die zusätzlich erzeugbare Jahresarbeit und der Jahresertrag entsprechend Abbildung 6-5 errechnet. Hierbei fließen die Volllaststunden pro Jahr in Abhängigkeit der unterschiedlichen Abflusstypen, die über das Verhältnis von MNQ/MQ klassifiziert sind, und unter Berücksichtigung der energetisch nicht nutzbaren ökologischen Abflüsse ein. Tabelle 6-3 bis Tabelle 6-6 zeigen hierzu die Datengrundlage. Tritt der Fall auf, dass das MNQ gleich null wird, wurde eine Volllaststundenzahl von 4.380 h/a angesetzt.

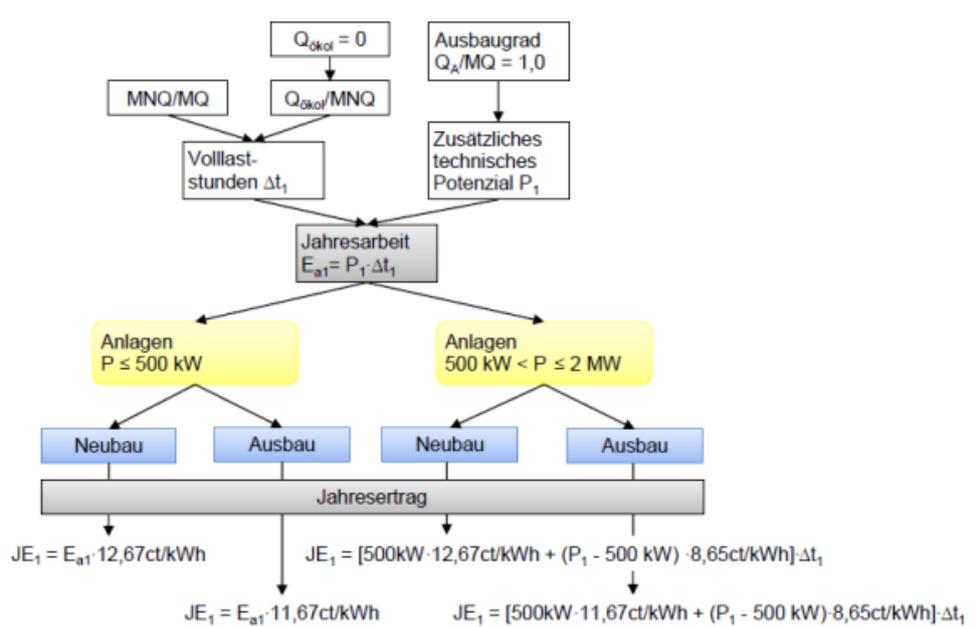


Abbildung 6-5: Jahresarbeit und Jahresertrag

Tabelle 6-3: Volllaststunden, Dauerlinientyp Ia ( $MNQ/MQ > 0,27$ )

Q <sub>ökol</sub> /MNQ	0	0,33	0,5	0,75	1	2	3
Q <sub>Ausbau</sub> /MQ							
0,25	8275	7720	6903	5761	4832	2024	947
0,50	7696	6505	5786	4782	3926	1730	710
0,75	6600	5431	4800	3944	3244	1475	637
1,00	5456	4358	3832	3105	2562	1220	563
1,20	4706	3741	3278	2683	2217	1081	534
1,60	3432	2517	2377	1958	1608	734	386
2,00	2641	2066	1820	1484	1214	592	347
2,50	1946	1517	1332	1101	913	485	322

**Tabelle 6-4:** Volllaststunden, Dauerlinientyp Ib ( $MNQ/MQ > 0,18$  &  $MNQ/MQ \leq 0,27$ )

Qökol/MNQ	0	0,33	0,5	0,75	1	2	3
Q <sub>Ausbau</sub> /MQ							
0,25	8308	8031	7589	7067	6317	3913	2594
0,50	7402	6635	6243	5648	5019	3182	2269
0,75	6180	5450	5180	4665	4150	2700	1995
1,00	4901	4321	4048	3632	3273	2253	1612
1,20	4186	3713	3479	3128	2840	1969	1452
1,60	3038	2680	2508	2280	2076	1466	1034
2,00	2345	2068	1936	1761	1612	1126	813
2,50	1736	1532	1435	1310	1202	864	637

**Tabelle 6-5:** Volllaststunden, Dauerlinientyp IIa ( $MNQ/MQ > 0.09$  &  $MNQ/MQ \leq 0.18$ )

Qökol/MNQ	0	0,33	0,5	0,75	1	2	3
Q <sub>Ausbau</sub> /MQ							
0,25	7932	7444	7084	6708	6203	4766	3607
0,50	6496	5999	5745	5378	5051	3991	3215
0,75	5420	5000	4810	4505	4260	3450	2800
1,00	4338	4015	3872	3668	3481	2881	2420
1,20	3805	3550	3428	3251	3088	2585	2187
1,60	2841	2673	2590	2487	2379	2022	1746
2,00	2303	2173	2110	2020	1940	1666	1451
2,50	1815	1713	1666	1603	1541	1319	1131

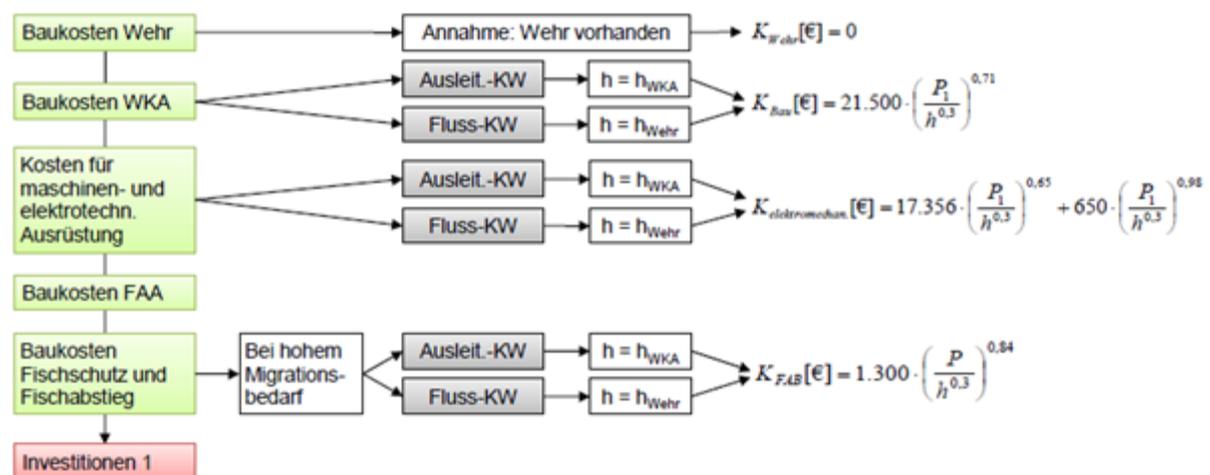
**Tabelle 6-6:** Volllaststunden, Dauerlinientyp IIb ( $MNQ/MQ > 0.00$  &  $MNQ/MQ \leq 0.09$ )

Qökol/MNQ	0	0,33	0,5	0,75	1	2	3
Q <sub>Ausbau</sub> /MQ							
0,25	6317	6138	6039	5908	5761	5387	4995
0,50	5272	5133	5077	4954	4880	4530	4268
0,75	4460	4390	4367	4320	4180	3900	3620
1,00	3644	3579	3510	3469	3420	3223	2999
1,20	3213	3128	3098	3057	3016	2819	2670
1,60	2387	2340	2317	2282	2248	2119	2001
2,00	1916	1882	1865	1838	1813	1710	1613
2,50	1476	1447	1432	1412	1393	1310	1235

Für die Ermittlung des Jahresertrages wurden auch in dieser Studie wieder die Vergütungssätze des EEG 2009 angesetzt, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse dieser Studie mit denjenigen für das Neckar-Einzugsgebiet zu gewährleisten. Hierbei ist auch zu berücksichtigen, dass die Änderungen des EEG 2012 sowie des EEG 2014 für den hier relevanten Teil unwesentlich sind.

Zusätzlich muss das Investitionsvolumen bestimmt werden. Es wird aus der Summe aus Baukosten am Wehr, Baukosten der Wasserkraftanlage, Kosten für maschinen- und elektrotechnische Ausrüstung, Kosten für eine Fischaufstiegsanlage (siehe Kapitel 6.2.3) und einer Fischschutz- und Fischabstiegsanlage (siehe Kapitel 6.2.4), gebildet (siehe Abbildung 6-6).

Die Investitionen werden immer in Abhängigkeit des zusätzlichen technischen Potenzials  $P_1$ , also für einen Ausbau des Standortes, berechnet, um bewerten zu können, ob die durch den Ausbau gewonnene Leistung in einem wirtschaftlichen Verhältnis zu den dafür aufzubringenden Investitionen steht.



**Abbildung 6-6:** Berechnung des Investitionsvolumens

Anschließend wird auf Basis des Verhältnisses von Investitionen  $I_1$  (Summe aus  $K_{Bau}$ ,  $K_{elektromech.}$ ,  $K_{FAA}$ ,  $K_{FAB}$ ) zu Jahresertrag  $JE_1$  gemäß Abbildung 6-7 entschieden, ob weitere Berechnungen am Standort vorgenommen werden. Dabei wird mit einem bewusst hoch angesetzten Quotienten gearbeitet, um sicherzustellen, dass alle auch bei längeren Betrachtungsperioden möglicherweise wirtschaftlich nutzbaren Standorte für die weitere Betrachtung erhalten bleiben.

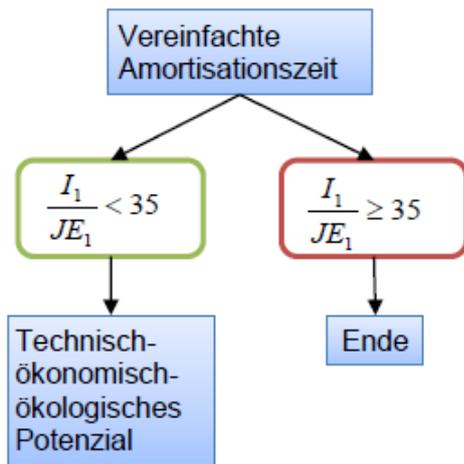


Abbildung 6-7: Beurteilung der vereinfachten Amortisationszeit

### 6.3.3 Technisch-ökonomisch-ökologisches Potenzial

Beträgt die vereinfachte Amortisationszeit weniger als 35 Jahre, wird als weitere Detaillierungsstufe das zusätzliche technisch-ökonomisch-ökologische Potenzial  $P_2$  gemäß Abbildung 6-8 berechnet.

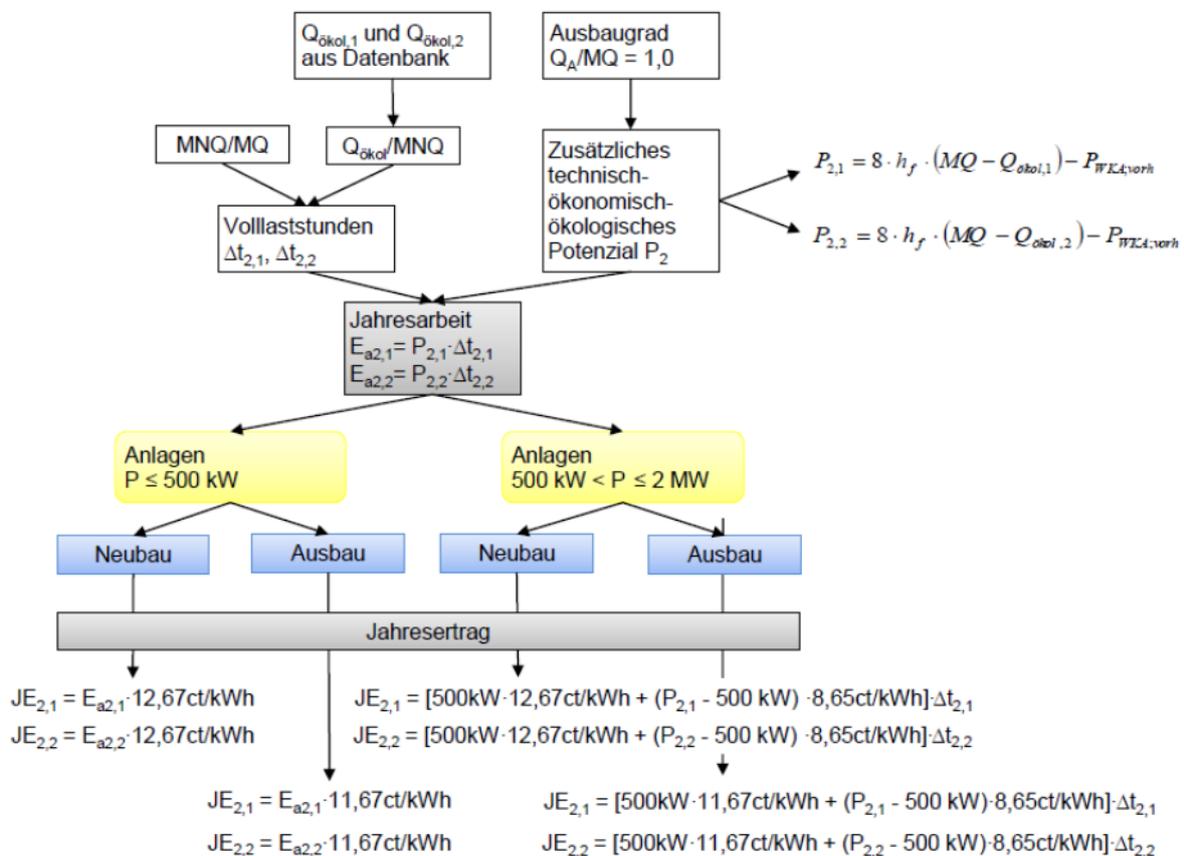


Abbildung 6-8: Jahresarbeit und Jahresertrag unter Berücksichtigung der ökologischen Abflüsse nach Szenario 1

Hierbei werden zwei Fälle betrachtet (siehe Kapitel 5 und Tabelle 5-3):

- Szenario 1: Potenzial  $P_{2,1}$  mit den ökologischen Abflüssen unter pauschaler Berücksichtigung der Orientierungswerte nach Wasserkrafterlass BW
- Szenario 2: Potenzial  $P_{2,2}$  unter Berücksichtigung spezifischer ökologischer Anforderungen an ökologische Abflüsse nach Wasserkrafterlass BW.

Zur abschließenden Bewertung der untersuchten Standorte wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung anhand des in Abbildung 6-9 dargestellten Schemas vorgenommen. Dabei wird der Kapitalwiedergewinnungsfaktor gemäß der KVR-Leitlinien KVR-Leitlinien (1998) unter der Annahme eines langjährigen Kalkulationszinssatzes von 3 % und einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 35 Jahren gewählt.

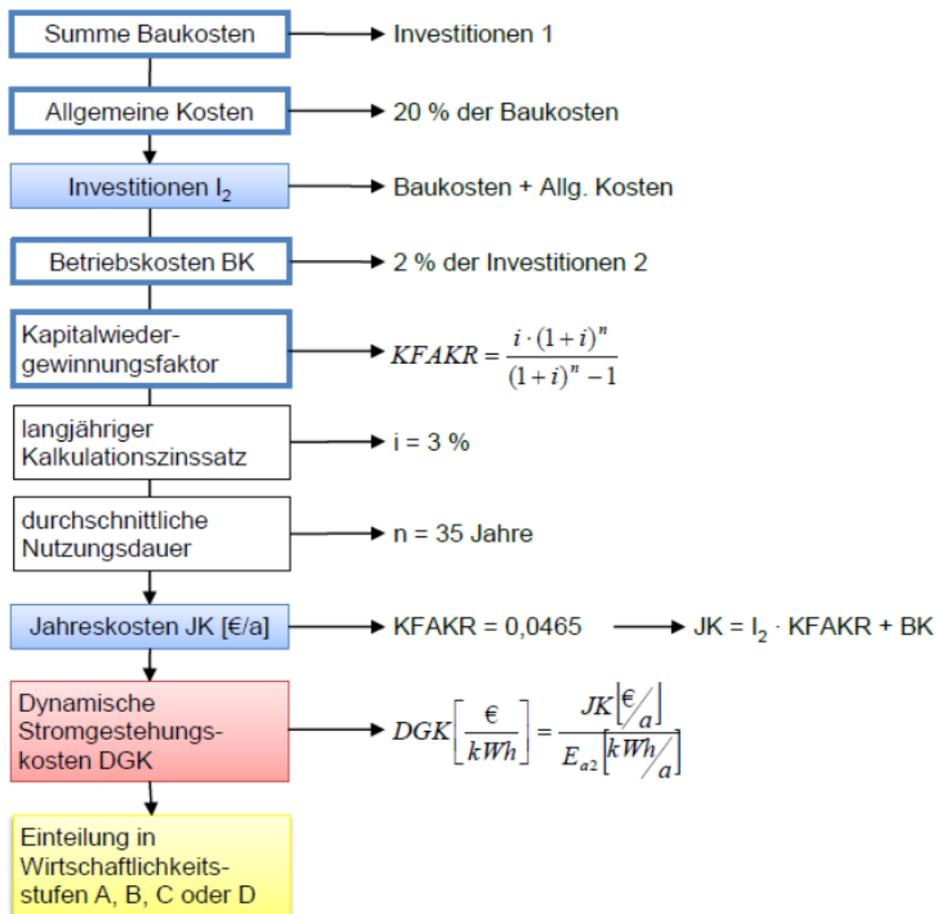


Abbildung 6-9: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Anschließend werden die dynamischen Gestehungskosten [€/kWh] des technisch-ökonomisch-ökologischen Potenzials  $P_{2,i}$  ermittelt und der jeweilige Standort in eine Wirtschaftlichkeitsklasse

gemäß Tabelle 6-7 eingestuft. Diese Wirtschaftlichkeitsstufen lehnen sich dabei an EEG-Mischvergütungssätzen an.

**Tabelle 6-7:** Wirtschaftlichkeitsstufen basierend auf den dynamischen Gestehungskosten

Dynamische Gestehungskosten DGK [€/kWh]	Wirtschaftlichkeitsstufe
$0 \leq \text{DGK} \leq 0,085$	A
$0,085 < \text{DGK} \leq 0,11$	B
$0,11 < \text{DGK} \leq 0,175$	C
$\text{DGK} > 0,175$	D

Eine eventuelle Über- oder Unterschätzung an Einzelstandorten wird, wie bereits im Kapitel 4.4 dargestellt, durch die Zusammenfassung der Ergebnisse auf Ebene der Gewässer oder Teileinzugsgebiete ausgeglichen. Auch sei nochmals darauf hingewiesen, dass diese Studie die jeweils notwendige Einzelfallprüfung nicht vorwegnehmen kann.

#### 6.3.4 Das Mindestwasserpotenzial

Des Weiteren wird an Standorten von Ausleitungskraftwerken für beide Szenarien geprüft, ob am jeweiligen Standort die zusätzliche Installation einer Mindestwasserturbine am Wehr sinnvoll ist (Abbildung 6-10).

Auch hier wurde der Ansatz gewählt, dass Anlagen erst ab einem Mindestpotenzial von 8 kW als technisch und ökonomisch realisierbar angesehen werden.

Das Mindestwasserpotenzial leitet sich aus der Überlegung her, dass eine Ausleitungsstrecke häufig mit mehr Wasser dotiert werden muss, als Wasser hydraulisch für die am Wehr installierte, funktionsfähige FAA notwendig wäre (vgl. Abbildung 6-11). Diese zusätzliche Teilmenge der Dotierung kann am Wehr durch eine Mindestwasserturbine energetisch genutzt werden.

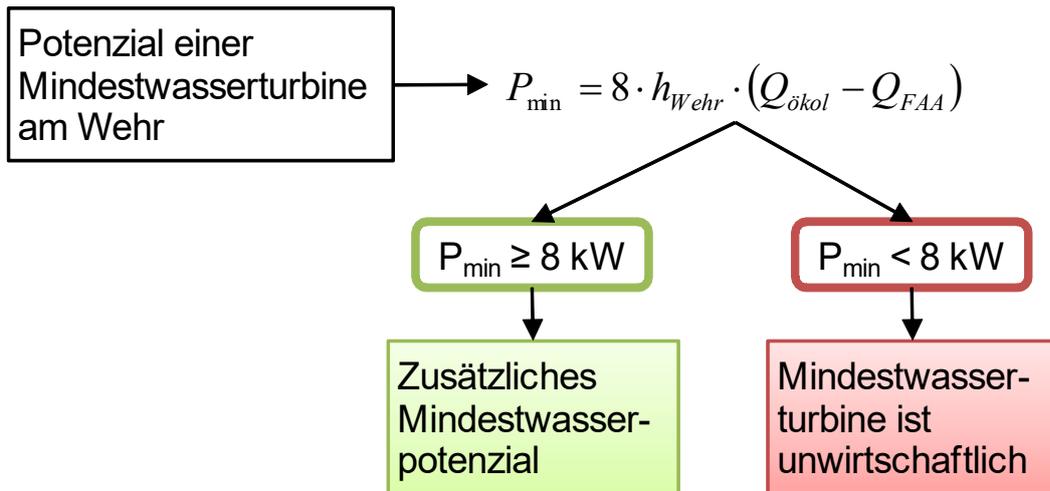


Abbildung 6-10: Mindestwasserpotenzial

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeitsklassen wurden die gleichen Kostenansätze für Bautechnik und elektrotechnische Ausrüstung herangezogen, wie in Kapitel 6 für Neubauten erläutert. Die Energieerzeugung wurde mit 8.280 Volllaststunden berechnet.

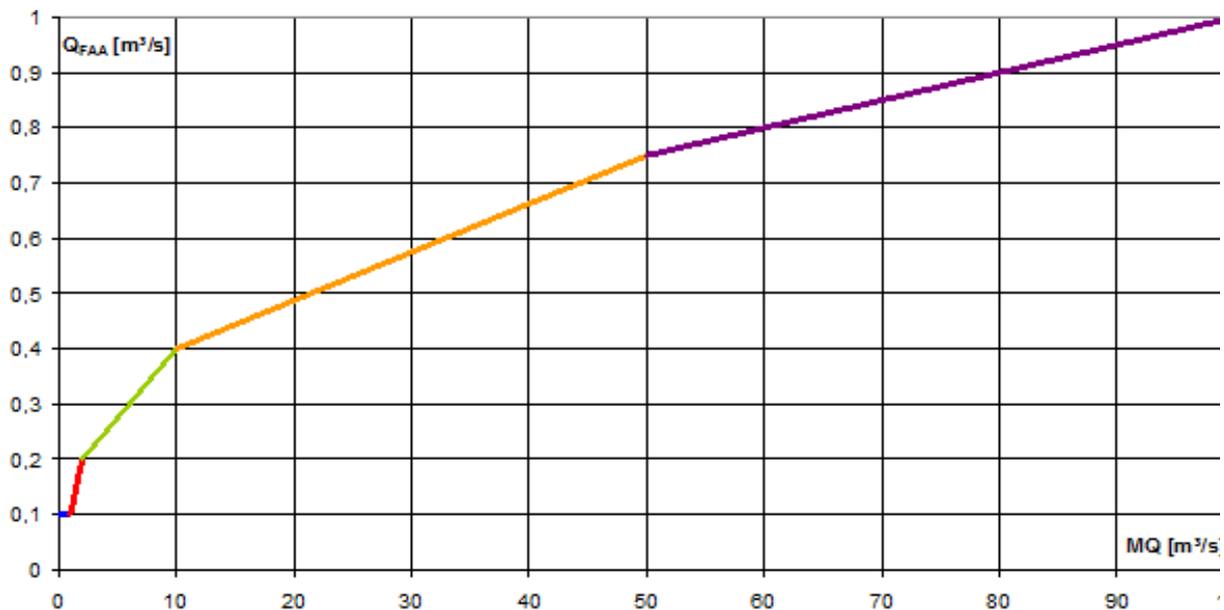
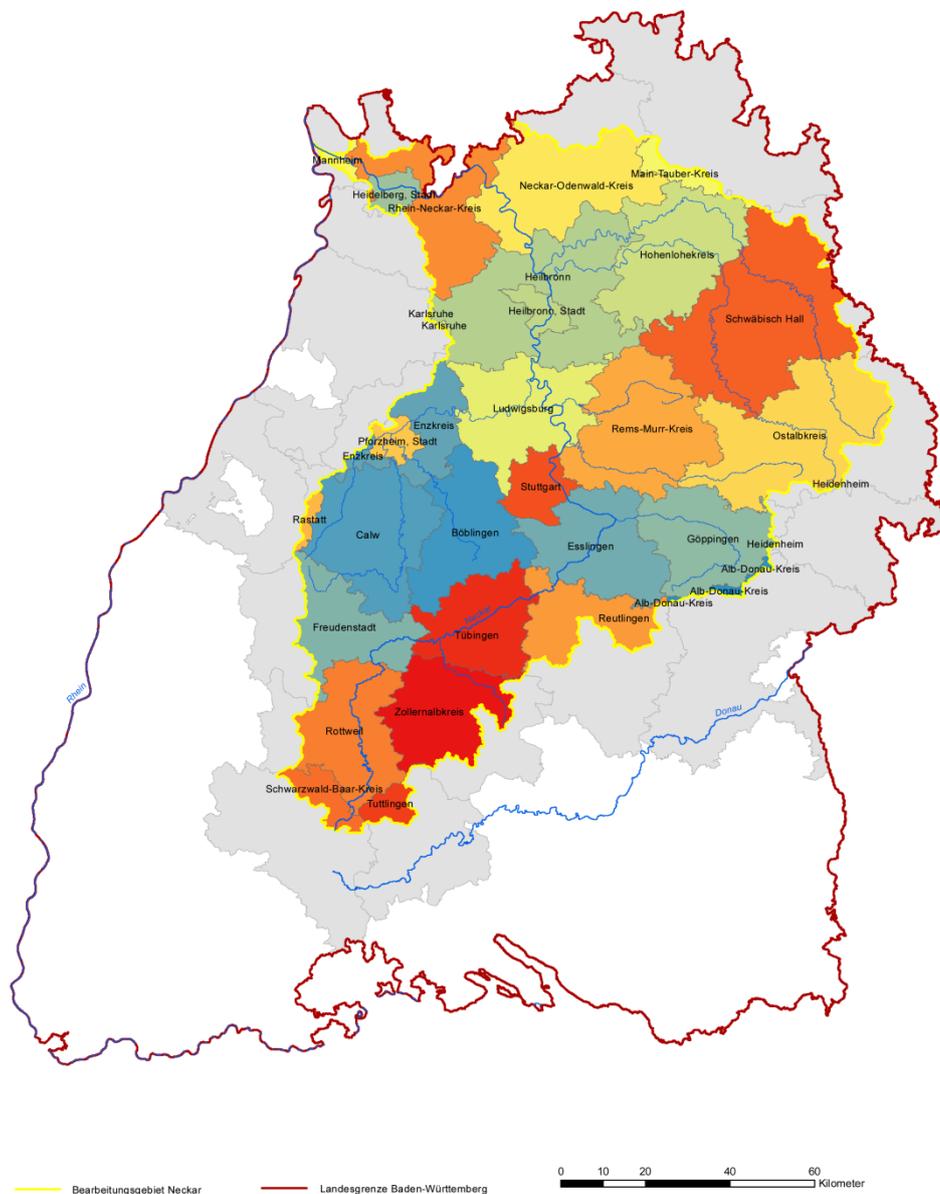


Abbildung 6-11: Mindestdotationsansatz für Fischaufstiegsanlagen basierend auf Erfahrungswerten für funktionsfähige Fischaufstiegsanlagen in Abhängigkeit vom Mittelwasserabfluss MQ

## 7 Ergebnisse

In Kapitel 7.1 sind zunächst aktuelle Informationen zur Nutzung der Wasserkraft im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars zusammengefasst. In Kapitel 7.2 folgt die Beschreibung der ermittelten Wasserkraftpotenziale.

Wie in Abbildung 7-1 dargestellt haben insgesamt 30 Stadt- und Landkreise einen Anteil am baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars. Allerdings liegen im Bereich des Main-Tauber-Kreises, des Landkreises Heidenheim, der Landkreise Karlsruhe und Rastatt und des Alb-Donau-Kreises keine (potenziellen) Wasserkraftstandorte innerhalb des Neckar-Einzugsgebiets.



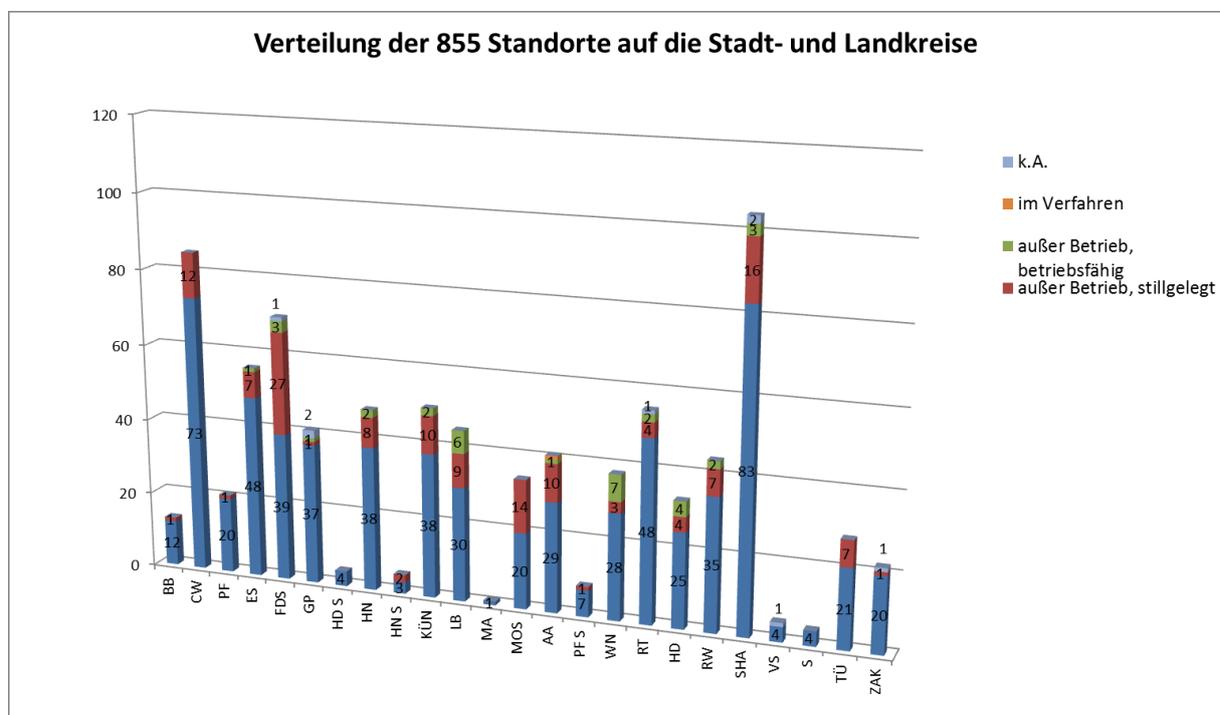
**Abbildung 7-1:** Stadt- und Landkreise mit Flächenanteil am baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars

## 7.1 Bestehende Nutzung der Wasserkraft

### 7.1.1 Überblick

Im Rahmen der Studie wurden Informationen zu 857 Wasserkraftstandorten im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars erfasst.

Abbildung 7-2 zeigt die Verteilung der bestehenden Wasserkraftanlagen auf die Stadt- und Landkreise. Mit Abstand die meisten Standorte befinden sich im Ortenaukreis. Auch die Landkreise Emmendingen, Rottweil, Freudenstadt und Rastatt verfügen aufgrund ihrer Topografie über zahlreiche Standorte im Untersuchungsgebiet.



**Abbildung 7-2:** Verteilung der bestehenden Wasserkraftstandorte auf die Stadt- und Landkreise<sup>23</sup> des baden-württembergischen Einzugsgebiets des Neckars

667 Anlagen waren im Jahr 2016 in Betrieb, 179 Anlagen waren außer Betrieb, wobei 34 Anlagen als betriebsbereit galten. Eine Anlage galt als „im Verfahren“. Für 8 Anlagen konnte der Betriebszustand

<sup>23</sup> (BB: Landkreis Böblingen; CW: Landkreis Calw; PF: Enzkreis; ES: Landkreis Esslingen; FDS: Landkreis Freudenstadt; GP: Landkreis Göppingen; HD S: Stadtkreis Heidelberg; HN: Landkreis Heilbronn; HN S: Stadtkreis Heilbronn; KÜN: Hohenlohekreis; LB: Landkreis Ludwigsburg; MA: Stadtkreis Mannheim; MOS: Neckar-Odenwald-Kreis; AA: Ostalbkreis; PF S: Stadtkreis Pforzheim; WN: Rems-Murr-Kreis; RT: Landkreis Reutlingen; HD: Rhein-Neckar-Kreis; RW: Landkreis Rottweil; SHA: Landkreis Schwäbisch Hall; VS: Schwarzwald-Baar-Kreis; S: Stadtkreis Stuttgart; TÜ: Landkreis Tübingen; ZAK: Zollernalbkreis)

nicht sicher bestimmt werden. Nur 758 Standorte gingen in die Ermittlung von Aus- oder Neubaupotenzialen ein. An den 27 Standorten am schiffbaren Neckar war die entwickelte Methodik nicht anwendbar. Darüber hinaus schieden weitere 72 Standorte aus, weil z.B. die WKA zurückgebaut wurde, kein Regelungsbauwerk mehr besteht oder wenn aus der Regionalisierung keine Abflusswerte bekannt sind.

Abbildung 7-3 gibt die Verteilung der im Jahr 2016 installierten Leistung der Wasserkraft im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars wieder. Insgesamt war eine Leistung von ca. 166 MW installiert.

Die Leistung wird stark durch die Anlagen über 1 MW am Neckar zwischen Plochingen und Mannheim dominiert. Die höchste installierte Leistung findet sich in den Landkreisen Ludwigsburg (ca. 25 MW), Heilbronn und Rhein-Neckar-Kreis (je ca. 18 MW). Obwohl im Landkreis Schwäbisch Hall mehr als 100 Wasserkraftanlagen installiert sind, sind insgesamt nur rund 5,5 MW Leistung installiert, weniger als in der Stadt Mannheim mit dem Neckarkraftwerk Feudenheim (5,9 MW).

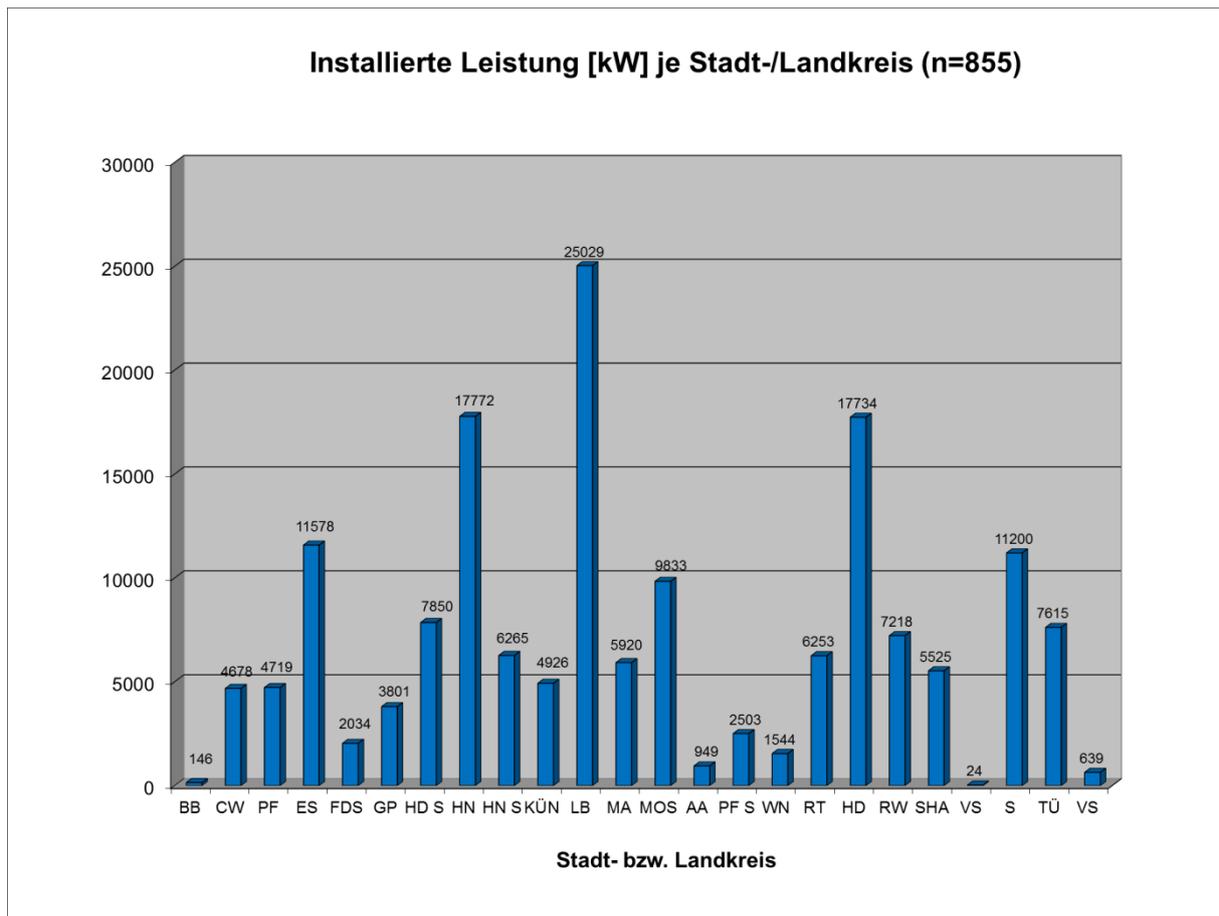


Abbildung 7-3: Verteilung der installierten Leistung auf die Stadt- und Landkreise<sup>24</sup>

Abbildung 7-4 schlüsselt die Anlagen nach Leistungsklassen auf. Abbildung 7-5 gibt die installierte Gesamtleistung aufgeschlüsselt nach den Leistungsklassen wieder. Unter der Klasse P = 0 kW bzw. k.A. sind hier Anlagen bzw. Standorte zusammengefasst, für die keine Leistungsdaten ermittelt werden konnten, oder die stillgelegt sind und bei denen aktuell keine maschinellen Vorrichtungen mehr vorhanden sind. Diese Standorte wurden aber bei der Potenzialermittlung gemäß dem in Kapitel 6 beschriebenen Vorgehen berücksichtigt.

Fast die Hälfte der 2016 aktiven Wasserkraftanlagen im Neckar-Einzugsgebiet besitzen eine Leistung von maximal 50 kW. Nur 4 % der Anlagen haben eine Leistung von mehr als 1.000 kW. Bis auf sechs Anlagen sind diese allesamt entlang der Bundeswasserstraße Neckar zwischen Plochingen und Mannheim installiert. Die leistungsstärkste Laufwasserkraftanlage des Neckar-Einzugsgebietes ist mit 7,2 MW am unteren Neckar in Dossenheim installiert.

<sup>24</sup> (BB: Landkreis Böblingen; CW: Landkreis Calw; PF: Enzkreis; ES: Landkreis Esslingen; FDS: Landkreis Freudenstadt; GP: Landkreis Göppingen; HD S: Stadtkreis Heidelberg; HN: Landkreis Heilbronn; HN S: Stadtkreis Heilbronn; KÜN: Hohenlohekreis; LB: Landkreis Ludwigsburg; MA: Stadtkreis Mannheim; MOS: Neckar-Odenwald-Kreis; AA: Ostalbkreis; PF S: Stadtkreis Pforzheim; WN: Rems-Murr-Kreis; RT: Landkreis Reutlingen; HD: Rhein-Neckar-Kreis; RW: Landkreis Rottweil; SHA: Landkreis Schwäbisch Hall; VS: Schwarzwald-Baar-Kreis; S: Stadtkreis Stuttgart; Tü: Landkreis Tübingen; ZAK: Zollernalbkreis)

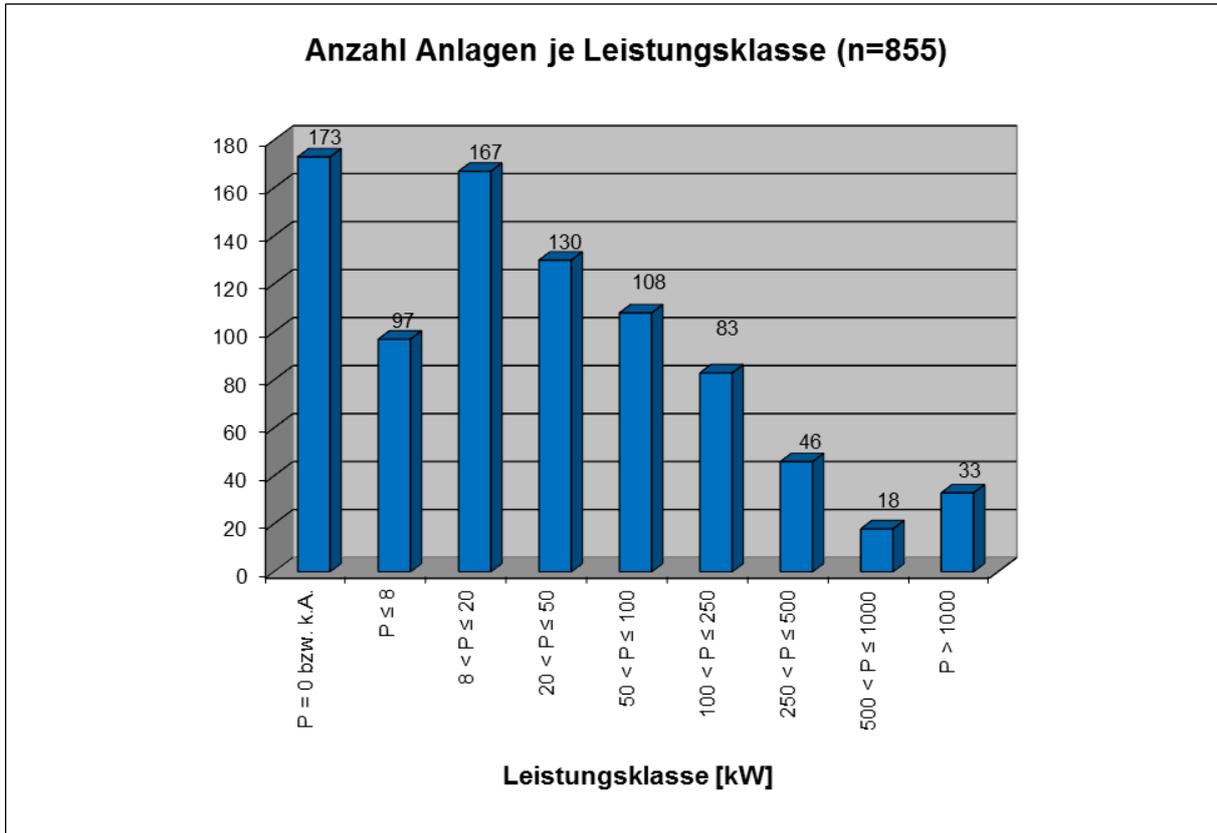


Abbildung 7-4: Verteilung bestehender Wasserkraftanlagen auf Leistungsklassen

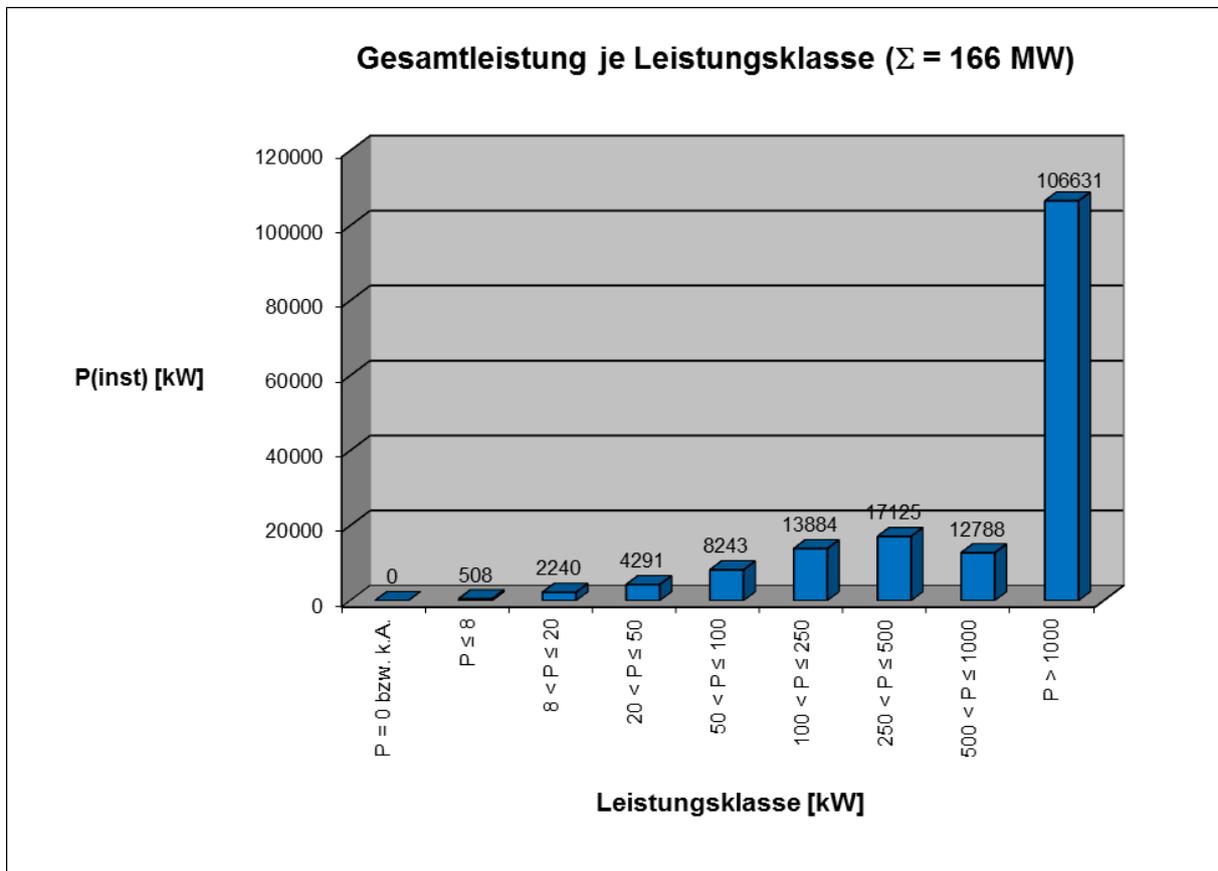


Abbildung 7-5: Installierte Leistung differenziert nach Leistungsklassen

Die Wasserkraftanlagen mit einer Leistung von über 1 MW stellen zwei Drittel der im Neckar-Einzugsgebiet installierten Leistung dar. Ähnlich wie in anderen Teilen von Baden-Württemberg ist die energiewirtschaftliche Bedeutung der „kleinen“ Wasserkraftanlagen bis 50 kW Leistung gering. Sie stellen zwar mehr als die Hälfte des Anlagenbestands, tragen aber nur 4 % zur insgesamt installierten Leistung bei.

### 7.1.2 Auswertung der EEG-Daten

Zu 503 der 669 Wasserkraftstandorte mit dem Status „in Betrieb“ liegen Daten zur Einspeisung von Strom nach EEG vor, welche eine installierte Leistung von 119 MW repräsentieren. Für die meisten Anlagen umfassen diese Informationen die Jahre 2007 bis 2013. Zu den anderen aktiven Wasserkraftanlagen liegen keine Daten nach EEG vor. Dies betrifft vor allem kleine Anlagen sowie Anlagen, deren Strom durch den Betreiber selbst genutzt oder anderweitig vermarktet wird. Umgekehrt sind in den EEG-Daten 24 Wasserkraftstandorte mit zusammen 850 kW Leistung enthalten, die keiner im Umweltinformationssystem des Landes Baden-Württemberg verzeichneten Wasserkraftanlage zugeordnet werden können. Nach Recherchen bei den unteren Wasserbehörden muss davon ausgegangen werden, dass es zumindest bei einem Teil der Anlagen um Turbinen im Zusammenhang mit der öffentlichen Wasserversorgung bzw. Abwasserentsorgung handelt.

Die Anzahl der im Folgenden dargestellten EEG-Anlagen gibt nur näherungsweise die Anzahl der nach EEG einspeisenden Anlagen aus dem Umweltinformationssystem (UIS) wider. Dies liegt daran, dass zum einen in einigen Fällen eine Anlage des UIS Baden-Württemberg mit mehreren Datensätzen in den EEG-Daten vertreten ist, z. B., wenn sie über mehrere Generatoren mit unterschiedlichen Stromzählern verfügt, zum anderen aber auch einige EEG-Datensätze mehr als eine Wasserkraftanlage des UIS repräsentieren, z. B. wenn ein Betreiber zwei WKA am gleichen Kanal betreibt.

Tabelle 7-1 stellt den in den Jahren 2007 bis 2012 nach EEG eingespeisten Strom aus Wasserkraft dar.

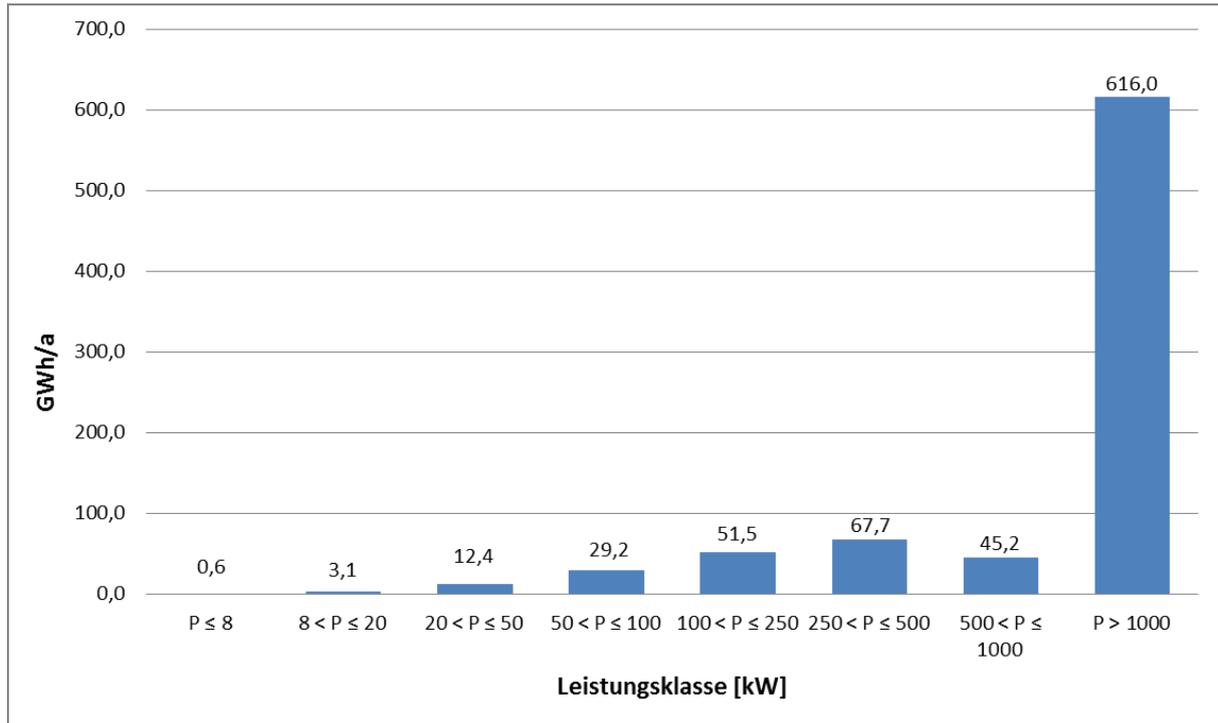
**Tabelle 7-1:** Einspeisung von Strom nach EEG in den Jahren 2007 bis 2013 im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars

P [kW]	Jahr	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
P ≤ 8	Anzahl	45	45	47	46	44	40	41
	MWh	621	632	625	725	500	382	896
8 < P ≤ 20	Anzahl	96	98	98	94	90	97	95
	MWh	3.346	3.347	3.218	3.500	2.384	2.692	3.530
20 < P ≤ 50	Anzahl	109	109	111	113	105	107	110

P [kW]	Jahr	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
	MWh	13.510	12.925	12.631	13.509	9.506	10.149	14.240
50 < P ≤ 100	Anzahl	95	97	105	100	98	96	94
	MWh	31.042	30.978	31.030	32.764	22.939	22.516	32.832
100 < P ≤ 250	Anzahl	76	77	79	78	68	80	76
	MWh	59.845	55.251	54.577	57.109	30.574	42.679	60.191
250 < P ≤ 500	Anzahl	50	48	49	48	43	49	44
	MWh	76.565	70.745	72.392	79.140	46.038	60.119	68.990
500 < P ≤ 1000	Anzahl	16	14	15	15	9	16	8
	MWh	61.135	52.563	51.475	56.190	21.230	41.816	31.950
P > 1000	Anzahl	25	21	21	20	3	22	4
	MWh	346.060	310.357	288.575	227.898	18.088	263.357	27.837
Summe	Anzahl	512	509	525	514	460	507	472
	MWh	592.124	536.798	514.523	470.835	151.259	443.710	240.466

Die Schwankungen des eingespeisten Stroms über die Jahre entsprechen in der qualitativen Tendenz der Entwicklung in den anderen Teilen von Baden-Württemberg. Insbesondere stellt das Jahr 2011 landesweit das Jahr mit sehr geringen aus Wasserkraft eingespeisten Strommengen dar. Die natürlichen jährlichen Schwankungen des Wasserdargebots sind eine wichtige Ursache für die Schwankungen. Hinzu kommt, dass die Anlage > 1 MW nur teilweise in den EEG-Daten repräsentiert sind.

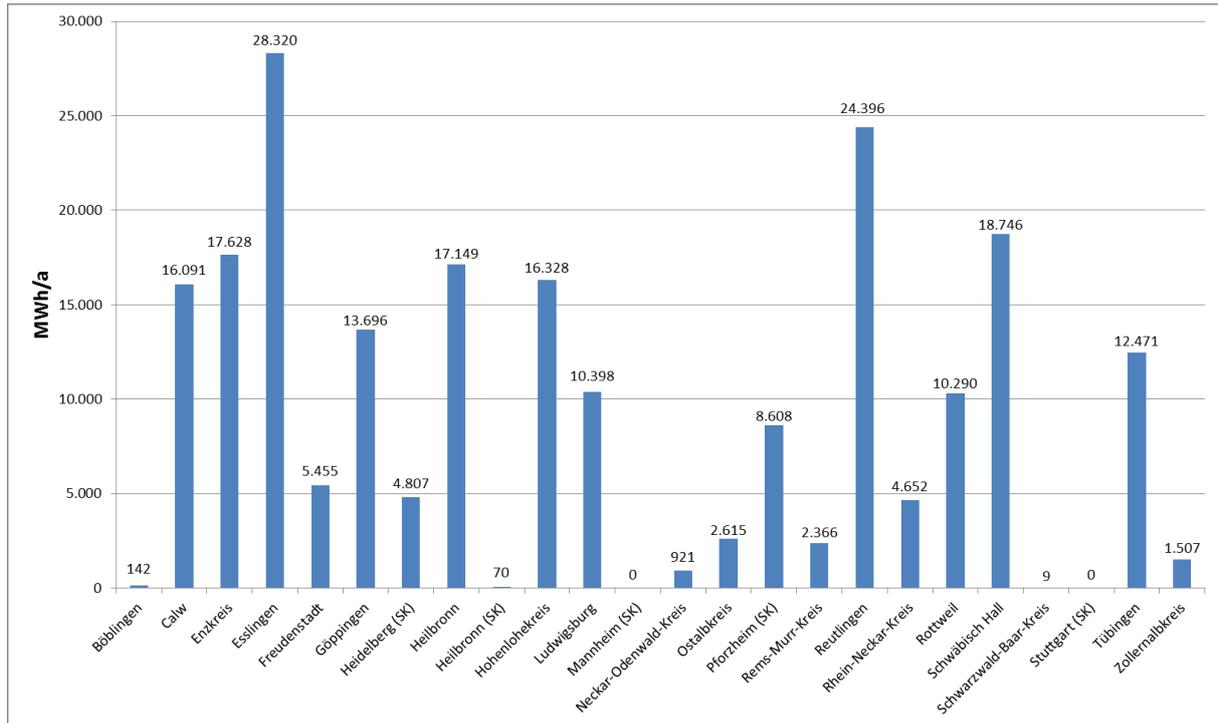
Wie Abbildung 7-6 zeigt, erzeugen die Kraftwerke > 1 MW rund 75 % des gesamten im Neckar-Einzugsgebiet erzeugten Stroms aus Laufwasserkraftanlagen. Die große Anzahl der kleinen Wasserkraftanlagen mit einer Leistung bis zu 100 kW erzeugt zusammen im Mittel gerade einmal 5 % des Stroms aus Wasserkraft.



**Abbildung 7-6:** Jahresstromerzeugung aus Wasserkraft im Neckar-Einzugsgebiet basierend auf der Auswertung von EEG-Daten für Anlagen bis 1.000 kW Leistung und Heimerl 2013(pers. Mitteilung) für Anlagen > 1.000 kW Leistung

Abbildung 7-7 zeigt die im Zeitraum 2007 bis 2013 im Mittel in den Stadt- und Landkreisen eingespeiste Strommenge aus Wasserkraft nach EEG aus Wasserkraftanlagen bis 1.000 kW Leistung.

Das Bild wird durch das natürliche Wasserkraftpotenzial des Neckars selbst und seiner großen Zuflüsse geprägt. Die höchsten eingespeisten Strommengen finden sich in den Landkreisen Esslingen (Neckar, Fils) und Reutlingen (Neckar, Echaz mit zahlreichen Anlagen). Relevante Stromeinspeisung findet darüber hinaus in den Kreisen Calw (Enz, Nagold), Enzkreis (Enz, Nagold, Würm), Heilbronn (Kocher, Jagst), Hohenlohekreis (Kocher, Jagst) und Schwäbisch Hall (Kocher, Jagst) statt.



**Abbildung 7-7:** Mittlere jährliche EEG-Einspeisung 2007 bis 2013 in den Stadt- und Landkreisen des baden-württembergischen Neckar-Einzugsgebiets

xyz Abbildung 7-8 zeigt die Entwicklung der Vergütungssätze der Wasserkraftanlagen bis 500 kW im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Oberrheins in den Jahren 2007 bis 2012. Dargestellt sind nur Anlagen, die in den genannten Jahren auch tatsächlich Strom in das Netz eingespeist haben.

Deutlich wird, dass auch im Jahr 2012 noch die Mehrheit der Anlagen nur mit dem niedrigsten Satz von 7,67 ct/kWh vergütet wird. Ihr Anteil nahm im Zeitraum 2007 bis 2012 von rund 90 % aller Anlagen bis 500 kW auf rund 60 % ab. 2012 wurden jeweils knapp 10 % der Anlagen mit 9,67 ct/kWh und 12,67 ct/kWh vergütet. 20 % der Anlagen erhielten eine Vergütung von 11,67 ct/kWh. Dahinter verbirgt sich auch, dass in den Jahren 2007 bis 2012 einige Anlagen nacheinander die steigenden erhöhten Vergütungssätze in Anspruch nehmen konnten, während viele andere Anlagen im gesamten Zeitraum keine technische oder ökologische Modernisierung im Sinne des EEG erfahren haben.

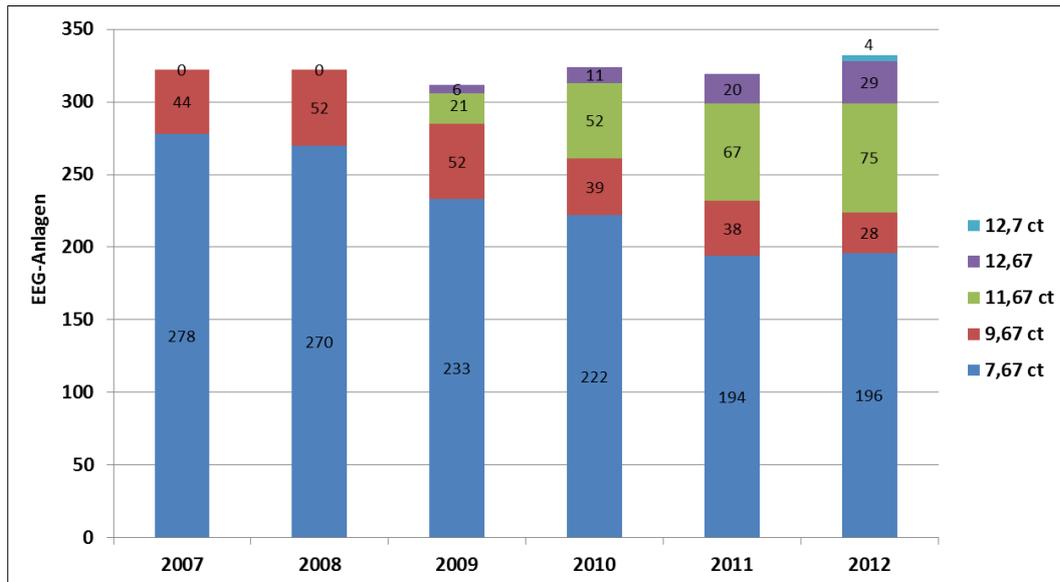


Abbildung 7-8: Vergütungssätze der EEG-Anlagen bis 500 kW zwischen 2007 und 2012

In Abbildung 7-9 ist die Vergütung der Wasserkraftanlagen bis 500 kW im Jahr 2012 nach den Leistungsklassen aufgeschlüsselt. Es wird deutlich, dass insbesondere bei den Anlagen < 50 kW Leistung bislang nur eine Minderheit der Bestandsanlagen in den Genuss der erhöhten Vergütung nach EEG kommt. Unter den Anlagen >50 kW hat bereits eine Mehrheit die Chancen des EEG zur Modernisierung der Anlage genutzt.

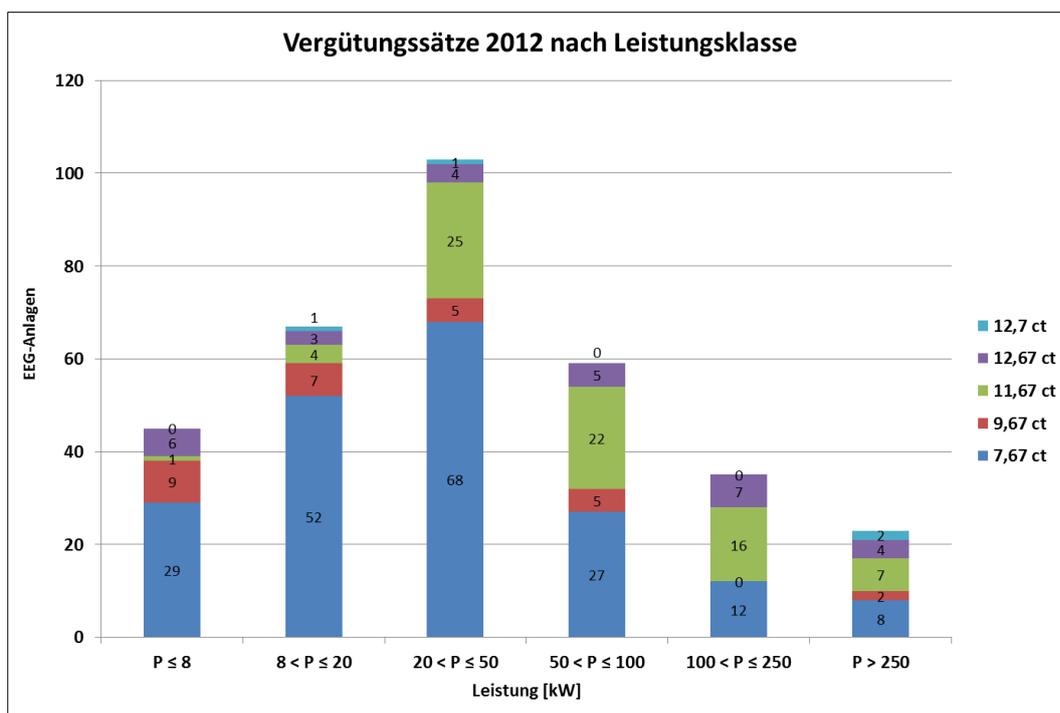
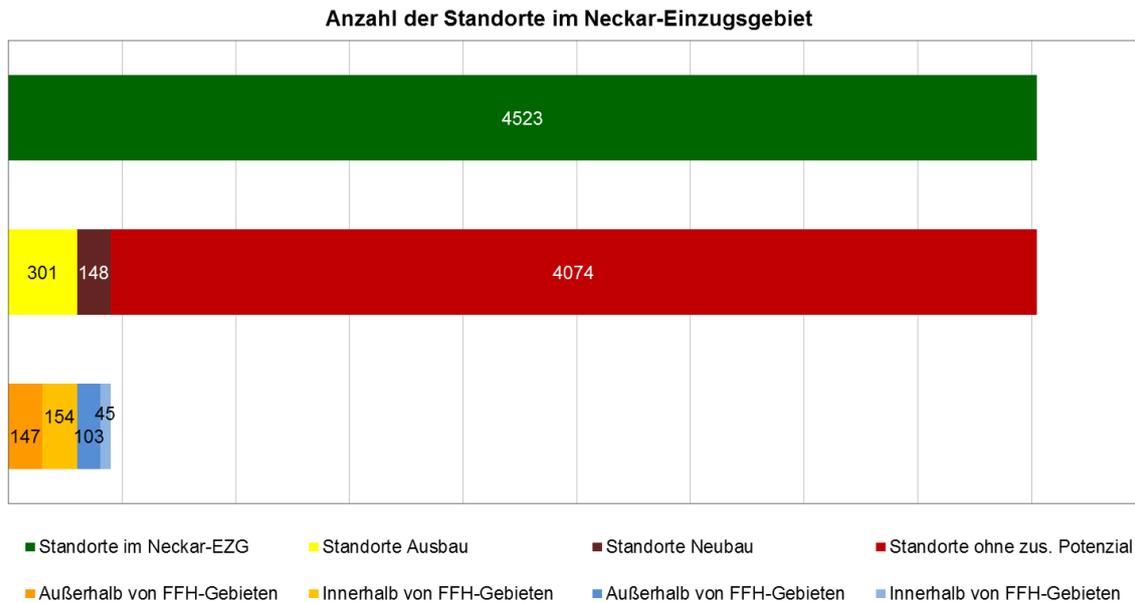


Abbildung 7-9: Vergütungssätze 2012 der EEG-Anlagen differenziert nach Leistungsklassen

Insgesamt erhalten die Anlagen im Einzugsgebiet des Oberrheins in größerem Umfang eine erhöhte Vergütung als in anderen Bearbeitungsgebieten.

## 7.2 Ausbaupotenzial der Wasserkraft

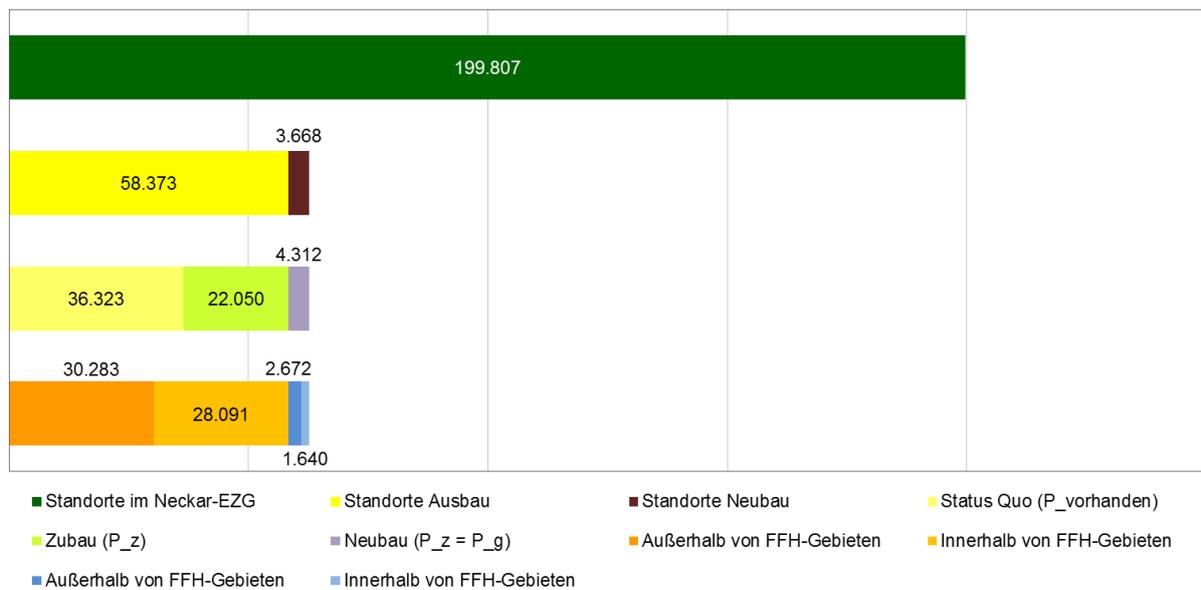
Für die Betrachtung des Ausbaupotenziales wurden insgesamt 4.523 Standorte im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars betrachtet, die entsprechend der erläuterten Vorgaben gemäß Abbildung 7-10 aufgeteilt werden können.



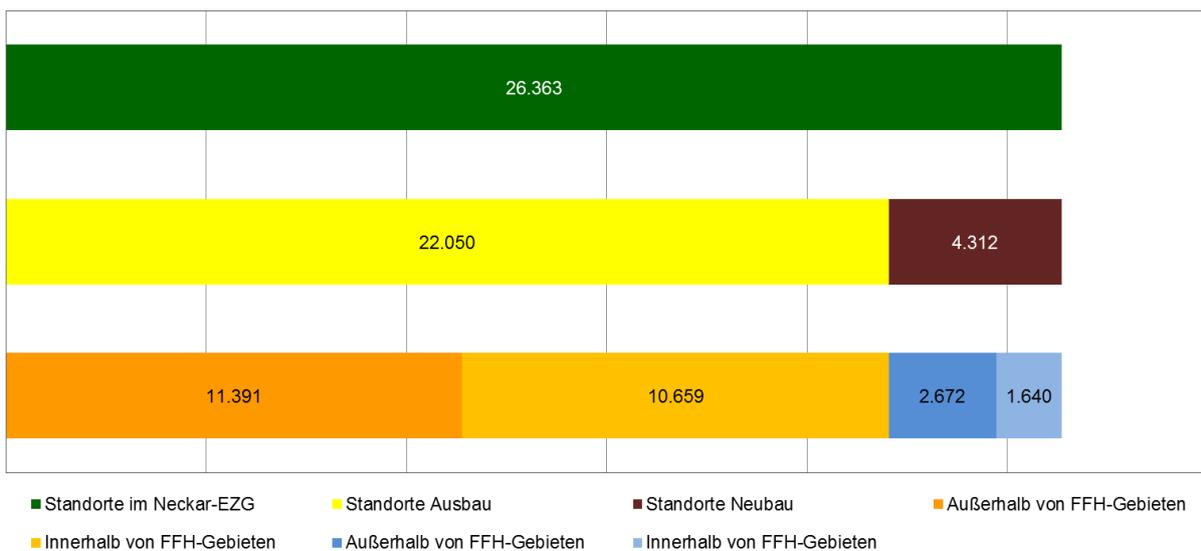
**Abbildung 7-10:** Anzahl der Standorte im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Oberrheins (Bauwerke ohne Potenzial gemäß Erläuterungen in Kapitel 6.1)

### 7.2.1 Theoretisches Gesamtpotenzial

Auf der Basis der im Kapitel 6.3.1 beschriebenen Vorgehensweise ergibt sich das Gesamtpotenzial im baden-württembergischen Oberrhein-Einzugsgebiet gemäß Abbildung 7-11 und darin enthalten das zusätzliche technische Potenzial gemäß Abbildung 7-12.



**Abbildung 7-11:** Technisches Gesamtpotenzial [kW] im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars

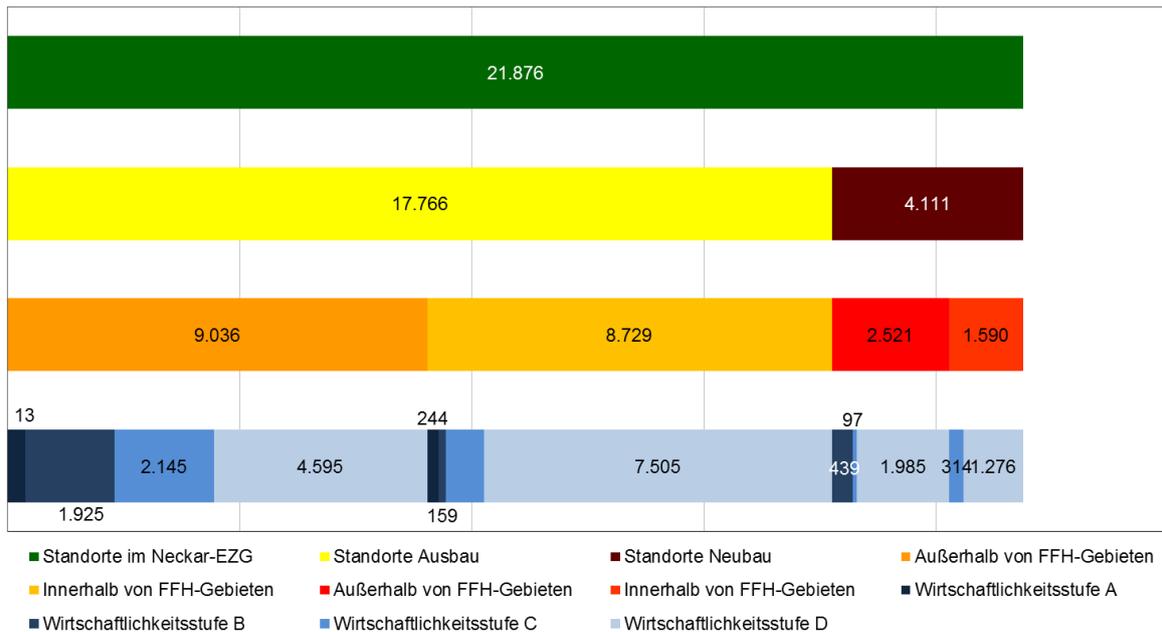


**Abbildung 7-12:** Zusätzliches technisches Potenzial [kW] im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars

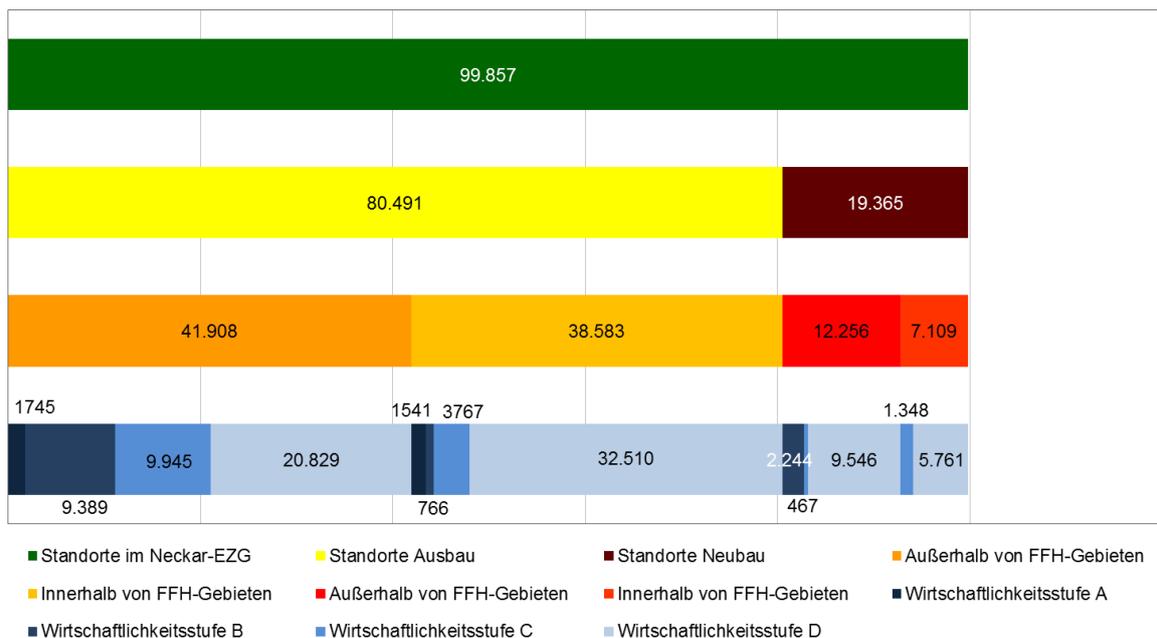
Innerhalb des technischen Gesamtpotenzials von knapp 200 MW nehmen 40 Standorte > 1.000 kW mit zusammen 121 MW den Löwenanteil ein. Hierunter auch die Wasserkraftanlagen entlang der Bundeswasserstraße Neckar zwischen Plochingen und Mannheim.

### 7.2.2 Technisch-ökonomisch-ökologisches Potenzial – Szenario 1

Mittels der in Kapitel 6.3.3 erläuterten Methodik ergibt sich nach einer aufwendigen Beurteilung aller Standorte das technisch-ökonomisch-ökologische Potenzial gemäß Abbildung 7-13 einschließlich der zugehörigen Jahresarbeit für das Szenario 1 (Abbildung 7-14), das eine pauschale Berücksichtigung der Orientierungswerte ökologischer Abflüsse nach Wasserkrafterlass Baden-Württemberg (Stand 2013) beinhaltet.



**Abbildung 7-13:** Zusätzliches technisch-ökonomisch-ökologisches Potenzial [kW] nach Szenario 1 im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars



**Abbildung 7-14:** Resultierende Jahresarbeit [MWh/a] auf der Basis des zusätzlichen technisch-ökonomisch-ökologischen Potenzials nach Szenario 1 im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars

### 7.2.3 Technisch-ökonomisch-ökologisches Potenzial – Szenario 2

Basierend auf der in Kapitel 6.3.3 erläuterten Methodik ergibt sich nach einer aufwendigen Beurteilung aller Standorte das technisch-ökonomisch-ökologische Potenzial gemäß Abbildung 7-15 einschließlich der zugehörigen Jahresarbeit für das Szenario 2 (Abbildung 7-16), das spezifische ökologische Anforderungen nach Wasserkrafterlass Baden-Württemberg (Stand 2013) berücksichtigt.

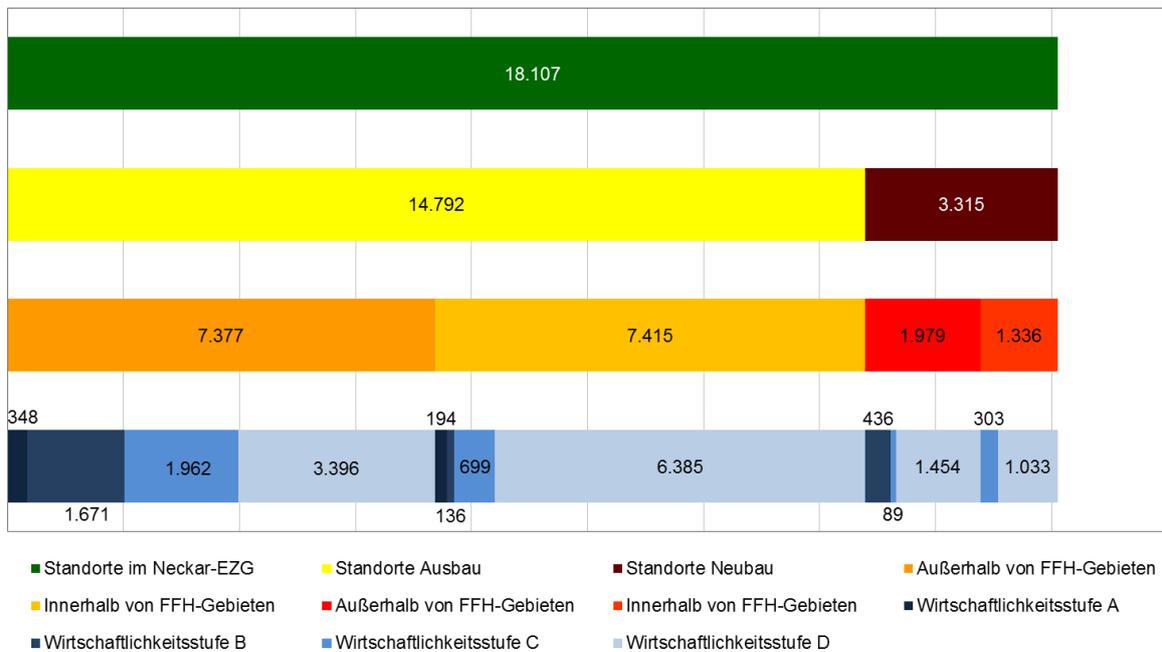


Abbildung 7-15: Zusätzliches technisch-ökonomisch-ökologische Potenzial [kW] nach Szenario 2 im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars

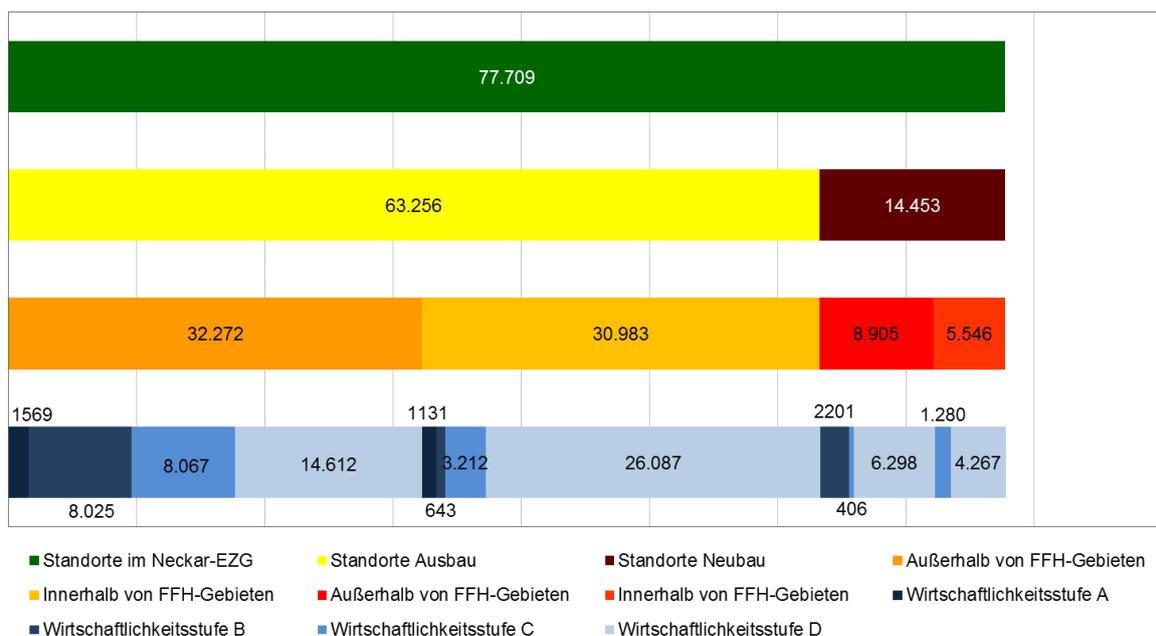


Abbildung 7-16: Resultierende Jahresarbeit [MWh/a] auf der Basis des zusätzlichen technisch-ökonomisch-ökologischen Potenzials nach Szenario 2 im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Neckars

## 7.2.4 Vergleich der Szenarien 1 und 2

Schließlich lässt sich auf der Basis der in Kapitel 0 und 7.2.3 vorgestellten Ergebnisse ein Vergleich dieser beiden Szenarien gemäß der Tabelle 7-2 bis Tabelle 7-4 anstellen.

**Tabelle 7-2:** Vergleich der Szenarien 1 und 2 hinsichtlich der Standortgruppierung im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Oberrheins

Standorte im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Oberrheins								
4.523								
Bauwerke ohne Potenzial	Neubau				Ausbau			
4.074	148				301			
	in FFH-Gebieten		außerhalb von FFH-Gebieten		in FFH-Gebieten		außerhalb von FFH-Gebieten	
	45		103		154		147	
Nach Wirtschaftlichkeitsstufen								
	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 1	Szenario 2
A	0	0	0	0	2	2	2	2
B	0	0	1	1	1	1	8	5
C	2	2	1	1	7	6	11	10
D	43	32	97	72	129	110	109	76

**Tabelle 7-3:** Verteilung des Verlustes beim Potenzial zwischen den Szenarien 1 und 2 geordnet nach Anlagengrößeklassen

Anlagengrößeklasse $P_{ges}$ [kW]	Anzahl der Standorte	zus. t.-ö.-ö. Pot. [kW]		Potenzialverlust	
		Szenario 1	Szenario 2	absolut	prozentual
$\leq 20$	173	3.392	2.157	1.235	36,4%
>20 $\leq 50$	100	4.208	3.489	719	17,1%
>50 $\leq 100$	63	3.882	3.318	564	14,5%
>100 $\leq 250$	42	4.505	3.975	530	11,8%
>250 $\leq 500$	20	2.967	2.664	303	10,2%
>500 $\leq 1.000$	14	2.793	2.504	289	10,3%
>1.000	1	129	0	129	100,0%
Zwischensumme	413	21.876	18.107	3.769	17%
Kein Potenzialverlust	26	247	247	-	-
Bauwerke ohne Potenzial	4.074	0	0	-	-
Gesamt	4.513	22.123	18.354	-	-

**Tabelle 7-4:** Verteilung des Verlustes bei der Jahresarbeit zwischen den Szenarien 1 und 2 geordnet nach Anlagengrößenklassen

Anlagengrößenklasse $P_{ges}$ [kW]	Anzahl der Standorte	Jahresarbeit [MWh/a]		Verlust an Jahresarbeit	
		Szenario 1	Szenario 2	absolut	prozentual
≤20	173	15.658	8.961	6.697	42,8%
>20 ≤50	100	18.885	14.820	4.065	21,5%
>50 ≤100	63	17.607	14.308	3.299	18,7%
>100 ≤250	42	20.300	16.120	4.180	20,6%
>250 ≤500	20	14.020	12.211	1.809	12,9%
>500 ≤1.000	14	12.840	11.289	1.551	12,1%
>1.000	1	547	0	547	100,0%
Zwischensumme	413	99.857	77.709	22.148	22%
Kein Potenzialverlust	22	0	0	-	-
Standorte ohne Potenzial	4.074	0	0	-	-
Gesamt	4.523	99.857	77.709	-	-

So ergibt sich aus Tabelle 7-2, dass nach Szenario 1 14 Standorte und nach Szenario 2 immerhin noch 11 Standorte der Wirtschaftlichkeitsstufen A und B zuzuordnen sind und damit voraussichtlich mit einer entsprechenden EEG-Vergütung realisierbar sein dürften. Auch die weiteren 21 bzw. 19 Standorte der Wirtschaftlichkeitsstufe C sollten einer näheren standortspezifischen Betrachtung unterzogen werden, um deren tatsächliche Realisierbarkeit zu prüfen.

Aus Tabelle 7-3 und Tabelle 7-4 ist zu erkennen, dass die standortspezifischen ökologischen Anforderungen des Szenario 2 vor allem bei den Leistungsklassen unter 250 kW zu einer spürbaren Verminderung der erzielbaren Jahresarbeit führen.

**Tabelle 7-5:** fischökologische Anforderungen an Standorte mit einem zusätzlichen Potenzial nach Szenario 1 von mindestens 8 kW

	SBW	RBW	WKA
Standorte mit $P_z \geq 8$ kW gesamt	64	49	300
1/6 MNQ bzw. 1/3 MNQ < 0,2 m <sup>3</sup> /s	60	45	20 bzw. 110
Standort im historischen Verbreitungsgebiet des Lachses	0	1	17
Standort im Geltungsbereich des Aalbewirtschaftungsplans	1	7	112
Standorte mit hohem Migrationsbedarf	12	16	143

In Tabelle 7-5 ist dargestellt, wie die Standorte mit einem Neubau- bzw. Ausbaupotenzial von mindestens 8 kW durch die ökologischen Anforderungen des Szenario 2 betroffen sind. Hier wird deut-

lich, dass einerseits eine große Zahl von Standorten an kleineren Gewässern liegt, bei denen der geringe Abfluss die Reservierung eines erheblichen Teils des Wasserdargebots für den Erhalt der ökologischen Funktionsfähigkeit des Gewässers zur Folge hat. Andererseits liegen die Standorte mit größerem Potenzial überwiegend an Gewässern mit hohem Migrationsbedarf, aber nicht im historischen Verbreitungsgebiet des Lachses. Hierin ist der Hauptgrund dafür zu sehen, dass die Potenzialverluste zwischen Szenario 1 und Szenario2 im Neckar-Einzugsgebiet relativ geringer ausfallen als im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Oberrheins.

## 8 Zusammenfassung

Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg aktualisierten das Hydra Institut, Dipl.-Biol. Andreas Becker, die Fichtner Water & Transportation GmbH und der Büro am Fluss e.V. im Jahr 2016 die Studie zur Ermittlung der Ausbaupotenziale der Wasserkraft an Standorten bis 1.000 kW (kleine Wasserkraft) für das baden-württembergische Einzugsgebiet des Neckars.

Ziel der Arbeit war:

- Die Ermittlung des zusätzlichen technischen Wasserkraftpotenzials an bereits genutzten Standorten;
- Die Ermittlung des technischen Wasserkraftpotenzials an bislang nicht für die Erzeugung von Strom aus Wasserkraft genutzten Querverbauungen im Gewässernetz;
- Die Berücksichtigung der im Bewirtschaftungsplan Neckar, Aktualisierung 2015, verankerten Bewirtschaftungsziele zu Durchgängigkeit und Wasserhaushalt und hieraus ableitbaren fischökologischen Erfordernisse;
- Die Ermittlung eines technisch-ökologisch-ökonomischen Ausbaupotenzials der Wasserkraft für das baden-württembergische Einzugsgebiet des Neckars.

Die Untersuchungen beschränkten sich auf bestehende Querbauwerke bzw. Wasserkraftanlagen am Gewässernetz. Theoretische Linienpotenziale wurden nicht ermittelt. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden ferner nur solche Standorte näher untersucht, an denen das zusätzliche technische Potenzial mindestens 8 kW beträgt.

### 8.1 Datengrundlagen

Im Zuge der Untersuchungen wurden umfangreiche Daten erhoben, überprüft und aufbereitet. Tabelle 8-1 zeigt die Datengrundlagen im Überblick.

Eine detaillierte Beschreibung der erhobenen und verarbeiteten Daten findet sich in Kapitel 4.

**Tabelle 8-1:** verwendete Datengrundlagen im Überblick

Datentypus	Herkunft	Bemerkungen
Wasserbauliche Anlagen	Umweltinformationssystem Baden-Württemberg (UIS BW)	Grundlegende technische Daten
Hydrologische Daten	Regionalisierung Baden-Württemberg	Standortbezogene Werte für MQ und MNQ
Gewässerökologische und fischereiliche Datengrundlagen	Arbeiten zur Umsetzung der WRRL und der FFH-Richtlinie in Baden-Württemberg	Migrationsbedarf der Fischfauna, FFH-Gebiete im bad.-württ. Einzugsgebiet des Oberrheins Referenz-Fischzönosen im Neckar-Einzugsgebiet Aalbewirtschaftungsplan Rhein
Energiewirtschaftliche Daten	Öffentlich zugängliche Daten nach EEG/Internet bis 2013	Daten zur Einspeisung von Strom aus Wasserkraft nach EEG

## 8.2 Methoden

### 8.2.1 Festlegungen und Szenarien

Als Grundlage für die Ermittlung der Wasserkraftpotenziale wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber an den fischökologischen Erfordernissen orientierte standardisierte Festlegungen zu ökologischen Abflüssen getroffen, welche nicht zur Energiegewinnung zur Verfügung stehen. Wichtigste Grundlage dieser Festlegungen ist der Wasserkrafterlass Baden-Württemberg (Stand 2013).

Auf der Basis der Festlegungen wurden drei Szenarien zum Ausbaupotenzial der Wasserkraft im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Oberrheins berechnet:

- Theoretisches Potenzial: Wasserkraftpotenzial ohne Abzüge für ökologische Abflüsse
- Szenario 1: Berücksichtigung der Orientierungswerte nach Wasserkrafterlass Baden-Württemberg
- Szenario 2: Berücksichtigung spezifischer ökologischer Abflüsse nach Wasserkrafterlass Baden-Württemberg

Die wichtigsten Änderungen zur Ermittlung der Wasserkraftpotenziale für das Einzugsgebiet des Neckars aus dem Jahr 2010 gehen auf die Anpassung an die seit 2012 erstellten Potenzialstudie in den Bearbeitungsgebieten Donau, baden-württembergisches Einzugsgebiet des Bodensees, Hochrhein, Oberrhein und Main zurück. Im Einzelnen handelt es sich um folgende Abweichungen zum Vorgehen 2010:

- Energetisch nicht genutzte Sohlenbauwerke bzw. Abstürze und Regelungsbauwerke, welche zu fischpassierbaren Querbauwerken umgebaut sind, werden nicht zur Potenzialberechnung herangezogen.
- An allen Standorten wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass für die Gewährleistung der flussabwärts gerichteten Fischwanderung ein Teil des Abflusses reserviert werden muss.
- An Gewässerabschnitten, welche nach Dußling 2016 zum ehemaligen Verbreitungsgebiet des atlantischen Lachses gehören, werden die bereits in den Bearbeitungsgebieten Oberrhein, Hochrhein und Main verwendeten Regeln zur Berechnung der ökologischen Abflüsse benutzt.

Eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise und der Festlegungen findet sich in Kapitel 5.

## 8.2.2 Ermittlung der Wasserkraftpotenziale

Auf der Basis der getroffenen Festlegungen wurden die Ausbaupotenziale in einem mehrstufigen Verfahren auf der Basis einer einheitlichen Methodik berechnet. Die Arbeitsschritte sind in Tabelle 8-2 übersichtsweise zusammengestellt.

**Tabelle 8-2:** Arbeitsschritte der Potenzialberechnung

Bewertungsschritt 1:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausschluss von Bauwerken ohne Potenzialberechnung</li> <li>• Berechnung des theoretischen Potenzials (Ausbau/Neubau)</li> <li>• Ausschluss aller Standorte mit einem theoretischen Potenzial &lt; 8 kW</li> </ul>
Bewertungsschritt 2:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abschätzung der für den Ausbau notwendigen Kosten</li> <li>• Abschätzung der Mehrerlöse aus zusätzlicher Jahresarbeit</li> <li>• Ausschluss aller Standorte mit einer vereinfachten Amortisationszeit &gt; 35 Jahre</li> </ul>
Bewertungsschritt 3:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berechnung des technisch-ökonomisch-ökologischen Potenzials für die Szenarien 1 und 2</li> <li>• Wirtschaftlichkeitsbetrachtung anhand abgeschätzter Stromgestehungskosten und Einteilung in vier Wirtschaftlichkeitsklassen</li> </ul>

Eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise findet sich in Kapitel 6.

### 8.3 Ergebnisse (noch aktualisieren)

Für die Ermittlung des Ausbaupotenzials wurden insgesamt 4.523 Standorte betrachtet. Dabei handelt es sich um 814<sup>25</sup> bereits zur Wasserkrafterzeugung genutzte Standorte, 431 Regelungsbauwerke ohne zugeordnete Wasserkraftanlagen sowie 3.278 Sohlenbauwerke.

Hierbei wurde an 148 Standorten der Neubau einer Wasserkraftanlage erwogen, an 301 Standorten der Ausbau einer vorhandenen Nutzung. An insgesamt 4.074 Standorten wurde aus in Kapitel 6.1 erläuterten Gründen kein Potenzial ermittelt.

Unter Anwendung der beschriebenen Arbeitsschritte ergibt sich für das baden-württembergische Einzugsgebiet des Oberrheins ein theoretisches Gesamtpotenzial von knapp 200 MW, worin ein zusätzliches technisches Potenzial von ca. 26 MW enthalten ist. Hiervon unterliegen aufgrund ihrer Lage in FFH-Gebieten rund 12 MW ggf. besonderen ökologischen Restriktionen. Rund 120 MW des Gesamtpotenzials entfallen auf 40 Standorte mit einem Potenzial von jeweils mehr als 1 MW, darunter die 28 Wasserkraftanlagen entlang des schiffbaren Neckars.

Unter Anwendung der Festlegungen des **Szenario 1** (Orientierungswerte nach Wasserkrafterlass Baden-Württemberg) ergibt sich ein technisch-ökonomisch-ökologisches Ausbaupotenzial von ca. 22 MW bzw. ein zusätzliches Regelarbeitsvermögen von rund 100 GWh. Hiervon sind ca. 45 GWh Standorten zugeordnet, die aufgrund ihrer Lage in FFH-Gebieten ggf. mit strengeren ökologischen Auflagen verbunden sind. Ein Potenzial von rund 16 GWh ist auf Grundlage der zugrunde gelegten EEG-Vergütungssätze aus ökonomischer Sicht attraktiv und umsetzbar (Wirtschaftlichkeitsstufen A und B). Es verteilt sich auf 14 Standorte.

Unter Anwendung der Festlegungen des **Szenario 2** (Berücksichtigung spezifischer ökologischer Abflüsse nach Wasserkrafterlass Baden-Württemberg) ergibt sich ein technisch-ökonomisch-ökologisches Ausbaupotenzial von ca. 18 MW bzw. ein zusätzliches Regelarbeitsvermögen von rund 78 GWh. Hiervon sind rund 36,5 GWh Standorten zugeordnet, die aufgrund ihrer Lage in FFH-Gebieten ggf. mit strengeren ökologischen Auflagen verbunden sind. Wiederum ergibt sich ein Potenzial von rund 14 GWh, das auf Grundlage der zugrunde gelegten EEG-Vergütungssätze aus ökonomischer Sicht attraktiv und bei ökologisch vertretbaren Folgen umsetzbar erscheint. Es verteilt sich auf 11 Standorte.

Die detaillierte Darstellung der Ergebnisse findet sich in Kapitel 7.2.

Im Anhang zu dieser Studie findet sich eine detaillierte Beschreibung von Sonderfällen bei der Berechnung der Potenziale, beispielhafte Potenziale im Untersuchungsgebiet, eine Darstellung zur regionalen Verteilung der Potenziale auf die Landkreise mit Anteil am baden-württembergischen Oberrhein-Einzugsgebiet sowie eine Beschreibung von Datenmanagement und Berechnungsverfahren.

---

<sup>25</sup> Die Zahl der bisher genutzten Standorte ist nicht vergleichbar mit der Anzahl der im UIS bekannten Wasserkraftanlagen, siehe Sonderfallbetrachtung in Anhang A1.

Eine umfassende Bewertung der Genehmigungsfähigkeit der ermittelten Standorte für Wasserkraftanlagen vermag diese Studie nicht zu leisten. Dies bleibt der Prüfung im Einzelfall vorbehalten.

## 9 Literatur und Datenquellen

AG-FAH (2011): Grundlagen für einen österreichischen Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen (FAHs). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien: 87 Seiten.

Anderer, P., U. Dumont, S. Heinmerl, A. Ruprecht und U. Wolf-Schuhmann (2010): "Das Wasserkraftpotenzial in Deutschland." WasserWirtschaft 9: 12-16.

Baer, J., S. Blank, C. Chucholl, U. Dußling und A. Brinker (2014): Die Rote Liste für Baden-Württembergs Fische, Neunaugen und Flusskrebse. Stuttgart, Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg.

Dumont, U. (2005): Handbuch Querbauwerke. Ministerium, für Umwelt und Naturschutz Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf, : 212 Seiten + Kartenanhang.

Dußling, U. (2005): Erarbeitung und Pflege von GIS-Grundlagen für fischfaunistisch relevante Fließgewässer in Baden-Württemberg – Erstellung digitaler Fließgewässerkarten "Migrationsbedarf der Fischfauna" und "fischzönotische Grundaussprägungen" (Gutachten im Auftrag der LfU Baden-Württemberg), Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg: 36 Seiten + Anhang.

Dußling, U. (2006): Fischfaunistische Referenzen für die Fließgewässerbewertung in Baden-Württemberg gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie (FischRef BW 1.1), Excel-Datei.

Dußling, U. (2014): Migrationsbedarf der Fischfauna in Baden-Württemberg (shapefile). F. B.-W. F. H.

Dußling, U. und R. Berg (2001): Fische in Baden-Württemberg. M. f. E. u. I. R. Baden-Württemberg. Stuttgart: 176 Seiten.

DWA (2014): Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke - Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

FFS, H. (2013): "GIS-Shapefile zur Ausdehnung des Aal-Einzugsgebiets in Baden-Württemberg. Zur Verfügung gestellt am 18.07.2013."

Giesecke, J., E. Mosonyi und S. Heimerl (2009): Wasserkraftanlagen – Planung, Bau und Betrieb. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag.

Heimerl, S. (2009): Wasserkraft – Der Klassiker der Erneuerbaren Energien. in Erneuerbare Energien - Perspektiven für die Stromerzeugung. T. Böhmer and C. Weißenborn. Frankfurt am Main, EW Medien und Kongresse GmbH. in **Energie im Dialog Band 3**: S. 71-102.

Heimerl, S., A. Becker und J. Reiss (2015a): Ausbaupotenzial der Wasserkraft bis 1000 kW im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Bodensees unter Berücksichtigung ökologischer Bewirtschaftungsziele. Ministerium für Umwelt , Klima und Energiewirtschaft Baden- Württemberg: 104 S. + Anhang.

Heimerl, S., A. Becker und J. Reiss (2015b): Ausbaupotenzial der Wasserkraft bis 1000 kW im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Hochrheins unter Berücksichtigung ökologischer Bewirtschaftungsziele. Ministerium für Umwelt , Klima und Energiewirtschaft Baden- Württemberg: 106 S. + Anhang.

Heimerl, S., A. Becker und J. Reiss (2015c): Ausbaupotenzial der Wasserkraft bis 1000 kW im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Mains unter Berücksichtigung ökologischer Bewirtschaftungsziele. Ministerium für Umwelt , Klima und Energiewirtschaft Baden- Württemberg: 106 S. + Anhang.

Heimerl, S., A. Becker und J. Reiss (2015d): Ausbaupotenzial der Wasserkraft bis 1000 kW im Einzugsgebiet der Donau in Baden-Württemberg unter Berücksichtigung ökologischer Bewirtschaftungsziele. Ministerium für Umwelt , Klima und Energiewirtschaft Baden- Württemberg: 104 S. + Anhang.

Heimerl, S., A. Becker und J. Reiss (2016): Ausbaupotenzial der Wasserkraft bis 1000 kW im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Oberrheins unter Berücksichtigung ökologischer Bewirtschaftungsziele. Ministerium für Umwelt , Klima und Energiewirtschaft Baden- Württemberg: 106 S. + Anhang.

Heimerl, S., U. Dußling und J. Reiss (2011): Ausbaupotenzial der Wasserkraft bis 1000 kW im Einzugsgebiet des Neckars unter Berücksichtigung ökologischer Bewirtschaftungsziele. Ministerium für Umwelt , Klima und Energiewirtschaft Baden- Württemberg.

KVR-Leitlinien (1998): Leitfaden zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). Arbeitskreis der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA Nutzen-Kosten-Untersuchungen in der Wasserwirtschaft. Berlin, Kulturbuchverlag Berlin GmbH.

LANUV NRW (Hrsg.) (2008): "Aalbewirtschaftungsplan – Flussgebietseinheit Rhein." 29.

LfU (Hrsg.) (2005a): Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern, Leitfaden Teil 1 – Grundlagen. O. G. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LfU), Gewässerökologie Band 95: 60 Seiten.

LfU (Hrsg.) (2005b): Mindestabflüsse in Ausleitungsstrecken, Grundlagen, Ermittlung und Beispiele. O. G. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Gewässerökologie Band 97 187 Seiten.

LUBW (2006a): Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern, Leitfaden Teil 2 – Umgehungsgewässer und fischpassierbare Querbauwerke. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, : 249 Seiten.

LUBW (2006b): Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern, Leitfaden Teil 3 – Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, : 82 Seiten.

Regierungspräsidium Freiburg und Landratsamt Emmendingen (2012): "Wasserkraftkonzept Elz und Wilde Gutach - Betrachtung ungenutzter Querbauwerke." 49.

Regierungspräsidium Stuttgart (2009): Bewirtschaftungsplan Bearbeitungsgebiet Neckar gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) - Stand: 26. November 2009 -. Stuttgart: 286.

Regierungspräsidium Stuttgart (2015): Bewirtschaftungsplan Neckar - Aktualisierung 2015 - (Baden-Württemberg) gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) – Stand: Dezember 2015. Stuttgart.

Schmidt, M., A. Vogel-Sperl und F. Staiß (2008): Ausbau Erneuerbarer Energien und der Kraft-Wärme-Kopplung bis zum Jahr 2020, Kurzgutachten im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg zum "Energiekonzept Baden-Württemberg 2020". Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) Fachgebiet Systemanalyse: 62 Seiten.

Umweltministerium Baden-Württemberg (Hrsg.) (2014): Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2012 – erste Abschätzung – Stand April 2014. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: 9 Seiten.

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.) (2009): Energiekonzept Baden-Württemberg 2020: 82 Seiten.