

# **Ausbaupotenzial der Wasserkraft bis 1.000 kW im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Bodensees unter Berücksichtigung ökologischer Bewirtschaftungsziele**

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:                           14.07.2015



**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>10</b>
<b>3</b>	<b>GRUNDLAGEN UND WASSERWIRTSCHAFTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN .....</b>	<b>12</b>
3.1	Übersicht über das Untersuchungsgebiet.....	12
3.2	Vorzüge der Erzeugung von Strom aus Wasserkraft.....	13
3.3	Von der Wasserkraft ausgehende Beeinträchtigungen .....	14
3.4	EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) .....	17
3.4.1	Bisherige Ergebnisse der Gewässerüberwachung .....	18
3.4.2	Umwelt- und Bewirtschaftungsziele.....	18
3.4.3	Maßnahmenprogramme .....	19
3.5	Vorgaben des Wasserrechts .....	20
3.5.1	Wasserhaushaltsgesetz (WHG).....	20
3.5.2	Wassergesetz für Baden-Württemberg (WG) .....	20
3.5.3	Wasserkrafterlass Baden-Württemberg.....	21
3.1	Durch den Natur- und Artenschutz sowie den Fischseuchenschutz vorgegebene Rahmenbedingungen .....	23
3.1.1	Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie).....	23
3.1.2	Fischereigesetz.....	24
3.1.3	Tierschutzgesetz .....	25
3.1.4	EG-Aquakulturrichtlinie .....	25
3.2	Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) .....	26
3.3	Status der Wasserkraft in Baden-Württemberg .....	28
<b>4</b>	<b>DATENGRUNDLAGEN .....</b>	<b>30</b>
4.1	Wasserwirtschaftliche Daten .....	30
4.1.1	Daten des Anlagenkatasters Wasserbau (AKWB).....	30
4.1.2	Wasserrechtliche Informationen.....	33
4.1.3	Technische Daten bestehender Wasserkraftanlagen.....	34
4.1.4	Hydrologische Daten .....	36
4.2	Gewässerökologische und fischereiliche Datengrundlagen .....	36
4.3	Daten über die Stromeinspeisung aus Wasserkraftanlagen nach EEG.....	37
4.4	Unschärfen bei den verwendeten Datengrundlagen.....	37
4.4.1	Hydrologische Daten .....	37
4.4.2	Daten über die Stromeinspeisung aus Wasserkraftanlagen nach EEG .....	38
4.5	Plausibilisierung der ermittelte Potenziale durch die Wasserbehörden .....	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.....	44
5.2.2	Spezifische ökologische Abflüsse an Ausleitungskraftwerken .....	47
5.2.3	Spezifische ökologische Abflüsse an Flusskraftwerken .....	51
5.3	Übersicht der zur Potenzialberechnung berücksichtigten ökologischen Abflüsse .....	52
5.4	Von den standardisierten Arbeitswerten abweichende ökologische Abflüsse .....	54
<b>6</b>	<b>ERMITTLUNG VON WASSERKRAFTPOTENZIALEN .....</b>	<b>55</b>
6.1	Erster Bewertungsschritt .....	55
6.2	Betriebsstatus und Kraftwerkstyp.....	57
6.2.1	Flusskraftwerke.....	58
6.2.2	Ausleitungskraftwerke.....	60
6.2.3	Fischaufstiegsanlagen.....	62
6.2.4	Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtung.....	64
6.3	Zweiter Bewertungsschritt.....	64
6.3.1	Theoretisches Gesamtpotenzial .....	64
6.3.2	Technisch-ökonomisches Kurzgutachten unter Beachtung ökologischer Belange .....	65
6.3.3	Technisch-ökonomisch-ökologisches Potenzial.....	70
6.3.4	Das Mindestwasserpotenzial.....	72
<b>7</b>	<b>ERGEBNISSE.....</b>	<b>74</b>
7.1	Bestehende Nutzung der Wasserkraft .....	75
7.1.1	Überblick.....	75
7.1.2	Auswertung der EEG-Daten.....	81
7.1.3	Status der Durchgängigkeit an Wasserkraftanlagen .....	85
7.1.4	Status der Mindestwasserregelungen an Wasserkraftanlagen.....	86
7.1.5	Energetisch nicht genutzte Sohlenbauwerke .....	87
7.2	Ausbaupotenzial der Wasserkraft.....	90
7.2.1	Theoretisches Gesamtpotenzial .....	91
7.2.2	Technisch-ökonomisch-ökologisches Potenzial – Szenario 1.....	92
7.2.3	Technisch-ökonomisch-ökologisches Potenzial – Szenario 2.....	93
7.2.4	Vergleich der Szenarien 1 und 2 .....	94
7.2.5	Mindestwasserpotenzial.....	95
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>99</b>
8.1	Datengrundlagen.....	99
8.2	Methoden.....	100
8.2.1	Festlegungen und Szenarien.....	100

8.2.2 Ermittlung der Wasserkraftpotenziale .....	100
8.3 Ergebnisse .....	101
<b>9 LITERATUR UND DATENQUELLEN .....</b>	<b>103</b>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<i>Abbildung 3-1: Übersichtskarte des baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiets mit Gewässernetz WRRL.....</i>	13
<i>Abbildung 5-1: Gewässer mit hohem (gelb), erhöhtem (grün) und normalem (blau) Migrationsbedarf der Fischfauna im WRRL-Bearbeitungsgebiet Alpenrhein-Bodensee (Dußling 2005). (Hellblau dargestellt sind Gewässer ohne zugewiesenen Migrationsbedarf. Der hohe Migrationsbedarf ist im Bodensee- Einzugsgebiet vergeben für Gewässer, die in diesem Datensatz auch als Seeforellengewässer geführt werden.).....</i>	48
<i>Abbildung 6-1: Potenzialermittlung .....</i>	56
<i>Abbildung 6-2: Entscheidungsbaum bei Flusskraftwerken.....</i>	58
<i>Abbildung 6-3: Entscheidungsbaum bei Ausleitungskraftwerken.....</i>	61
<i>Abbildung 6-4: Spezifische Kosten von Fischaufstiegsanlagen .....</i>	63
<i>Abbildung 6-5: Jahresarbeit und Jahresertrag .....</i>	66
<i>Abbildung 6-6: Berechnung des Investitionsvolumens.....</i>	69
<i>Abbildung 6-7: Beurteilung der vereinfachten Amortisationszeit .....</i>	69
<i>Abbildung 6-8: Jahresarbeit und Jahresertrag unter Berücksichtigung der ökologischen Abflüsse nach Szenario 1 und 2.....</i>	70
<i>Abbildung 6-9: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....</i>	71
<i>Abbildung 6-10: Mindestwasserpotenzial.....</i>	72
<i>Abbildung 6-11: Mindestdotationsansatz für Fischaufstiegsanlagen basierend auf Erfahrungswerten für funktionsfähige Fischaufstiegsanlagen in Abhängigkeit vom Mittelwasserabfluss MQ.....</i>	73
<i>Abbildung 7-1: Stadt- und Landkreise mit Flächenanteil am baden-württembergischen Bodensee- Einzugsgebiet .....</i>	74
<i>Abbildung 7-2: Verteilung der bestehenden Wasserkraftstandorte auf die Landkreise .....</i>	75
<i>Abbildung 7-3: Verteilung der installierten Leistung auf die Landkreise.....</i>	76
<i>Abbildung 7-4: Verteilung bestehender Anlagen auf Leistungsklassen .....</i>	78
<i>Abbildung 7-5: Installierte Leistung differenziert nach Leistungsklassen .....</i>	78
<i>Abbildung 7-6: Differenzierung der bestehenden Anlagen nach genutztem Gefälle .....</i>	79
<i>Abbildung 7-7: Differenzierung der bestehenden Anlagen nach Schluckvermögen.....</i>	80
<i>Abbildung 7-8: Differenzierung der bestehenden Anlagen nach dem Ausbaugrad .....</i>	81
<i>Abbildung 7-9: Prozentualer Anteil der Leistungsklassen am nach EEG eingespeisten Strom aus Wasserkraft zwischen 2007 und 2012 .....</i>	83

<i>Abbildung 7-10: mittlere jährliche EEG-Einspeisung 2007 bis 2012 in den Landkreisen des baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiets.....</i>	<i>83</i>
<i>Abbildung 7-11: Vergütungssätze der EEG-Anlagen bis 500 kW zwischen 2007 und 2012 .....</i>	<i>84</i>
<i>Abbildung 7-12: Vergütungssätze der EEG-Anlagen bis 500 kW differenziert nach Leistungsklassen 2012.....</i>	<i>85</i>
<i>Abbildung 7-13: Darstellung der für die Wasserkraft genutzten und nicht für die Wasserkraft genutzten Regelungsbauwerke (BC = Landkreis Biberach, FN = Bodenseekreis, KN = Landkreis Konstanz, RV = Landkreis Ravensburg, SIG = Landkreis Sigmaringen, TUT = Landkreis Tuttlingen).....</i>	<i>86</i>
<i>Abbildung 7-14: Relative Höhe der Mindestabflussregelungen an Ausleitungskraftwerken, die den Wasserrechtsakten entnommen werden konnten. ....</i>	<i>87</i>
<i>Abbildung 7-15: Verteilung der untersuchten Sohlenbauwerke auf die Landkreise. ....</i>	<i>88</i>
<i>Abbildung 7-16: Wasserspiegeldifferenz der untersuchten Sohlenbauwerke.....</i>	<i>89</i>
<i>Abbildung 7-17: Anzahl der Standorte an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen (Bauwerke ohne Potenzial gemäß Erläuterungen in Kapitel 6.1).....</i>	<i>90</i>
<i>Abbildung 7-18: Gesamtpotenzial [kW] an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen .....</i>	<i>91</i>
<i>Abbildung 7-19: Zusätzliches technisches Potenzial [kW] an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen .....</i>	<i>91</i>
<i>Abbildung 7-20: Zusätzliches technisch-ökonomisch-ökologisches Potenzial [kW] nach Szenario 1 an baden- württembergischen Bodenseezuflüssen.....</i>	<i>92</i>
<i>Abbildung 7-21: Jahresarbeit [MWh/a] aus dem zusätzlichen technisch-ökonomisch-ökologischen Potenzial nach Szenario 1 an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen .....</i>	<i>92</i>
<i>Abbildung 7-22: Zusätzliches technisch-ökonomisch-ökologische Potenzial [kW] nach Szenario 2 an baden- württembergischen Bodenseezuflüssen.....</i>	<i>93</i>
<i>Abbildung 7-23: Jahresarbeit [MWh/a] aus dem zusätzlichen technisch-ökonomisch-ökologischen Potenzial nach Szenario 2 an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen .....</i>	<i>93</i>
<i>Abbildung 7-24: Mindestwasserpoteztiale der Szenarien 1 und 2 .....</i>	<i>96</i>

## TABELLENVERZEICHNIS

<i>Tabelle 3-1: Überblick über die wichtigsten Flüsse im Untersuchungsgebiet .....</i>	<i>12</i>
<i>Tabelle 3-2: Regelungsbauwerke, welche die stromabwärts gelegene Grenze eines Schutzgebiets nach Fischseuchenverordnung markieren; Stand Oktober 2011. ....</i>	<i>26</i>
<i>Tabelle 3-3: Vergütungssätze für Strom aus Wasserkraft nach EEG 2009 (Auszug).....</i>	<i>27</i>
<i>Tabelle 3-4: Ausbaupotenzial der Wasserkraft in Baden-Württemberg nach Schmidt et al. (2008) .....</i>	<i>29</i>
<i>Tabelle 4-1: Ergänzungen und Korrekturen an Daten aus dem AKWB .....</i>	<i>32</i>
<i>Tabelle 4-2: Wasserrechtliche Informationen, die durch Akteneinsicht bei den unteren Verwaltungsbehörden erhoben wurden. ....</i>	<i>34</i>
<i>Tabelle 4-3: Zusätzlich erhobene technische Informationen zu vorhandenen und geplanten Wasserkraftanlagen.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabelle 5-1: Fischartabhängige Orientierungswerte für die zur funktionalen Gestaltung erforderliche Mindestdotation von Fischaufstiegsanlagen aus hydraulischer Rechnung ohne Berücksichtigung der Leitwirkung (Dumont 2005, DWA 2010, AG-FAH 2011).....</i>	<i>45</i>
<i>Tabelle 5-2: Im Szenario 2 verwendete Abweichungen vom Orientierungswert (1/3 MNQ; Szenario 1) zur standardisierten Berechnung von ökologischen Abflüssen für Ausleitungskraftwerke. ....</i>	<i>50</i>
<i>Tabelle 5-3: Im Szenario 2 verwendete Abweichungen von 1/6 MNQ (Szenario 1) zur standardisierten Berechnung von ökologischen Abflüssen für Flusskraftwerke. ....</i>	<i>52</i>
<i>Tabelle 5-4: Ökologische Abflüsse in den Szenarien zur Berechnung der Wasserkraftpotenziale im baden- württembergischen Bodensee-Einzugsgebiet .....</i>	<i>53</i>
<i>Tabelle 6-1: Klassifizierung der Baumaßnahmen von Fischaufstiegsanlagen (FAA) .....</i>	<i>64</i>
<i>Tabelle 6-2: Berechnung von Wasserkraftpotenzialen im Donau-Einzugsgebiet – Auswertung der Ergebnisse..</i>	<i>65</i>
<i>Tabelle 6-3: Volllaststunden, Dauerlinientyp Ia (MNQ/MQ &gt; 0,27) .....</i>	<i>67</i>
<i>Tabelle 6-4: Volllaststunden, Dauerlinientyp Ib (MNQ/MQ &gt; 0,18 &amp; MNQ/MQ ≤ 0,27).....</i>	<i>67</i>
<i>Tabelle 6-5: Volllaststunden, Dauerlinientyp IIa (MNQ/MQ &gt; 0.09 &amp; MNQ/MQ ≤ 0.18).....</i>	<i>67</i>
<i>Tabelle 6-6: Volllaststunden, Dauerlinientyp IIb (MNQ/MQ &gt; 0.00 &amp; MNQ/MQ ≤ 0.09).....</i>	<i>68</i>
<i>Tabelle 6-7: Wirtschaftlichkeitsstufen basierend auf den dynamischen Gesteungskosten .....</i>	<i>71</i>
<i>Tabelle 7-1: Einspeisung von Strom aus Wasserkraft nach EEG in den Jahren 2007 bis 2012 im baden- württembergischen Bodensee-Einzugsgebiet .....</i>	<i>82</i>
<i>Tabelle 7-2: Vergleich der Szenarien 1 und 2 hinsichtlich der Standortgruppierung baden-württembergischer Bodenseezuflüsse .....</i>	<i>94</i>
<i>Tabelle 7-3: Verteilung des Verlustes beim Potenzial zwischen den Szenarien 1 und 2 geordnet nach Anlagengrößenklassen.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabelle 7-4: Verteilung des Verlustes bei der Jahresarbeit zwischen den Szenarien 1 und 2 geordnet nach Anlagengrößenklassen.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabelle 7-5: Änderung des Potenzials von Ausleitungskraftwerken durch Ausbau (bestehendes Ausleitungskraftwerk und Mindestwasserkraftwerk (&gt;8 kW) am Wehr).....</i>	<i>97</i>

<i>Tabelle 7-6: Änderung der Jahresarbeit von Ausleitungskraftwerken durch Ausbau (bestehendes Ausleitungskraftwerk und Mindestwasserkraftwerk (&gt;8 kW) am Wehr).....</i>	<i>98</i>
<i>Tabelle 8-1: verwendete Datengrundlagen im Überblick.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabelle 8-2: Arbeitsschritte der Potenzialberechnung .....</i>	<i>101</i>

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 Bodensee-Einzugsgebiet. 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, bis zum Jahr 2015, spätestens aber 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 Bestandsaufnahme 2004 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.

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 vereinbare Ausbaupotenzial der Wasserkraft erstellt (Klepser 1998). Die Untersuchung des Ausbaupotenzials der Wasserkraft bis 1.000 kW im Einzugsgebiet des Neckars 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.

Um für das ganze Land Baden-Württemberg zu vergleichbaren Aussagen über die vorhandenen Potenziale zum Ausbau der Wasserkraft zu gelangen, beauftragte das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg im Frühjahr 2012 den Büro am Fluss e. V. in Zusammenarbeit mit dem Hydra Institut für angewandte Hydrobiologie sowie der Fichtner Water & Transportation GmbH mit der vorliegenden Studie zur Erhebung von Wasserkraftpotenzialen im baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiet.

## 2 Aufgabenstellung

Die Studie hat die Aufgabe, an den Fließgewässern des baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiets energetisch genutzte und ungenutzte Querbauwerke im Hinblick auf das mögliche Potential 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;
- eine Abschätzung 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-

---

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

2 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 Bodensee-Einzugsgebiet. Gegenstand sind ferner nur bestehende Querbauwerke. Die Ermittlung eines theoretischen Linienpotenzials der Gewässer ist dagegen nicht Gegenstand der Arbeit.

### 3 Grundlagen und wasserwirtschaftliche Rahmenbedingungen

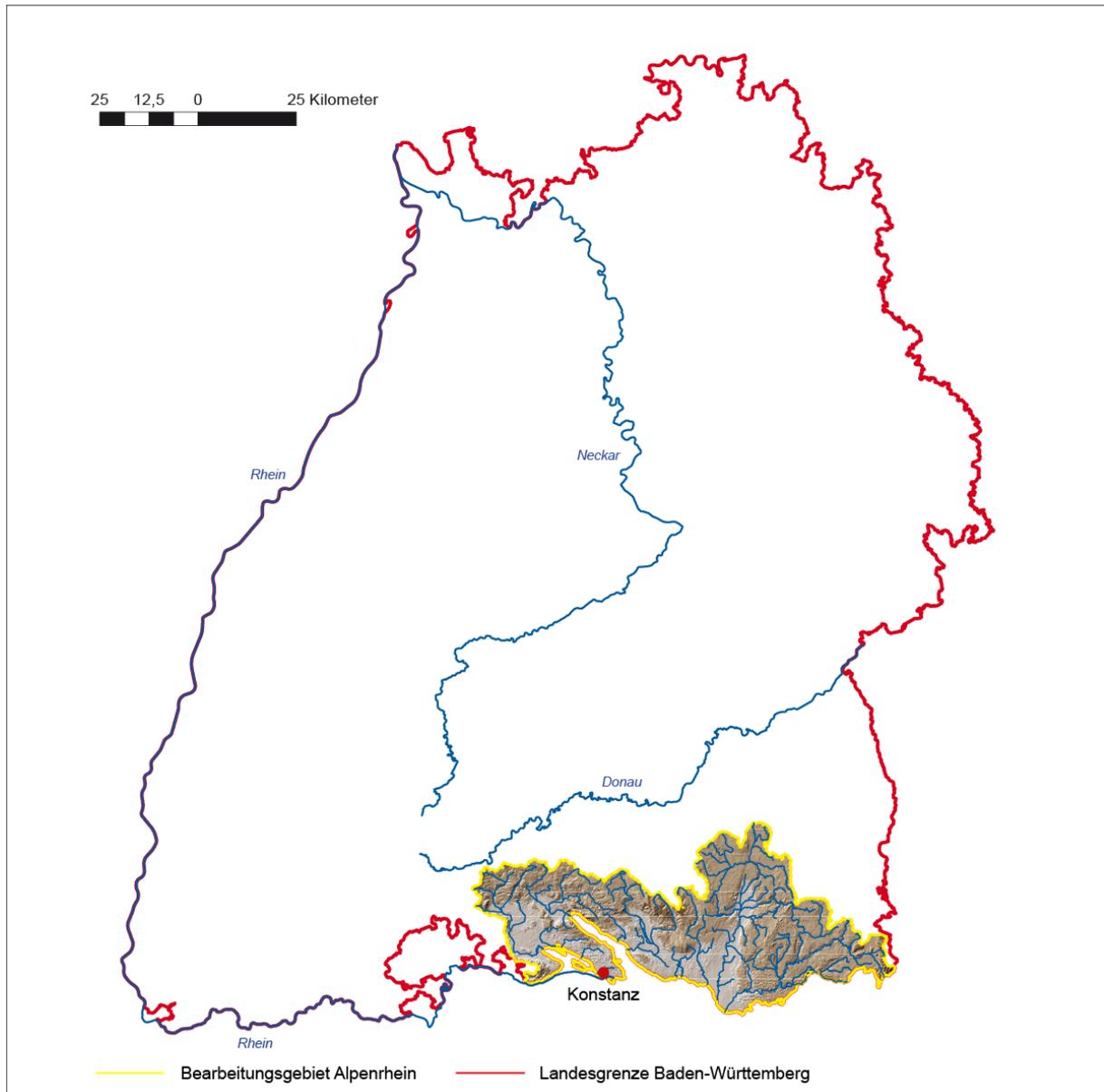
#### 3.1 Übersicht über das Untersuchungsgebiet

Gegenstand der vorliegenden Studie ist das baden-württembergische Bodensee-Einzugsgebiet. Es hat eine Fläche von 2.523 km<sup>2</sup> und umfasst ein Gewässernetz von ca. 4.280 km Länge gemäß dem amtlichen wasserwirtschaftlichen Gewässernetz Baden-Württemberg (AWGN). Die Länge der Gewässer mit einem Einzugsgebiet von mindestens 10 km<sup>2</sup> im Untersuchungsgebiet, die Bestandteil des Teilnetzes "Wasserrahmenrichtlinie" sind, beträgt rund 1.516 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]*
Argen**	73,1	655,1	19,56
Schussen	59,0	815,1	11,54
Untere Argen	69,4	367,43	10,56
Radolfzeller Aach	32,1	258,7	9,474
Seefelder Aach	56,0	279,5	3,295
Stockacher Aach	38,1	221,1	2,023
Rotach	39,3	133,5	1,989
* nach LUBW (Hrsg.) (2007)			
** einschl. Obere Argen			



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

### 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 Wasserkraftanlagen 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 Geschiebehaltungs. Die resultierenden Beeinträchtigungen für Fließgewässer und ihre Lebenswelt 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 (Staubereiche) 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.

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. In diesem Kontext ist zu beachten, dass nicht nur Querbauwerke selbst als Wanderhindernisse wirken, sondern auch Staubecken die Gewässerdurchgängigkeit beeinträchtigen: Die Strömung hat eine zentrale Bedeutung für die Orientierung in Fließgewässern wandernder Fische. Wird diese durch Staubecken deutlich reduziert bzw. aufgehoben, führt dies nicht nur zu einem Verlust an Fließgewässerlebensraum, sondern auch zur Bildung eines weiteren Wanderhindernisses.

In besonderem Maße hat die Gewässerdurchgängigkeit eine zentrale Bedeutung für anadrome Langdistanz-Wanderfische, die einen Teil ihres Lebens im Meer verbringen, sich jedoch nur in Fließgewäs-

fern 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. 2014a).

Ähnliches gilt für potamodrome Fischarten, wie Nasen und Barben, die Laichwanderungen oder Laichzüge über längere Distanzen innerhalb der Fließgewässersysteme durchführen. Im Bodensee-Einzugsgebiet hat jedoch vor allem die „Bodensee-Seeforelle“ eine herausragende Bedeutung: Sie lebt als Adulttier im Bodensee und wandert zur Fortpflanzung die Zuflüsse zum Teil weit hinauf. Aufgrund von zahlreichen, künstlichen Wanderhindernissen in den Zuflüssen kann die Seeforelle ihren natürlichen Lebenszyklus kaum noch ausführen und zählt daher zu den stark gefährdeten Arten (Baer et al. 2014a). Aus diesem Grund und da die „Bodensee-Seeforelle“ auch eine große Bedeutung für die Fischerei am Bodensee hat, werden ihre Bestände durch Besatzprogramme massiv unterstützt (Werner et al. 2013).

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 Wechsellmöglichkeiten 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)

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 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 Bodensee-Einzugsgebiet wurden bislang keine erheblich veränderten Wasserkörper ausgewiesen (Regierungspräsidium Tübingen (Hrsg.) 2014). Dennoch wurde auf Gewässerebene eine Vielzahl von Fließgewässerabschnitten – teilweise über längere Strecken hinweg – als erheblich verändert eingestuft<sup>3</sup>. Betroffen sind insbesondere die Schussen, die Stockacher Aach oberhalb von Stockach, die Seefelder Aach und die Radolfzeller Aach. Der gute ökologische Zustand<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup><http://udoprojekte.lubw.baden-wuerttemberg.de/udoprojekte/alias.xhtml?alias=wrrl>

<sup>4</sup> Bewirtschaftungsziel nach § 27 Abs. 1 WHG für Wasserkörper, die nicht als erheblich verändert oder künstlich ausgewiesen sind. Für letztere ist das gute ökologische Potenzial das relevante Umweltziel.

ist für die Gewässer des baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiets somit ein anspruchsvolles Umweltziel.

Die Umsetzung der WRRL erfolgt mit Hilfe einzugsgebietsbezogener Bewirtschaftungspläne. Der Landtag von Baden-Württemberg hat den Bewirtschaftungsplänen und Maßnahmenprogrammen (gemäß § 3c Wassergesetz Baden-Württemberg<sup>5</sup>) am 26.11.2009 zugestimmt. Damit ist auch der Bewirtschaftungsplan des Bearbeitungsgebiets Alpenrhein-Bodensee inklusive des betreffenden Maßnahmenprogramms wirksam geworden.

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

Seit 2006 werden die Fließgewässer im Bodensee-Einzugsgebiet dem Monitoring nach WRRL mit den teilweise neu entwickelten Verfahren zur Gewässerzustandsüberwachung unterzogen. Erste Ergebnisse der Zustandsbewertung fanden Eingang in den ersten Bewirtschaftungsplan für das Bearbeitungsgebiet Alpenrhein-Bodensee.

Bei der Aufstellung des Entwurfs zum zweiten Bewirtschaftungsplan für das baden-württembergische Bearbeitungsgebiet Alpenrhein/Bodensee konnte u.a. auf Untersuchungen zur Fischfauna mit dem fischbasierten Bewertungssystem (fiBS) aus den Jahren 2007 bis 2013 zurück gegriffen werden (Regierungspräsidium Tübingen (Hrsg.) 2014). 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 den guten Zustand im Hinblick auf die Fischfauna. In acht Wasserkörpern indiziert die Fischfauna den mäßigen Zustand, im Wasserkörper 12-02 den unbefriedigenden Zustand. Dieses Ergebnis deutet auf weitverbreitete Defizite der Gewässerstruktur, der Durchgängigkeit, bzw. auch der spezifischen chemisch-physikalischen Kenngrößen hin (Regierungspräsidium Tübingen 2014).

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

Die in Kapitel 3.3 erläuterten Beeinträchtigungen der Fließgewässer wurden bereits im ersten Bewirtschaftungsplan für das Bearbeitungsgebiet Alpenrhein-Bodensee (Regierungspräsidium Tübingen (Hrsg.) 2009) als mit der Existenz von Querbauwerken und der Nutzung der Wasserkraft zusammen-

---

<sup>5</sup> in der Fassung der Bekanntmachung vom 20. Januar 2005, zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 17. Dezember 2009

hängende, signifikante Belastungen identifiziert. Diese sind mit ursächlich für das Verfehlen des guten ökologischen Zustands.

Der Entwurf zum zweiten 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 7 Wasserkörper im Bearbeitungsgebiet Alpenrhein-Bodensee wird im Entwurf zum zweiten Bewirtschaftungsplan eine Fristverlängerung nach § 29 Abs. 2 WHG bis 2021 in Anspruch genommen, für 2 Wasserkörper eine Fristverlängerung bis 2027.

### 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 pfadspezifisch. 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.

Programmstrecken finden sich im baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiet in allen Wasserkörpern außer in Wasserkörper 10-02 (Argen unterhalb untere Argen mit Bodenseegebiet oberhalb Argen)(Regierungspräsidium Tübingen (Hrsg.) 2014). Dazu zählen u. a. längere Strecken der Radolfzeller Aach, der Stockacher Aach, der Seefelder und Deggenhauser Aach, sowie der Rotach und

der Schussen. Mit Hilfe des Daten- und Kartendienstes der LUBW können alle Programmstrecken als Karte 7.3 im Einzelnen eingesehen werden<sup>6</sup>.

## 3.5 Vorgaben des Wasserrechts

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

### 3.5.1 Wasserhaushaltsgesetz (WHG)<sup>7</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 Bodensee-Einzugsgebiet.

### 3.5.2 Wassergesetz für Baden-Württemberg (WG)<sup>8</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 fest-

---

<sup>6</sup> <http://udoprojekte.lubw.baden-wuerttemberg.de/udoprojekte/alias.xhtml?alias=wrrl>

<sup>7</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>8</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

zulegen (siehe Kapitel 3.5.2 zum 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.

### 3.5.3 Wasserkrafterlass Baden-Württemberg<sup>9</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 Bodensee-Einzugsgebiet 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;

---

<sup>9</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.

- 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).

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>10</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>11</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 Alpenrhein-Bodensee<sup>12</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

---

<sup>10</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>11</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>12</sup> <http://udoprojekte.lubw.baden-wuerttemberg.de/udoprojekte/alias.xhtml?alias=wrrl>

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 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>13</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.

---

<sup>13</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)

### 3.6.3 Tierschutzgesetz<sup>14</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 das Verenden von Fischen an unzureichend konzipierten 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 Errichtung derartiger Anlagen an Wasserkraftwerken aus tierschutzrechtlicher Sicht unter dem Vorbehalt einer Verhältnismäßigkeitsprüfung erforderlich.

### 3.6.4 EG-Aquakulturrichtlinie<sup>15</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>16</sup> von Bedeutung. Demnach können Fischzuchtbetriebe und Anlagen, aber auch ganze Gewässerabschnitte oder Teileinzugsgebiete, die 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 durchgän-

---

<sup>14</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

<sup>15</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>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)

giges Querbauwerk gebunden, welches die fischseuchenfreien Gewässerbereiche vor der Einschleppung von Fischkrankheiten durch einwandernde wildlebende Fische schützt. Die betreffenden Querbauwerke sind in Tabelle 3-2 zusammengestellt.

Naturgemäß kollidieren die getroffenen fischseuchenrechtlichen Vorkehrungen bei den in Tabelle 3-2 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 Erfordernis angemessener Mindestabflussregelungen bleibt hiervon unberührt.

**Tabelle 3-2:** *Regelungsbauwerke, welche die stromabwärts gelegene Grenze eines Schutzgebiets nach Fischseuchenverordnung<sup>17</sup> markieren; Stand Oktober 2011<sup>18</sup>.*

Hindernis-ID	UIS-ID	WK Nr.	Gewässer	Bezeichnung und Vet. Nr. des Schutzgebiets
15	ohne	12-03	Brielbach	Wassereinzugsgebiet des Eschbaches und des Brühlbaches; D-BW-F-76
27	600.000.000.104	11-02	Wolfegger Ach	Wassereinzugsgebiet der Wolfegger Ach mit Rohrbach und Rohrsee; D-BW-G-06, D-BW-F-45, D-BW-F-37, D-BW-F-70
28	ohne	11-03	Stiller Bach	Wassereinzugsgebiet des Rüssler Weihers; ohne Vet.-Nr.
30	ohne	10-01	Moosbach	Wassereinzugsgebiet des Moosbaches und des Riedbaches; D-BW-F-74

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>19</sup> vorgegebenen Bewirtschaftungsziele hierdurch nicht zwangsläufig gefährdet. Eine detaillierte Prüfung muss dem Einzelfall vorbehalten bleiben.

<sup>17</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>18</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)

<sup>19</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)

### 3.7 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)<sup>20</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>21</sup> sind, soweit für die vorliegende Studie relevant, in Tabelle 3-3 zusammengefasst.

**Tabelle 3-3:** 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 ausreichendes

<sup>20</sup> Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das durch Artikel 4 des Gesetzes vom 22. Juli 2014 (BGBl. I S. 1218) geändert worden ist

<sup>21</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 das Neckar-Einzugsgebiet wurden die Vergütungssätze aus § 23 EEG 2009 anstelle der aktuell gültigen Vergütungssätze des am 1. Januar 2012 in Kraft getretenen, novellierten EEG verwendet.)

der Mindestabfluss gewährleistet, die Durchgängigkeit des Gewässers gesichert und Maßnahmen zum Schutz der Fischpopulationen ergriffen sind.

### **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 2012 wurden in Baden-Württemberg durch Wasserkraftanlagen insgesamt 4,7 TWh Strom erzeugt. Das sind 36 % der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen und entspricht einem Anteil von 6,0 % am Stromverbrauch des Landes (Umweltministerium Baden-Württemberg (Hrsg.) 2013). Die Erzeugung von Strom aus Wasserkraft vermied damit im Jahr 2012 knapp 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 38 % 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 3-4 aufgeführten Teilen zusammengesetzt sein (Schmidt et al. 2008).

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.

**Table 3-4:** 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	

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. Darüber hinaus hat das Land Baden-Württemberg im Jahr 2013 ein Förderprogramm kleine Wasserkraft aufgelegt, dessen Ziel es ist, die technische und ökologische Modernisierung der kleinen Wasserkraft zu fördern und die vorhandenen Potenziale effizient zu nutzen.<sup>22</sup>

Im baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiet sind rund 140 Laufwasserkraftwerke bekannt (Quelle Umweltinformationssystem Baden-Württemberg). Die Fließgewässer im Bearbeitungsgebiet Alpenrhein-Bodensee werden also bereits intensiv zur Gewinnung von Energie genutzt. Nur eine Anlage an der Wolfegger Aach im Landkreis Ravensburg hat eine Leistung > 1 MW, fünf weitere Anlagen besitzen Leistungen zwischen 500 und 1.000 kW (an der Radolfzeller Aach und der Unteren Argen).

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

<sup>22</sup> <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/erneuerbare-energien/wasserkraft/foerdergrundsaeetze-kleine-wasserkraft/>

## 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 Bodensee-Einzugsgebiet:

- Auszüge aus dem Anlagenkataster Wasserbau (AKWB);
- Amtliches digitales wasserwirtschaftliches Gewässernetz (AWGN)<sup>23</sup>;
- Daten zum wasserrechtlichen Status bestehender Wasserkraftanlagen;
- Daten über laufende wasserrechtliche Verfahren zur Modernisierung oder zum Neubau von Wasserkraftanlagen;
- Technische Daten aus den Triebwerksakten bestehender Wasserkraftanlagen sowie aus Plan- bzw. Genehmigungsunterlagen geplanter Anlagen;
- Hydrologische Daten;
- Wasserkraftstatistik des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Verkehr.

#### 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 2012 Daten zu folgenden wasserwirtschaftlichen Objekten im Bereich des baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiets in Form von Shape-Dateien zur Verfügung gestellt:

---

<sup>23</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.

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

- 178 Regelungsbauwerke,
- 139 Wasserkraftanlagen,
- 495 Sohlenbauwerke sowie
- 46 Anlagen zur Herstellung der Durchgängigkeit.

Bei diesem historisch gewachsenen Bestand ist zu beachten, dass die allermeisten wasserbaulichen Anlagen bzw. Querbauwerke enthalten sind und der Name 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 Gewässersohle, 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. 140 Wasserkraftanlagen <1 MW Leistung im baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiet waren bislang von heterogener Qualität. Aufgrund der Regelungen des EEG stehen für die Jahre ab 2006 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.

Um für die Ermittlung der Wasserkraftpotenziale im baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiet auf eine einheitliche und mit der entsprechenden Untersuchung im Neckar-Einzugsgebiet vergleichbare Datengrundlage zurückgreifen zu können, wurden die Informationen zu den vorhandenen wasserbaulichen Anlagen im Jahr 2012 im Zuge von Geländearbeiten überprüft und ergänzt. Diese Arbeiten erfolgten im Wesentlichen auf die gleiche Weise wie im Neckar-Einzugsgebiet und sind in DUBLING & REISS 2007 beschrieben. Die im Zuge der Geländearbeiten erhobenen Daten sind im Anhang zu dieser Studie im Einzelnen dokumentiert.

Während der Geländearbeiten nicht behebbar, 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
Objekt Wasserkraftanlagen	
Nettofallhöhe	Bei der Mehrzahl der Wasserkraftanlagen wurde die Nettofallhöhe aus den Triebwerksakten der Landratsämter ergänzt. In der Regel wurden die Werte für die Nettofallhöhe aus den Wasserrechtsakten übernommen. Hieran wurden in Einzelfällen Korrekturen vorgenommen, wenn die Leistungsangaben zu den Anlagen aus den EEG-Daten Hinweise auf andere Werte ergaben.
Status	Angaben zum Status der Wasserkraftanlagen wurden auf folgenden Grundlagen geändert: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ergebnisse der Geländearbeiten</li> <li>• Aktuelle Informationen der unteren Wasserbehörden</li> <li>• Daten zur Einspeisung von Strom nach EEG</li> <li>• Informationen von Betreibern der Anlagen</li> </ul>

Objekt Regelbauwerke	
Wasserspiegeldifferenz	Angaben zur Wasserspiegeldifferenz wurden auf folgender Basis korrigiert: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Messungen im Gelände</li> <li>• Planunterlagen bei den unteren Wasserbehörden</li> </ul>
Auswirkungsstrecke	Für alle Ausleitungskraftwerke wurde unabhängig von Vorhandensein und Qualität einer Mindestwasserregelung die Länge der Ausleitungsstrecke aus Geodaten ermittelt.
Objekt Sohlenbauwerke	
Wasserspiegeldifferenz	Angaben zur Wasserspiegeldifferenz wurden auf der Basis von Messungen im Gelände korrigiert.

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

Insbesondere im Zuge der Geländearbeiten wurden auch wasserbauliche Anlagen identifiziert, die nicht in den Daten des AKWB geführt wurden. Diese wurden neu in die Projektdatenbank aufgenommen. Hierzu wurde eine eindeutige vorläufige Identifikationsnummer (UIS-Nummer) vergeben, die nach folgendem System gebildet wurde:

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 630300000001 im Wasserkörper 63-03. Entsprechend dem Aufbau des AKWB wurden neue Bauwerke getrennt nach Wasserkraftanlagen, Regelbauwerken, 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 zur Verfügung gestellt.

Eine Dokumentation neu aufgenommener und im Rahmen dieser Studie ermittelter bzw. berechneter Daten findet sich im Anhang zu dieser Studie.

#### 4.1.2 Wasserrechtliche Informationen

Die Erhebung von wasserrechtlichen Informationen wurde durch Einsichtnahme in die Triebwerksakten bei den unteren Wasserbehörden mit Zuständigkeit im baden-württembergischen Einzugsgebiet

des Bodensees im Zeitraum April bis November 2012 ermöglicht. Soweit entsprechende Akten vorlagen, wurden die in Tabelle 4-2 dargestellten Informationen zu wasserrechtlichen Tatbeständen im Zusammenhang mit der Nutzung der Wasserkraft erhoben.

Darüber hinaus wurden bei den unteren Wasserbehörden Informationen zu im Jahr 2012 laufenden Verfahren zur Modernisierung oder zum Neubau von Wasserkraftanlagen erhoben.

**Tabelle 4-2:** Wasserrechtliche Informationen, die durch Akteneinsicht bei den unteren Verwaltungsbehörden erhoben wurden.

<b>Bestehendes Wasserrecht:</b>	Besteht am betrachteten Standort eine geltende wasserrechtliche Zulassung der Wasserkraftnutzung
<b>Datum Erteilung:</b>	Datum der Erteilung des Wasserrechts
<b>Befristung:</b>	Ja/Nein
<b>Befristung bis:</b>	Datum
<b>Angabe Altrecht:</b>	Sofern es sich um ein altes Recht handelt.
<b>Mindestwasserregelung:</b>	<p>Vorliegen und Qualität einer Mindestwasserregelung mit folgenden Einzelparametern:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mindestabfluss bei Ausleitungskraftwerken</li> <li>• Dotation einer ggf. vorhandenen Fischaufstiegshilfe am Wehr</li> <li>• Dotation einer ggf. vorhandenen 2. Fischaufstiegshilfe am Krafthaus von Ausleitungskraftwerken</li> <li>• Dotation einer ggf. vorhandenen Fischabstiegshilfe (Bypass)</li> </ul>

#### 4.1.3 Technische Daten bestehender Wasserkraftanlagen

Durch Auswertung der Triebwerksakten bei den zuständigen unteren Wasserbehörden wurden wichtige technische Daten zu den bestehenden oder geplanten<sup>24</sup> Wasserkraftanlagen ermittelt. In Einzelfällen wurden diese durch Informationen der Betreiber der Wasserkraftanlagen und sonstige Quellen (z. B. Informationen aus anderen Studien, Internet) ergänzt.

Die erhobenen technischen Daten sind im Einzelnen in Tabelle 4-3 zusammen gestellt. Sie wurden jeweils über die UIS-ID mit der im AKWB geführten Anlage verknüpft.

<sup>24</sup> Technische Daten zu geplanten Anlagen wurden in die Datenbank übernommen, soweit laut Aussage der zuständigen Wasserbehörde der Planungsstand bzw. das Genehmigungsverfahren ausreichend fortgeschritten war, so dass keine wesentlichen Abweichungen aufgrund des Genehmigungsverfahrens mehr zu erwarten waren.

Um ein möglichst vollständiges und korrektes Bild der aktuellen Nutzung der Wasserkraft im Untersuchungsgebiet erstellen zu können, wurden die bei den Wasserbehörden erhobenen technischen Daten für nach EEG vergütete Anlagen mit den Leistungsangaben in den Daten zur Einspeisung dieser Anlagen abgeglichen. Traten hierbei unter Annahme mittlerer Gesamtwirkungsgrade von 65-80 % Widersprüche auf, wurde in Abstimmung mit der zuständigen Wasserbehörde versucht, deren Ursache zu klären.

**Tabelle 4-3:** Zusätzlich erhobene technische Informationen zu vorhandenen und geplanten Wasserkraftanlagen

<b>Anzahl und Typ, Schluckvermögen und Nennleistung der Turbinen<sup>25</sup></b>	Unterschieden in: Wasserrad, Francis, Kaplan, Durchström, Pelton, Schnecke
<b>Einbaujahr der Turbinen</b>	
<b>Informationen zur Rechenanlage:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorhandensein einer Rechenanlage</li> <li>• Stababstand</li> <li>• Rechenbreite</li> <li>• Anstellwinkel zur Gewässersohle</li> <li>• Wassertiefe im Kanal vor dem Rechen</li> </ul>
<b>Elektrische Leistung der Anlage ab Generatorklemme:</b>	In kW Die Ermittlung des Wertes erfolgte entweder durch Übernahme des in den EEG-Daten für die Anlage angegebenen Wertes oder, falls keine Informationen zur Einspeisung vorliegen oder die Leistungsangabe nach EEG unplausibel war, durch Berechnung aus Nutzgefälle und Schluckvermögen der Anlage bzw. Wasserkraftmaschinen unter Annahme eines typischen Wirkungsgrades von 70 - 80 % in Abhängigkeit von Turbinentyp und -alter. Liegen für eine Anlage keine Angaben zu Nutzgefälle oder Schluckvermögen vor, wird ggf. eine bereits im AKWB eingetragene Leistung angenommen.
<b>Fischabstiegsanlage:</b>	Vorhandensein einer Fischabstiegsanlage Ggf. technische Informationen zur Ausgestaltung der Fischabstiegsanlage

Anhand der bei den unteren Wasserbehörden verfügbaren Informationen konnten diese Widersprüche in den meisten Fällen aufgeklärt werden. Unter anderem treten derartige Widersprüche immer dann auf, wenn eine Wasserkraftanlage aus dem AKWB durch mehrere Datensätze in den EEG-Daten repräsentiert ist oder mehrere Wasserkraftanlagen des AKWB als nur eine Anlage nach EEG vergütet werden.

<sup>25</sup> Soweit an einer Anlage mehrere Wasserkraftmaschinen mit unterschiedlichen Fallhöhen betrieben werden, wurden auch diese Informationen erhoben.

In einigen Fällen sind jedoch aus den EEG-Daten entnommene Werte für Leistung und Jahresarbeit keinesfalls mit der in den Triebwerksakten dokumentierten Anlagentechnik zu erklären.

#### 4.1.4 Hydrologische Daten

Die in der vorliegenden Studie verwendeten hydrologischen Daten wurden mittels der DVD BW\_Abfluss 2007 (LUBW 2007) ermittelt.

In einem ersten Schritt wurden die Werte für den mittleren Abfluss (MQ) und den mittleren jährlichen Niedrigwasserabfluss (MNQ) mittels des in LUBW (2007) enthaltenen Berechnungsmoduls ermittelt, wobei als maßgeblicher Wert der Abflusswert am unteren Knoten des jeweiligen Basiseinzugsgebiets verwendet wurde. Bei allen Bauwerken, an denen aufgrund des MQ und der Fallhöhe ein theoretisches Potenzial von mindestens 8 kW ermittelt wurde, wurde anschließend überprüft, ob der Unterschied der Werte des MQ von oberem und unterem Knoten des Basiseinzugsgebiets mehr als 5 % beträgt. In diesen Fällen wurde mittels der in LUBW (2007) möglichen Interpolation ein standortscharfer Wert für den MQ bestimmt und für die weitere Betrachtung verwendet.

## 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 Juli 2012;
- einen GIS-Shape zum Migrationsbedarf der Fischfauna in den Fließgewässern Baden-Württembergs gemäß Dußling (2005);
- eine Liste der baden-württembergischen Schutzgebiete gemäß Fischseuchenverordnung (2008) mit Bearbeitungsstand Juni 2012.

Zudem wurden die historischen Verbreitungsgebiete der „Bodensee-Seeforelle“ 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 Bodensee-Einzugsgebiet 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>26</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 2012 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.

Eine weitere mögliche Fehlerquelle stellt die manuell durchgeführte Abgrenzung der Teileinzugsgebiete zur Ermittlung der standortgenauen Abflusswerte für Regelungsbauwerke dar (siehe Methode in LUBW (2007)). Diese Fehler spielen aber nur bei sehr kleinen Einzugsgebieten und damit geringen Potenzialen eine Rolle. Für das Wasserkraftpotenzial im gesamten Untersuchungsgebiet sind sie zu vernachlässigen.

#### 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 Wasser-

---

<sup>26</sup> <http://www.transnetbw.de/eeg-and-kwk-g/eeg-anlagendaten/>

kraftanlagen immer dort mit Unsicherheiten verbunden, wo auf engem Raum viele Wasserkraftanlagen installiert sind.

Trotz der Verwendung ergänzender Informationen, wie der Angaben zur Anlagenleistung, 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. Durch die Unterstützung der zuständigen Wasserbehörden konnten aber die meisten derartigen Anlagen identifiziert und aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden.

#### **4.5 Plausibilisierung der ermittelte Potenziale durch die Wasserbehörden**

Im Herbst 2014 erhielten die im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Bodensees räumlich zuständigen Wasserbehörden die ermittelten Aus- und Neubaupotenziale zur Verfügung gestellt. Auf diese Weise sollten die fachlichen Kenntnisse vor Ort Berücksichtigung finden und auch Entwicklungen erfasst werden, die nach Erfassung der wasserrechtlichen Unterlagen auf den jeweiligen Landratsämtern stattgefunden hatten. Alle Rückmeldungen mit Auswirkungen auf die ermittelten Potenziale wurden in die Datenbank eingearbeitet.

## 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>27</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 Studie für das Neckargebiet festgelegt (Heimerl et al. 2011), in der Studie für das Donauegebiet angewendet und in Rücksprache mit der begleitenden Arbeitsgruppe aus Gründen der Vergleichbarkeit auch für vorliegende Studie übernommen. Auch einige konkrete Arbeitswerte für beide Szenarien wurden so entsprechend der bereits veröffentlichten Studien für das Neckar- und für das Donauegebiet weiter verwendet. Zusätzlich wurden aufgrund fischökologischer Besonderheiten des Bodensee-Einzugsgebietes und aufgrund neuerer Erkenntnisse zu Fischabstiegsanlagen für einige Fälle Anpassungen für das Szenario 2 vorgenommen, die ebenfalls von der begleitenden Arbeitsgruppe mitgetragen wurden. In den folgenden Kapi-

---

<sup>27</sup> 1/3 MNQ für Ausleitungskraftwerke. Bei Flusskraftwerken wurde pauschal eine Dotation der notwendigen Fischaufstiegsanlage von 1/6 MNQ angenommen.

teln 5.1 bis 5.3 sind alle der vorliegenden Studie zugrundeliegenden standardisierten Berechnungsverfahren für ökologische Abflüsse aufgeführt.

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 Bodensee-Einzugsgebietes 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) für den konkreten Einzelfall nicht übernommen werden. Hier 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 wer-

den 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 berücksichtigen nicht die für die Durchwanderbarkeit von Ausleitungsstrecken 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**

Erfordernisse zum Erhalt bestehender bzw. zur Wiederherstellung durch Wasserkraftnutzung zerstörter Fischlebensräume (Kieslaichflächen, Deckungsstrukturen, Altarmabbindung, Überschwemmungsflächen etc.) sind in den Wasserkraftpotenzialberechnungen 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 (in der im Jahr 2015 geltenden Fassung vom 30.12.2006) 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 Dotations 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 Dotations 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 Mindestdotation von 1/3 MNQ für den Fischaufstieg) 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 Studie für das Neckargebiet (Heimerl et al. 2011) erstellt wurde. Bezüglich des Szenario 1 besteht daher eine direkte Vergleichbarkeit zwischen vorliegendem Bericht, der Neckar- und der Donaustudie (Heimerl et al. 2014).

## 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 ( $Q_{ök}$ ) berücksichtigt:

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

Für Ausleitungskraftwerke entspricht dabei  $Q_{ök}$  dem  $Q_{min}$  für all jene Fälle, in denen am Krafthaus keine zweite Fischaufstiegsanlage (FAA2) und keine Fischabstiegshilfe (Bypass) angenommen wurde.

Zur Herleitung von Arbeitswerten wurde als fischökologische Besonderheit im baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiet das Vorkommen der „Bodensee-Seeforelle“ berücksichtigt. Dieser Mitteldistanzwanderer kann bis über 100 km weit in die Zuflüsse einwandern, um seine Laichgründe zu erreichen und sich natürlich fortzupflanzen. Die „Bodensee-Seeforelle“ ist als stark gefährdet einzustufen (Baer et al. 2014b), wobei festzuhalten ist, dass Seeforellen im Bodensee fischereilich genutzt und massiv durch Besatzmanagement gestützt werden, da die natürliche Reproduktion im Einzugsgebiet sehr stark eingeschränkt ist. Eine Wanderung zu ihren Laichgründen in den Zuflüssen und eine erfolgreiche natürliche Fortpflanzung sind in den meisten Zuflüssen allenfalls noch stark eingeschränkt möglich. Es ist daher derzeit unklar, zu welchem Anteil die natürliche Fortpflanzung zur Rekrutierung der Seeforellenbestände beiträgt, insbesondere in den Bodenseezuflüssen Baden-Württembergs (Werner et al. 2013). Aufgrund dieser besonderen Bedeutung wurde in Rücksprache

mit der begleitenden Arbeitsgruppe vereinbart, dass ökologische Anforderungen für die „Bodensee-Seeforelle“ im Rahmen vorliegender Studie für Standorte innerhalb des historischen Verbreitungsgebiets dieser Art berücksichtigt werden. Klassische Langdistanzwanderer wie die anadromen Fischarten Lachs und Meerforelle fehlen im Bodenseegebiet, da mit dem Rheinfluss bei Schaffhausen ein natürliches Ausbreitungshindernis für diese Arten vorhanden ist.

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 Szenario 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 Durchgängigkeit 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 Fischaufstiegsanlage, 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 Mindestwasserdotierung 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 Dotierung 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 Mindestdotierung von Fischaufstiegsanlagen formulieren. Diese sind in Tabelle 5-1 für einige wichtige Zielfischarten des Bodensee-Einzugsgebiets zusammengestellt. Eine Unterschreitung dieser Werte führt zwangsläufig dazu, dass für die betreffenden Fischarten ein Aufstieg in ökologisch ausreichendem 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 ist bei der Bemessung von Fischaufstiegsanlagen grundsätzlich ein Sicherheitszuschlag einzurechnen.

**Tabelle 5-1:** Fischartabhängige Orientierungswerte für die zur funktionalen Gestaltung erforderliche Mindestdotierung 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
Seeforelle	0,55 m <sup>3</sup> /s	0,8 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 der 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 Fischabstiegspassage 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 daher  $1/3$  MNQ, mindestens jedoch  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dieser Sockelwert wurde auch in den vorgängigen Studien (Heimerl et al. 2011) verwendet, was die Vergleichbarkeit mit diesen Berichten verbessert. Die „Bodensee-Seeforelle“ weist deutlich höhere Ansprüche an die hydraulischen Erfordernisse einer Fischaufstiegsanlage auf (Werner et al. 2013), weshalb in ihrem historischen Verbreitungsgebiet ein Arbeitswert von  $3/4$  MNQ, mindestens jedoch  $0,55 \text{ m}^3/\text{s}$  veranschlagt wurde.

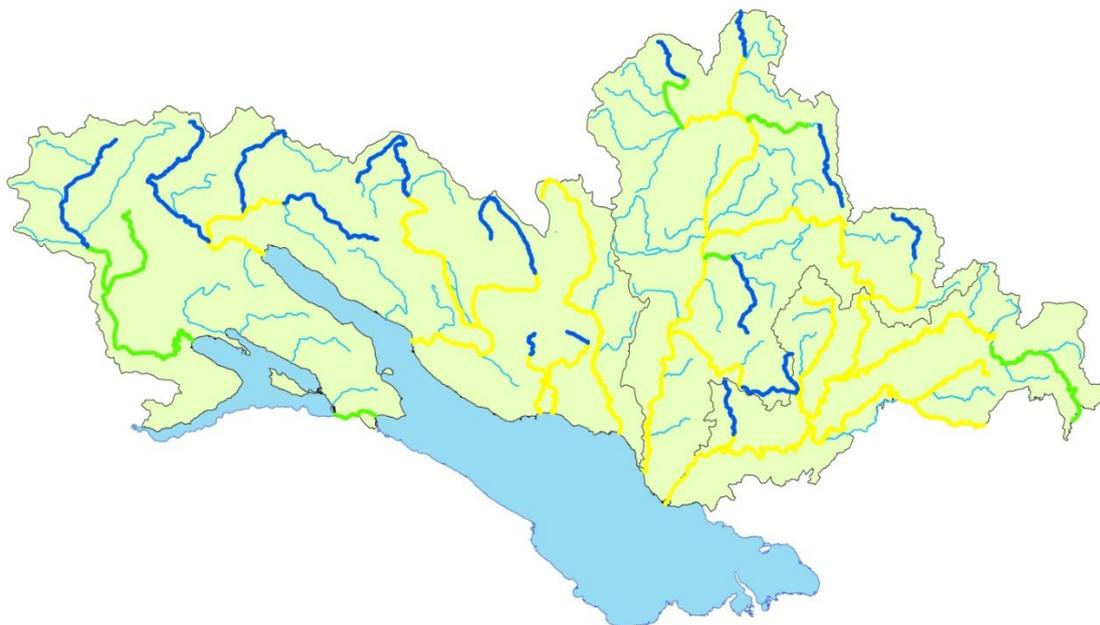
Im Einzugsgebiet des Bodensees sind alle Gewässer bzw. Gewässerabschnitte mit hohem Migrationsbedarf (Dußling 2005) Seeforellengewässer. Daher konnte auf einen eigenen Sockelwert für Gewässer mit hohem Migrationsbedarf verzichtet werden.

Nach dem Wasserkrafterlass Baden-Württemberg hat eine Mindestdotierung 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 Sackasseneffekt.

Letzterer hat vor allem in den von Dußling (2005) festgelegten Flussabschnitten mit hohem Migrationsbedarf der Fischfauna (Abbildung 5-1) besonders nachteilige fischökologische Folgen: Diese Fluss-



**Abbildung 5-1:** Gewässer mit hohem (gelb), erhöhtem (grün) und normalem (blau) Migrationsbedarf der Fischfauna im WRRL-Bearbeitungsgebiet Alpenrhein-Bodensee (Dußling 2005). (Hellblau dargestellt sind Gewässer ohne zugewiesenen Migrationsbedarf. Der hohe Migrationsbedarf ist im Bodensee-Einzugsgebiet vergeben für Gewässer, die in diesem Datensatz auch als Seeforellengewässer geführt werden.)

abschnitte stellen natürlicherweise die klassischen Lebensräume der innerhalb der Fließgewässer über vergleichsweise weite Distanzen wandernden Migranten (im Bodensee-Einzugsgebiet insbesondere die Seeforelle, die Äsche, die Barbe und die Nase) dar. Gleichzeitig ist die Möglichkeit, ungehinderte Längswanderungen durchführen zu können, für die Biologie und gewässeradäquate Bestandsentwicklung dieser Arten von erheblicher Relevanz.

Aus diesem Grund und um die Vergleichbarkeit mit den Vorgängerstudien (Heimerl et al. 2011) an diesem Punkt beizubehalten wurde in der standardisierten Berechnung für Flussabschnitte mit hohem Migrationsbedarf der Fischfauna eine weitere Fischaufstiegsanlage im Bereich des Krafthauses angenommen.

Für die Seeforelle als typischem und besonders schützenswerten Vertreter dieser Gewässerabschnitte wird hierbei eine Mindestdotation von  $0,55 \text{ m}^3/\text{s}$  in beckenartigen Fischaufstiegsanlagen benötigt (Tabelle 5-1). Der standardisierte Arbeitswert für das Szenario 2 in Gewässern mit hohem Migrationsbedarf der Fischfauna beträgt demgegenüber lediglich  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Diese Annahme entspricht der Vorgabe aus der Neckarstudie (Heimerl et al. 2011) und ist als im Rahmen 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 klargestellt 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)**

In Bezug auf die Dotation von funktionalen Rechen-Bypass-Systemen wird für Szenario 2 für alle Gewässer innerhalb des historischen Seeforellen-Verbreitungsgebiets (mit wenigen Ausnahmen gleichbedeutend mit dem Kriterium hoher Migrationsbedarf) ein Standardwert von  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$  angenommen. Dieser Arbeitswert ist höher als die entsprechenden Arbeitswerte für die Bearbeitungsgebiete Neckar und Donau (Heimerl et al. 2011, Heimerl et al. 2014). Die Veränderung dieses Arbeitswertes wurde in Absprache mit der begleitenden Arbeitsgruppe durchgeführt, da dem Fischschutz/-abstieg

im Bodensee-Einzugsgebiet eine besondere Bedeutung zukommt: Für Seeforellen-Jungfische muss die Abwanderung in den Bodensee möglichst verlustfrei realisiert werden.

Für Gewässer außerhalb des historischen Seeforellen-Verbreitungsgebiet wurde 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-Bypass-Anlagen gleichbedeutend und müssen daher auch als Arbeitswerte für jeden betrachteten Standort berücksichtigt werden.

Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass ebenso wie bei den Fischaufstiegsanlagen eine funktionale Gestaltung mit diesen Arbeitswerten 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 Seeforellen-Verbreitungsgebiets<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 Neckarstudie<sup>§</sup></li> </ul>
$Q_{\min} = Q_{\text{FAA1}}^* = 0,55 \text{ m}^3/\text{s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>3/4 \text{ MNQ} &lt; 0,55 \text{ m}^3/\text{s}</math></li> <li>innerhalb des Seeforellen-Verbreitungsgebiets<sup>&amp;</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>erhöhte ökologische Anforderungen der Seeforelle</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 Neckarstudie<sup>§</sup></li> </ul>
$Q_{\text{Bypass}} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>innerhalb des Seeforellen-Verbreitungsgebiets<sup>&amp;</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ungehinderte Längswanderung hat besonders hohen Stellenwert</li> </ul>
$Q_{\text{Bypass}} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>außerhalb des Seeforellen-Verbreitungsgebiets<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>
<p>* aus fischökologischer Sicht ist anzustreben, <math>Q_{\min}</math> vollständig über eine geeignete Fischaufstiegsanlage abzuführen.  <sup>#</sup> gemäß Dußling (2005)  <sup>&amp;</sup> gemäß Dußling (2006)  <sup>§</sup> Vorgängerstudie für das Neckargebiet (Heimerl et al. 2011)</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  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$  in Gewässerabschnitten mit normalem oder erhöhtem Migrationsbedarf der Fischfauna und  $0,55 \text{ m}^3/\text{s}$  in Gewässerabschnitten, die zur historischen Seeforellenverbreitung zählen, was im Bodensee-Einzugsgebiet fast vollständig auch dem hohen Migrationsbedarf entspricht. Beide 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 des Seeforellen-Verbreitungsgebiets<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 Neckarstudie<sup>§</sup></li> </ul>
$Q_{FAA} = 0,55 \text{ m}^3/\text{s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>1/6 \text{ MNQ} &lt; 0,55 \text{ m}^3/\text{s}</math></li> <li>• innerhalb des Seeforellen-Verbreitungsgebiets<sup>&amp;</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erhöhte Anforderung der Seeforelle an Bemessung der Fischaufstiegsanlage</li> </ul>
$Q_{Bypass} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• innerhalb des Seeforellen-Verbreitungsgebiets<sup>&amp;</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ungehinderte Längswanderung hat besonders hohen Stellenwert</li> </ul>
$Q_{Bypass} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• außerhalb des Seeforellen-Verbreitungsgebiets<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>
<sup>#</sup> gemäß Dußling (2005) <sup>&amp;</sup> gemäß Dußling (2006) <sup>§</sup> Vorgängerstudie für das Neckargebiet (Heimerl et al. 2011)		

### 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 zusammen nochmals in Tabelle 5-4 zusammengestellt.

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

Ökologische Funktion	<b>Szenario 1:</b> Orientierungswerte nach Wasserkrafterlass	<b>Szenario 2:</b> Spezifische ökologische Abflüsse nach Wasserkrafterlass
<b>Ausleitungskraftwerke</b>		
<p>A) Mindestabfluss (Ausleitungsstrecke): <math>Q_{\min} = Q_{FAA1}^*</math></p> <p>B) Dotation 2. Fischaufstieg am Krafthaus: <math>Q_{FAA2}</math></p> <p>C) Dotation Fischabstieg (Bypass): <math>Q_{Bypass}</math></p>	<p><math>Q_{\min} = Q_{FAA}^* = 1/3 \text{ MNQ}</math>; ohne Mindestwert</p> <p>keine</p> <p>keine</p>	<p><b>Im Seeforellen-Gebiet <sup>&amp;</sup>:</b> <math>Q_{\min} = Q_{FAA1}^* = 3/4 \text{ MNQ}</math>; <u>jedoch mindestens: 0,55 m<sup>3</sup>/s</u></p> <p><b>In den restlichen Gewässern:</b> <math>Q_{\min} = Q_{FAA1}^* = 1/3 \text{ MNQ}</math>; <u>jedoch mindestens: 0,2 m<sup>3</sup>/s</u></p> <p><math>Q_{FAA2} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}</math> (nur bei hohem Migrationsbedarf<sup>#</sup>)</p> <p><b>Im Seeforellen-Gebiet <sup>&amp;</sup>:</b> <math>Q_{Bypass} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}</math></p> <p><b>In den restlichen Gewässern:</b> <math>Q_{Bypass} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}</math></p>
<b>Ausleitungskraftwerke</b> - ökologischer Gesamtabfluss: $Q_{ök} \text{ (ALK)}$	$Q_{ök} \text{ (ALK)} = Q_{\min} = 1/3 \text{ MNQ}$	$Q_{ök} \text{ (ALK)} = Q_{\min} + Q_{FAA2} + Q_{Bypass}$
<b>Flusskraftwerke</b>		
<p>A) Dotation Fischaufstieg: <math>Q_{FAA}</math></p> <p>B) Dotation Fischabstieg (Bypass): <math>Q_{Bypass}</math></p>	<p><math>Q_{FAA} = 1/6 \text{ MNQ}</math>; ohne Mindestwert</p> <p>Keine</p>	<p><math>Q_{FAA} = 1/6 \text{ MNQ}</math>; <u>jedoch mindestens:</u> - 0,55 m<sup>3</sup>/s im Verbreitungsgebiet der Seeforelle <sup>&amp;</sup> - 0,2 m<sup>3</sup>/s für die übrigen Standorte</p> <p><b>Im Seeforellen-Gebiet <sup>&amp;</sup>:</b> <math>Q_{Bypass} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}</math></p> <p><b>In den restlichen Gewässern:</b> <math>Q_{Bypass} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}</math></p>

<b>Ökologische Funktion</b>	<b>Szenario 1: Orientierungswerte nach Wasserkrafterlass</b>	<b>Szenario 2: Spezifische ökologische Abflüsse nach Wasserkrafterlass</b>
<b>Flusskraftwerke</b> - ökologischer Gesamtabfluss: $Q_{ök(FKW)}$	$Q_{ök(FKW)} = Q_{FAA} = 1/6 MNQ$	$Q_{ök(FKW)} = Q_{FAA} + Q_{Bypass}$
<p>* aus fischökologischer Sicht ist anzustreben, Q min vollständig über eine geeignete Fischaufstiegsanlage abzuführen.                      # gemäß Dußling (2005)                      &amp; gemäß Dußling (2006)</p>		

Für die Potenzialberechnung wurden die in Tabelle 5-4 enthaltenen Abflusswerte in Abhängigkeit von den jeweiligen Rahmenbedingungen für alle im Untersuchungsgebiet dokumentierten Regelungs-  
 bauwerke 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 6 beschriebenen Berechnungsformel ein theo-  
 retisches Rohpotenzial von  $\geq 8$  kW zur Verfügung stellen.

Sämtliche ökologischen Abflusswerte wurden in einer Tabelle unter Berücksichtigung der im nach-  
 folgenden 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 ökolo-  
 gische Abflüsse zugrunde gelegt:

Ein genereller Verzicht auf die stromauf gerichtete Durchgängigkeit für Fische und damit auf die ent-  
 sprechenden ökologischen Abflusswerte für Fischaufstiegsanlagen erfolgte für Querbauwerke, wel-  
 che die stromabwärts gelegene Grenze eines Schutzgebietes nach Fischseuchenverordnung (2008)  
 bilden. Dies erfolgte lediglich in zwei Fällen; für ein Sohlenbauwerk im Brielbach (Gewässersystem  
 der Stockacher Aach) und ein Ausleitungswehr in der Wolfegger Aach.

## 6 Ermittlung von Wasserkraftpotenzialen

Zur Ermittlung des Wasserkraftpotenzials der baden-württembergischen Bodenseezuflüsse 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 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. Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit vorangegangenen Studien wird auch für diese Studie das EEG 2009 anstatt dessen aktueller Fassung (2014) zur Berechnung des Umsatzes herangezogen.

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.

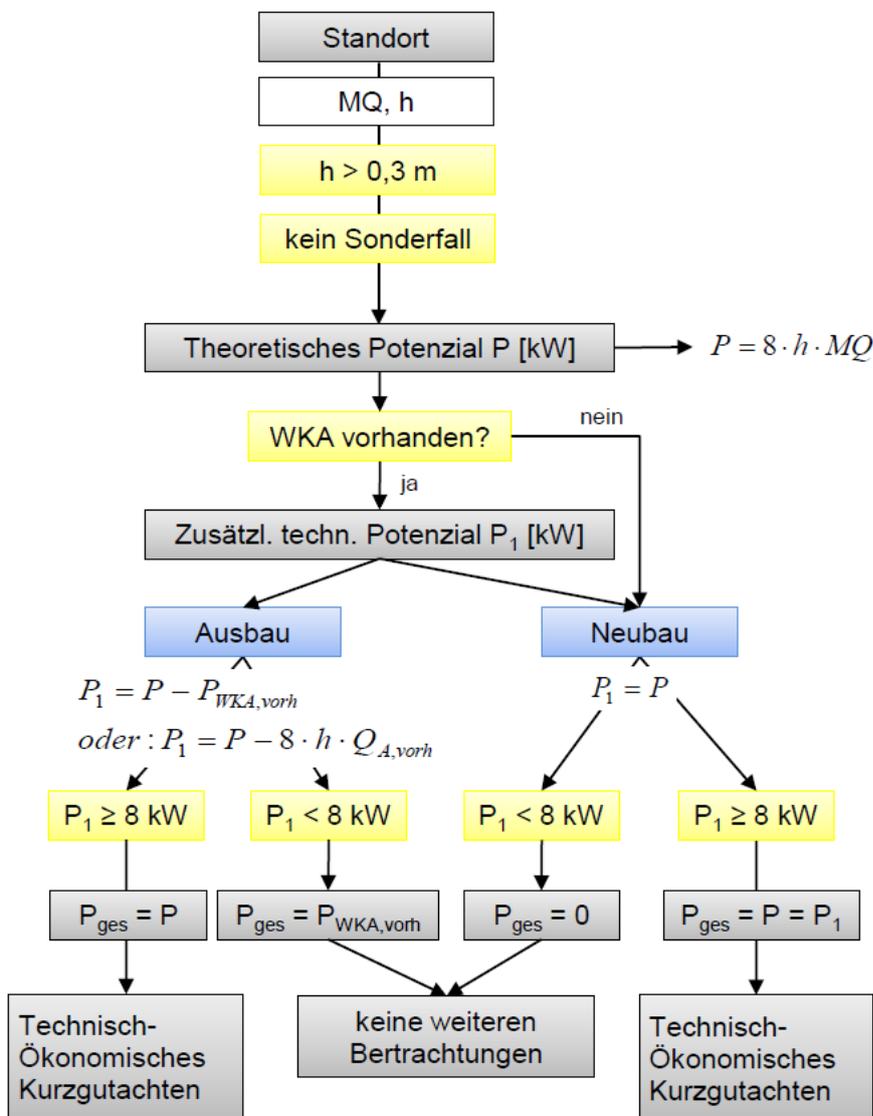


Abbildung 6-1: Potenzialermittlung

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 Kraftwerkstyps 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 -abstiegsanlage wird mit einkalkuliert.

Ist dem QBW **eine Wasserkraftanlage zugeordnet**, wird entsprechend des Kraftwerkstyps 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, aber betriebsfähig" aufweisen und für die gleichzeitig 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.

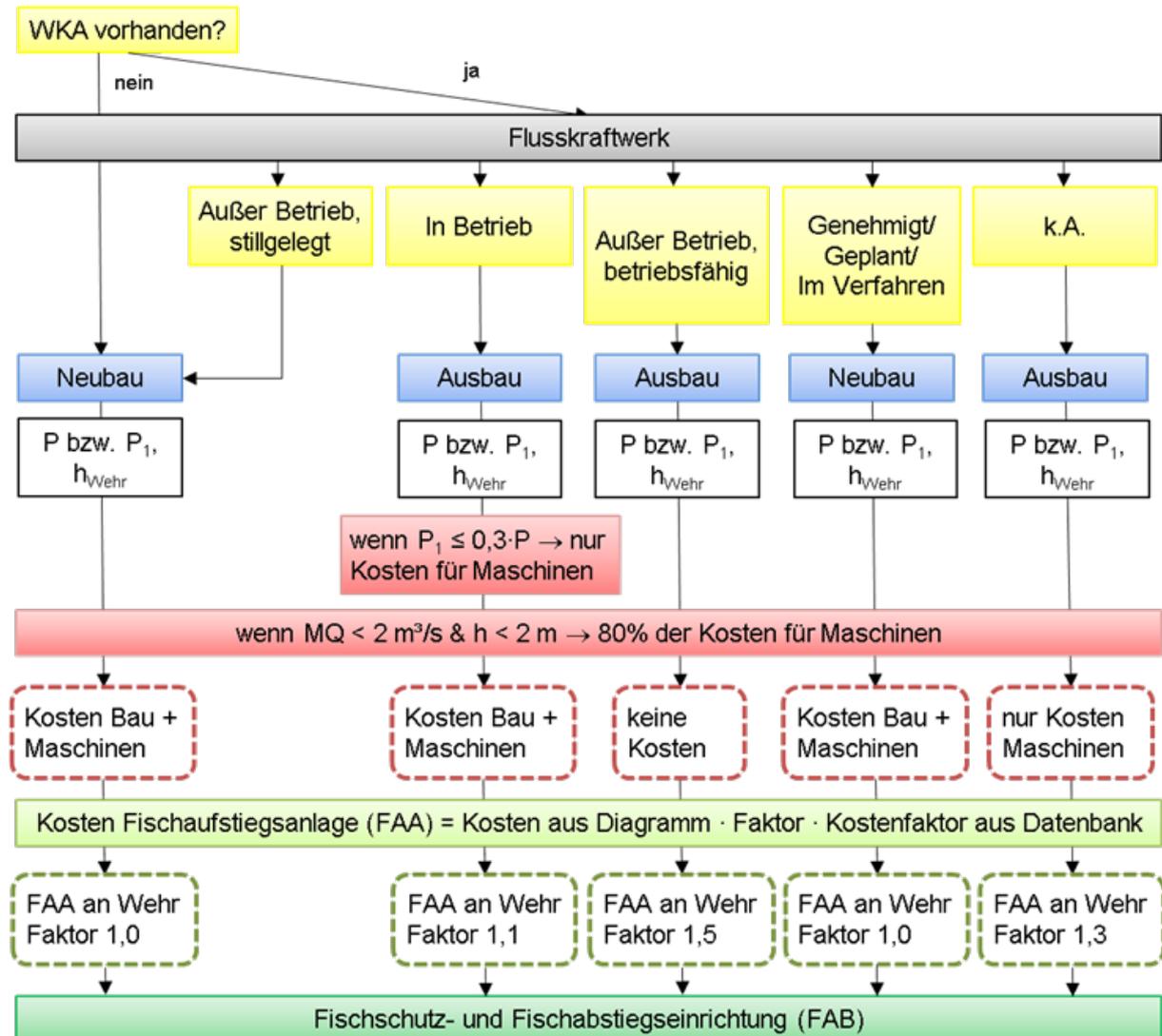


Abbildung 6-2: Entscheidungsbaum bei Flusskraftwerken

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 ff. 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 6-6) 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 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 -abstiegseinrichtung (FAB) 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 und
- Stillgelegte Anlagen, für die kein Wasserrecht mehr besteht, werden als neu gebaute Flusskraftwerke berechnet (siehe Kapitel 6.2.1).

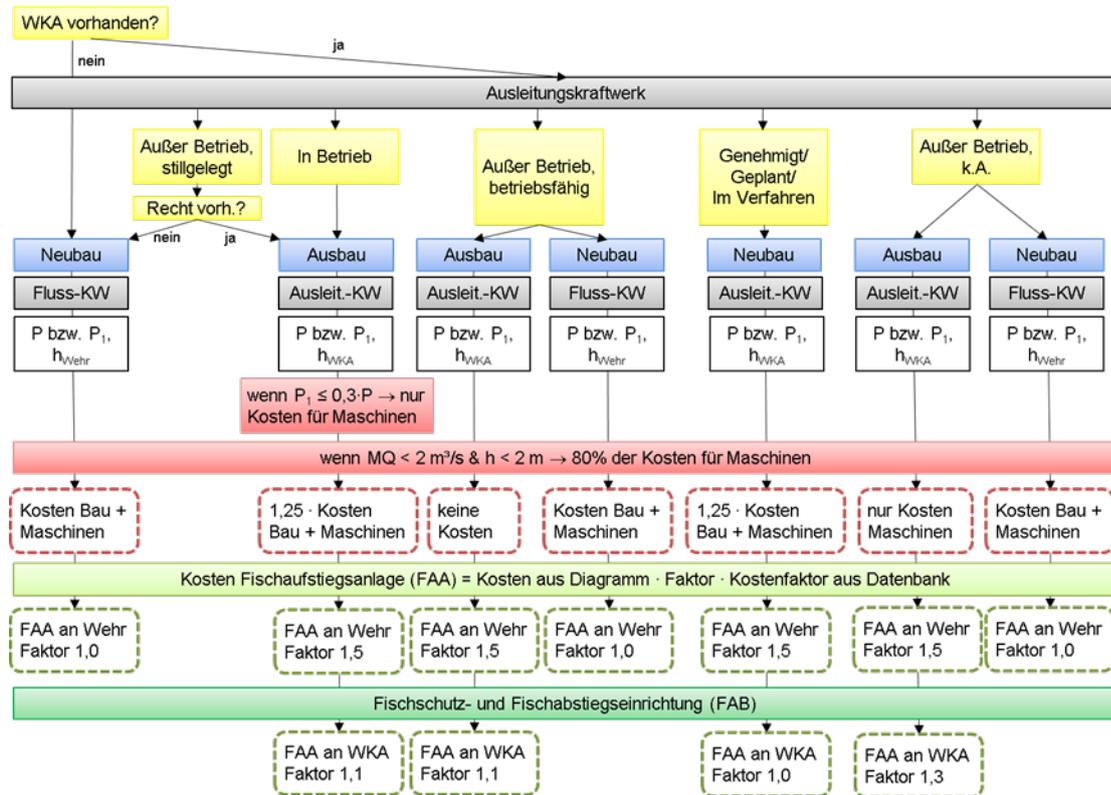


Abbildung 6-3: Entscheidungsbaum bei Ausleitungskraftwerken

Bei bestehenden Ausleitungskraftwerken, über deren Betriebsstatus nichts bekannt ist ("k.A."), werden 2 alternative Szenarien betrachtet und das günstigste, bezogen auf die dynamischen Stromgestehungskosten, 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. Eine Dotierung der Ausleitungsstrecke entfällt im Falle eines Flusskraftwerkes, womit mehr Wasser zur Energieerzeugung zur Verfügung steht. 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 Fischabstiegseinrichtung (FAB) 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, sofern noch ein Wasserrecht für die Ausleitungsvariante besteht, wiederum zwei alternative Szenarien berechnet werden, da nicht eindeutig festgelegt werden kann, welche Maßnahme die günstigste, bezogen auf die dynamischen Stromgestehungskosten, 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. Eine Dotierung der Ausleitungsstrecke entfällt im Falle eines Flusskraftwerks, womit mehr Wasser zur Energieerzeugung zur Verfügung steht. 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 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.

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

### 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 2010) angegebenen Erfahrungswerten von bereits errichteten Fischaufstiegsanlagen berechnet. Das hierauf aufbauende Diagramm in Abbildung 6-4 gibt die Kostenberechnung von Fischaufstiegsanlagen inklusive der Berechnungsformeln wieder.

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.

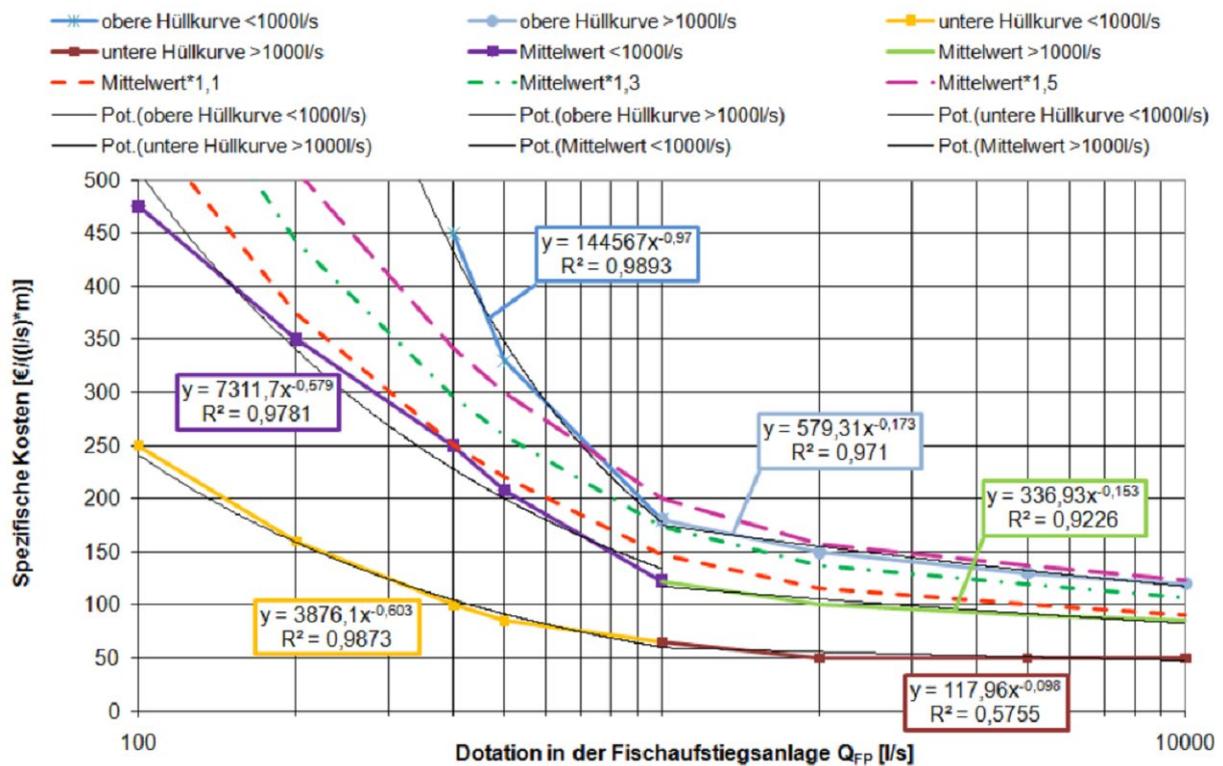


Abbildung 6-4: Spezifische Kosten von Fischaufstiegsanlagen

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 Fischabstiegseinrichtung

Grundsätzlich werden zusätzlich Kosten für eine Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtung (FAB) als Rechen-Bypass-System nach Abbildung 6-6 berechnet, wobei in Seeforellengewässern höhere Anforderungen und damit höhere Kosten berücksichtigt werden.

### 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. 2014):

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

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 Bodensee-Einzugsgebiet – 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:** Volllaststunden, Dauerlinientyp Ia ( $MNQ/MQ > 0,27$ )

Qökol/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 ( $MNQ/MQ > 0.00$  &  $MNQ/MQ \leq 0.09$ )

Q <sub>ökol</sub> /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 die anderen baden-württembergischen Einzugsgebiete (Neckar, Donau, Rhein) 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.

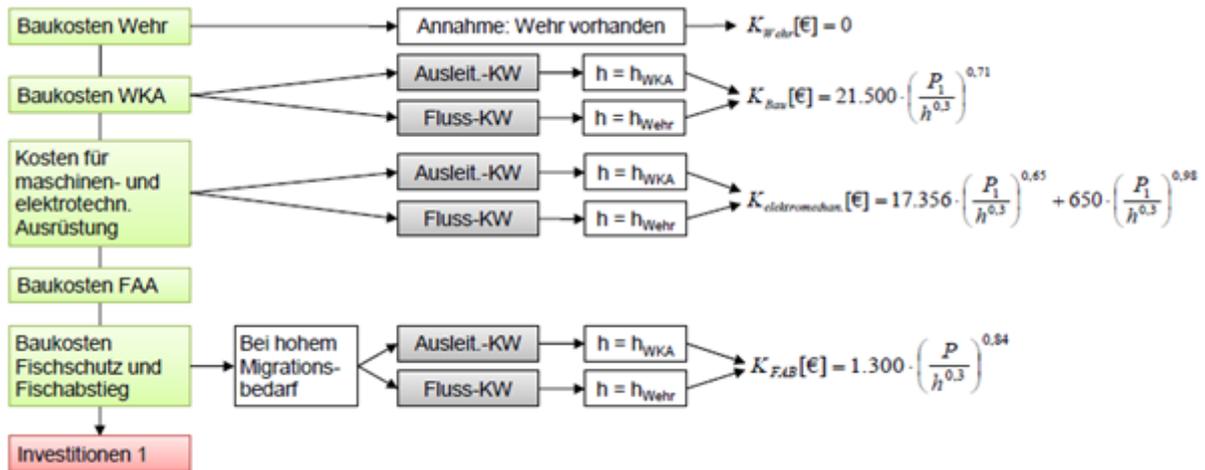


Abbildung 6-6: Berechnung des Investitionsvolumens

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.

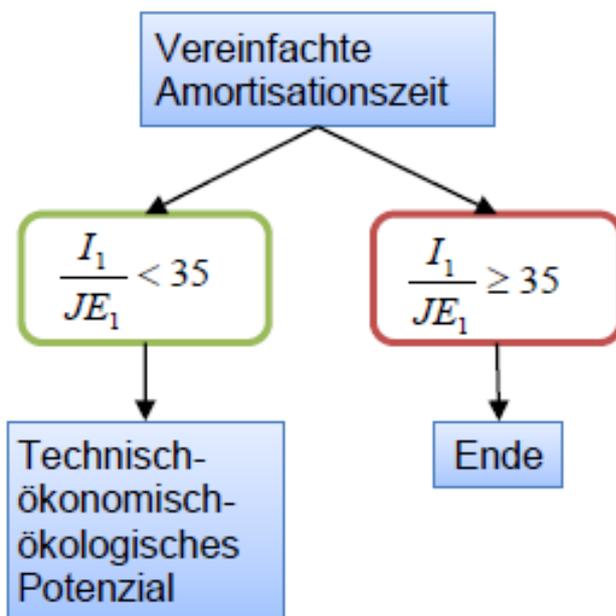
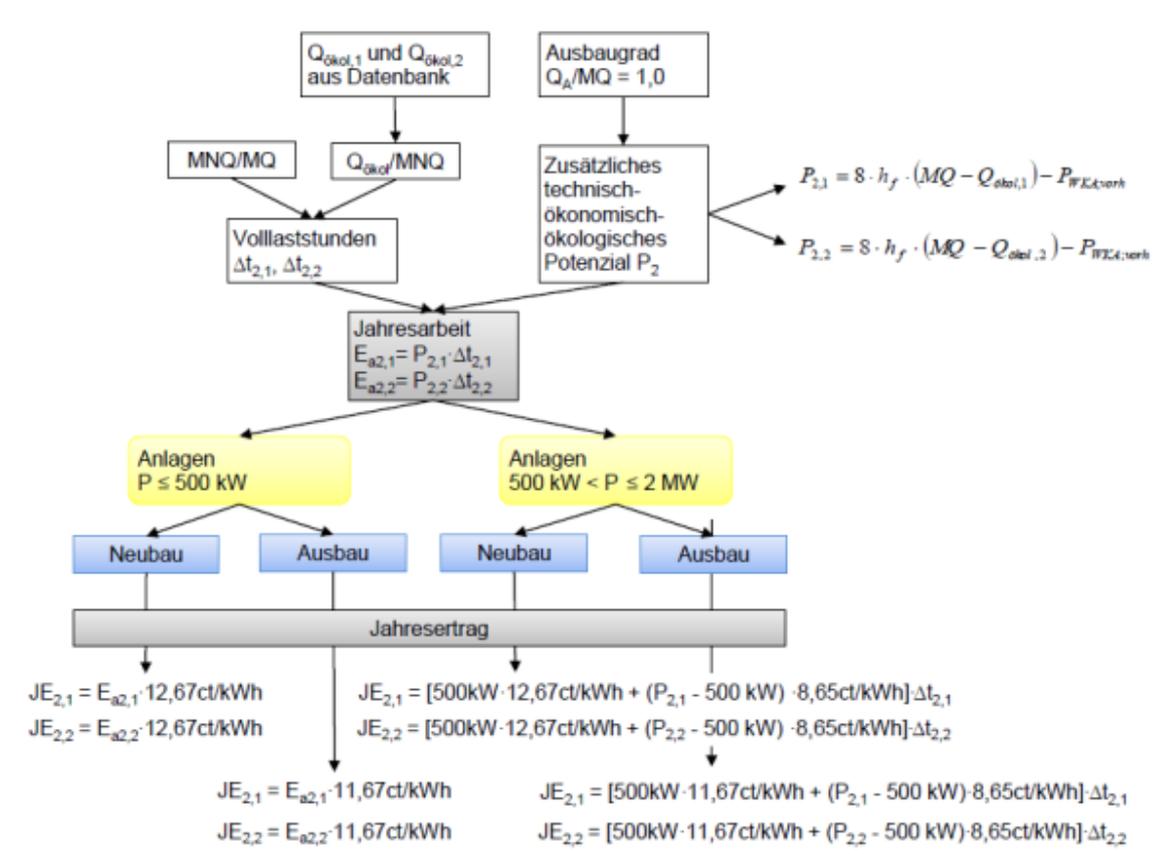


Abbildung 6-7: Beurteilung der vereinfachten Amortisationszeit

### 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 und 2

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 (1998) unter der Annahme eines langjährigen Kalkulationszinssatzes von 3 % und einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 35 Jahren gewählt.

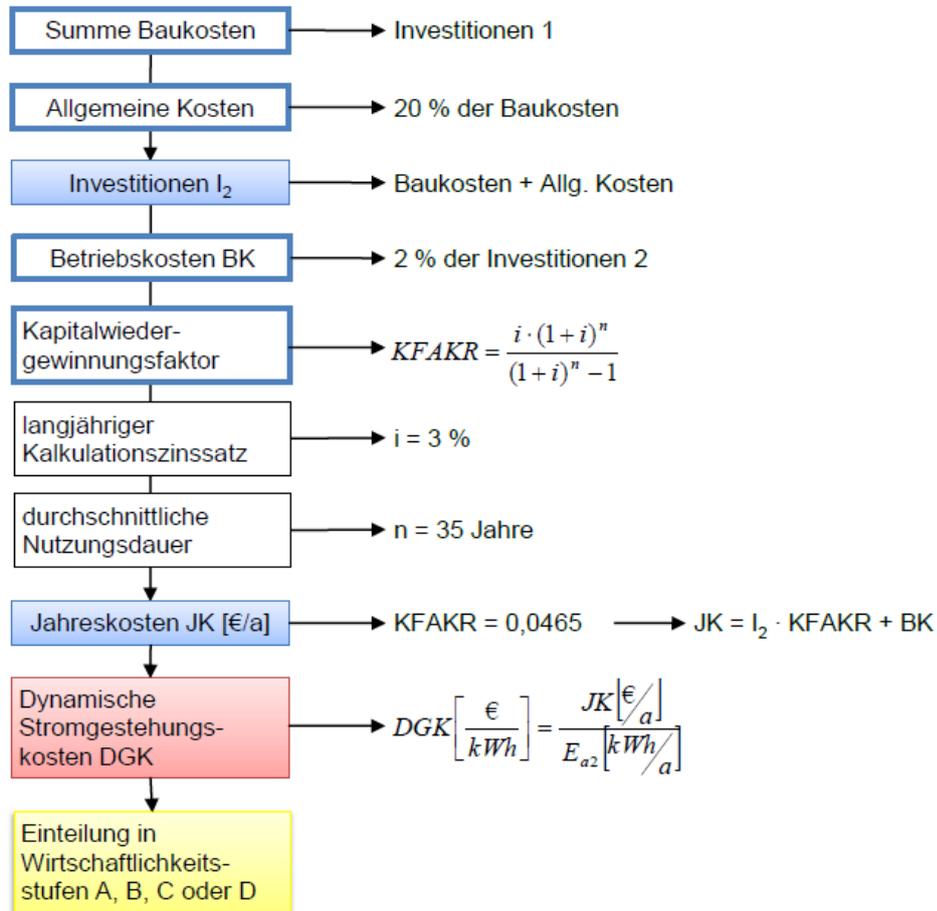


Abbildung 6-9: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

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
$0 \leq DGK \leq 0,085$	A
$0,085 < DGK \leq 0,11$	B
$0,11 < DGK \leq 0,175$	C
$DGK > 0,175$	D

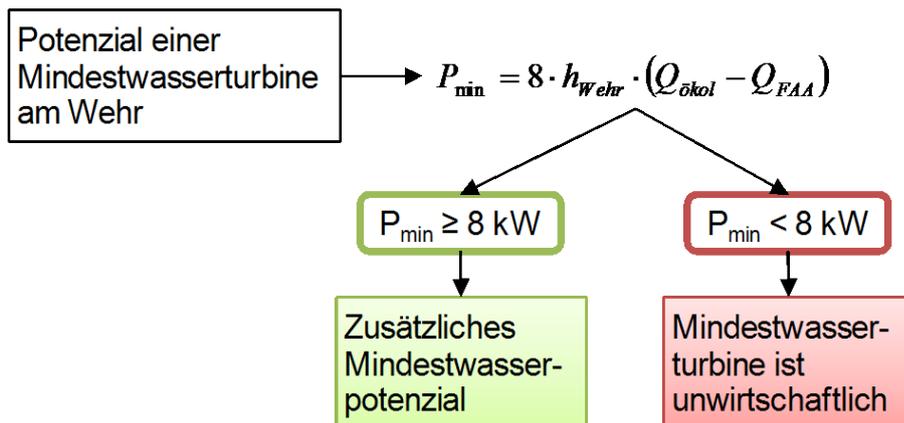
Eine eventuelle Über- oder Unterschätzung an Einzelstandorten wird, wie bereits im Kapitel 4.4 dargestellt, durch die Zusammenfassung der Ergebnisse auf Ebene der Gewässer oder Teileinzugsgebiete

te ausgeglichen. Auch sei nochmals darauf hingewiesen, dass diese Studie die jeweils notwendige Einzelfallprüfung nicht vorwegnehmen kann.

### 6.3.4 Das Mindestwasserpotenzial

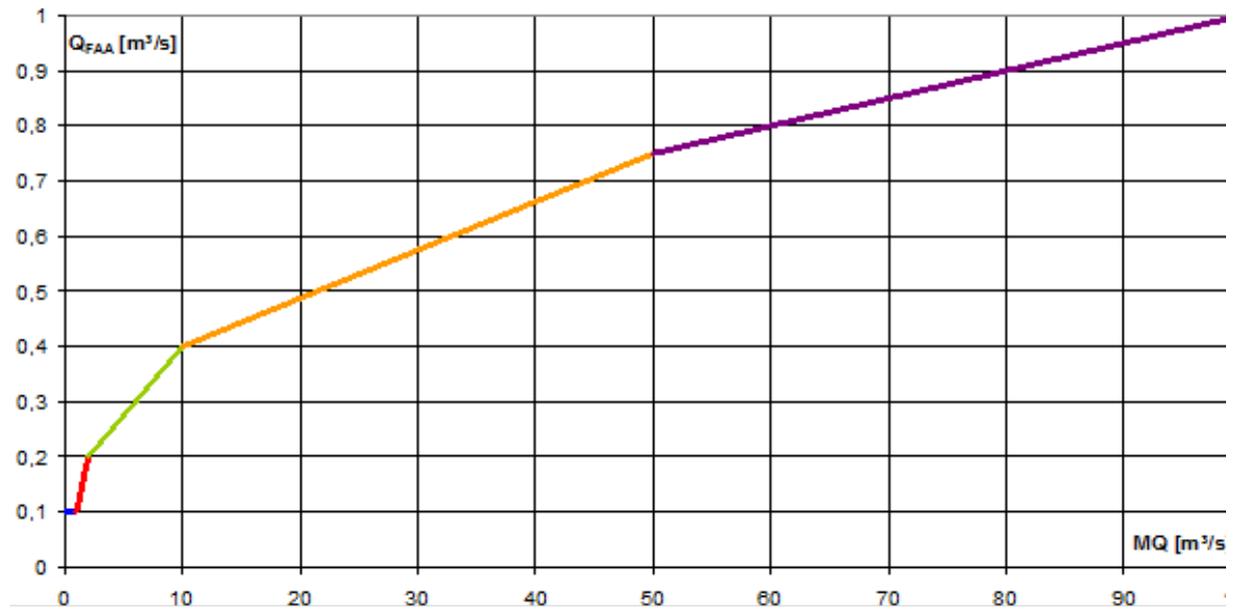
Des Weiteren wird an Standorten von Ausleitungskraftwerken für beide Szenarien geprüft, ob am jeweiligen Standort die zusätzliche Installation einer Mindestwasserturbine am Wehr sinnvoll ist (Abbildung 6-10). Auch hier wurde der Ansatz gewählt, dass Anlagen erst ab einem Mindestpotenzial von 8 kW als technisch und ökonomisch realisierbar sind.

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.

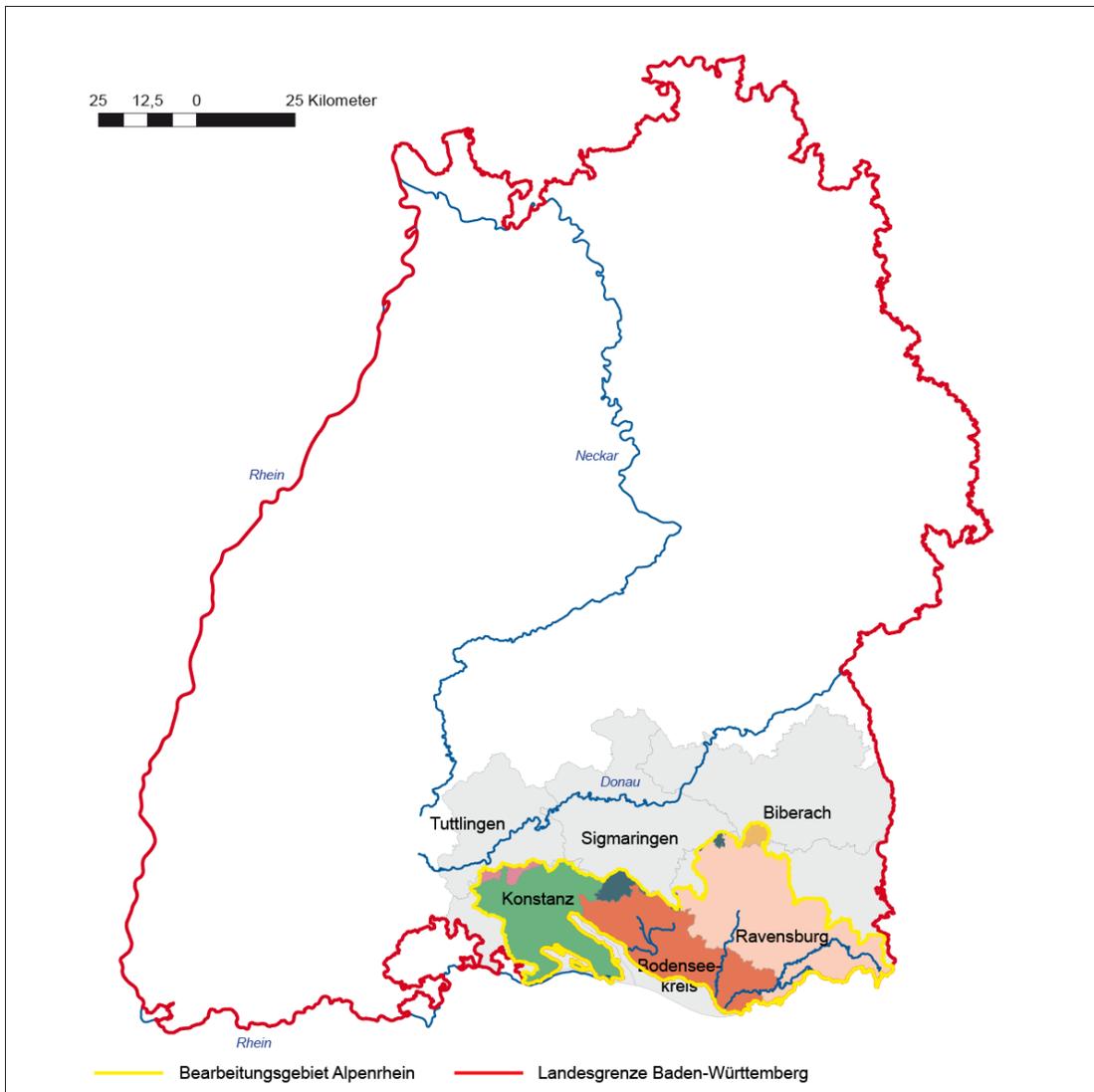


**Abbildung 6-11:** Mindestdotationsansatz für Fischaufstiegsanlagen basierend auf Erfahrungswerten für funktionsfähige Fischaufstiegsanlagen in Abhängigkeit vom Mittelwasserabfluss MQ

## 7 Ergebnisse

In Kapitel 7.1 sind zunächst die Ergebnisse der Erhebungen zur Nutzung der Wasserkraft im baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiet zusammengefasst, die als Grundlage für die Berechnung des Ausbaupotenzials durchgeführt wurden. In Kapitel 7.2 folgt die Beschreibung der ermittelten Wasserkraftpotenziale.

Wie in Abbildung 7-1 dargestellt haben insgesamt 6 Stadt- und Landkreise einen Anteil am baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiet. Allerdings sind die Potenziale der Wasserkraft im Sinne der vorliegenden Studie fast ausschließlich in den Landkreisen Ravensburg, Konstanz und Bodensee-kreis konzentriert.



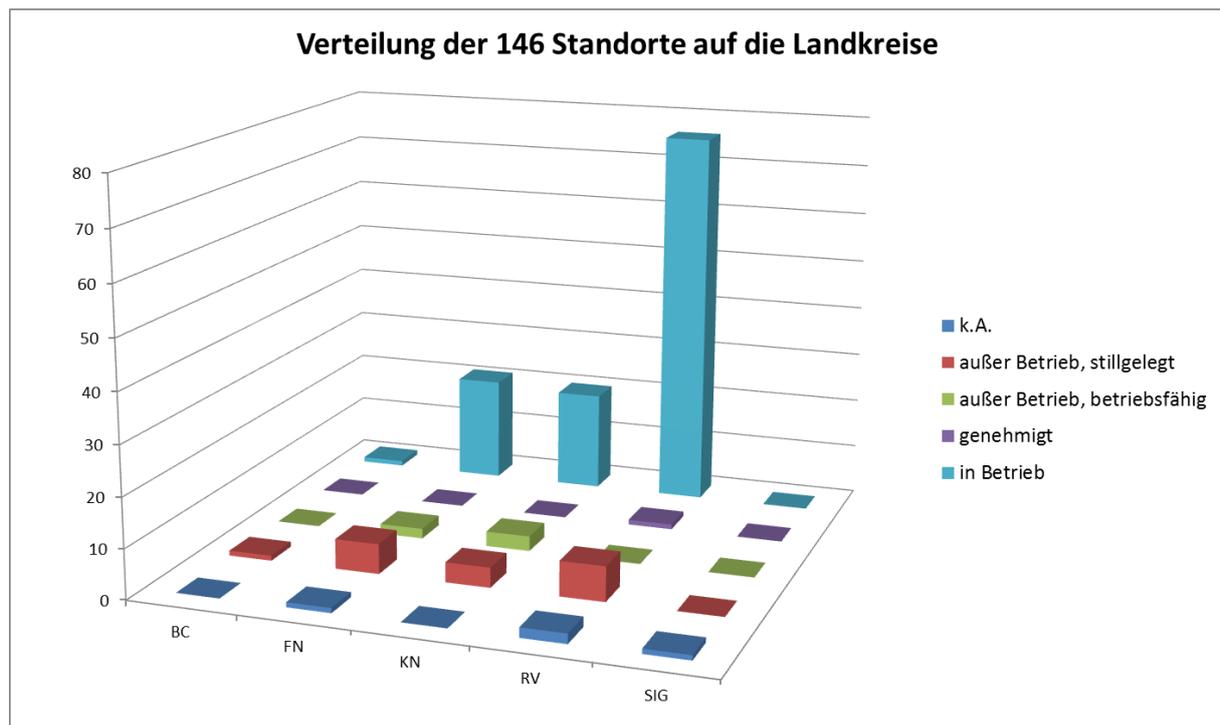
**Abbildung 7-1:** Stadt- und Landkreise mit Flächenanteil am baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiet

## 7.1 Bestehende Nutzung der Wasserkraft

### 7.1.1 Überblick

Im Rahmen der Studie wurden Informationen zu 146 Wasserkraftstandorten im baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiet erfasst. 118 Anlagen waren im Jahr 2014 in Betrieb, 23 Anlagen waren außer Betrieb, wobei fünf Anlagen als betriebsfähig galten. Für vier Anlagen konnte der Betriebszustand nicht sicher bestimmt werden. An acht Standorten wurde aus unterschiedlichen Gründen keine Potenzialbetrachtung durchgeführt, z.B. an Beimühlen ohne eigenes Potenzial oder weil die entsprechenden Anlagen im Gelände nicht mehr auffindbar waren.

Abbildung 7-2 zeigt die Verteilung der bestehenden Wasserkraftanlagen auf die Landkreise. In der Verteilung spiegeln sich die Flächenanteile der Stadt- und Landkreise ebenso wider wie das durch Abflusswerte und Topografie bedingte natürliche Wasserkraftpotenzial.

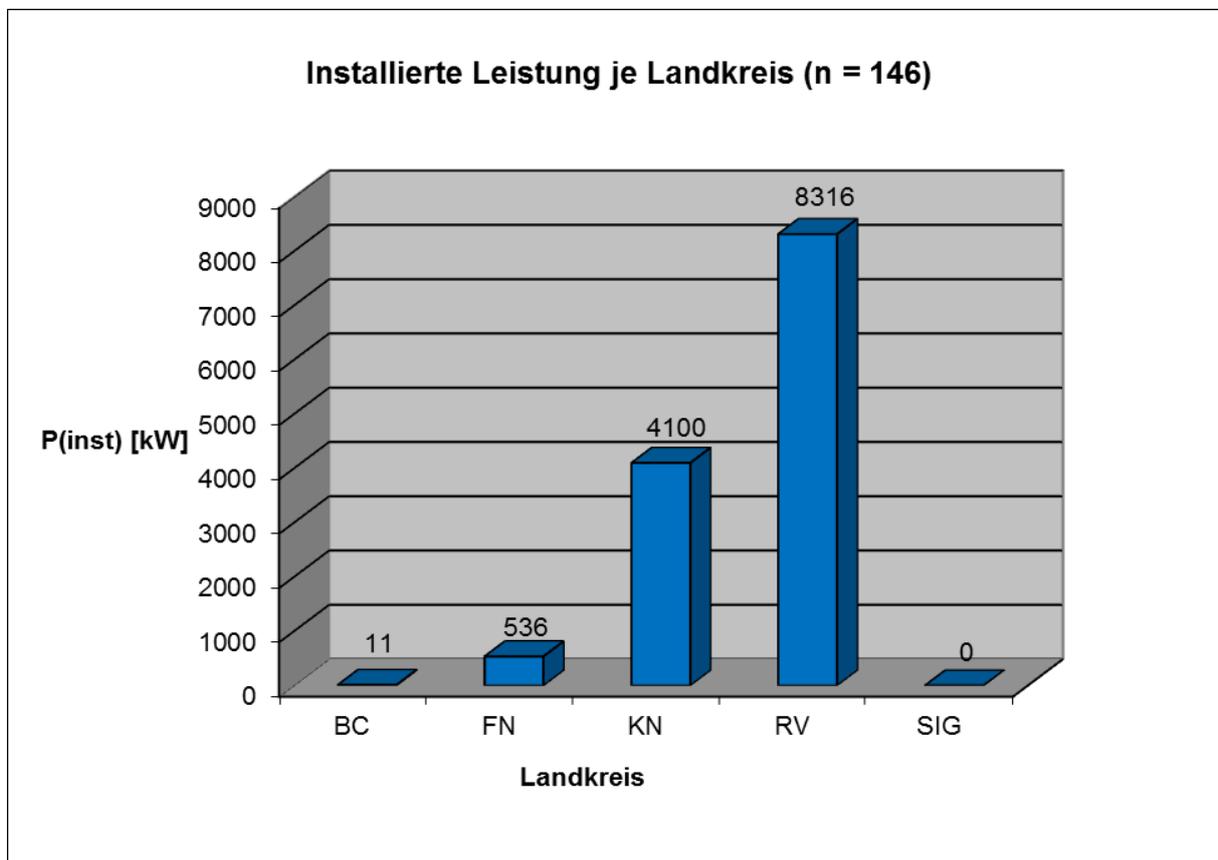


**Abbildung 7-2:** Verteilung der bestehenden Wasserkraftstandorte auf die Landkreise<sup>28</sup>

<sup>28</sup> (BC = Landkreis Biberach, FN = Bodenseekreis, KN = Landkreis Konstanz, RV = Landkreis Ravensburg, SIG = Landkreis Sigmaringen)

Die größte Zahl der Standorte befindet sich im Landkreis Ravensburg, der Rest verteilt sich überwiegend auf den Bodenseekreis und den Landkreis Konstanz. In den Landkreisen Biberach und Sigmaringen handelt es sich nur um zwei bzw. eine Anlage.

Abbildung 7-3 gibt die Verteilung der im Jahr 2014 installierten Leistung der Wasserkraft im Bearbeitungsgebiet wieder. Insgesamt war eine Leistung von etwa 13 MW installiert. Anlagen mit einer Leistung von über 100 kW gab es nur in den Landkreisen Ravensburg und Konstanz. Die leistungsstärksten Anlagen fanden sich an der Radolfzeller Aach, der Schussen, der Wolfegger Aach sowie der Oberen und Unteren Argen. Im Bearbeitungsgebiet gab es nur eine Wasserkraftanlage mit einer Leistung von > 1 MW im Landkreis Ravensburg. Im Landkreis Sigmaringen gibt es im Bearbeitungsgebiet nur einen stillgelegten Standort.



**Abbildung 7-3:** Verteilung der installierten Leistung auf die Landkreise<sup>29</sup>

<sup>29</sup> (BC = Landkreis Biberach, FN = Bodenseekreis, KN = Landkreis Konstanz, RV = Landkreis Ravensburg, SIG = Landkreis Sigmaringen)

Abbildung 7-4 teilt 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 zusammen gefasst, für die keine Leistungsdaten ermittelt werden konnten, oder die außer Betrieb genommen sind und bei denen aktuell keine maschinellen Vorrichtungen mehr vorhanden sind.

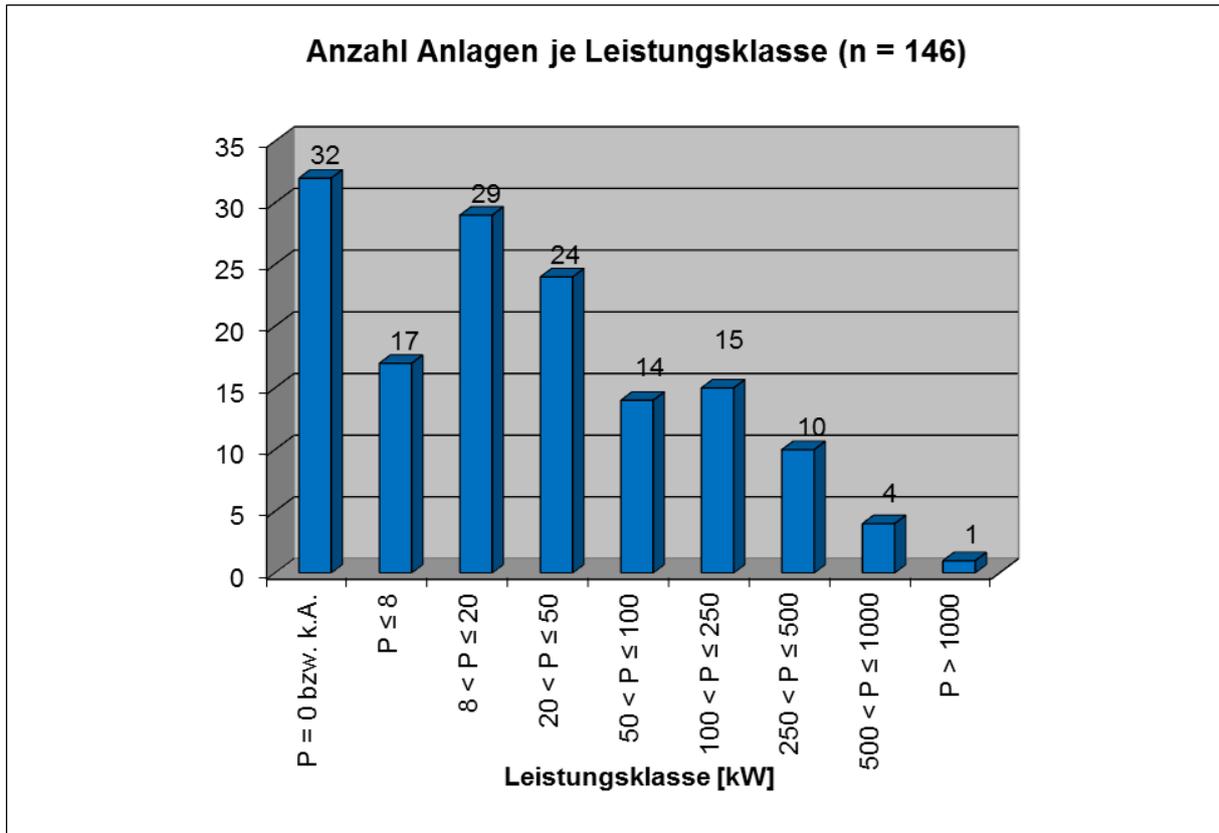


Abbildung 7-4: Verteilung bestehender Anlagen auf Leistungsklassen

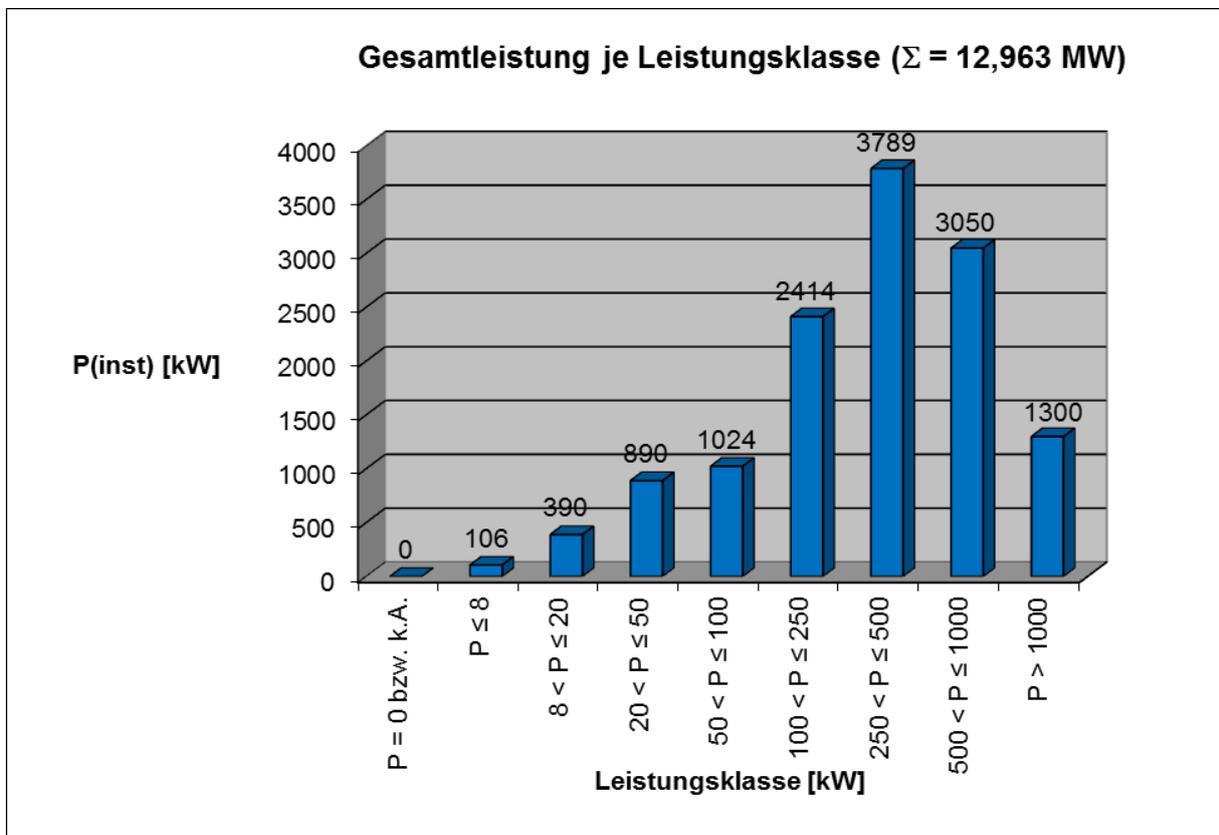
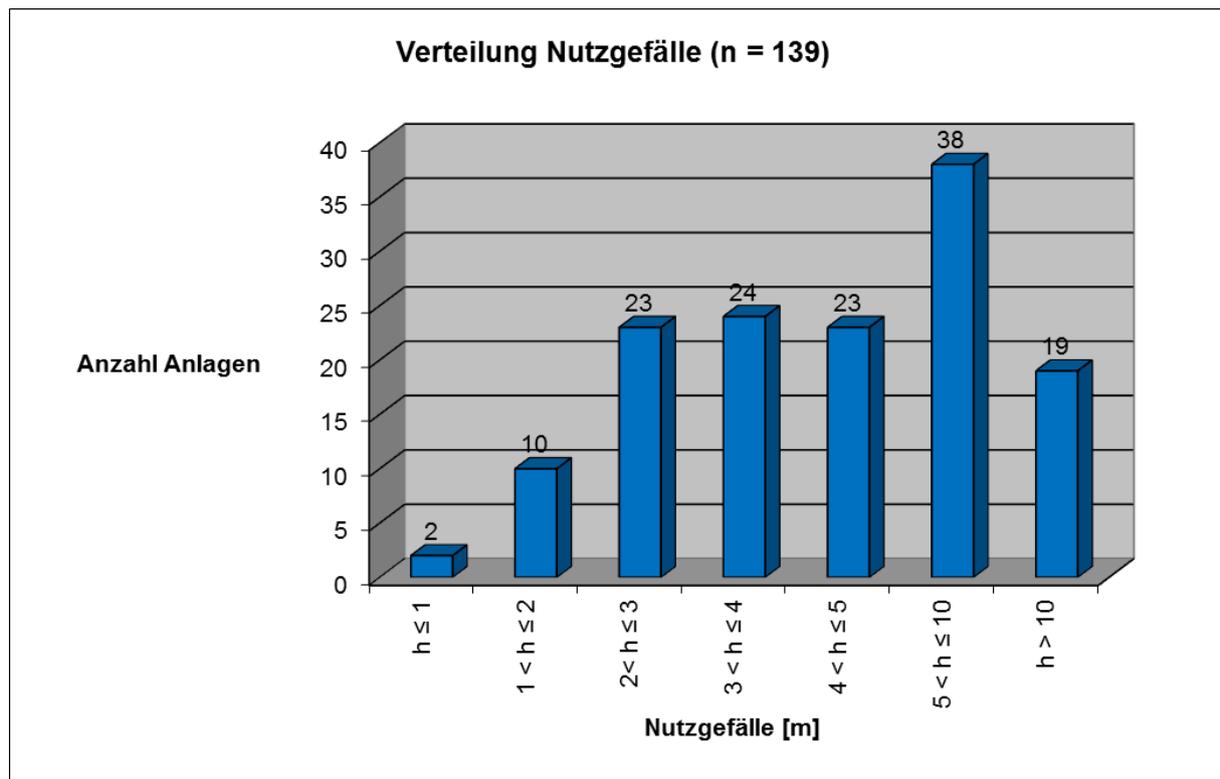


Abbildung 7-5: Installierte Leistung differenziert nach Leistungsklassen

Die v. a. an Argen, Schussen und Radolfzeller Ach installierten 15 Anlagen mit einer Leistung von jeweils > 250 kW haben einen Anteil von ca. 62 % an der gesamten installierten Leistung, obwohl sie nur etwa 10 % der Anlagen darstellen. Dagegen haben 70 Anlagen (50 %) eine Leistung von weniger als 50 kW, tragen aber zusammen nur zu 11 % der gesamten installierten Leistung bei. Die eine Anlage mit einer Leistung von > 1 MW an der Wolfegger Ach trägt allein zu 10 % der gesamten installierten Leistung bei.

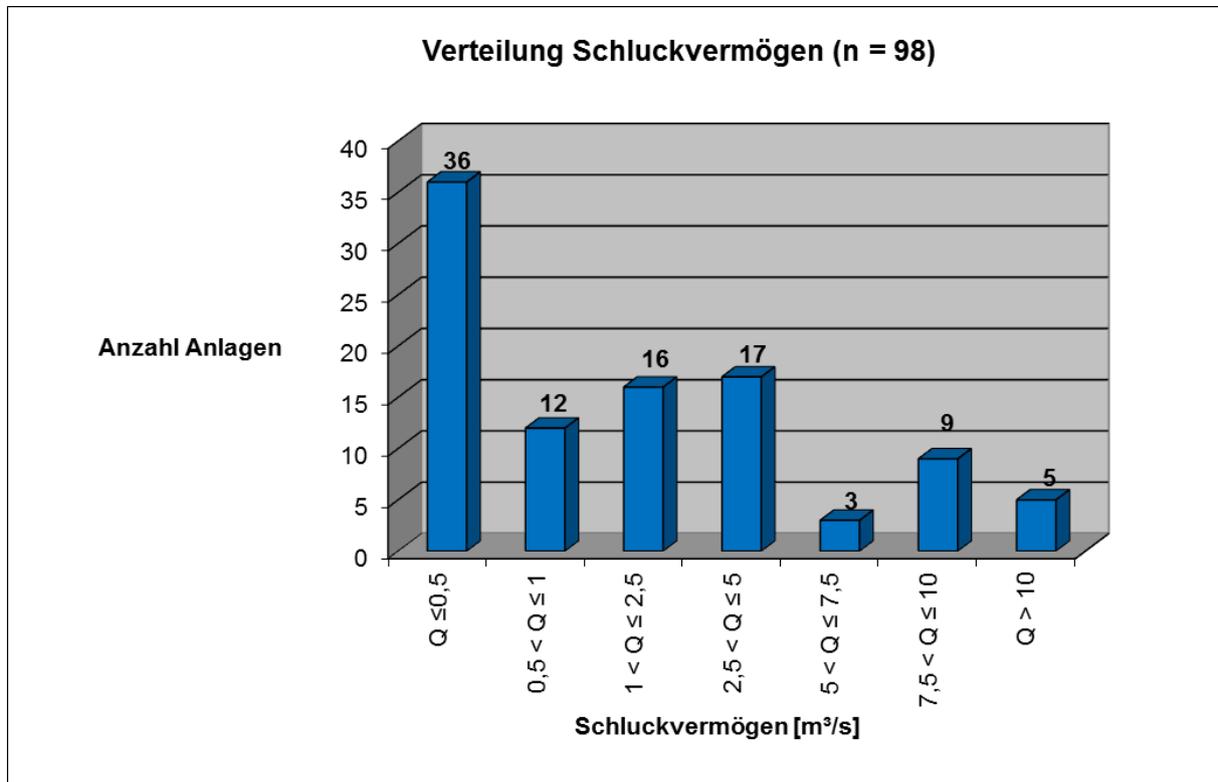
In Abbildung 7-6 ist die Verteilung des genehmigten Nutzgefälles der Anlagen im baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiet visualisiert. Die Mehrzahl der Anlagen hat ein Nutzgefälle zwischen 2 und 10 m. Zu den Anlagen mit einer Fallhöhe von > 5 m gehören nicht nur kleine Anlagen mit geringer Leistung und Schluckvermögen sondern auch fast alle leistungsstärkeren Anlagen mit > 250 kW. Bei 7 Anlagen ließ sich aufgrund fehlender oder unvollständiger Triebwerksakten keine Fallhöhe ermitteln. In der Konsequenz kann bei diesen Anlagen auch kein Potenzial an der Anlage, wohl aber am zugehörigen Wehr, ermittelt werden.



**Abbildung 7-6:** Differenzierung der bestehenden Anlagen nach genutztem Gefälle

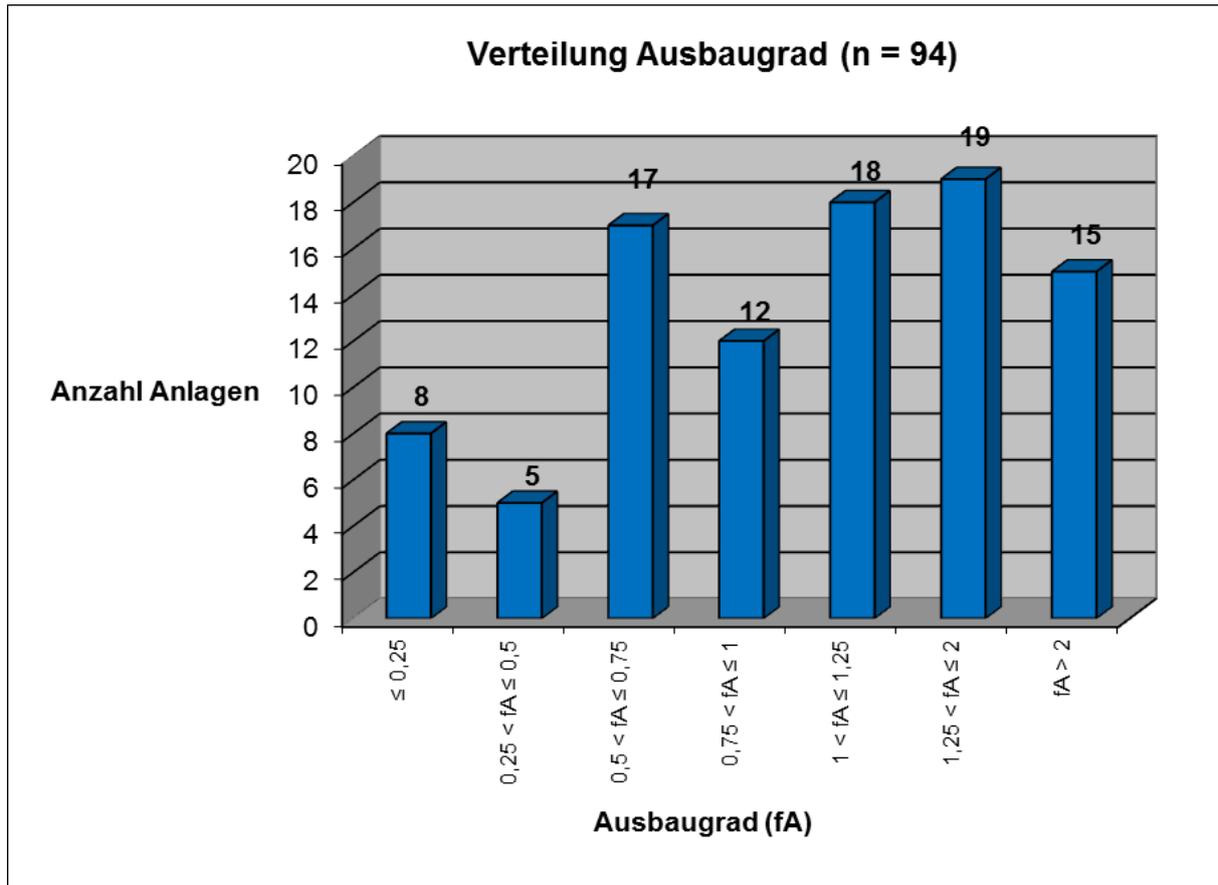
Abbildung 7-7 zeigt die Verteilung des Schluckvermögens von 98 der 145 erfassten Wasserkraftanlagen. Bei 48 Anlagen konnte entweder kein Schluckvermögen ermittelt werden, oder aber die maschinelle Ausrüstung ist bei stillgelegten Anlagen zurückgebaut worden. Unter den übrigen Anlagen

bilden Werke mit einem Schluckvermögen unter  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  die zahlenmäßig stärkste Gruppe (83,5 %), nur 13,4 % der Anlagen haben ein Schluckvermögen von mehr als  $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Abbildung 7-7:** Differenzierung der bestehenden Anlagen nach Schluckvermögen

In Abbildung 7-8 ist der Ausbaugrad, welcher das Verhältnis von Schluckvermögen der Wasserkraftanlage zum mittleren Abfluss am Standort wiedergibt, von 94 der 146 untersuchten Anlagen dargestellt. Neben den 42 Anlagen, für die mangels Informationen zu den eingebauten Wasserkraftmaschinen kein Schluckvermögen ermittelt werden konnte, konnte der Ausbaugrad für weitere drei Anlagen nicht berechnet werden, für deren Gewässer durch die LUBW kein Baseinzugsgebiet abgegrenzt und daher keine Abflusswerte bekannt sind.



**Abbildung 7-8:** Differenzierung der bestehenden Anlagen nach dem Ausbaugrad

### 7.1.2 Auswertung der EEG-Daten

Zu 90 der 122 aktiven Wasserkraftanlagen liegen Daten zur Einspeisung von Strom nach EEG vor. Für die meisten Anlagen umfassen diese Informationen die Jahre 2007 bis 2012. Zu den übrigen 32 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 acht Wasserkraftanlagen mit zusammen 721 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 sich hierbei in der Regel um Turbinen im Zusammenhang mit der öffentlichen Wasserversorgung bzw. Abwasserentsorgung handelt. Die darunter größte einzelne Anlage mit 500 kW Leistung ist mit hoher Wahrscheinlichkeit der Bodenseewasserversorgung zuzuordnen.

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, bzw. eine UIS-Anlage aufgrund einer Modernisierung mit mehreren Anlagenschlüsseln in den EEG-Daten vertreten ist.

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

**Tabelle 7-1:** Einspeisung von Strom aus Wasserkraft nach EEG in den Jahren 2007 bis 2012 im baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiet

P [kW]	Jahr	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>P ≤ 8</b>	Anzahl	12	12	12	10	9	8
	MWh	70	64	63	60	65	52
<b>8 &lt; P ≤ 20</b>	Anzahl	21	20	20	22	20	20
	MWh	556	483	468	708	585	608
<b>20 &lt; P ≤ 50</b>	Anzahl	23	22	19	20	20	20
	MWh	2.061	1.824	1.769	2.244	1.962	2.121
<b>50 &lt; P ≤ 100</b>	Anzahl	13	13	13	13	12	12
	MWh	4.796	4.436	3.950	4.328	3.809	4.257
<b>100 &lt; P ≤ 250</b>	Anzahl	15	14	14	15	15	14
	MWh	9.783	9.831	9.706	11.862	10.091	10.258
<b>250 &lt; P ≤ 500</b>	Anzahl	8	7	7	8	6	10
	MWh	12.086	10.036	9.224	14.256	7.545	15.014
<b>500 &lt; P ≤ 1000</b>	Anzahl	5	5	5	5	5	5
	MWh	19.625	16.909	17.480	18.162	11.727	16.996
<b>P &gt; 1000</b>	Anzahl	1	1	1	1	1	1
	MWh	5.150	3.562	2.906	5.323	4.362	4.643
<b>Summe</b>	Anzahl	99	94	91	94	88	90
	MWh	54.127	47.145	45.585	56.944	40.189	53.949

Aus den Daten der Tabelle 7-1 ist erkennbar, dass die Wasserkraftnutzung an den baden-württembergischen Bodenseezuflüssen insgesamt stabil erscheint. Die Schwankungen zwischen den Jahressummen laufen für alle Anlagengrößenklassen weitgehend parallel und sind daher vor allem auf witterungsbedingte Abflussschwankungen zurückzuführen. Sie werden vor allem durch die schwankenden Jahresarbeiten der Anlagen >500 kW geprägt.

16 Anlagen mit einer Leistung von >250 kW erzeugen rund zwei Drittel des Stroms aus Wasserkraft im Bearbeitungsgebiet. Nur eine Anlage verfügt über eine Leistung von >1 MW.



Abbildung 7-9: Prozentualer Anteil der Leistungsklassen am nach EEG eingespeisten Strom aus Wasserkraft zwischen 2007 und 2012

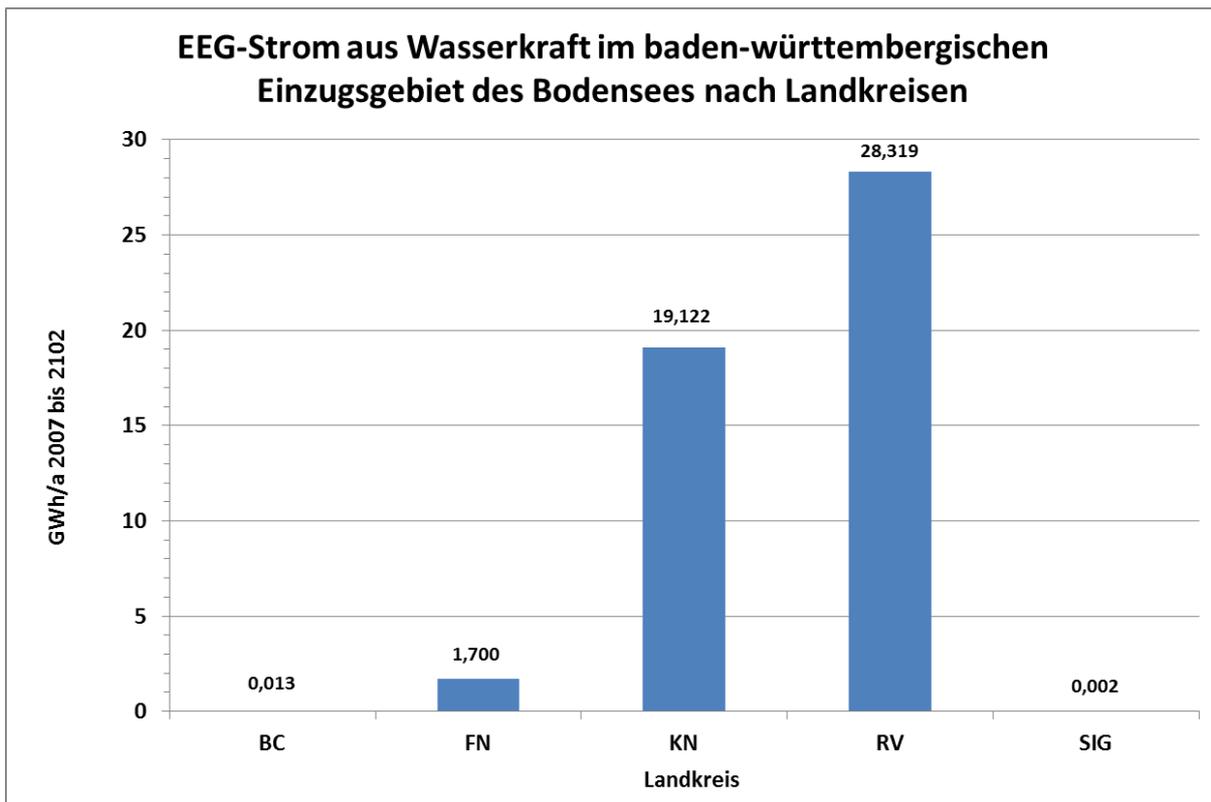


Abbildung 7-10: mittlere jährliche EEG-Einspeisung 2007 bis 2012 in den Landkreisen<sup>30</sup> des baden-württembergischen -Einzugsgebiets Bodensee

<sup>30</sup> (BC = Landkreis Biberach, FN = Bodenseekreis, KN = Landkreis Konstanz, RV = Landkreis Ravensburg, SIG = Landkreis Sigmaringen)

Abbildung 7-10 zeigt die im Zeitraum 2007 bis 2012 im Mittel in den Landkreisen eingespeiste Strommenge aus Wasserkraft nach EEG. Die größten Strommengen werden im Landkreis Ravensburg erzeugt, in dem ein Großteil der leistungsstarken Anlagen installiert ist. Im Landkreis Konstanz tragen vor allem Anlagen an der Radolfzeller Aach zur Einspeisung bei.

Abbildung 7-11 zeigt die Entwicklung der Vergütungssätze der Wasserkraftanlagen bis 500 kW im baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiet 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 bislang nur der kleinere Teil der Anlagen die erhöhten Vergütungssätze in Anspruch nimmt und immer noch die Mehrheit mit 7,67 ct/kWh vergütet wird. Dahinter verbirgt sich auch, dass in den Jahren 2004 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.

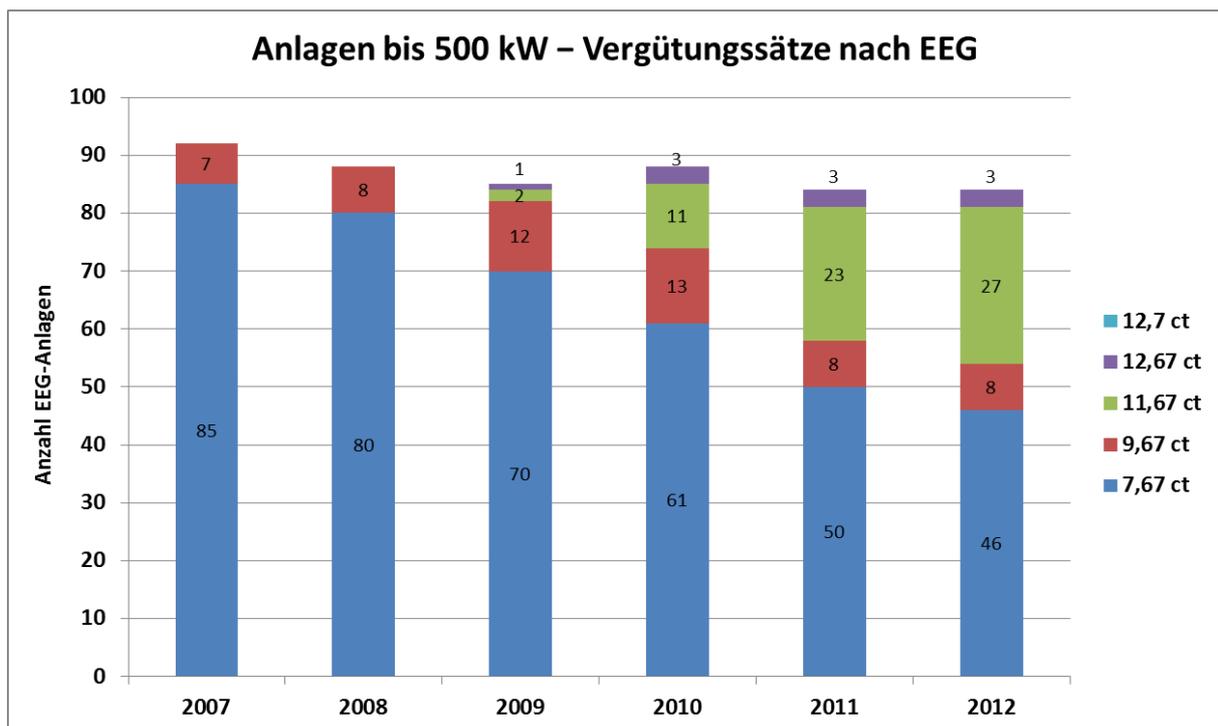


Abbildung 7-11: Vergütungssätze der EEG-Anlagen bis 500 kW zwischen 2007 und 2012

In Abbildung 7-12 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 ein kleiner Teil der Bestandsanlagen in den Genuss der erhöhten Vergütung nach EEG kommt. Die meisten Anlagen mit einer Leistung >100 kW haben bereits die Chancen des EEG zur Modernisierung der Anlage genutzt.

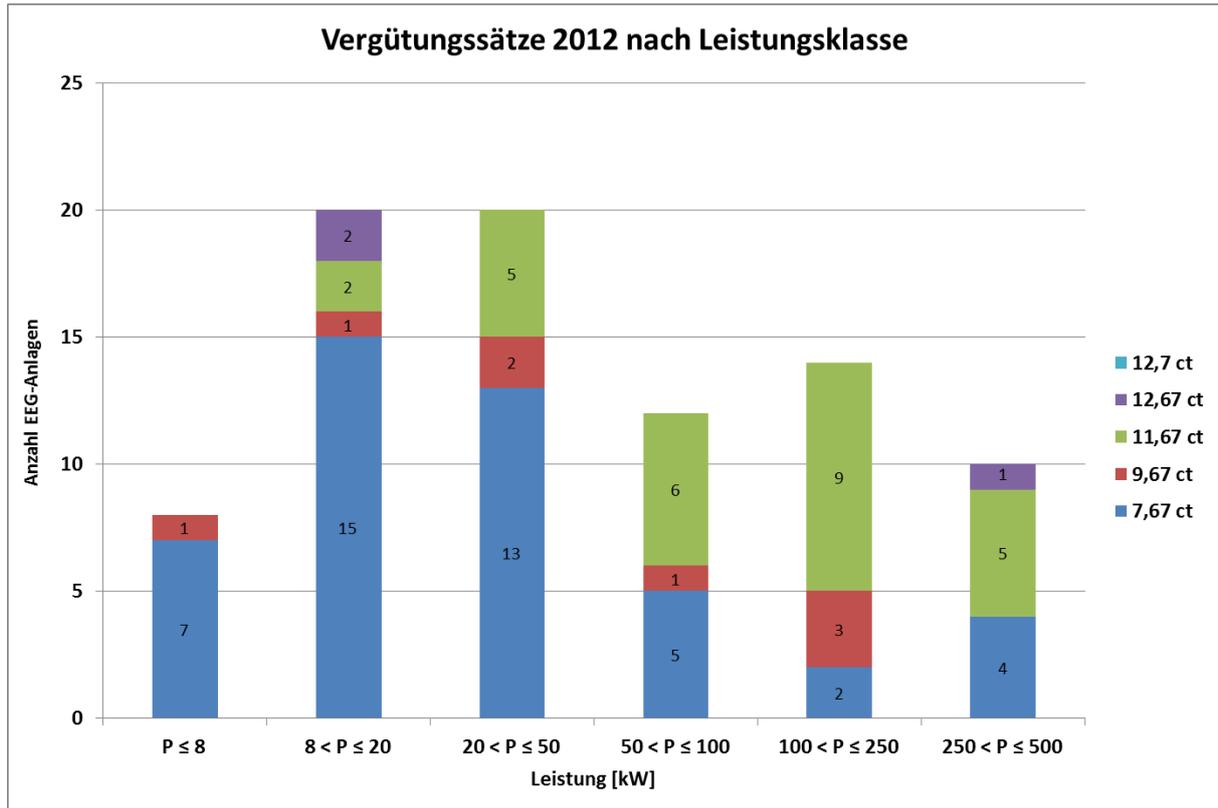


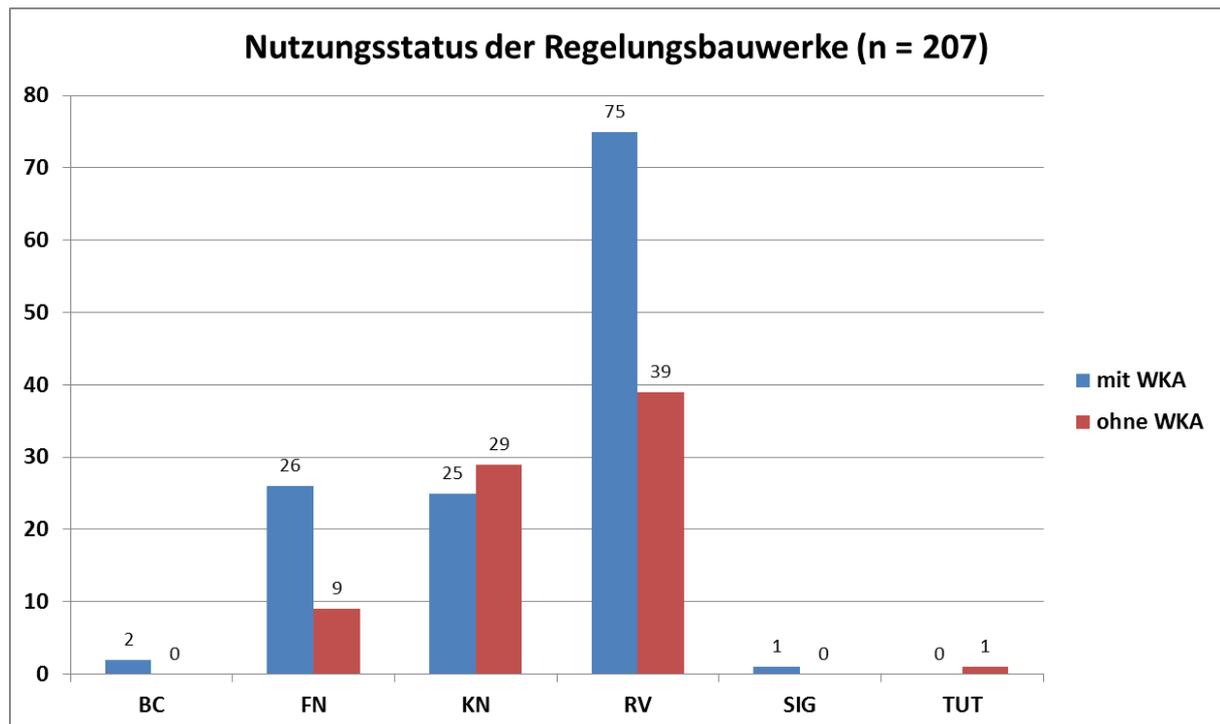
Abbildung 7-12: Vergütungssätze der EEG-Anlagen bis 500 kW differenziert nach Leistungsklassen 2012

### 7.1.3 Status der Durchgängigkeit an Wasserkraftanlagen

Insgesamt wurden im Rahmen der Untersuchung 207 Regelungsbauwerke im baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiet betrachtet. 129 dieser wasserbaulichen Anlagen sind mit einer Wasserkraftanlage verbunden, 78 Wehre dienen aktuell nicht oder nicht mehr der Nutzung der Wasserkraft.

Ein erheblicher Teil (60) der nicht genutzten Regelungsbauwerke diente allerdings nie der Nutzung der Wasserkraft sondern anderen Zwecken, z. B. der Wiesenwässerung, der Speisung von Fischteichen oder dem Hochwasserschutz.

Abbildung 7-13 zeigt die Verteilung der aktuell für die Wasserkraft genutzten und nicht genutzten Regelungsbauwerke auf die Landkreise.



**Abbildung 7-13:** Darstellung der für die Wasserkraft genutzten und nicht für die Wasserkraft genutzten Regelbauwerke (BC = Landkreis Biberach, FN = Bodenseekreis, KN = Landkreis Konstanz, RV = Landkreis Ravensburg, SIG = Landkreis Sigmaringen, TUT = Landkreis Tuttlingen)

Die Mehrzahl der nicht genutzten Wehre weist nur eine geringe Wasserspiegeldifferenz auf und besitzt daher kein im Rahmen dieser Studie ausgewiesenes Rohpotenzial zur Gewinnung von Strom aus Wasserkraft von mindestens 8 kW.

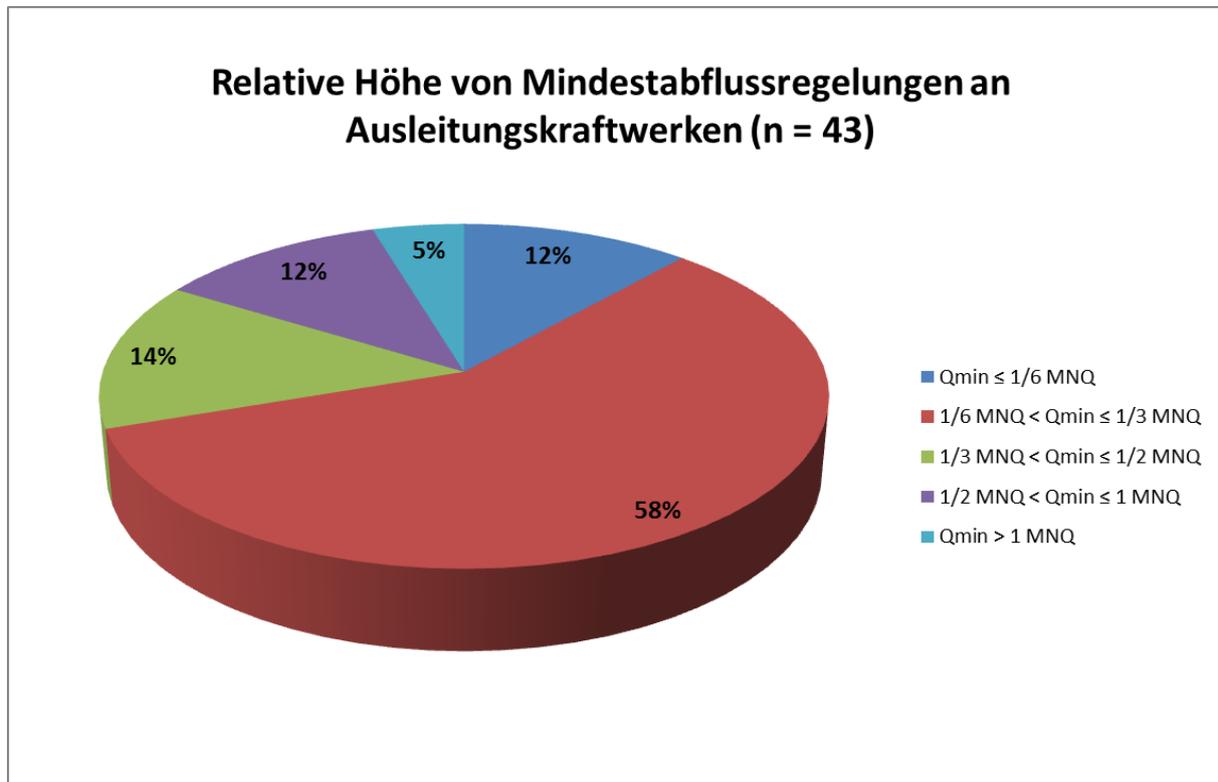
An nur 6 % der mit Wasserkraftanlagen verbundenen Wehre wurde die stromaufwärts gerichtete Durchgängigkeit bei den Geländebegehungen des Jahres 2012/2013, aus Informationen der unteren Wasserbehörden oder aus dem AKWB als "gut" eingestuft. 16 % der Anlagen erreichten die Beurteilung "mit Einschränkungen", und an 77 % der Standorte musste der Fischaufstieg mit "nein" bewertet werden, bzw. es lagen keine Erkenntnisse über die Durchgängigkeit der Bauwerke für die Fauna vor.

Bei den nicht mit einer Wasserkraftanlage verbundenen Wehren erreichten rund 30 % die Beurteilung "Fischaufstieg = gut".

#### 7.1.4 Status der Mindestwasserregelungen an Wasserkraftanlagen

An 43 Ausleitungskraftwerken des baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiets konnte eine Regelung zum Mindestabfluss in der Ausleitungsstrecke bei den Recherchen zum Wasserrecht der

jeweiligen Anlage ermittelt werden. In Abbildung 7-14 ist die Höhe dieser Regelungen im Verhältnis zum MNQ am jeweiligen Standort dargestellt.



**Abbildung 7-14:** Relative Höhe der Mindestabflussregelungen an Ausleitungskraftwerken, die den Wasserrechtsakten entnommen werden konnten.

70 % der Regelungen, meist älteren Datums, betragen weniger als den Orientierungswert nach dem bis 31.12.2015 geltenden Wasserkrafterlass Baden-Württemberg, und nur knapp ein Drittel der dokumentierten Mindestabflussregelungen liegt, aufgrund ökomorphologischer Gegebenheiten teilweise jedoch deutlich, über dem Orientierungswert von  $1/3 \text{ MNQ}$ <sup>31</sup>.

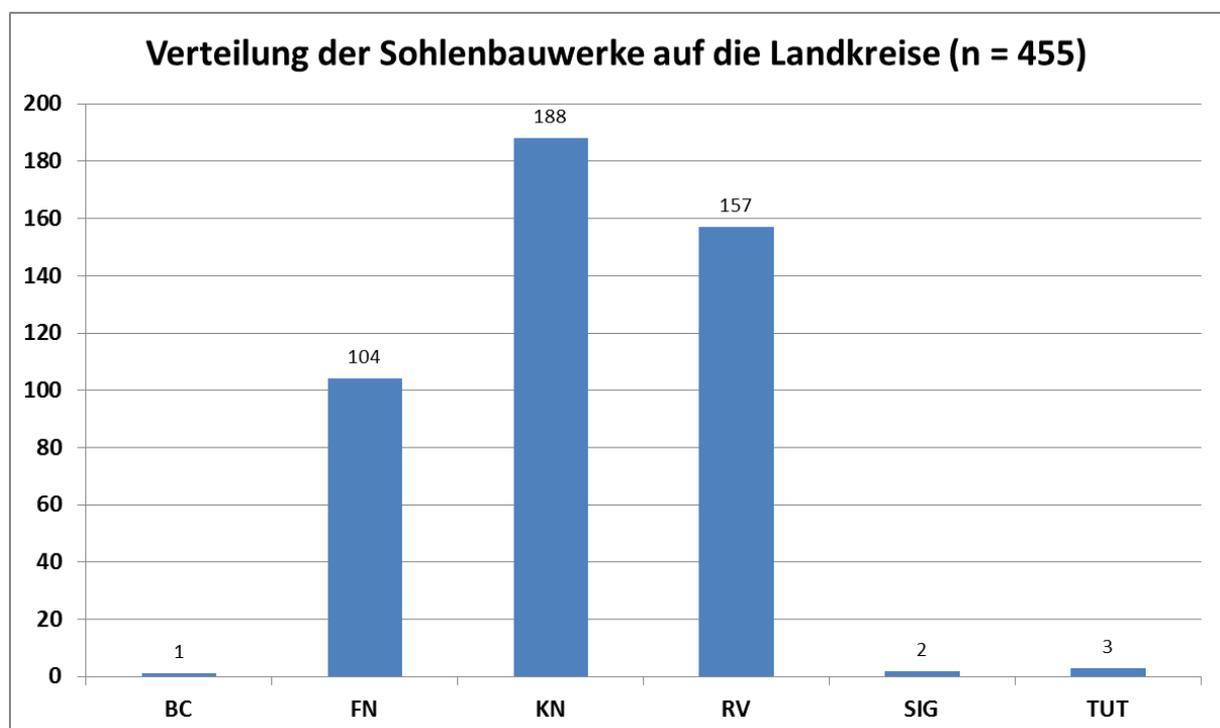
### 7.1.5 Energetisch nicht genutzte Sohlenbauwerke

Ausgehend von den Daten des AKWB wurden die Sohlenbauwerke betrachtet, für die im AKWB entweder eine Wasserspiegeldifferenz  $\geq 0,30 \text{ m}$  oder „0“ bzw. k.A. angegeben waren. Zu den 431 Soh-

<sup>31</sup> Die hier wieder gegebene Darstellung zu den Mindestabflussregelungen im baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiet ist nicht vergleichbar mit der Darstellung zu Mindestabflüssen in der Studie des Büro am Fluss e.V. im Auftrag der LUBW aus dem Jahr 2013, da sie sich auf eine andere Datengrundlage stützt. In der Studie im Auftrag der LUBW sind nur solche Standorte ausgewertet, zu denen ein durch die Wasserbehörde ausgefüllter Fragebogen vorlag und an denen der Mindestabfluss als ausreichend angesehen wird.

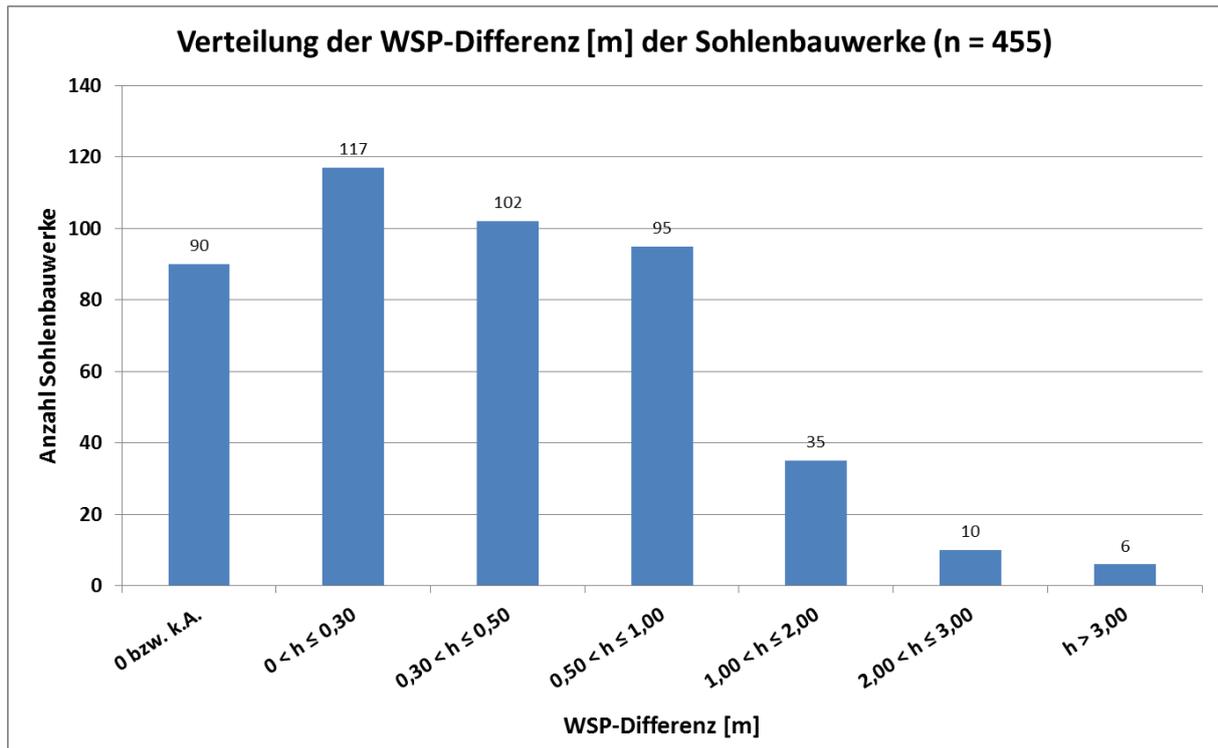
lenbauwerken des AKWB mit diesem Kriterium wurden während der Geländearbeiten 24 neue Bauwerke aufgenommen, die nicht im AKWB geführt waren. 63 Bauwerke des AKWB mit einer Wasserspiegeldifferenz  $> 0$  und  $< 0,30$  m wurden nicht weiter betrachtet, da sie für die Nutzung der Wasserkraft nicht interessant und nicht signifikant im Sinne der WRRL sind.

Abbildung 7-15 zeigt die Verteilung der 456 betrachteten Sohlenbauwerke auf die Landkreise des baden-württembergischen Bodensee-Einzugsgebiets. Die sehr unterschiedliche Anzahl in den einzelnen Verwaltungsräumen geht auf unterschiedliche Faktoren wie die Länge des betrachteten Gewässernetzes im jeweiligen Stadt- oder Landkreis oder Topografie und Gefälle in den Gewässerstrecken zurück. Daneben spielt aber auch ein unterschiedliches Vorgehen der Wasserwirtschaftsverwaltung während der Erfassung der Bauwerke im Zuge der Bestandsaufnahme der WRRL eine Rolle.



**Abbildung 7-15:** Verteilung der untersuchten Sohlenbauwerke auf die Landkreise.

Abbildung 7-16 zeigt die Verteilung der an den Sohlenbauwerken zur Verfügung stehenden Wasserspiegeldifferenzen.



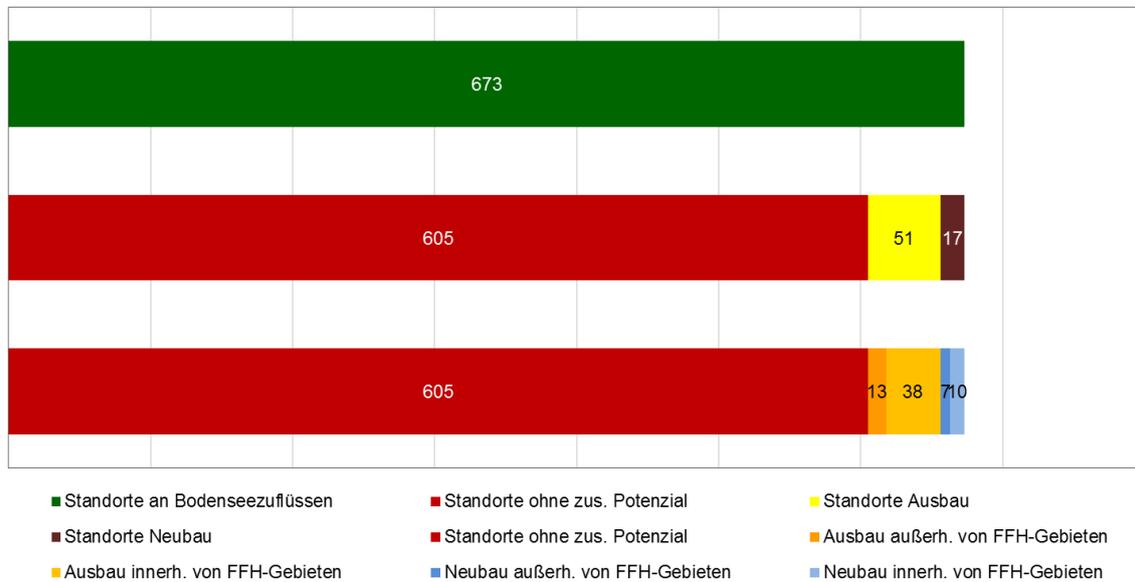
**Abbildung 7-16:** Wasserspiegeldifferenz der untersuchten Sohlenbauwerke

Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass an den Sohlenbauwerken nur ein geringes Ausbaupotenzial für die Wasserkraft verbleibt. Mehr als 70 % aller untersuchten Bauwerke weist eine Wasserspiegeldifferenz von maximal 50 cm auf. Nur knapp mehr als 10 % der Bauwerke sind höher als 1 m.

Insgesamt wurden nur 94 der 455 hier betrachteten Sohlenbauwerke als gewässeraufwärts durchgängig (Fischaufstieg = gut) eingestuft. Bei 142 Sohlenbauwerken ist der Fischaufstieg mit Einschränkungen möglich, aber 212 Bauwerke sind stromaufwärts nicht passierbar.

## 7.2 Ausbaupotenzial der Wasserkraft

Für die Betrachtung des Ausbaupotenziales wurden insgesamt 673 Standorte an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen betrachtet, die entsprechend der erläuterten Vorgaben gemäß Abbildung 7-17 aufgeteilt werden können.



**Abbildung 7-17:** Anzahl der Standorte an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen (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 an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen gemäß Abbildung 7-18 und darin enthalten das zusätzliche technische Potenzial gemäß Abbildung 7-19.

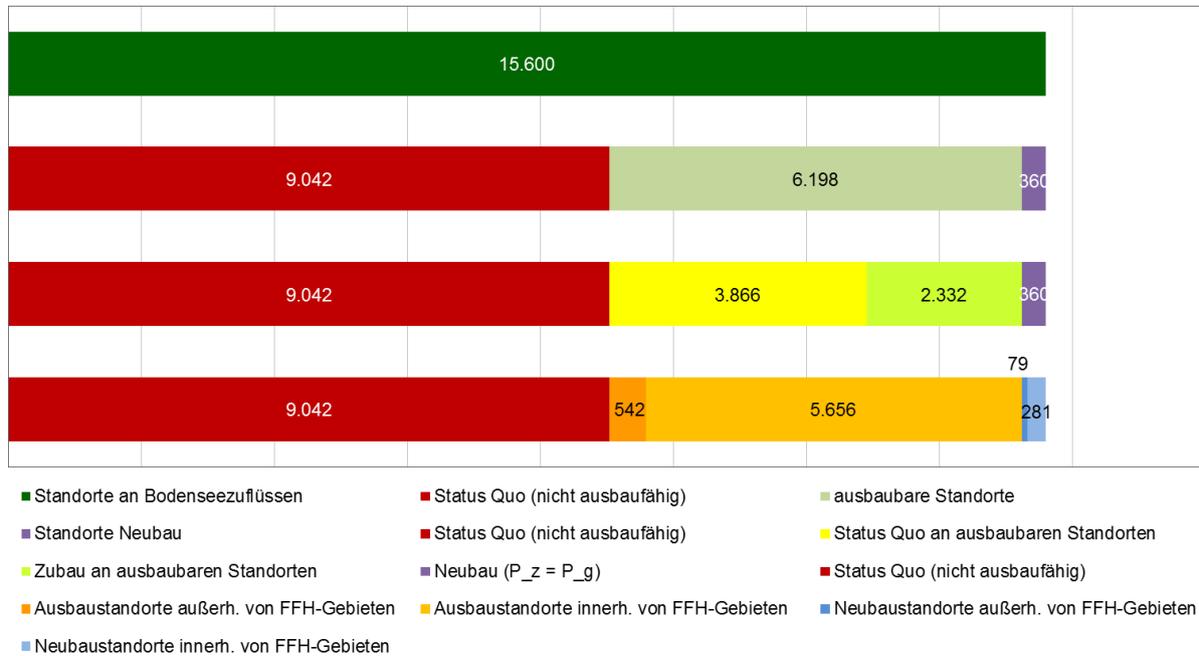


Abbildung 7-18: Gesamtpotenzial [kW] an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen

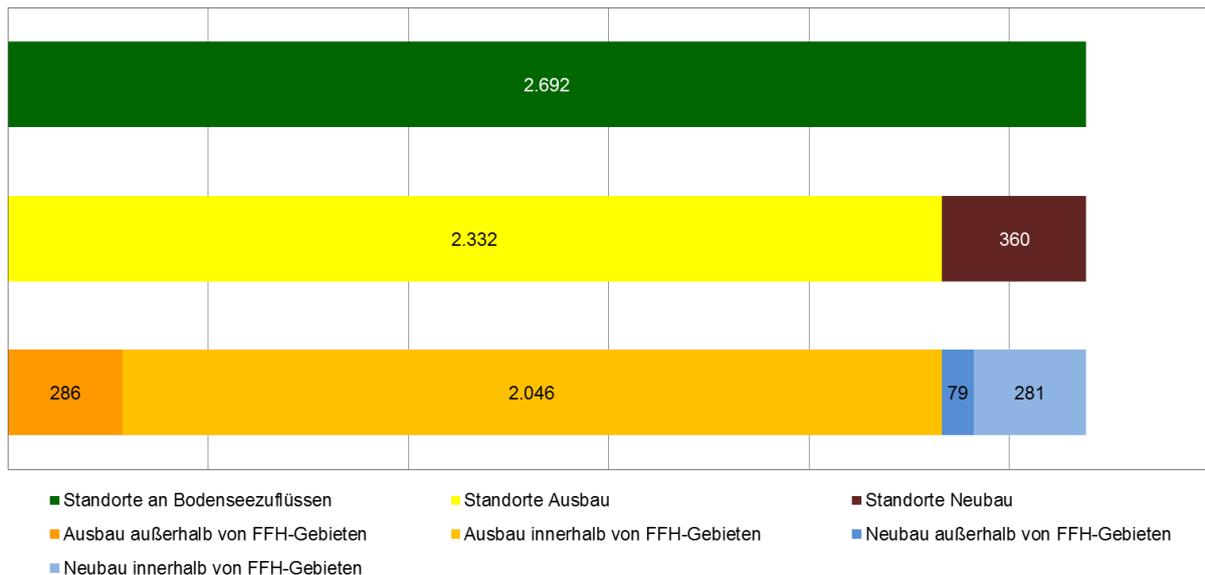
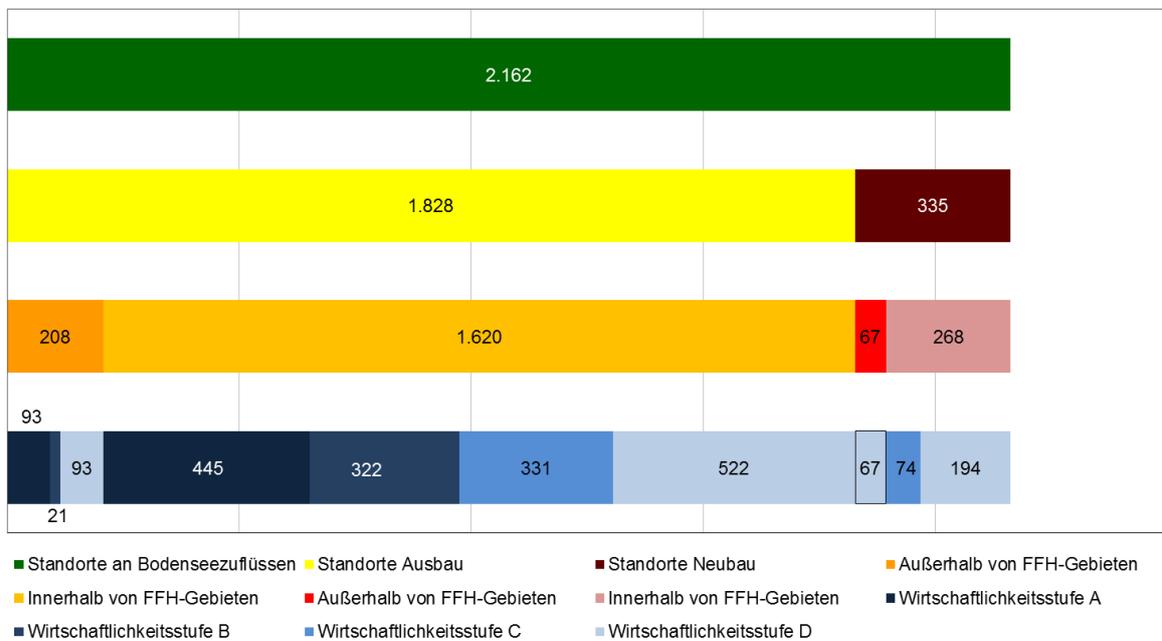


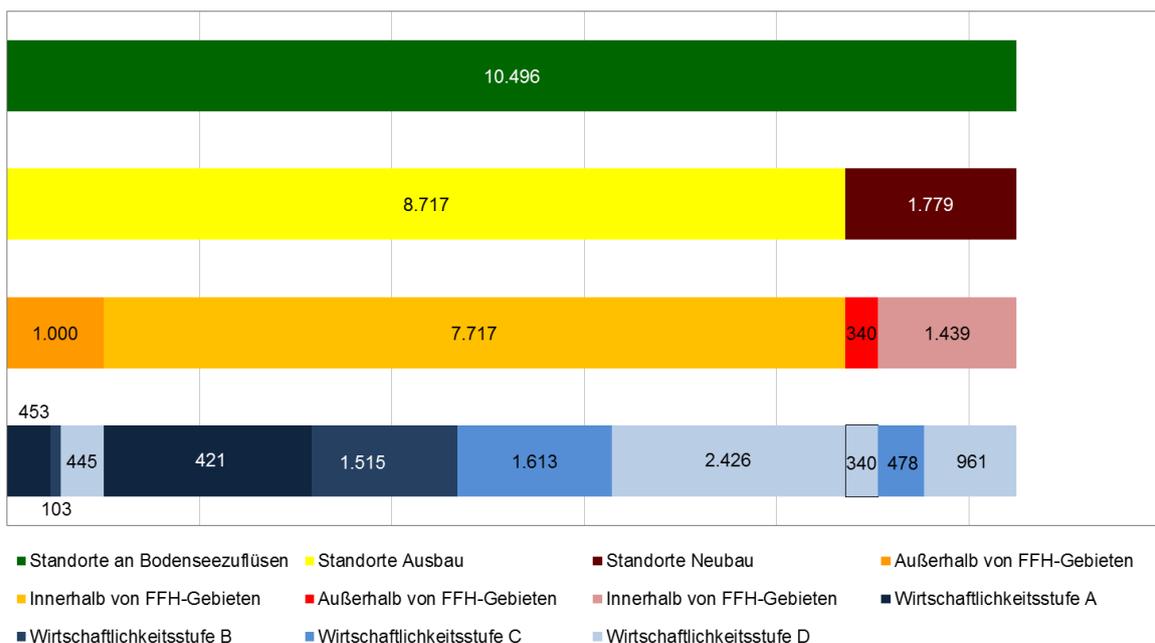
Abbildung 7-19: Zusätzliches technisches Potenzial [kW] an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen

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

Mittels der in Kapitel 6.3.3 erläuterten Methodik ergibt die aufwendige Beurteilung aller Standorte das technisch-ökonomisch-ökologische Potenzial samt der zugehörigen Jahresarbeit für das Szenario 1 (Abbildung 7-20, Abbildung 7-21), unter pauschaler Berücksichtigung der Orientierungswerte ökologischer Abflüsse nach Wasserkrafterlass Baden-Württemberg (Stand 2013) beinhaltet.



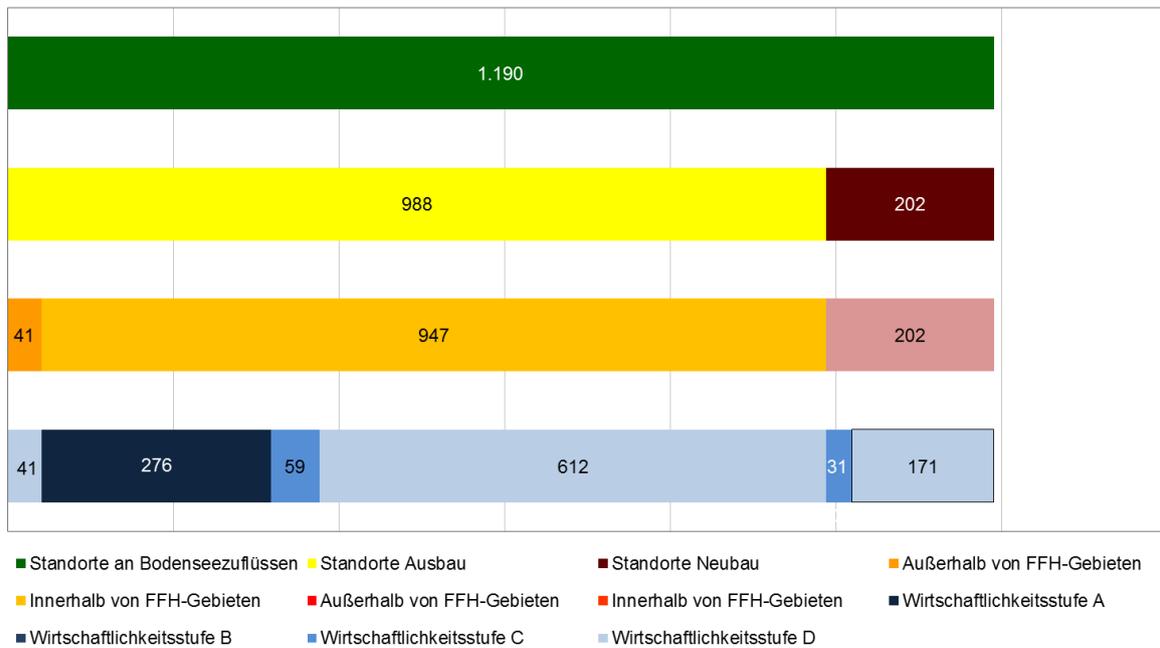
**Abbildung 7-20:** Zusätzliches technisch-ökonomisch-ökologisches Potenzial [kW] nach Szenario 1 an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen



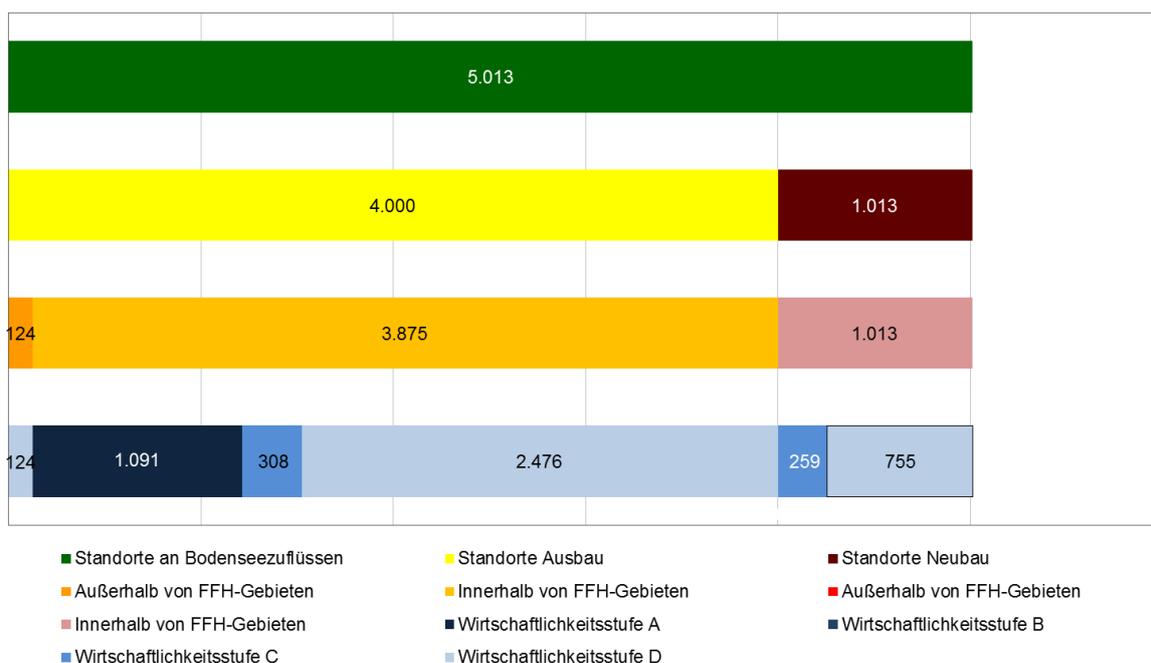
**Abbildung 7-21:** Jahresarbeit [MWh/a] aus dem zusätzlichen technisch-ökonomisch-ökologischen Potenzial nach Szenario 1 an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen

### 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 7-22 einschließlich der zugehörigen Jahresarbeit für das Szenario 2 (Abbildung 7-23), das spezifische ökologische Anforderungen nach Wasserkrafterlass Baden-Württemberg berücksichtigt.



**Abbildung 7-22:** Zusätzliches technisch-ökonomisch-ökologisches Potenzial [kW] nach Szenario 2 an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen



**Abbildung 7-23:** Jahresarbeit [MWh/a] aus dem zusätzlichen technisch-ökonomisch-ökologischen Potenzial nach Szenario 2 an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen

## 7.2.4 Vergleich der Szenarien 1 und 2

Schließlich lässt sich auf der Basis der in Kapitel 7.2.2 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 baden-württembergischer Bodenseezuflüsse

Standorte an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen								
673								
Bauwerke ohne Potenzial	Neubau				Ausbau			
605	17				51			
	in FFH-Gebieten		außerhalb von FFH-Gebieten		in FFH-Gebieten		außerhalb von FFH-Gebieten	
	10		7		38		13	
Nach Wirtschaftlichkeitsstufen								
	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 1	Szenario 2
A	0	0	0	0	5	2	4	0
B	0	0	0	0	3	0	2	0
C	2	1	0	0	7	3	0	0
D	8	9	7	7	23	33	7	13

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

Anlagengrößenklasse $P_{ges}$ [kW]	Anzahl der Standorte	zus. t.-ö.-ö. Pot. [kW]		Potenzialverlust	
		Szenario 1	Szenario 2	absolut	prozentual
≤20	15	171	28	143	83,6%
>20 ≤50	18	437	191	246	56,3%
>50 ≤100	8	259	60	199	76,8%
>100 ≤250	9	499	330	169	33,9%
>250 ≤500	4	604	472	132	21,9%
>500 ≤1.000	1	83	0	83	100,0%-
>1.000	0	0	0	0	-
Zwischensumme	55	2.052	1.081	972	47%
Kein Potenzialverlust	13	110	110	-	-
Bauwerke ohne Potenzial	605	0	0	-	-
Gesamt	673	2.162	1.190	-	-

**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	15	845	140	706	83,5%
>20 ≤50	19	2.381	1.027	1.354	56,9%
>50 ≤100	9	1.342	293	1.049	78,1%
>100 ≤250	10	2.388	1.391	997	41,7%
>250 ≤500	5	3.152	2.162	990	31,4%
>500 ≤1.000	1	388	0	388	100,0%
>1.000	0	0	0	0	-
Zwischensumme	59	10.496	5.013	5.483	52%
Kein Potenzialverlust	9	0	0	-	-
Bauwerke ohne Potenzial	605	0	0	-	-
Gesamt	673	10.496	5.013	-	-

So ergibt sich aus Tabelle 7-2, dass nach Szenario 1 14 Standorte und nach Szenario 2 immerhin noch 2 Standorte der Wirtschaftlichkeitsstufen A und B zuzuordnen sind und damit voraussichtlich mit einer entsprechenden EEG-Vergütung realisierbar sein dürften. Auch die weiteren 9 bzw. 4 Standorte der Wirtschaftlichkeitsstufe C sollten einer näheren standortspezifischen Betrachtung unterzogen werden, um deren tatsächliche Realisierbarkeit zu prüfen.

Die vergleichsweise hohen Energieverluste zwischen Szenario 1 und 2 gehen auf den bedeutenden Anteil der Standorte an Seeforellengewässern zurück, für die in Szenario 2 aus den Ansprüchen der Seeforelle notwendige Anforderungen abgeleitet wurden.

### 7.2.5 Mindestwasserpotenzial

Die Ergebnisse der ergänzenden Betrachtung zur Stromerzeugung in Mindestwasserkraftwerken sowie die daraus resultierende Jahresarbeit sind in der nachfolgenden Abbildung 7-24 wiedergegeben. Bei Anpassung des Mindestabflusses an Szenario 1 und 2 haben 11 (Szenario 1) bzw. 32 (Szenario 2) Ausleitungskraftwerke an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen mehr als 8 kW nutzbares Potenzial am Wehr.

Bei bestehenden Ausleitungskraftwerken kann es aber durchaus der Fall sein, dass eine Erhöhung der Mindestwassermenge eine Reduktion der Energieerzeugung am Ausleitungskraftwerk mit sich bringt (vgl. Tabelle 7-6).

Anzahl Standorte Mindestwasserkraftwerke an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen nach Szenario 1				
11				
	Neubau (Hauptkraftwerk)		Ausbau (Hauptkraftwerk)	
	0		11	
	innerhalb von FFH-Gebieten	außerhalb von FFH-Gebieten	innerhalb von FFH-Gebieten	außerhalb von FFH-Gebieten
	0	0	11	0
nach Wirtschaftlichkeitsstufen				
A	0	0	1	0
B	0	0	0	0
C	0	0	10	0
D	0	0	0	0

Anzahl Standorte Mindestwasserkraftwerke an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen nach Szenario 2				
32				
	Neubau (Hauptkraftwerk)		Ausbau (Hauptkraftwerk)	
	0		32	
	innerhalb von FFH-Gebieten	außerhalb von FFH-Gebieten	innerhalb von FFH-Gebieten	außerhalb von FFH-Gebieten
	0	0	27	5
nach Wirtschaftlichkeitsstufen				
A	0	0	2	0
B	0	0	1	1
C	0	0	24	4
D	0	0	0	0

Potenzial Mindestwasserkraftwerke [kW] an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen nach Szenario 1				
179				
	Neubau (Hauptkraftwerk)		Ausbau (Hauptkraftwerk)	
	0		179	
	innerhalb von FFH-Gebieten	außerhalb von FFH-Gebieten	innerhalb von FFH-Gebieten	außerhalb von FFH-Gebieten
	0	0	179	0
nach Wirtschaftlichkeitsstufen				
A	0	0	73	0
B	0	0	0	0
C	0	0	106	0
D	0	0	0	0

Potenzial Mindestwasserkraftwerke [kW] an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen nach Szenario 2				
513				
	Neubau (Hauptkraftwerk)		Ausbau (Hauptkraftwerk)	
	0		513	
	innerhalb von FFH-Gebieten	außerhalb von FFH-Gebieten	innerhalb von FFH-Gebieten	außerhalb von FFH-Gebieten
	0	0	440	73
nach Wirtschaftlichkeitsstufen				
A	0	0	101	0
B	0	0	31	25
C	0	0	308	48
D	0	0	0	0

Jahresarbeit Mindestwasserkraftwerke [MWh/a] an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen nach Szenario 1				
1.486				
	Neubau (Hauptkraftwerk)		Ausbau (Hauptkraftwerk)	
	0		1.486	
	innerhalb von FFH-Gebieten	außerhalb von FFH-Gebieten	innerhalb von FFH-Gebieten	außerhalb von FFH-Gebieten
	0	0	1.486	0
nach Wirtschaftlichkeitsstufen				
A	0	0	606	0
B	0	0	0	0
C	0	0	880	0
D	0	0	0	0

Jahresarbeit Mindestwasserkraftwerke [MWh/a] an baden-württembergischen Bodenseezuflüssen nach Szenario 2				
4.246				
	Neubau (Hauptkraftwerk)		Ausbau (Hauptkraftwerk)	
	0		4.246	
	innerhalb von FFH-Gebieten	außerhalb von FFH-Gebieten	innerhalb von FFH-Gebieten	außerhalb von FFH-Gebieten
	0	0	3.643	603
nach Wirtschaftlichkeitsstufen				
A	0	0	835	0
B	0	0	256	209
C	0	0	2.552	394
D	0	0	0	0

Abbildung 7-24: Mindestwasserpotenziale der Szenarien 1 und 2

Nachdem bei den betroffenen Standorten im Szenario 2 gegenüber dem Szenario 1 ein relativ gesehen höherer spezifischer ökologischer Abfluss angesetzt wird, ergibt sich in der Folge für Szenario 2 ein etwas erhöhtes Potenzial. Gleichzeitig zeigt sich auch, dass bei diesen unterschiedlichen Betrachtungen verschiedene Standorte betroffen sind und in beiden Szenarien ein hinsichtlich der Größenordnung nur begrenztes zusätzliches Potenzial wirtschaftlich erschließbar scheint.

Dennoch ist der Aspekt eines neu zu errichtenden Mindestwasserkraftwerks keineswegs rein aus ökonomischer Sicht vorteilhaft. Durch die Installation einer Turbine am Wehr erhöht sich in der Regel die Dotierung der Ausleitungsstrecke, was wiederum der Ökologie zu Gute kommt. Unter Berücksichtigung dieses Aspekts gibt es durchaus bestehende Ausleitungskraftwerke, für die kein zusätzliches Potenzial im Zuge dieser Studie errechnet werden konnte. Durch die Installation einer Mindestwasserturbine am Wehr kann aber in etlichen Fällen die gleiche Menge oder sogar mehr Energie erzeugt werden. Die folgenden zwei Tabellen versuchen diesen Sachverhalt zu verdeutlichen.

**Tabelle 7-5:** Änderung des Potenzials von Ausleitungskraftwerken durch Ausbau (bestehendes Ausleitungskraftwerk und Mindestwasserkraftwerk (>8 kW) am Wehr)

Leistung Ausleitungs-KW + Mindestwasser-KW $P_{ges}$ [kW]		Anzahl Standorte	Potenzial Status Quo $P_{Ausl.-KW}$ [kW]	Potenzial nach Ausbau Ausl.-KW + MinWas-KW [kW]		Potenzialänderung von Status Quo zu „Ausbau“ [kW]	
				Szenario 1	Szenario 2	Szenario 1	Szenario 2
	≤20	1	5	0	16	-5	11
>20	≤50	5	93	0	185	-93	92
>50	≤100	3	141	0	198	-141	57
>100	≤250	11	1.503	847	1.735	-656	232
>250	≤500	9	2.888	1.201	3.318	-1.687	430
>500	≤1.000	3	2.450	2.480	2.511	30	61
>1.000		0	0	0	0	0	0
Summe		32	7.080	4.528	7.962	-2.552	882
Kein Mindestwasserpot.		640	-	-	-	-	-
Gesamt		672	-	-	-	-	-

**Tabelle 7-6:** Änderung der Jahresarbeit von Ausleitungskraftwerken durch Ausbau (bestehendes Ausleitungskraftwerk und Mindestwasserkraftwerk (>8 kW) am Wehr)

Leistung Ausleitungs-KW + Mindestwasser-KW $P_{ges}$ [kW]		Anzahl Standorte	Jahresarbeit Status Quo $P_{Ausl.-KW}$ [MWh/a]	Jahresarbeit nach Aus- bau Ausl.-KW + MinWas- KW [MWh/a]		Änderung Jahresarbeit von Status Quo zu „Aus- bau“ [MWh/a]	
				Szenario 1	Szenario 2	Szenario 1	Szenario 2
	≤20	1	42	0	103	-42	60
>20	≤50	5	600	0	810	-600	209
>50	≤100	3	935	0	781	-935	-153
>100	≤250	11	7.762	4.274	6.818	-3.489	-945
>250	≤500	9	14.362	5.669	12.713	-8.694	-1.649
>500	≤1.000	3	8.714	8.392	7.767	-322	-947
>1.000		0	0	0	0	0	0
Summe		32	32.416	18.334	28.991	-14.082	-3.424
Prozentuale Änderung		-	100%	56,6%	89,4%	-43,4%	-10,6%
Kein Mindestwasserpot.		640	-	-	-	-	-
Gesamt		672	-	-	-	-	-

## 8 Zusammenfassung

Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg ermittelten das Hydra Institut für angewandte Hydrobiologie und die Fichtner Water & Transportation GmbH in Zusammenarbeit mit dem Büro am Fluss im Zeitraum Frühjahr 2012 bis Frühjahr 2015 das Ausbaupotenzial der Wasserkraft an Standorten bis 1.000 kW (kleine Wasserkraft) für das baden-württembergische Einzugsgebiet des Bodensees.

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 Alpenrhein-Bodensee 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 Bodensees.

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.

Die ermittelten Potenziale wurden den zuständigen Wasserbehörden im Winter 2014/2015 zur Durchsicht und Plausibilisierung zur Verfügung gestellt.

### 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) Triebwerksakten der Wasserrechtsbehörden	Grundlegende technische Daten Technische Ausrüstung bestehender Wasserkraftanlagen Wasserrechte
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. Bodensee-Einzugsgebiet
Energiewirtschaftliche Daten	Öffentlich zugängliche Daten nach EEG/Internet	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.

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

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

Für die Ermittlung des Ausbaupotenzials wurden insgesamt 672 Standorte betrachtet. Dabei handelt es sich um 139<sup>32</sup> bereits zur Wasserkrafterzeugung genutzte Standorte, 78 Regelungsbauwerke ohne zugeordnete Wasserkraftanlagen sowie 456 Sohlenbauwerke.

Hierbei wurde an 17 Standorten der Neubau einer Wasserkraftanlage erwogen, an 51 Standorten der Ausbau einer vorhandenen Nutzung. An insgesamt 605 Standorten wurde aus in Kapitel 6.1 erläuterten Gründen kein Potenzial ermittelt.

Unter Anwendung der beschriebenen Arbeitsschritte ergibt sich für das baden-württembergische Bodensee-Einzugsgebiet ein theoretisches Gesamtpotenzial von 15,6 MW, worin ein zusätzliches technisches Potenzial von ca. 2,7 MW enthalten ist. Hiervon unterliegen aufgrund ihrer Lage in FFH-Gebieten rund 2,3 MW ggf. besonderen ökologischen Restriktionen.

Unter Anwendung der Festlegungen des **Szenario 1** (Orientierungswerte nach Wasserkrafterlass Baden-Württemberg) ergibt sich ein technisch-ökonomisch-ökologisches Ausbaupotenzial von ca. 2,2 MW bzw. ein zusätzliches Regelarbeitsvermögen von rund 10,5 GWh/a. Hiervon sind ca. 9,2 GWh/a Standorten zugeordnet, die aufgrund ihrer Lage in FFH-Gebieten ggf. mit strengeren ökologischen Auflagen verbunden sind. Ein Potenzial von rund 2,5 GWh/a ist auf Grundlage der der Studie zugrunde liegenden EEG-Vergütungssätze aus ökonomischer Sicht attraktiv und umsetzbar (Wirtschaftlichkeitsstufen A und B). Es verteilt sich auf 14 Standorte.

<sup>32</sup> Die Zahl der bisher genutzten Standorte ist nicht vergleichbar mit der Anzahl der im UIS bekannten Wasserkraftanlagen, siehe Sonderfallbetrachtung in Anhang A1.

Unter Anwendung der Festlegungen des **Szenario 2** (Berücksichtigung spezifischer ökologischer Abflüsse nach Wasserkrafterlass Baden-Württemberg) ergibt sich ein technisch-ökonomisch-ökologisches Ausbaupotenzial von ca. 1,2 MW bzw. ein zusätzliches Regelarbeitsvermögen von rund 5,0 GWh/a. Hiervon sind rund 4,9 GWh/a Standorten zugeordnet, die aufgrund ihrer Lage in FFH-Gebieten ggf. mit strengeren ökologischen Auflagen verbunden sind. In Szenario 2 ergibt sich ein Potenzial von rund 1,0 GWh/a, das auf Grundlage der der Studie zugrunde liegenden EEG-Vergütungssätze aus ökonomischer Sicht attraktiv und bei ökologisch vertretbaren Folgen umsetzbar erscheint. Es handelt sich dabei um zwei 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 Bodensee-Einzugsgebiet sowie eine Beschreibung von Datenmanagement und Berechnungsverfahren.

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 (2014a): Die Rote Liste für Baden-Württembergs Fische, Neunaugen und Flusskrebse. Stuttgart, Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg.

Baer, J., S. Blank, C. Chucholl, U. Dußling und A. Brinker (2014b): 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 Grundaprägungen" (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.

DWA (2010): "Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung." DWA-Merkblätter DWA-M 509 Entwurf: 285 Seiten.

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

Giesecke, J., E. Mosonyi und S. Heimerl (2014): Wasserkraftanlagen – Planung, Bau und Betrieb. Berlin, Heidelberg, New York: 940 S.

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 (2014): Ausbaupotenzial der Wasserkraft bis 1000 kW im Einzugsgebiet desr Donau unter Berücksichtigung ökologischer Bewirtschaftungsziele. Ministerium für Umwelt , Klima und Energiewirtschaft Baden- Württemberg.

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.

Klepser, H. (1998): Gewässerentwicklung Echaz, Positivkartierung Wasserkraft (unveröffentlicht), Regierungspräsidium Tübingen (Hrsg.): 28 Seiten.

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.

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.

LUBW (2007): Abfluss-Kennwerte in Baden-Württemberg, DVD + Erläuterungstext, Landesanstalt für Umwelt,, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg,.

Regierungspräsidium Tübingen (Hrsg.) (2009): Bewirtschaftungsplan Donau (Baden-Württemberg) gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) – Stand 26. November 2009: 210 Seiten.

Regierungspräsidium Tübingen (Hrsg.) (2014): "Entwurf Aktualisierung 2015 Bewirtschaftungsplan Alpenrhein-Bodensee (Baden-Württemberg) gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) - Stand Dezember 2014." 329 S.

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.) (2013): Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2012 – erste Abschätzung – Stand April 2013. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: 9 Seiten.

Werner, S., P. Rey, A. Hesselschwerdt, A. Becker, J. Ortlepp, W. Dönni und M. Camenzind (2013): Seeforelle – Arterhaltung in den Bodenseezuflüssen. Interreg IV-Projektbericht. Im Auftrag der Internationalen Bevollmächtigtenkonferenz für die Bodensee-Fischerei (IBKF), AG Wanderfische: 203 Seiten.

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