



Erneuerung der Zuger Konzession zur Entnahme von Wasser aus der Sihl für das Kraftwerk Waldhalde (KWW)

Restwasserbericht



Auftraggeber:
Elektrizitätswerke des Kantons Zürich
Überlandstrasse 2
8953 Dietikon

Impressum

Limnex-Projekt 3224
5200 Brugg
03. Juli 2023

Projektleitung und Bearbeitung Teilbereiche Hydrologie, Gewässerökologie und Landschaft

David Tanno, Kurt Wächter, Limnex AG

Bearbeitung Teilbereich Fischökologie

Werner Dönni, Fischwerk (Subunternehmer)

Auftraggeber

Elektrizitätswerke des Kantons Zürich
Überlandstrasse 2
8953 Dietikon

Titelbild

Sihl auf Höhe der Zentrale Waldhalde mit Blick flussaufwärts (Foto: © Limnex AG)

Zusammenfassung

Die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) betreiben das Wasserkraftwerk Waldhalde. Dieses befindet sich an der Sihl, rund 14 km nach dem Sihlsee und nutzt das zufließende Restwasser des Etzelwerks (SBB) plus Zwischeneinzugsgebiet (sekundäre Restwasserstrecke). Das Kraftwerk verfügt über zwei Konzessionen. Eine vom Kanton Zürich und eine vom Kanton Zug. Die Zuger Konzession ist Ende 2017 (mit Verlängerung bis Ende 2023) ausgelaufen und muss erneuert werden. Der vorliegende Restwasserbericht liefert die wesentlichen Grundlagen für eine Konzessionserneuerung des Kraftwerks Waldhalde durch den Kanton Zug. Er stellt eine Synthese aus bereits bestehende Daten Dritter dar. Diese umfassen die Themenbereiche Hydrologie, Morphologie, Fische, Makrozoobenthos und Wasserqualität. Die bereits vor Erstellung des Berichts zwischen EKZ und Kanton diskutierten und vereinbarten Punkte – insbesondere zum geplanten, neuen Dotierregime – werden für den Bericht übernommen.

Die Abflussdynamik ist gegenüber dem unbeeinflussten Zustand reduziert, durch den Zufluss der unbeeinflussten Seitenbäche Alp und Biber aber auf tieferem Niveau gewährleistet und zeitlich naturnah. Das anfallende Geschiebe kann bei der Fassung des Kraftwerks Waldhalde in Hütten weitergeleitet werden. Durch die flussaufwärts liegenden Anlagen (Sihlsee, KW Feusisberg, Geschiebesammler Alptal) besteht aber ein Geschiebedefizit in der Sihl. Die Sohle weist ein grobkörniges Substrat auf, das mit zahlreichen Residualblöcken angereichert ist, die als Störsteine wirken und den aquatischen Lebensraum entsprechend kleinräumig strukturieren.

Der für die Restwasserbemessung relevante Niedrigwasserabfluss Q_{347} kann nur näherungsweise bestimmt werden, da keine aktuellen Messungen ohne hydrologische Beeinflussung vorliegen. Für den Fassungsstandort in Hütten resultiert aus diesen Abschätzungen eine Abflussmenge Q_{347} von $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$. Daraus resultiert eine Mindestwassermenge nach Art. 31 Abs. 1 GSchG von knapp $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Die Analyse der heute geltenden Dotierregelung in der Restwasserstrecke des Kraftwerks Waldhalde (Ist-Zustand: $0.5 - 1 \text{ m}^3/\text{s}$) führt zur Einstufung „mässig“ für die Teilbereiche Fische und Landschaft sowie „gut“ für die Teilbereiche Makrozoobenthos und Wasserqualität. Die im Restwasserbericht für den Projektzustand vorgeschlagene Erhöhung der Sockelabflüsse auf 0.8 bis $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ stellt gegenüber dem Ist-Zustand generell eine Aufwertung der aquatischen Lebensräume dar und bewirkt im Speziellen eine Verbesserung der freien Fischwanderung. Die vorliegenden Daten erlauben aber nicht für alle relevanten Aspekte eine hinreichend abgestützte Aussage zu den vorgeschlagenen Restwassermengen. Das gilt vor allem für die Themenbereiche Fischhabitats und die Wassertemperatur.

Gemäss den vorliegenden Informationen erweist sich die Wassertemperatur im Sommer als ein kritischer Faktor. Dieses Erkenntnis wurde im vorgeschlagenen Dotierregime durch eine temperaturabhängige Dotierung berücksichtigt. Aufgrund der ungenügenden Datengrundlagen lassen sich die Auswirkungen der geplanten Massnahmen aber höchstens grob abschätzen.

Die Beurteilung des Landschaftsaspekts (Art. 33 GSchG) im Niederwasserbereich ergab geringfügige abflussbedingte Unterschiede beim Landschaftsbild. Bei allen beprobten Abflüssen wird die Sihl als ein weitgehend naturbelassener Talfluss bei Niederwasser wahrgenommen. Die für das BLN-Gebiet zentralen Hochwasserabflüsse (Schutzziel: Erhalt der Dynamik der Flusslandschaft) werden nur schwach durch das Kraftwerk Waldhalde beeinflusst.

Inhalt

1	Einleitung	6
2	Beschreibung des Projekts	6
2.1	Standort und Umgebung	6
2.2	Konzessionsverhältnisse	6
2.3	Technische Beschreibung der Anlage	7
2.4	Bisherige Restwasserregelung	8
2.5	Neue Restwasserregelung	8
3	Massgebende Zustände	9
4	Umweltwissenschaftliche Grundlagen	10
4.1	Morphologie	10
4.2	Hydrologie	12
4.3	Wassertemperatur	31
4.4	Fische	35
4.5	Freie Fischwanderung	40
4.6	Aquatische Lebensräume	49
4.7	Makrozoobenthos	55
4.8	Wasserqualität	64
4.9	Grundwasserhaushalt	65
4.10	Schutzgebiete und Inventare	66
4.11	Landschaftselement	67
5	Einhaltung der Restwasserbestimmungen	75
6	Interessen für die Wasserentnahme	78
6.1	Ausgangslage	78
6.2	Neue Restwassermenge	78
6.3	Begründung gegen eine weitere Erhöhung der Restwassermenge	79
6.4	Zusammenfassung	79

7	Einhaltung weiterer Bestimmungen	80
7.1	Wiederherstellungs- und Ersatzmassnahmen	80
8	Literatur	81
9	Anhang	85
9.1	Gewässerökologische Indices	85
9.2	Kurzbericht Bestimmung Q347, Limnex (2019)	86
9.3	Rechtliche Einschätzung bezüglich Art. 58a Abs. 5 WRG	92

1 Einleitung

Die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) betreiben das Wasserkraftwerk Waldhalde an der Sihl. Das Wasserkraftwerk befindet sich auf dem Gebiet des Kantons Zürich sowie des Kantons Zug. Deshalb verfügt es je über eine Konzession des Kantons Zürich und des Kantons Zug. Die Konzession des Kantons Zug muss erneuert werden.

Das Kraftwerk Waldhalde hat eine installierte Leistung von 2.6 MW und liegt damit unter dem UVP-Schwellenwert von 3 MW. Gemäss der Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) muss somit keine Umweltverträglichkeitsprüfung erstellt werden. Für die Konzessionserteilung muss aber ein Restwasserbericht vorgelegt werden, der die Einhaltung der heutigen gesetzlichen Restwasserbestimmungen dokumentiert.

Die EKZ hat seit 2017 bereits verschiedene Abklärungen zum Restwasserbericht durch Dritte erstellen lassen. Diese fliessen in den vorliegenden Restwasserbericht ein. Wichtig sind neben den bisher durchgeführten Untersuchungen in der Restwasserstrecke des Kraftwerks Waldhalde auch die umfangreichen Daten der SBB, die im Rahmen der Konzessionserneuerung des Etzelwerks erarbeitet wurden. Diese Daten dürfen mit Genehmigung der SBB verwendet werden und stellen eine bedeutende Datengrundlage für den vorliegenden Bericht dar. Der Restwasserbericht stützt sich somit hauptsächlich auf bereits vorhandene Daten und fasst diese im Sinne einer Synthese zusammen. Dabei werden auch die im Zuge des bisherigen Verfahrens getroffenen Vorentscheide der Behörden zu einzelnen Punkten vollständig übernommen.

Limnex AG wurde mit dem Schreiben vom 30.08.2022 mit der Erarbeitung eines Restwasserberichts beauftragt.

2 Beschreibung des Projekts

2.1 Standort und Umgebung

Das Kraftwerk Waldhalde (KWW) befindet sich an der Sihl, rund 14 km nach dem Sihlsee. Das bedeutet, dass die Sihl bei der Fassung des KWW bereits eine Restwasserstrecke ist. Das KWW ist ein reines Laufkraftwerk und nutzt das zufließende Wasser der Sihl zur Stromproduktion. Bei der Stauffassung Hütten werden maximal 4.5 m³/s gefasst und über einen 2.2 km langen Freispiegelstollen in den Teufenbachweiher geleitet. Dieser wird heute nicht mehr als Speicher bewirtschaftet¹. Vom Teufenbachweiher gelangt das Triebwasser via Druckleitung zur Zentrale Waldhalde. Das Kraftwerk nutzt dabei eine Fallhöhe von 76 m. Nach der Zentrale gelangt das Triebwasser über einen Unterwasserkanal zurück in die Sihl. Alle Kraftwerksanlagen liegen auf dem Gebiet des Kantons Zürich; der Kanton Zug ist nur von der Restwasserstrecke betroffen. Die Restwasserstrecke zwischen Fassung und Wasserrückgabe ist ungefähr 4.4 km lang (Abbildung 1).

2.2 Konzessionsverhältnisse

Das Kraftwerk Waldhalde verfügt über zwei Konzessionen. Eine vom Kanton Zürich und eine vom Kanton Zug. Die Zürcherische Konzession läuft noch bis Ende 2047, die Zuger Konzession ist dagegen Ende 2017 ausgelaufen. Am 19. Dezember 2017 wurde eine Übergangskonzession bis Ende 2022 erteilt. Diese wurde am 25. Oktober 2022 um ein weiteres Jahr bis Ende 2023 verlängert. Die neue Zuger Konzession wird für eine Dauer von 24 Jahren bis Ende 2047 beantragt.

¹ Das Kraftwerk Waldhalde verursacht somit keinen Schwall/Sunk-Betrieb in der Sihl. Das Kraftwerk wurde im Rahmen der strategischen Planung des Kantons Zürich als „nicht sanierungspflichtig“ aus dem Verfahren ausgeschieden (Limnex 2014).



Abbildung 1 Schematische Darstellung des Perimeters des Kraftwerks Waldhalde.

2.3 Technische Beschreibung der Anlage

Die technischen Daten des KW Waldhalde sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1 Technische Eckdaten Kraftwerk Waldhalde (Datenquelle: EKZ).

Einzugsgebiet	Sihl	
	Fläche bei Fassung (total)	259 km ²
	Fläche bei Fassung (ohne Sihlsee)	104 km ²
	Fläche bei Wasserrückgabe	269 km ²
Fassung	Fassungstyp	Stauklappen mit Seitenausleitung
	Fassungskapazität	4.8 m ³ /s
	Anzahl Wehrfelder	2
	Stauvolumen (geschätzt)	ca. 3'100 m ³
Teufenbachweiher	Sperrtyp	Erdschüttdamm
	Höhe des Absperrbauwerks	16 m
	Kronenlänge	120 m
	Wasseroberfläche	42'000 m ²
	Speicherraum	230'000 m ³
Zentrale	Anzahl Turbinen	1
	Turbinentyp	Francis
	Ausbauwassermenge	4.5 m ³ /s
	Fallhöhe	76 m
	Installierte Leistung	2.6 MW
	Jahresproduktion	13.6 GWh

2.4 Bisherige Restwasserregelung

Die bisherigen Restwasserbestimmungen in der Ende 2023 auslaufenden Zuger Konzession (Übergangskonzession vom 19. Dezember 2017 bzw. deren Verlängerung vom 25. Oktober 2022) sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2 Bestehende Restwasserdotierung in der Ende 2023 auslaufenden Zuger Konzession.

von 16. September	bis 30. April	mind. 500 l/s
von 1. Mai	bis 15. Juni	mind. 800 l/s
von 16. Juni	bis 15. August	mind. 1'000 l/s
von 16. August	bis 15. September	mind. 800 l/s

2.5 Neue Restwasserregelung

Die EKZ hat basierend auf den bereits durchgeführten Untersuchungen, v.a. zur Fischwanderung (HZP 2020) in Zusammenarbeit mit den Fischerei- und Gewässerschutzfachstellen der Kantone Zug und Zürich eine neue Restwasserregelung ausgearbeitet. Diese berücksichtigt neben den Eckwerten für die freie Fischwanderung (Sockelabflüsse) auch die Wassertemperatur im Hochsommer. Der Vorschlag sieht eine dynamische Restwasserdotierung in den Monaten Juni bis August in Abhängigkeit der Wassertemperatur am Ende der Restwasserstrecke vor. In den Monaten Dezember bis März, wenn aufgrund der tiefen Wassertemperatur die Fischwanderung natürlicherweise stark eingeschränkt ist, wird die für die freie Fischwanderung erforderliche Restwasserdotierung nach diesem Vorschlag unterschritten.

Tabelle 3 listet die Eckwerte dieses vorgeschlagenen Dotierregimes auf.

Tabelle 3 Restwasservorschlag EKZ mit temperaturabhängiger Dotierung in den Monaten Juni bis August

von 1. Dezember	bis 31. März	mind. 800 l/s
von 1. April	bis 31. Mai	mind. 1'200 l/s
von 1. Juni	bis 31. August	
- bei $T < 18\text{ °C}$ am Ende der Restwasserstrecke		mind. 1'200 l/s
- bei $T \geq 18\text{ °C}$ am Ende der Restwasserstrecke		mind. 1'400 l/s
- bei $T \geq 20\text{ °C}$ am Ende der Restwasserstrecke		mind. 1'600 l/s
von 1. September	bis 30. November	mind. 1'200 l/s

3 Massgebende Zustände

Für den vorliegenden Restwasserbericht werden die folgenden Zustände betrachtet:

- **Z0 - Historischer Zustand vor dem Bau des KW Waldhalde und des Sihlsees:** Der historische Zustand ist vor allem hinsichtlich Hydrologie relevant. Die historischen Abflussmessungen aus den 1930er Jahren fließen in den Restwasserbericht mit ein.
- **Z1 - Heutiger Zustand ohne Wasserentnahme:** Der heutige Zustand ohne Wasserentnahme ist der massgebende Zustand für den Restwasserbericht (Art. 4 Bst. h und 31 Abs. 1 GSchG). Er beschreibt den hypothetischen Zustand, der heute bestehen würde, wenn weder das Kraftwerk Waldhalde noch der Sihlsee gebaut worden wären.
- **Z2 - Ist-Zustand:** Der Ist-Zustand beschreibt den Zustand, der bis Ende 2022 im Untersuchungsperimeter anzutreffen war. Viele der Abklärungen und Feldbegehungen für den vorliegenden Restwasserbericht sowie auch für den Restwasserbericht des Etzelwerks bilden diesen Zustand ab. Es wird zur Vereinfachung der Betrachtungen nicht noch zusätzlich zwischen Ist- und Ausgangszustand unterschieden.
- **Z3 - Projektzustand:** Der Projektzustand beschreibt den Zustand, der mit dem neuen Dotierregime des Etzelwerks (V5 Plus) und dem vorgeschlagenen neuen Dotierregime des Kraftwerks Waldhalde bestehen würde.

4 Umweltwissenschaftliche Grundlagen

4.1 Morphologie

Die Sihl verläuft im Perimeter des Kraftwerks Waldhalde im tief eingeschnittenen Sihltal (V-Tal) und umfasst mehrheitlich den gesamten Talboden. Die Sohle ist grob und mit zahlreichen Residualblöcken angereichert, die als Störsteine wirken und den aquatischen Lebensraum entsprechend strukturieren (Geschieberückhalt, Deckungsstrukturen, Kolke, Abstürze/Schnellen, vgl. Abbildung 4). Stellenweise ist auch Fels anstehend. Der Geschiebehaushalt ist im Perimeter des Kraftwerks Waldhalde - vor allem durch die flussaufwärts liegenden Anlagen im Kanton Schwyz (Geschiebesammler Alp, Etselwerk, Kraftwerk Feusisberg) - beeinträchtigt (Flussbau AG 2014). Das Kraftwerk Waldhalde selbst hat keine Auflagen bezüglich Geschiebesanierung. Der Geschiebetransport beim Wehr Hütten ist gewährleistet.

Die Uferhänge sind beidseits über weite Strecken bewaldet (Abbildung 2). Die Ökomorphologie nach Modul-Stufen-Konzept wird gemäss der Einstufung des Kantons Zürich auf der gesamten Restwasserstrecke als „natürlich/naturnah“ klassifiziert.

Das mittlere Gefälle auf der rund 4.4. km langen Restwasserstrecke beträgt 1.7%. Das Längsprofil der Restwasserstrecke ist sehr gleichmässig. Es sind keine künstlichen Schwellen, Abstufungen oder hohe Abstürze (> 1 m) vorhanden (Abbildung 3).



Abbildung 2 Restwasserstrecke des KW Waldhalde mit Blick Sihlaufwärts in Richtung Sihlsee (Quelle Karte: map.schweizmobil.ch, 2022).

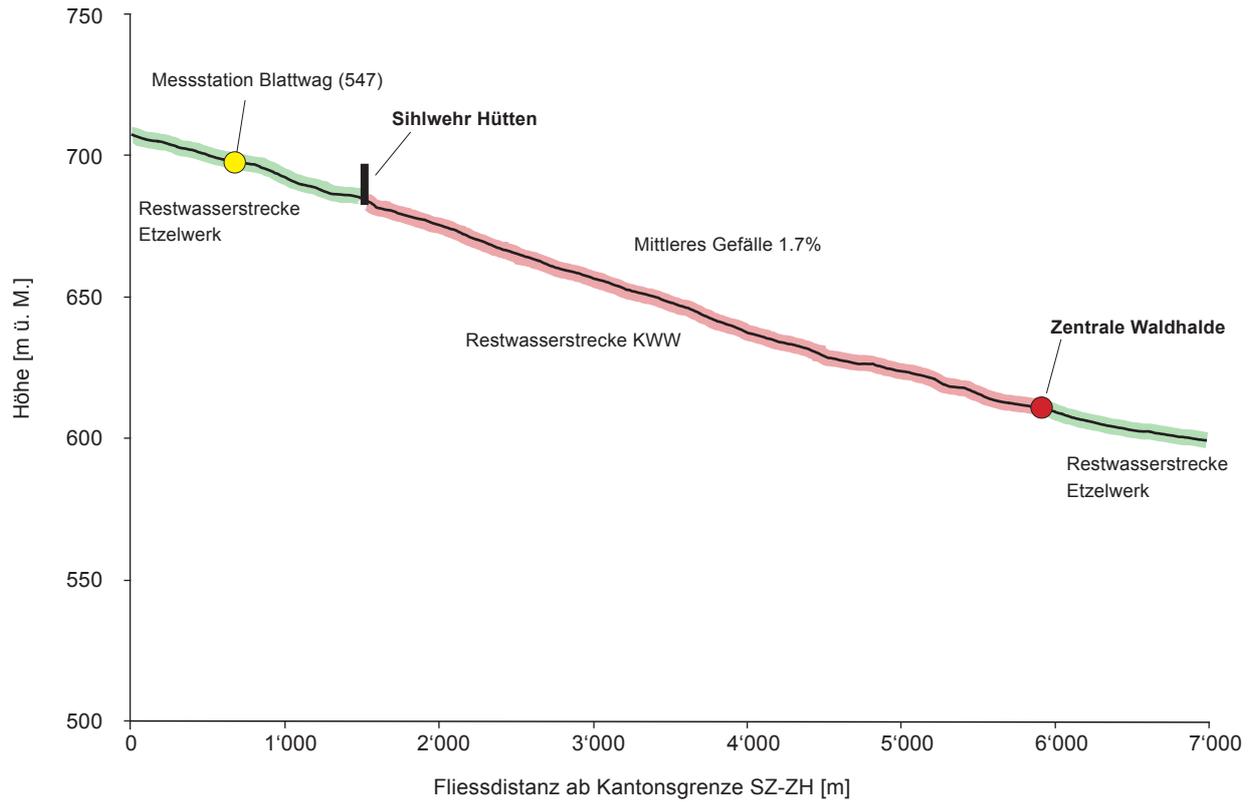


Abbildung 3 Schematische Darstellung des Längsprofils der Sihl von der Kantonsgrenze SZ-ZH (= Nullpunkt) bis unterhalb der Kraftwerkszentrale Waldhalde.



Abbildung 4 Restwasserstrecke des KW Waldhalde mit den charakteristischen Residualblöcken, die zu einer starken Kammerung/Strukturierung der Sohle führen. Dargestellt ist die Situation unterhalb des Wehrs Hütten (links) und auf Höhe der Finsterseebrücke (rechts) bei einem Abfluss von 800 l/s (Foto: Limnex AG).

4.2 Hydrologie

4.2.1 Systemüberblick

Die Sihl weist eine Gesamtlänge von 68 km auf. Das Gesamteinzugsgebiet bei der Mündung in die Limmat beträgt 344 km². Bei der Fassung Hütten beträgt das Gesamteinzugsgebiet 259 km², das hydrologisch nicht durch den Sihlsee beeinflusste Einzugsgebiet beträgt 104 km². Die hydrologisch unbeeinflussten Zuflüsse Alp und Biber decken mit 84.4 km² den grössten Teil dieses Zwischeneinzugsgebiets ab.

Der Abflussregimetyp wird im Sihl-Oberlauf als *nival alpin* eingestuft und verschiebt sich im Längsverlauf bis zur Fassung des KW Waldhalde zum Typ *pluvio-nival préalpin*. Die Abflussdynamik im Jahresverlauf ist also gekennzeichnet durch eine Schneeschmelze im Frühjahr sowie durch Regenereignisse von Frühjahr bis Herbst. Beim pluvio-nivalen Regime spielt die Schneeschmelze tendenziell eine weniger wichtige Rolle als beim rein nivalen Regime. Sie wirkt verstärkend auf die Frühjahresmaxima, so dass diese meist höher sind als die rein durch Niederschlag ausgelösten Herbstmaxima.

Auf der 4.4 km langen Restwasserstrecke münden zahlreiche kleine Bäche in die Sihl. Das Zwischeneinzugsgebiet (ZEG) zwischen Fassung Hütten und Zentrale beträgt ungefähr 10 km². Die Abflussspende aus dem ZEG ist jedoch unbekannt. Eine Studie im Auftrag der SBB zur Abschätzung der Abflussspende aus dem Zwischeneinzugsgebiet zwischen Blattweg und Sihlwald gelangte zum Ergebnis, dass der Abfluss aus dem ZEG auf dieser 20 km langen Fließstrecke bei Trockenwetter ungefähr 100 l/s beträgt (Limnex 2022). Es ist daher davon auszugehen, dass das ZEG der Restwasserstrecke Waldhalde bei Trockenwetter nur einen geringen Beitrag zum Sockelabfluss in der Restwasserstrecke leistet.

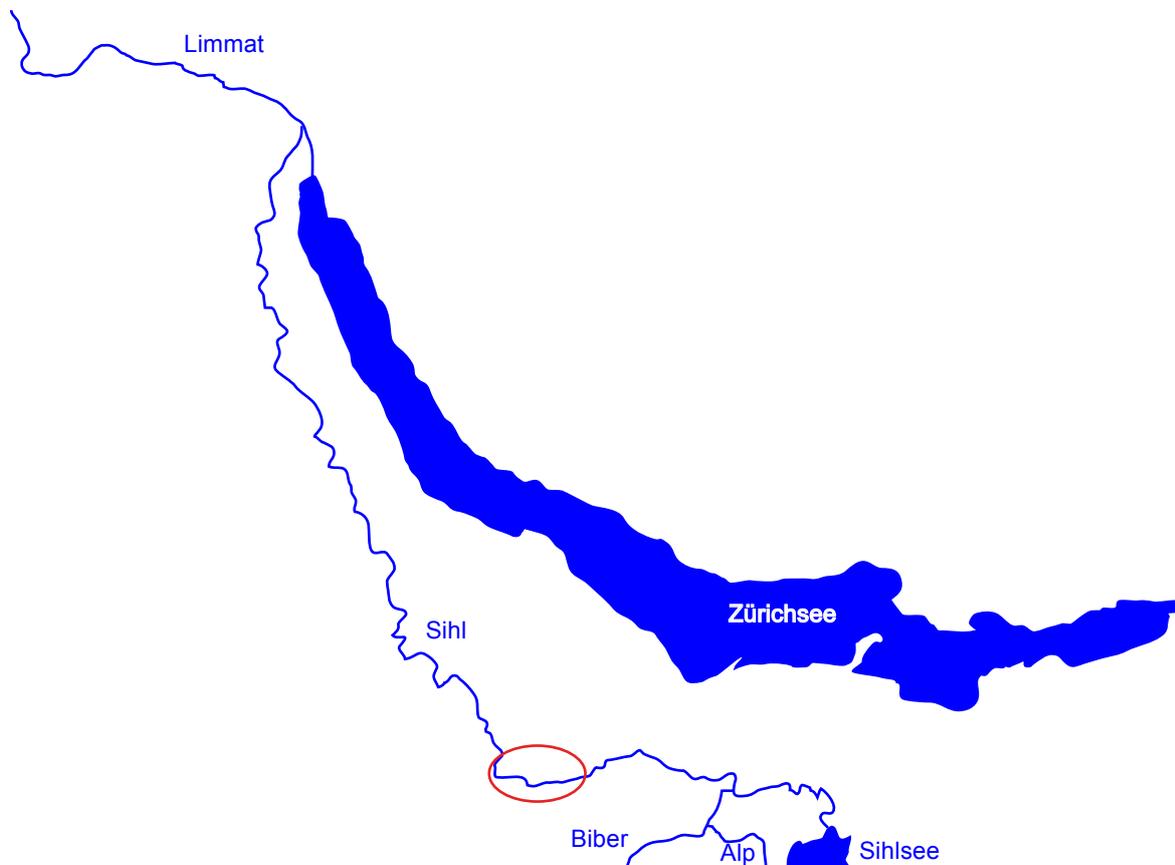


Abbildung 5 Systemüberblick Sihl. Der Perimeter des KW Waldhalde ist rot markiert.

4.2.2 Zufluss Fassung Hütten, historischer Zustand

Der historische Zustand beschreibt den Zustand in der Sihl vor dem Bau des Sihlsees. Der Zufluss bei der Fassung Hütten ist daher unbeeinflusst. Zur Abschätzung dieses Zustands können die Tagesmittelwerte der Landeshydrologie bei den ehemaligen Messstationen Sihl-Untersiten (Nr. 193) und Alp-Trachslau (Nr. 194) verwendet und auf das Einzugsgebiet bei der Fassung Hütten umgerechnet werden. Es handelt sich hierbei um eine Approximation. Die so berechneten Daten können hinsichtlich Genauigkeit nicht mit Messdaten verglichen werden. Das genaue Vorgehen bei der Berechnung wird in Limnex (2019) beschrieben und ist im Anhang dokumentiert (Kapitel 9.2).

Nachfolgend werden die Abflussganglinien und Dauerkurven im historischen Zustand für je ein Mittel-, Nass- und Trockenjahr aufgezeigt (Abbildung 6, Abbildung 7). Als Auswahlkriterium für ein Mittel-, Nass- und Trockenjahr werden hier die Jahresmittelwerte verwendet. Das Jahr mit dem grössten Jahresmittel wird nach dieser Methodik als Nassjahr eingestuft, jenes mit dem kleinsten Jahresmittel als Trockenjahr. Als Mitteljahr wird jenes Jahr gewählt, dessen Jahresmittel am wenigsten vom langjährigen mittleren Abfluss abweicht. Nach diesem Ansatz resultierte 1932 als Mitteljahr, 1930 als Nassjahr und 1929 als Trockenjahr (ARGE Umwelt Etzelwerk 2021).

Die Dauer des Abflusses für die gesamte Bemessungsperiode 1922 – 1937 ist in Tabelle 4 aufgetragen. Als Vorlage dient hier die Darstellungsweise der hydrologischen Jahrbücher des BAFU.

Der mittlere jährliche Abfluss über die gesamte Periode liegt bei etwa $13 \text{ m}^3/\text{s}$, die mittlere jährliche Wassermenge beträgt etwa 420 Mio. m^3 . Der Niedrigwasserabfluss Q_{347} beträgt rund $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$.

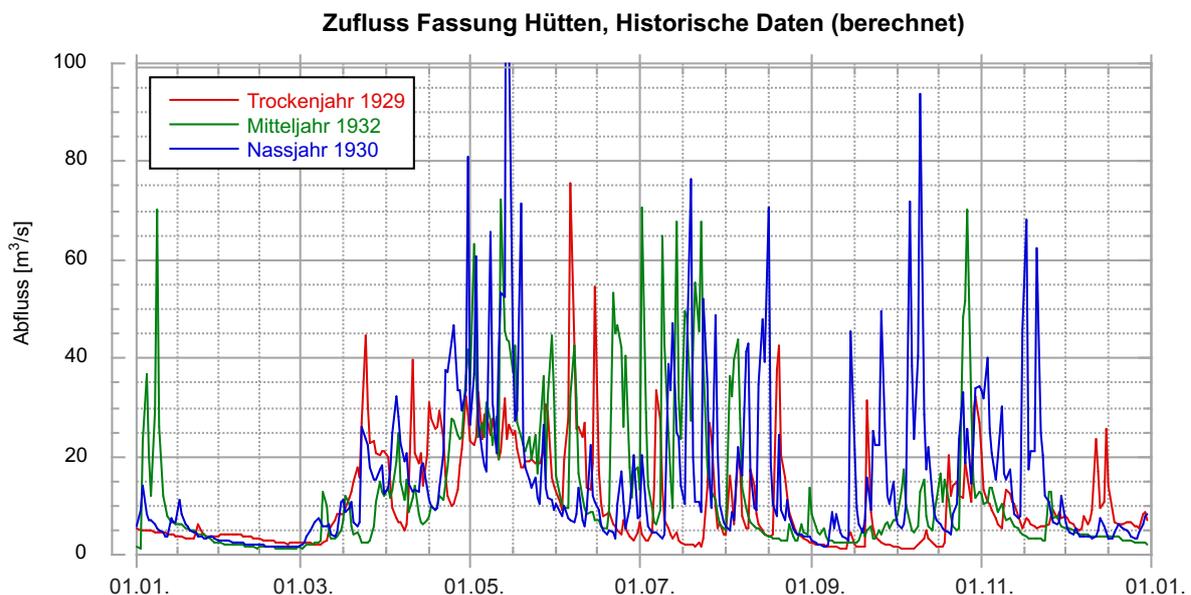


Abbildung 6 Natürlicher Zufluss bei der Fassung Hütten für je ein trockenes, mittleres und nasses Jahr. Die Daten basieren auf den oben beschriebenen Berechnungen für die historische Periode 1922 - 1937 (vor dem Bau des Sihlsees).

Zufluss Fassung Hütten, Historische Daten (berechnet)

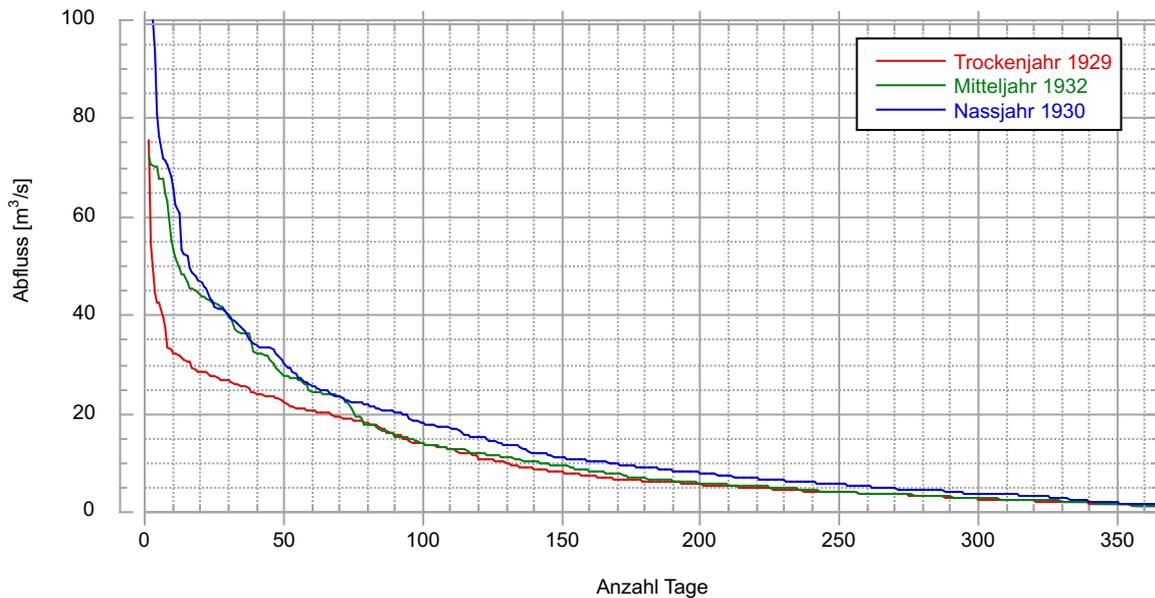


Abbildung 7 Abflussdauerkurve des natürlicher Zufluss bei der Fassung Hütten für je ein trockenes, mittleres und nasses Jahr. Die Daten basieren auf den oben beschriebenen Berechnungen für die historische Periode 1922 - 1937 (vor dem Bau des Sihlsees).

Tabelle 4 Dauer der berechneten Abflüsse bei der Fassung des KW Waldhalde für die Periode 1922 - 1937. Das Jahr 1924 wurde wegen einer Datenlücken von fast drei Monaten weggelassen. Datenbasis: Tagesmittelwerte Landeshydrologie.

Periode 1922 - 1937 (ohne 1924): Dauer der Abflüsse (erreicht oder überschritten)								
Tage	1	3	6	9	18	36	55	73
Abfluss [m³/s]	120	81	62	53	42	32	24	20
Tage	91	114	137	160	182	205	228	251
Abfluss [m³/s]	17	14	11	9.3	7.7	6.5	5.6	4.8
Tage	274	292	310	329	347	356	362	365
Abfluss [m³/s]	4.0	3.6	3.1	2.6	2.1	1.8	1.5	1.0

4.2.3 Zufluss Fassung Hütten, heutiger Zustand ohne Sihlsee

Der heutige Zustand ohne Sihlsee beschreibt den Zustand, der auf Höhe der Fassung Hütten bestehen würde, wenn der Sihlsee nicht gebaut worden wäre (hypothetischer Zustand). Der Zufluss zur Fassung Hütten ist in diesem Zustand hydrologisch unbeeinflusst. Die Herleitung dieses Zustands erfolgt anhand des Restwassermodells für die Sihl, welches im Rahmen des UVB Etzelwerks erstellt worden ist. Dazu werden die Abflüsse der verschiedenen BAFU-Messstationen im Einzugsgebiet des Sihlsees sowie die Abflüsse von Alp und Biber auf das Einzugsgebiet bei der Fassung Hütten hochgerechnet. Das genaue Vorgehen bei der Berechnung wird in Limnex (2019) beschrieben und ist im Anhang dokumentiert (Kapitel 9.2). Die aus dieser Berechnung resultierenden Abflussganglinien und Periodenwerte stellen eine Approximation an den natürlichen Abfluss auf Höhe der Fassung Hütten unter den heutigen hydrologischen Verhältnissen dar. Sie sind jedoch hinsichtlich Genauigkeit nicht mit Messungen am betreffenden Standort vergleichbar.

Nachfolgend werden die Abflussganglinien und Dauerkurven im heutigen Zustand ohne Sihlsee für je ein Mittel-, Nass- und Trockenjahr aufgezeigt (Abbildung 8, Abbildung 9). Als Auswahlkriterium für ein Mittel-, Nass- und Trockenjahr werden dabei die Jahresmittelwerte verwendet. Das Jahr mit dem grössten Jahresmittel wird nach dieser Methodik als Nassjahr eingestuft, jenes mit dem kleinsten Jahresmittel als Trockenjahr. Als Mitteljahr wird jenes Jahr gewählt, dessen Jahresmittel am wenigsten vom langjährigen mittleren Abfluss abweicht. Nach diesem Ansatz resultierte 2014 als Mitteljahr, 1999 als Nassjahr und 2003 als Trockenjahr (ARGE Umwelt Etzelwerk 2021).

Die Dauer des Abflusses für die gesamte Bemessungsperiode 1995 – 2018 ist in Tabelle 5 aufgetragen. Als Vorlage dient hier die Darstellungsweise der hydrologischen Jahrbücher des BAFU.

Der mittlere jährliche Abfluss über die gesamte 24-jährige Periode liegt bei etwa $12 \text{ m}^3/\text{s}$, die mittlere jährliche Wassermenge beträgt etwa 390 Mio. m^3 . Der Niedrigwasserabfluss Q_{347} beträgt rund $1.7 \text{ m}^3/\text{s}$.

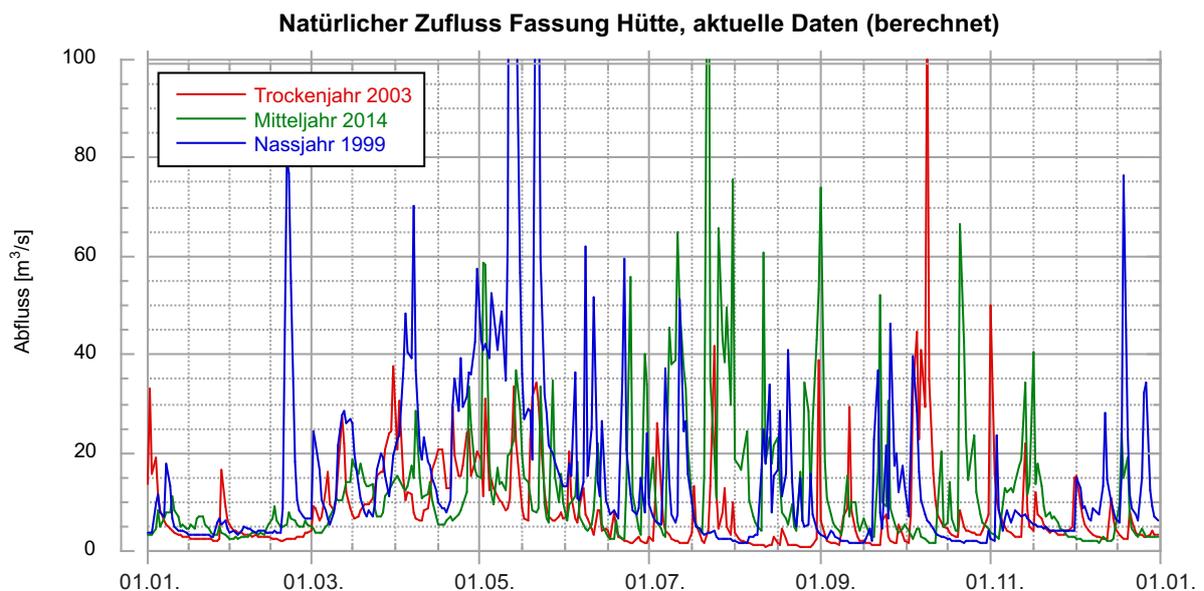


Abbildung 8 Natürlicher Zufluss bei der Fassung Hütten für je ein trockenes, mittleres und nasses Jahr. Die Daten basieren auf den oben beschriebenen Berechnungen für die Periode 1995-2018.

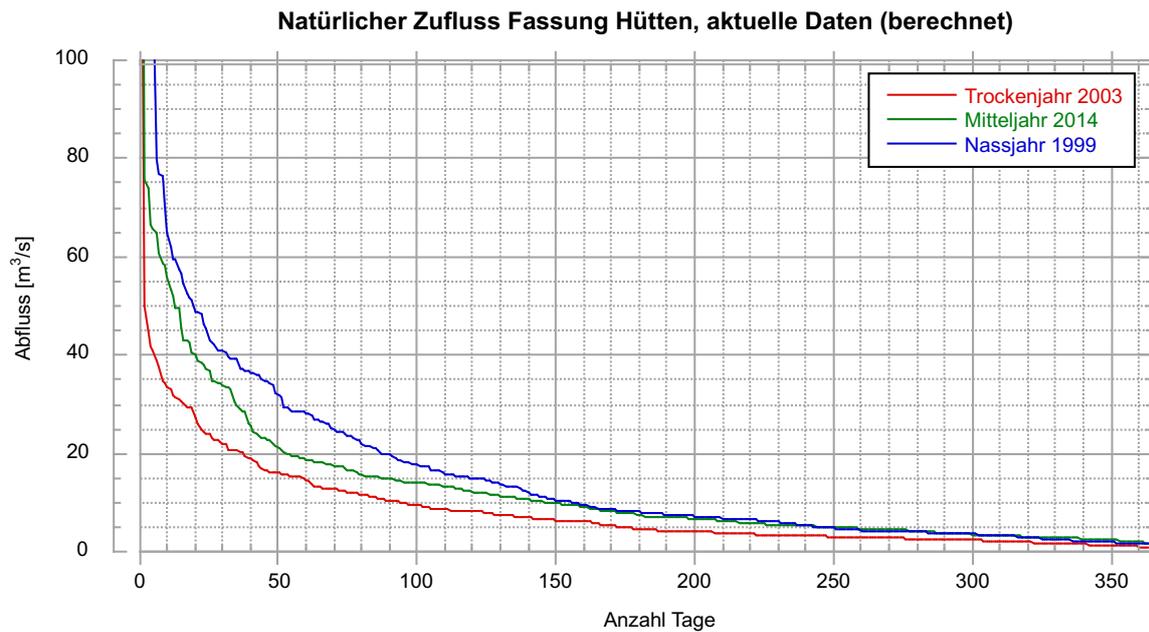


Abbildung 9 Abflussdauerkurve des natürlichen Zuflusses bei der Fassung Hütten für je ein trockenes, mittleres und nasses Jahr. Die Daten basieren auf den oben beschriebenen Berechnungen für die Periode 1995-2018.

Tabelle 5 Dauer der berechneten Abflüsse bei der Fassung des KW Waldhalde für die Periode 1995 - 2018. Die Daten zeigen die heutige Situation ohne Sihlsee oder anderweitige Wassernutzung (hypothetische Situation).

Periode 1995 - 2018: Dauer der Abflüsse (erreicht oder überschritten)								
Tage	1	3	6	9	18	36	55	73
Abfluss [m³/s]	121	89	69	59	42	30	22	18
Tage	91	114	137	160	182	205	228	251
Abfluss [m³/s]	15	12	9.8	8.1	6.7	5.6	4.7	4.0
Tage	274	292	310	329	347	356	362	365
Abfluss [m³/s]	3.4	3.0	2.5	2.1	1.7	1.3	1.0	0.5

4.2.4 Zufluss Fassung Hütten, Ist-Zustand

Der Ist-Zustand entspricht dem heutigen Zustand in der Sihl, mit dem bisherigen Dotierregime ab Staumauer Sihlsee (Stand 2022). Das bisherige Dotierregime ist eine dynamische Kompensationsdotierung. Die Dotierung ist so ausgelegt, dass bei der Messstelle Blattweg der jahreszeitlich abgestufte Sockelabfluss von 2.5 bis 3.0 m³/s garantiert wird (Tabelle 6). Die Dotierung an der Staumauer richtet sich somit nach der Wasserführung im Zwischeneinzugsgebiet. Wenn Alp und Biber genügend Wasser führen, wird an der Staumauer ein Minimum von 300 bzw. 400 l/s dotiert. Bei geringer Wasserführung von Alp und Biber wird hingegen so viel Wasser aus dem Sihlsee dotiert, bis an der Kantonsgrenze SZ-ZH der minimale Sockelabfluss erreicht wird.

Tabelle 6 Heutige Dotiermenge und abgestufter Sockelabfluss im Jahresverlauf. Der Sockelabfluss bei Blattweg muss durch Kompensationsdotierung eingehalten werden.

Minimaldotierung an Staumauer	
Zeitraum	Dotiermenge [m ³ /s]
01.06. – 31.10.	0.4
01.11. – 30.05.	0.3
Minimaler Sockelabfluss bei Blattweg	
Zeitraum	Sockelabfluss [m ³ /s]
16.09. – 30.04.	2.5
01.05. – 15.06.	2.8
16.06. – 15.08.	3.0
16.08. – 15.09.	2.8

Nachfolgend werden die Abflussganglinien und Dauerkurven im heutigen Zustand für je ein Mittel- (2014), Nass- (1999) und Trockenjahr (2003) aufgezeigt (Abbildung 10, Abbildung 11). Die Daten stammen aus dem Restwassermodell für die Sihl, welches im Rahmen des UVB Etzelwerk erstellt wurde. Sie zeigen die Situation beim Standort Blattweg, direkt oberhalb der Fassung Hütten. Die Abflüsse wurden mit Hilfe der Messstationen Alp und Biber sowie des Zwischeneinzugsgebietes unter Miteinbezug der Dotiervorschriften beim Sihlsee berechnet² (ARGE Etzelwerk 2021).

In den Grafiken deutlich erkennbar ist der Sockelabfluss bei Blattweg von 2.5 bis 3 m³/s, der zu keinem Zeitpunkt unterschritten wird, auch nicht in ausgeprägten Trockenphasen wie z.B. im Sommer 2003.

Die Dauer des Abflusses für die gesamte Bemessungsperiode 1995 – 2018 ist in Tabelle 7 aufgetragen.

Der mittlere jährliche Abfluss über die gesamte 24-jährige Periode liegt bei etwa 5.1 m³/s, die mittlere jährliche Wassermenge beträgt etwa 161 Mio. m³. Der Niedrigwasserabfluss Q_{347} beträgt rund 2.5 m³/s.

Wehrüberläufe beim Sihlsee, wie sie z.B. bei Vorabsenkungen entstehen, wurden hier nicht mitberücksichtigt.

² Die Dotiermengen ab Staumauer stehen erst ab 2012 elektronisch zur Verfügung. Deshalb wurde die Dotierung für die Periode 1995-2018 mit den oben genannten Grundlagen auf Tagesmittelbasis berechnet.

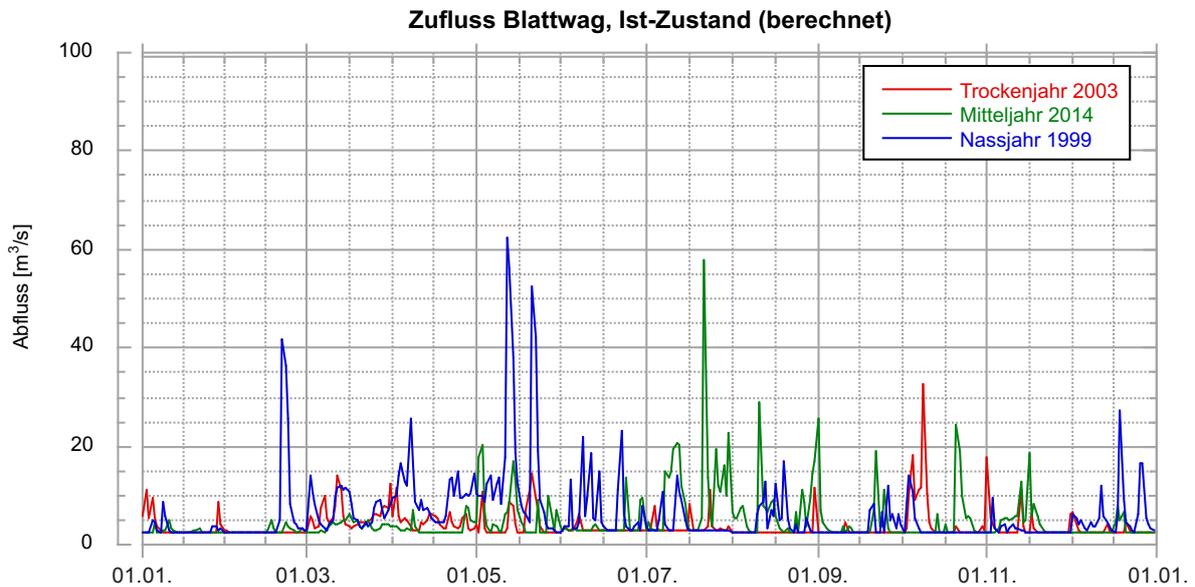


Abbildung 10 Zufluss bei der Station Blattweg im Ist-Zustand (bisheriges Dotierregime Etzelwerk) für je ein trockenes, mittleres und nasses Jahr. Die Daten basieren auf den oben beschriebenen Berechnungen für die Periode 1995-2018.

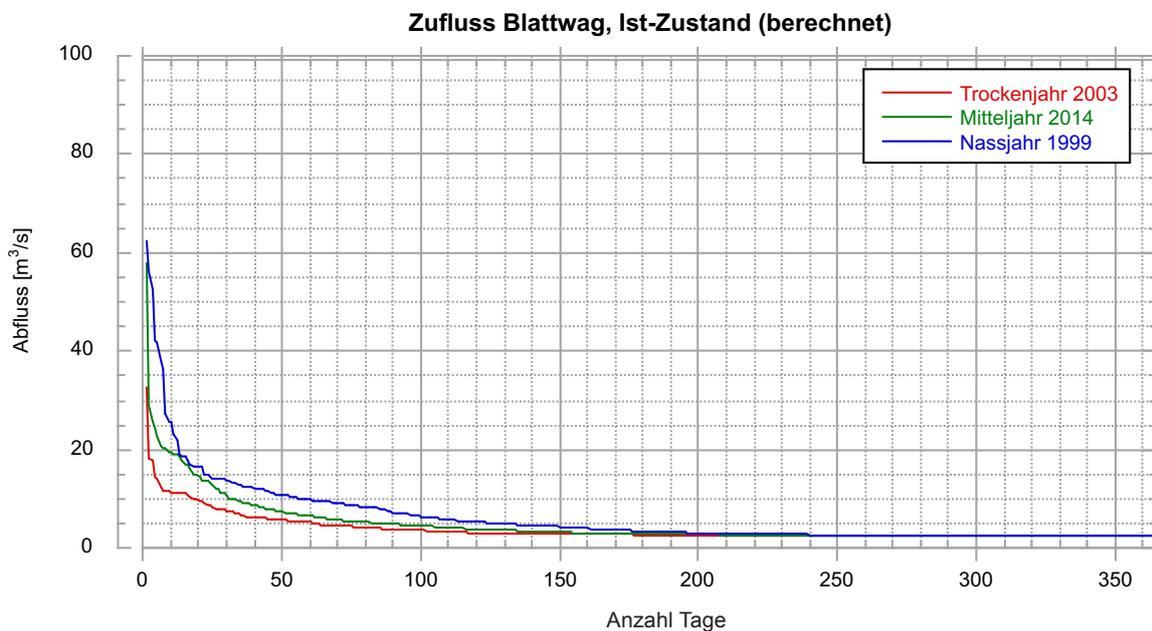


Abbildung 11 Abflussdauerkurve des Zuflusses bei der Station Blattweg im Ist-Zustand (bisheriges Dotierregime Etzelwerk) für je ein trockenes, mittleres und nasses Jahr. Die Daten basieren auf den oben beschriebenen Berechnungen für die Periode 1995-2018.

Tabelle 7 Dauer der berechneten Abflüsse bei der Station Blattweg im Ist-Zustand für die Periode 1995 - 2018. Die Daten zeigen die heutige Restwasser-Situation mit Sihlsee.

Periode 1995 - 2018: Dauer der Abflüsse (erreicht oder überschritten)								
Tage	1	3	6	9	18	36	55	73
Abfluss [m ³ /s]	44	32	25	21	15	10	7.5	6.1
Tage	91	114	137	160	182	205	228	251
Abfluss [m ³ /s]	5.1	4.3	3.6	3.0	3.0	2.8	2.8	2.5
Tage	274	292	310	329	347	356	362	365
Abfluss [m ³ /s]	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

4.2.5 Zufluss Fassung Hütten, Zukünftiger Zustand

Der zukünftige Zustand beschreibt den Zustand mit dem geplanten, neuen Dotierregime der SBB ab Staumauer Sihlsee. Bei dieser Dotiervariante wird ein monatlich abgestufter Sockelabfluss an der Staumauer Sihlsee von 0.7 – 1.6 m³/s festgelegt, wobei die grössten Sockelabflüsse im Hochsommer dotiert werden (Tabelle 8). Als Bemessungspunkt für die Kompensationsdotierung gilt wegen den höheren Mindestanforderungen nicht mehr Blattweg, sondern neu Sihlwald. Unter Berücksichtigung des Zwischeneinzugsgebietes wird an der Staumauer so viel Wasser abgegeben, dass bei Sihlwald in den Monaten Januar und Februar ein Zielabfluss von mindestens 2 m³/s resp. in den restlichen Monaten ein solcher von 3.5 m³/s erreicht wird. Ist der natürliche Sihlseezufluss geringer als die saisonal gültige Dotierpflicht, wird die Dotierung aus dem Sihlsee auf die Menge des natürlichen Zuflusses reduziert (Trockenheitsregime). Dieses Szenario wird jedoch nur so lange eingehalten, wie bei Sihlwald ein Abfluss von 2 m³/s gewährleistet ist. Würde dieser Grenzwert bei Sihlwald unterschritten, wird an der Staumauer mehr Wasser dotiert als zum See zufliesst (=Stützdotierung). Mit Variante V5 Plus, welcher Bestandteil des gemeinsamen Antrags nach Art. 12d NHG der Umweltschutzorganisationen und der SBB an die Behörde darstellt, kommen zu der oben erläuterten Basisvariante noch drei separate Module hinzu:

- **Modul 1:** Künstliche Hochwasser zur Dynamisierung des Abflussregimes, zur Dekolmation der Sohle und zur Förderung der Grundwasserneubildung
- **Modul 2:** Erhöhung Mindestabfluss im Sihlwald auf 4 m³/s von April bis September
- **Modul 3:** Erhöhung Mindestabfluss im Sihlwald auf 6.3 m³/s von Mitte Oktober bis Mitte Dezember bei Auftreten von Fluss- /Seeforelle und/oder Lachs

Tabelle 8 Überblick zu Variante 5 Basis und Plus. Monatlich abgestufte minimale Sockelabflüsse bei der Staumauer sowie Sollabfluss bei Sihlwald mit der Basis-Variante und der Plus-Variante (Modul 1-3). Modul 1 (künstl. Hochwasser) hat keinen Einfluss auf die Sockelabflüsse, weshalb sich hier keine zusätzlichen Abflussforderungen ergeben. *Bei Modul 3 gilt die Forderung von 6.3 m³/s beim Sihlwald jeweils von Mitte Oktober bis Mitte Dezember.

Monat	Sockelabfluss Staumauer [m ³ /s]	V5 Basis		V5 Plus		
		Sollabfluss Sihlwald, generell [m ³ /s]	Sollabfluss Sihlwald, in <u>Trocken-</u> <u>phasen</u> [m ³ /s]	Sollabfluss Sihlwald Modul 1 [m ³ /s]	Sollabfluss Sihlwald Modul 2 [m ³ /s]	Sollabfluss Sihlwald Modul 3 [m ³ /s]
Januar	0.7	2.0	2.0	-	2.0	2.0
Februar	0.7	2.0	2.0	-	2.0	2.0
März	0.9	3.5	2.0	-	3.5	3.5
April	1.0	3.5	2.0	-	4.0	3.5
Mai	1.1	3.5	2.0	-	4.0	3.5
Juni	1.4	3.5	2.0	-	4.0	3.2
Juli	1.6	3.5	2.0	-	4.0	3.5
August	1.6	3.5	2.0	-	4.0	3.5
September	1.3	3.5	2.0	-	4.0	3.5
Oktober	1.2	3.5	2.0	-	3.5	6.3*
November	1.2	3.5	2.0	-	3.5	6.3*
Dezember	0.9	3.5	2.0	-	3.5	6.3*

Nachfolgend werden die Abflussganglinien und Dauerkurven für den zukünftigen Zustand für je ein Mittel- (2014), Nass- (1999) und Trockenjahr (2003) aufgezeigt (Abbildung 12, Abbildung 13). Die Daten stammen aus dem Restwassermodell für die Sihl, welches im Rahmen des UVB Etzelwerk erstellt wurde und zeigen den virtuellen Zufluss beim Standort Blattweg, direkt oberhalb der Fassung Hütten, mit dem neuen Restwasserregime des Etzelwerks. Dargestellt ist das Restwasserregime mit Variante 5 Plus inkl. Modul 2. Die Module 1 und 3 werden nicht aufgezeigt. Modul 1 enthält die Erzeugung von künstlichen Hochwassern. Modul 3 umfasst eine Zusatzdotierung von Oktober bis Dezember für die Wanderung von Fluss-/Seeforelle und Lachs. Modul 3 kommt erst dann zur Anwendung, wenn diese Fische tatsächlich in grösserer Anzahl in der Sihl auftreten. Der genaue Zeitpunkt ist heute noch nicht absehbar.

In den Grafiken deutlich erkennbar ist der höhere Sockelabfluss gegenüber dem Ist-Zustand und auch eine Dynamisierung des Abflusses im Niederwasserbereich.

Die Dauer des Abflusses für die gesamte Bemessungsperiode 1995 – 2018 ist in Tabelle 9 aufgetragen.

Der mittlere jährliche Abfluss für die gesamte 24-jährige Periode liegt bei etwa $5.5 \text{ m}^3/\text{s}$, die mittlere jährliche Wassermenge beträgt etwa 174 Mio. m^3 . Der Niedrigwasserabfluss Q_{347} beträgt rund $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Der Jahresmittelwert ist damit etwa $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ höher als im Ist-Zustand. Der Niedrigwasserabfluss Q_{347} sinkt mit dem neuen Dotierregime jedoch um etwa $0.7 \text{ m}^3/\text{s}$, da beim Sihlsee in Trockenphasen nicht mehr an der Dotierpflicht festgehalten werden muss, sondern der natürliche Seezufluss in die Restwasserstrecke weitergeleitet wird.

Wehrüberläufe beim Sihlsee, wie sie z.B. bei Vorabsenkungen entstehen, wurden hier nicht mitberücksichtigt. Die Hochwasserdynamik bleibt - vorbehaltlich der Umsetzung von Modul 1 mit der Erzeugung von künstlichen Hochwassern - ungefähr gleich wie im Ist-Zustand.

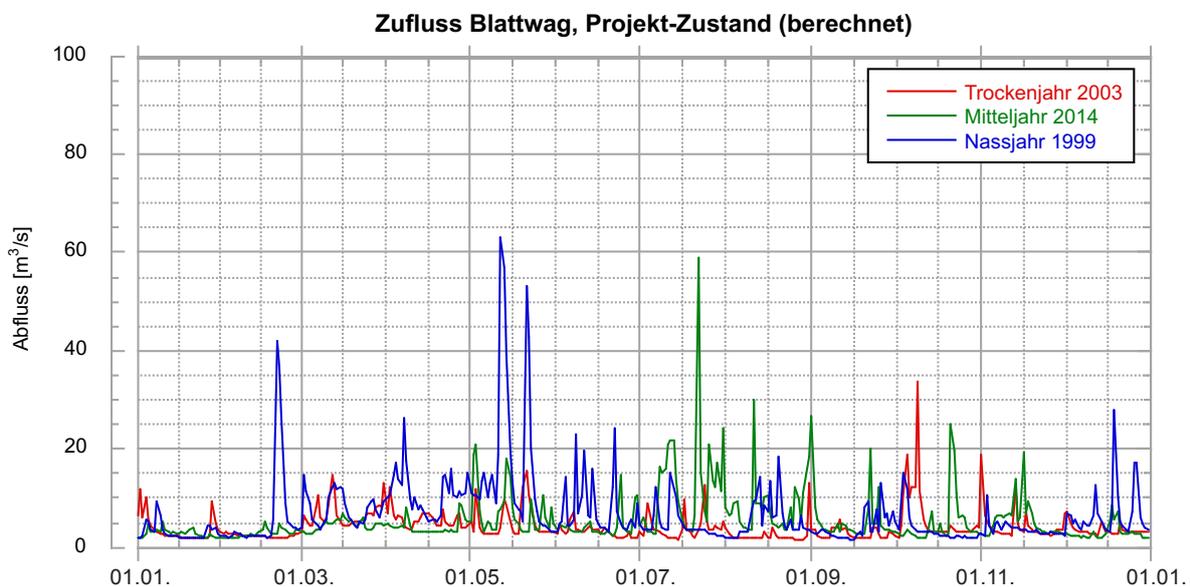


Abbildung 12 Zufluss bei der Station Blattweg im Projekt-Zustand (Dotierregime Etzelwerk V5 Plus mit Modul 2) für je ein trockenes, mittleres und nasses Jahr. Die Daten basieren auf den oben beschriebenen Berechnungen für die Periode 1995-2018.

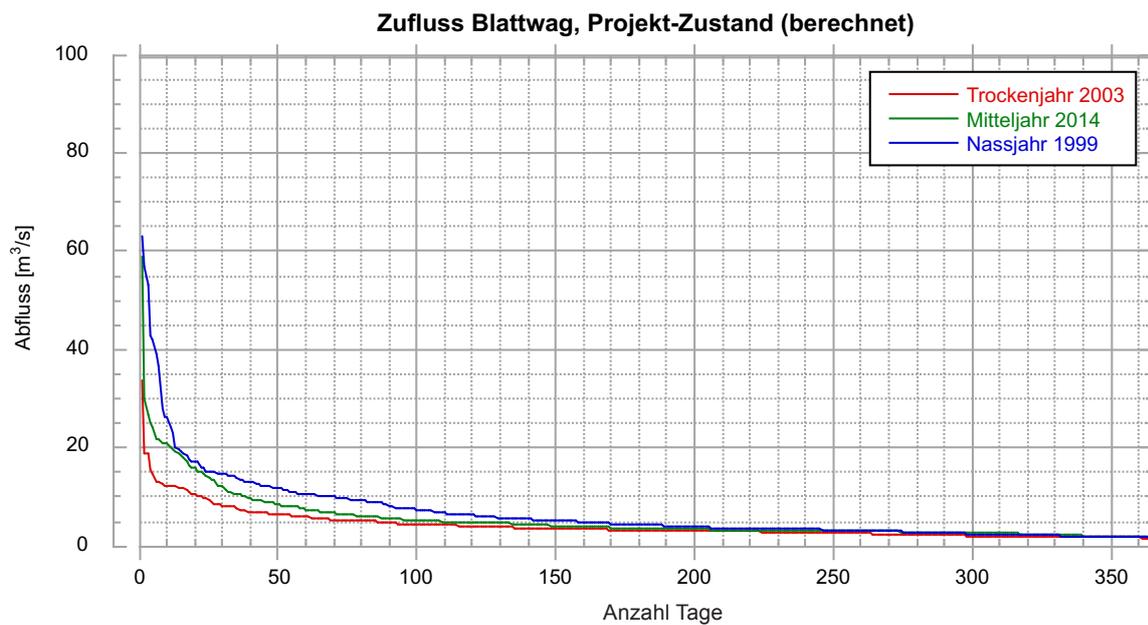


Abbildung 13 Abflussdauerkurve des Zuflusses bei der Station Blattweg im Projekt-Zustand (Dotierregime Etzelwerk V5 Plus mit Modul 2) für je ein trockenes, mittleres und nasses Jahr. Die Daten basieren auf den oben beschriebenen Berechnungen für die Periode 1995-2018.

Tabelle 9 Dauer der berechneten Abflüsse bei der Station Blattweg im Projekt-Zustand mit dem neuen Dotierregime des Etzelwerks (V5 Plus) für die Periode 1995 - 2018.

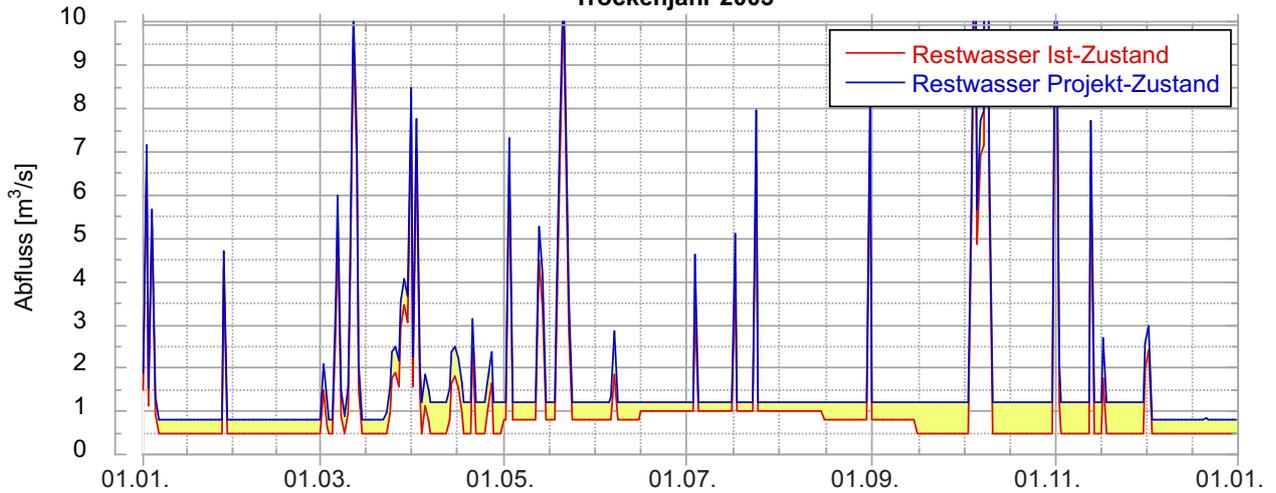
Periode 1995 - 2018: Dauer der Abflüsse (erreicht oder überschritten)								
Tage	1	3	6	9	18	36	55	73
Abfluss [m^3/s]	45	33	26	22	16	11	8.3	6.9
Tage	91	114	137	160	182	205	228	251
Abfluss [m^3/s]	5.9	5.0	4.4	3.9	3.7	3.4	3.3	3.0
Tage	274	292	310	329	347	356	362	365
Abfluss [m^3/s]	2.8	2.5	2.2	1.9	1.8	1.7	1.5	1.0

4.2.6 Restwasserabfluss KW Waldhalde

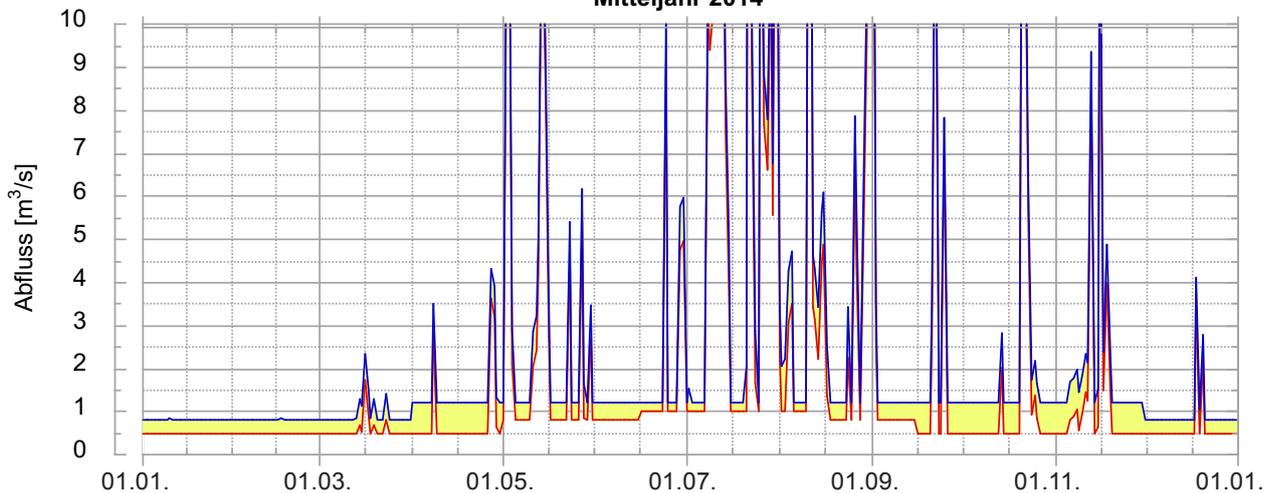
Der Restwasserabfluss unterhalb des Sihlwehrs Hütten kann anhand der oben aufgeführten Zuflusswerte, den Sockelabflüssen und den technischen Eckwerten (Ausbauwassermenge) berechnet werden. Der daraus resultierende Restwasserabfluss wird in Abbildung 14 für den Ist-Zustand und den Projekt-Zustand vergleichend für je ein Trocken-, Mittel- und Nassjahr aufgezeigt. Der Ist-Zustand zeigt die Situation mit dem bisherigen Dotierregime des Etzelwerks und der bisherigen Restwasserregelung des KW Waldhalde. Der Projekt-Zustand zeigt die Situation mit dem geplanten, neuen Dotierregime des Etzelwerks (V5 Plus mit Modul 2, Kapitel 4.2.5) und der vorgeschlagenen neuen Restwasserregelung des KW Waldhalde (Kapitel 2.5). Die gelbe Fläche in der Abbildung visualisiert die Mehrdotierung im Projekt-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand. Die temperaturabhängige Dotierung im Sommer ist im Projekt-Zustand allerdings nicht enthalten. Dafür fehlen zum jetzigen Zeitpunkt noch entsprechende längere Messreihen in der Sihl. Die Dotierung im Projekt-Zustand kann daher in den Sommermonaten situativ (wegen zu hohen Wassertemperaturen) um bis zu $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ höher sein, als hier dargestellt. Die korrespondierenden Dauerkurven sind in Abbildung 15 dargestellt.

Der Sockelabfluss wird in der Restwasserstrecke des KW Waldhalde mit dem neuen Dotierregime um 0.2 bis $0.7 \text{ m}^3/\text{s}$ erhöht. Besonders im Frühjahr und Herbst fällt diese Erhöhung ins Gewicht. Die Abflussdynamik und -variabilität ist wegen dem Sihlsee zwar reduziert, aber wegen dem Zufluss von Alp und Biber zeitlich naturnah. Die Hochwasserdynamik wird durch die zusätzliche Wasserausleitung von maximal $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$ beim Sihlwehr Hütten nur wenig geschmälert. Der Vergleich der Dauerkurven in Abbildung 15 zeigt, dass die Häufigkeit von Wehrüberlauf im Projekt-Zustand tendenziell zunimmt (Verschiebung der Dauerkurve nach rechts). Das hängt vor allem auch mit dem höheren Zufluss mit dem neuen Dotierregime des Etzelwerks zusammen. Die Abflussdynamik und -variabilität verändert sich gesamthaft betrachtet aber nur wenig gegenüber dem Ist-Zustand.

Abfluss Restwasserstrecke KW Waldhalde im Ist- und Projekt-Zustand Trockenjahr 2003



Mitteljahr 2014



Nassjahr 1999

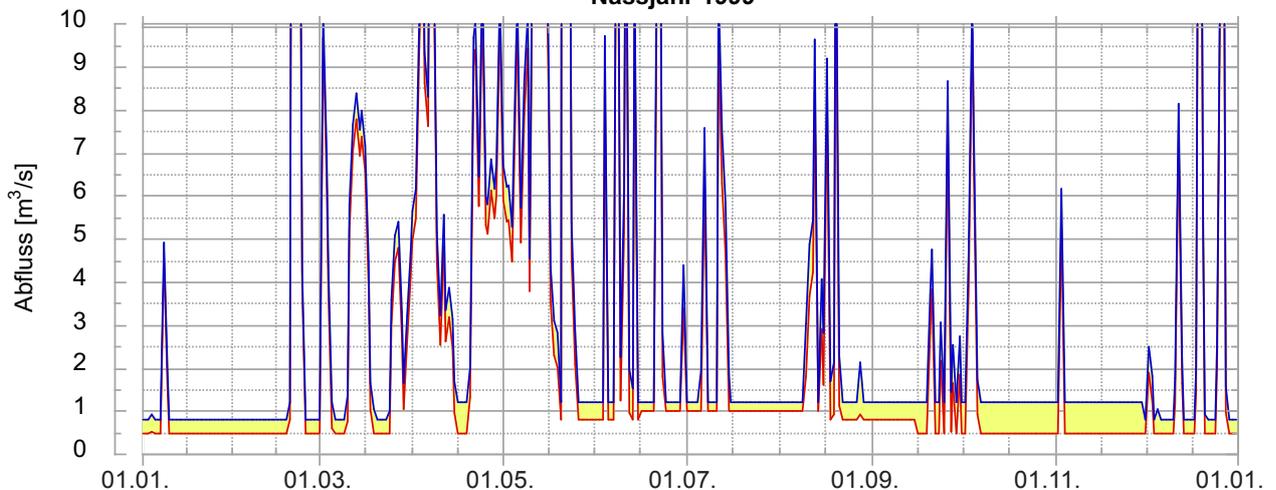
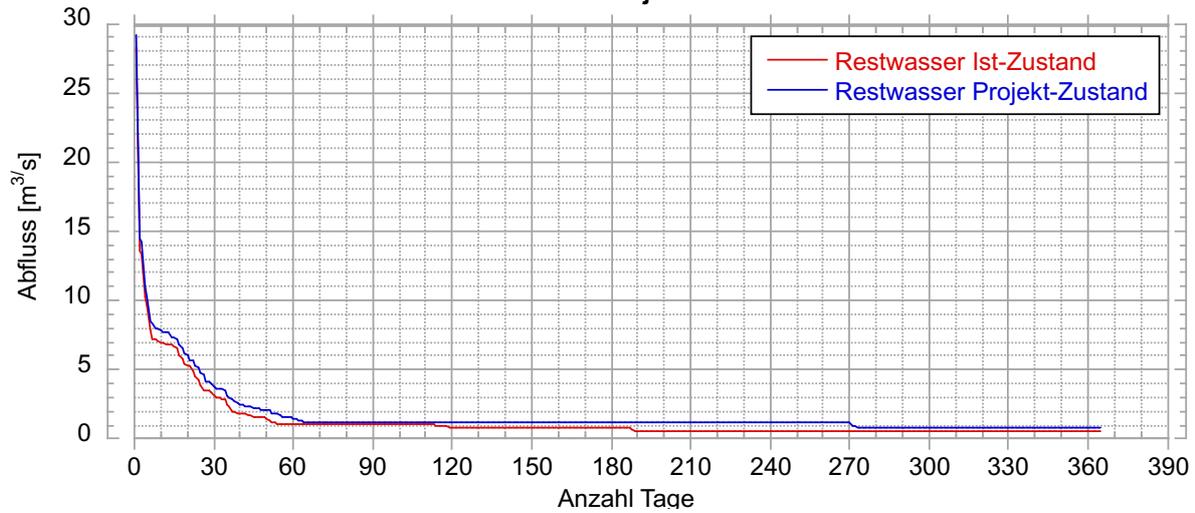
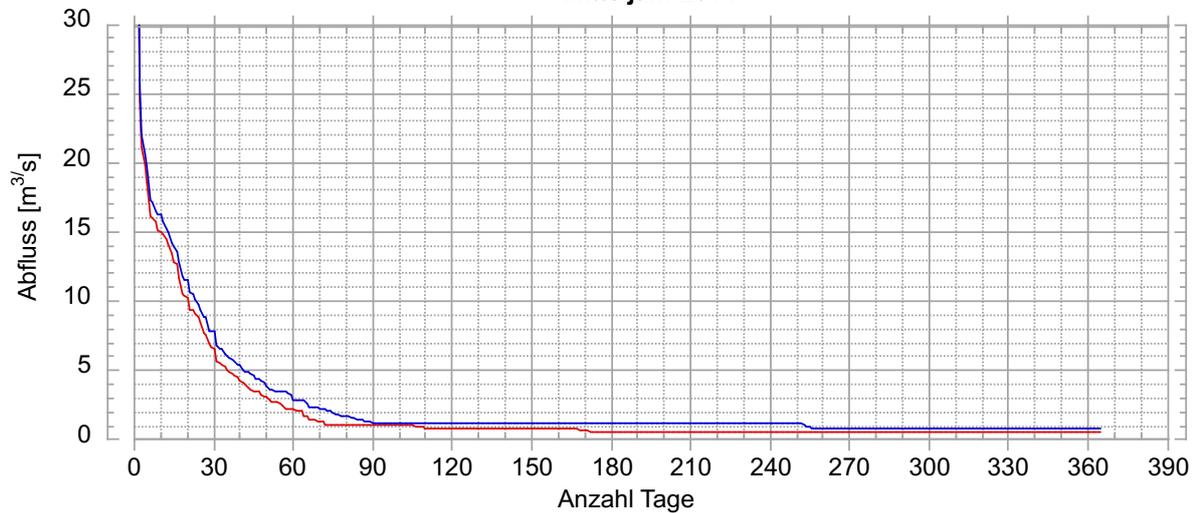


Abbildung 14 Abflussganglinien in der Restwasserstrecke des KW Waldhalde für je ein Trocken-, Mittel- und Nassjahr. Dargestellt ist der Ist-Zustand (bisheriges Dotierregime Etzelwerk und KWW, rote Linie) und der Projekt-Zustand (neues Dotierregime Etzelwerk und KWW, blaue Linie). Die gelbe Fläche visualisiert die Differenz der beiden Linien.

Abfluss Restwasserstrecke KW Waldhalde im Ist- und Projekt-Zustand Trockenjahr 2003



Mitteljahr 2014



Nassjahr 1999

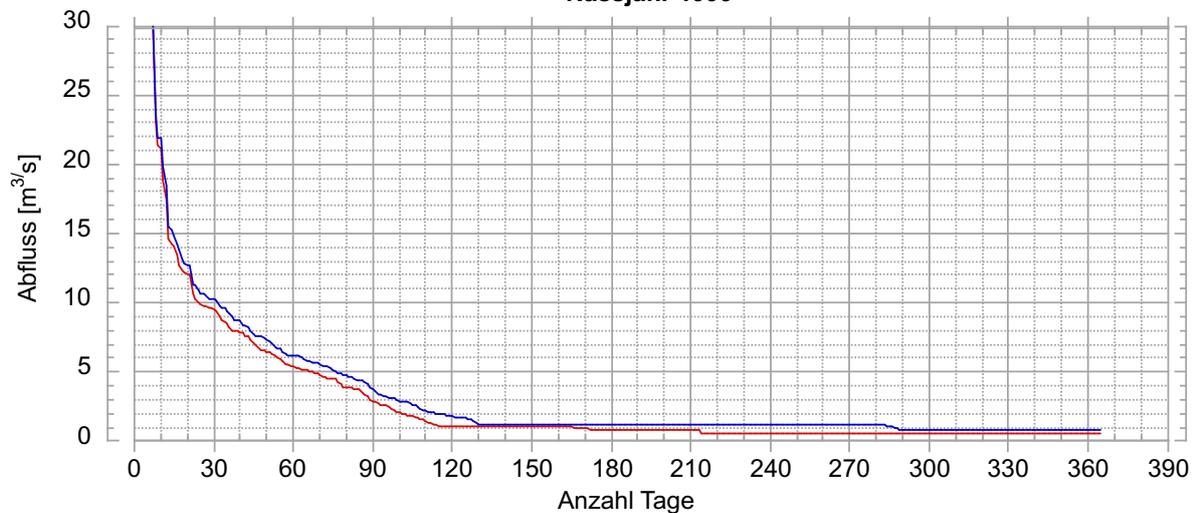


Abbildung 15 Dauerkurven für die Abflüsse in der Restwasserstrecke des KW Waldhalde für je ein Trocken-, Mittel- und Nassjahr. Dargestellt ist der Ist-Zustand (bisheriges Dotierregime Etzelwerk und KWW, rote Linie) und der Projekt-Zustand (neues Dotierregime Etzelwerk und KWW, blaue Linie).

4.2.7 Herleitung der Abflussmenge Q_{347}

Die Abflussmenge Q_{347} entspricht gemäss Art. 4 Bst. h GSchG der Abflussmenge, die gemittelt über zehn Jahre, durchschnittlich während 347 Tagen des Jahres erreicht oder überschritten wird und durch Stauung, Entnahme oder Zuleitung von Wasser nicht wesentlich beeinflusst ist. Messungen im Gewässer sind dabei gegenüber Modellrechnungen zu bevorzugen. Die Datengrundlage bezüglich Hydrologie ist in der Sihl zwar vergleichsweise gut, es liegen jedoch keine Messungen für den Fassungsstandort vor, die nicht durch den Sihlsee beeinflusst sind. Im Bericht Limnex (2019) wurden daher basierend auf den hydrologischen Abklärungen im Rahmen der Neukonzessionierung des Etzelwerks verschiedene approximative Ansätze zur Bestimmung der Abflussmenge Q_{347} angewandt:

Die natürliche Abflussmenge Q_{347} bei der Fassung Hütten wurde im Bericht Limnex (2019) im Sinne einer Auslegeordnung bereits nach verschiedenen Ansätzen bestimmt. Nachfolgend werden die Ergebnisse aus diesen Berechnungen nochmals zusammenfassend aufgeführt.

- **Ansatz 1:** Modellierung des Q_{347} bei der Staumauer Sihlsee mittels GIS-Applikation ModAlp durch das BAFU (ARGE Umwelt Etzelwerk 2021). Dieser Wert wird linear auf das Einzugsgebiet bei der Fassung Hütten extrapoliert.
- **Ansatz 2:** Berechnung anhand des hydrologischen Modells für den heutigen Zustand ohne Sihlsee, Periode 1995-2018 (ARGE Umwelt Etzelwerk 2021, vgl. Kapitel 4.2.3).
- **Ansatz 3:** Berechnung anhand der historischen Abflussdaten 1922 - 1937 (vgl. Kapitel 4.2.2)
- **Ansatz 4:** Proportionale Umrechnung des langjährigen Q_{347} in der Alp bei Einsiedeln (Messstation BAFU, 1995-2018) auf das Einzugsgebiet der Sihl bei der Fassung Hütten.

Das genaue Vorgehen zur Ermittlung dieser Werte ist im Anhang dokumentiert (Kapitel 9.2).

Tabelle 10 Abflussmenge Q_{347} und daraus resultierende Mindestrestwassermenge nach Art. 31 Abs. 1 GSchG für die vier Ansätze.

Ansatz	Abflussmenge Q_{347}	Mindestrestwassermenge Art. 31 Abs. 1 GSchG	Datenquelle
1	1.550 m ³ /s	0.606 m ³ /s	GIS-Modellierung BAFU „ModAlp“
2	1.670 m ³ /s	0.643 m ³ /s	Abflussmodell ARGE Umwelt Etzelwerk (1995-2018)
3	2.080 m ³ /s	0.770 m ³ /s	Historische Daten (1922-1937)
4	2.030 m ³ /s	0.754 m ³ /s	Umrechnung anhand Referenz-Messstation Alp-Einsiedeln (1995-2018)

Gemäss Tabelle 10 resultieren mit den vier Ansätzen Werte für die Abflussmenge Q_{347} zwischen 1.55 und 2.08 m³/s. Wir gehen davon aus, dass Ansatz 3 rein methodisch betrachtet den zuverlässigsten Wert liefert, weil die beiden ehemaligen Messstationen Sihl-Untersiten und Alp-Trachslau, die Ansatz 3 zu Grunde liegen, 73% der Gesamteinzugsgebietsfläche bei der Fassung Hütten abdecken. Mit Ansatz 2 werden 57% der Einzugsgebietsfläche bei Hütten durch Messstationen abgedeckt und bei Ansatz 4 nur 18%. Entsprechend ist bei Ansatz 3 der lineare Umrechnungsfaktor und die damit verbundenen Unsicherheiten am kleinsten.

Problematisch ist bei Ansatz 3 allerdings, dass die Daten über 80 Jahre alt und mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht mehr ganz repräsentativ für die heutige Situation sind. Hierbei ist insbesondere die Zunahme von länger andauernden Trockenphasen im Sommer, wie sie 2003, 2015, 2018 und 2022 aufgetreten sind, von Bedeutung. Gemäss den langfristigen hydrologischen Prognosen für die Schweiz bis 2085 dürfte sich dieser Trend fortsetzen (BAFU 2021). Die WSL-Studie „Wasserbilanz Sihlsee bei Trockenheit“ (Zappa 2019) kommt zum Ergebnis, dass eine Situation wie im Sommer 2018 in Zukunft deutlich häufiger vorkommen wird. Je nach gewähltem Emissionsszenario (CH2018) entspricht dies einem Auftreten einer solchen Trockenphase alle 8 bis 4 Jahre, was zu einer entsprechenden Reduktion des natürlichen Q_{347} führt.

Gesamthaft betrachtet stellt Ansatz 3 Stand heute immer noch die zuverlässigste der vier Varianten dar. Und weil auch beim Etzelwerk die historischen Daten für die Bestimmung des Q_{347} verwendet wurden (ARGE Umwelt Etzelwerk 2021), wird hier zu Gunsten einer maximalen Kohärenz ebenfalls Ansatz 3 als Ausgangswert für die Festlegung der Restwassermenge beim KW Waldhalde verwendet. Mittelfristig wird der Niedrigwasserabfluss Q_{347} mit den historischen Werten aber überschätzt.

Die Abflussmenge Q_{347} beträgt bei der Fassung Hütten 2.08 m³/s. Die Mindestrestwassermenge gemäss Art. 31 Abs. 1 GSchG beträgt damit 0.77 m³/s.

4.2.8.2 Bewertung nach Hydmod-F

Im Rahmen der Restwasseruntersuchungen zum Etzelwerk wurde im Auftrag der SBB eine Studie zur Berechnung des Moduls Hydmod-F durchgeführt (B+S 2021). Dabei wurden die Hochwasserkennwerte sowohl für den heutigen Zustand als auch für mögliche zukünftige Dotierregimes berechnet. Für das Hochwasserregime relevant sind dabei die Teil-Parameter Hochwasserhäufigkeit und Hochwassersaisonalität.

Tabelle 11 führt die Hochwasser-Kennwerte gemäss dem Modul Hydmod-F für den Standort Blattweg auf. Dabei werden die beiden Teil-Aspekte Hochwasserhäufigkeit und Hochwassersaisonalität separat betrachtet.

Die Bewertung der Hochwasserhäufigkeit beruht auf dem mittleren jährlichen Hochwasserabfluss (MHQ) im Referenzzustand (ohne Sihlsee) sowie dem daraus abgeleiteten Hochwasserschwellenwert. Der mittlere jährliche Hochwasserabfluss ist der langjährige Mittelwert der Jahreshochwasserabflüsse, also des jeweils maximalen Abfluss-Tagesmittelwertes, der während eines Kalenderjahres auftritt. Der so ermittelte MHQ beträgt bei der Station Blattweg ungefähr 146 m³/s. Der Hochwasserschwellenwert stellt gemäss Hydmod-F eine Hilfsgrösse dar und bezeichnet die Abfluss-Grössenordnung des Referenzzustands, bei der angenommen wird, dass der Geschiebetrieb und Sohlenumlagerungen auftreten. Er beträgt 60% des MHQ und liegt auf Höhe Blattweg bei etwa 88 m³/s.³ Bezogen auf den unbeeinflussten Zustand bei der Fassung Hütten entspricht dieser Wert etwa einem langjährigen Q₃. Die aus diesen beiden Kennwerten abgeleitete mittlere Hochwasserhäufigkeit ist der langjährige Mittelwert der jährlichen Anzahl unabhängiger Hochwasserereignisse oberhalb dieses Hochwasserschwellenwertes. Sie liegt im betrachteten Abschnitt bei über 2. Der Hochwasserschwellenwert wird demnach mindestens zweimal jährlich erreicht oder überschritten. Die Bewertung nach Hydmod-F entspricht hier der Klasse 2 („wenig verändert“).

Unter Hochwasser-Saisonalität wird das zeitliche Auftreten des jährlich maximalen Tagesabflusses verstanden. Die Saisonalität wird durch zwei Parameter erfasst: das mittlere Auftretensdatum (Erwartungswert des Datums) und die Variabilität des Auftretensdatums. Diese beiden Kennwerte werden als Vektor im Einheitskreis bzw. Saisonalitätskreis dargestellt. Das Auftretensdatum kann anhand der Lage auf dem Einheitskreis bestimmt werden (Winkel). Die Kenngrösse r (Länge des Vektors) kann als Stärke der Saisonalität bzw. zeitliche Variabilität interpretiert werden. Ein Wert von r nahe 1 ist Ausdruck einer starken Saisonalität resp. geringen Variabilität (alle Ereignisse treten an einem ähnlichen Datum auf). Der eigentliche Bewertungsindikator $Dist_{r,b}$ beurteilt die Verschiebung im Saisonalitätsverhalten und entspricht der Distanz der Saisonalitätspunkte (Spitze des Vektors) des Referenz- und beeinflussten Zustands im Saisonalitätskreis (dimensionslose Zahl).

Hinsichtlich der Saisonalität der Hochwasser ergab die Berechnung von Hydmod-F keine signifikante Abweichung vom unbeeinflussten Referenzzustand. Das mittlere Auftretensdatum wird durch den Sihlsee nur wenig verschoben. Der Teil-Parameter Hochwassersaisonalität wurde entsprechend in der ganzen Sihl mit Zustandsklasse 1 („naturnah“) bewertet (B+S 2021).

Wegen der naturnahen Abflussdynamik von Alp und Biber kann die Hochwasserhäufigkeit- und dynamik im Perimeter des KW Waldhalde nach Hydmod-F insgesamt als wenig beeinträchtigt eingestuft werden.

3 Dieser Wert basiert auf theoretischen Annahmen. Er liegt deutlich unter dem von Flussbau AG SAH & Jäckli Geologie AG (2017) ermittelten Wert von 150-200 m³/s für das Aufreissen und Umlagern der Sohle (Kapitel 4.2.8.1). Da Letztgenannter spezifisch für die Sihl ermittelt wurde, ist er deutlich aussagekräftiger als der mit der Methodik Hydmod-F bestimmte Wert.

Tabelle 11 Hochwasserkennwerte für die Sihl bei Blattweg und deren Bewertung nach Hydmod-F. Daten aus Bericht B+S (2021). Erläuterungen zu den Kennwerten siehe Fliesstext.

Hochwasserhäufigkeit	
Mittleres jährliches Hochwasser im Referenzzustand MHQ_r	146 m ³ /s
Hochwasserswellenwert ($Q^* = 0.6 * MHQ_r$)	88 m ³ /s
Mittlere Hochwasserhäufigkeit f_{HQ}	2.12
Klasse	Klasse 2 - wenig verändert
Hochwassersaisonalität	
Mittleres Auftretensdatum natürlich	09.07.
Mittleres Auftretensdatum Restwasser (alle Szenarien)	14.07.
r natürlich	0.51
r Restwasser (alle Szenarien)	0.44
$Dist_{r,b}$	0.08
Klasse	Klasse 1 - naturnah

4.3 Wassertemperatur

4.3.1 Generelle Auswirkungen

Wird einem Fließgewässer Wasser entnommen, ist der folgende Gewässerabschnitt durch reduzierten Abfluss geprägt – er wird zur Restwasserstrecke. Es resultiert ein grösseres Verhältnis der Wasseroberfläche zur Wassermenge sowie eine Verringerung der Wassertiefe, wodurch das verbleibende Wasser im Sommer eine grössere spezifische Wärmemenge aufnimmt und im Winter eine grössere spezifische Wärmemenge an Atmosphäre und Untergrund abgibt (Dübendorfer et al. 2011). Der erstgenannte Effekt mit einer Erwärmung im Sommer dürfte in der Sihl eine deutlich grössere ökologische Bedeutung haben, als die Abkühlung im Winter. Dies auch vor dem Hintergrund der mit dem Klimawandel prognostizierten Zunahme von längeren Trockenphasen in Kombination mit Hitzewellen.

4.3.2 Fallstudie Sihl

Eine Studie u.a. im Auftrag des BAFU untersuchte den Temperaturverlauf in verschiedenen schweizerischen Fließgewässern während einer Hitzeperiode im Hochsommer 2019. Dabei wurde auch die Wassertemperatur im Längsverlauf der Sihl während fünf Tagen im August 2019 zeitlich hochauflösend erfasst (Sieber & Liechti und IUB Engineering 2020). Abbildung 17 zeigt den Temperaturverlauf entlang der Sihl exemplarisch für den 09.08.2019 zwischen 15:00 und 23:00 Uhr. Der Perimeter des KW Waldhalde ist mit einem Pfeil gekennzeichnet. Dargestellt ist der heisseste Tag der 5-tägigen Bemessungsperiode (max. Lufttemperatur ca. 31°C). Die Wassertemperatur oberhalb der Fassung Hütten betrug zur heissesten Tageszeit um 16:00 Uhr 18.9°C. Entlang der rund 4.4 km langen Restwasserstrecke erwärmte sich das Wasser trotz ausgeprägter Beschattung (Ufervegetation, schluchtartiger Flussverlauf) auf maximal 23.6°C ($\Delta T = +4.7^\circ\text{C}$). Nach der Wasserrückgabe kühlte sich die Sihl wieder deutlich ab, auf 19.8°C (Abbildung 18). Der Temperaturanstieg in Fließrichtung war unterhalb der Wasserrückgabe weniger stark ausgeprägt als in der Restwasserstrecke des KW Waldhalde. Er betrug bis zum nächsten Messpunkt (Abschnittslänge 6.4 km, $T = 21.7^\circ\text{C}$) trotz ähnlicher Morphologie und Beschattung nur $\Delta T = +1.9^\circ\text{C}$. Die maximale Erwärmungsrate (ΔT pro Fließkilometer) beträgt im Bemessungszeitfenster daher:

- Sihl, Restwasserstrecke Waldhalde: $\Delta T / \text{km} = 1.1^\circ\text{C}$
- Sihl, unterhalb Rückgabe Waldhalde: $\Delta T / \text{km} = 0.3^\circ\text{C}$

Die durch das Kraftwerk Waldhalde verursachte Netto-Erwärmung beträgt demnach 0.8°C pro Fließkilometer oder 3.5°C auf der gesamten Strecke. Die Wasserausleitung des KW Waldhalde führt in Situationen, wie sie mit dieser Studie beschrieben werden, somit zu einer ausgeprägten, zusätzlichen Erwärmung in der Restwasserstrecke. Die dabei erreichten Werte von über 23°C sind gemäss Literaturangaben für Bachforellen bereits als kritisch einzustufen (Elliot et al. 1995, Küttel et al. 2002). Ab ca. 19°C stellen die Fische die Nahrungsaufnahme ein, leiden Stress und werden anfälliger für Krankheiten. Temperaturen von 25°C sind sowohl für die Äsche als auch die Bachforelle oftmals tödlich (Elber et al. 2019).

Längere Messreihen sowie Daten aus anderen Jahreszeiten liegen für die Restwasserstrecke des KW Waldhalde bislang nicht vor. Daher kann hier nur eine Beurteilung für die kritischsten Phasen im Hochsommer gemacht werden (*worst case*-Betrachtung).

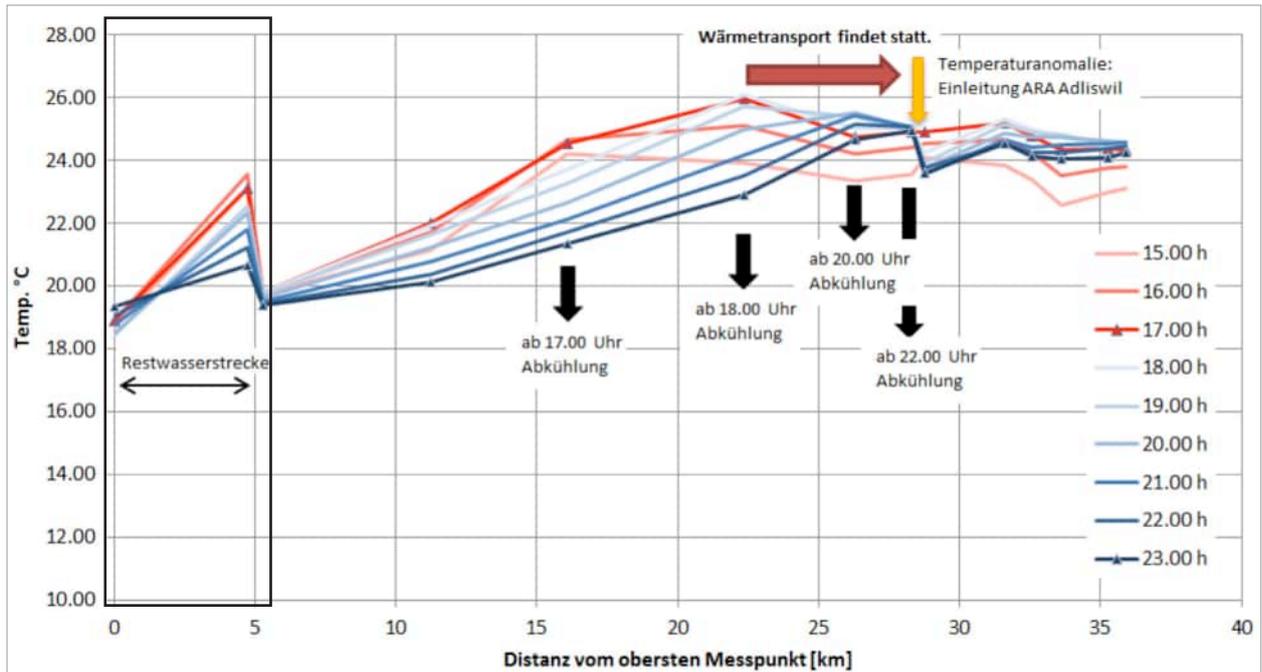


Abbildung 17 Temperatur-Längenprofil der Sihl am 9. August 2019 zwischen 15 und 23 Uhr. Die Erwärmung auf den obersten 5 km ist auf die Restwasserstrecke im Bereich des Kraftwerks Waldhalde zurückzuführen (schwarz umrahmter Bereich). Stunden mit starker Sonneneinstrahlung (Wassererwärmung möglich) sind in rot-Tönen dargestellt, Stunden mit geringer oder ohne Sonneneinstrahlung sind in blau-Tönen dargestellt. Grafik nach Sieber & Liechti und IUB Engineering (2020).

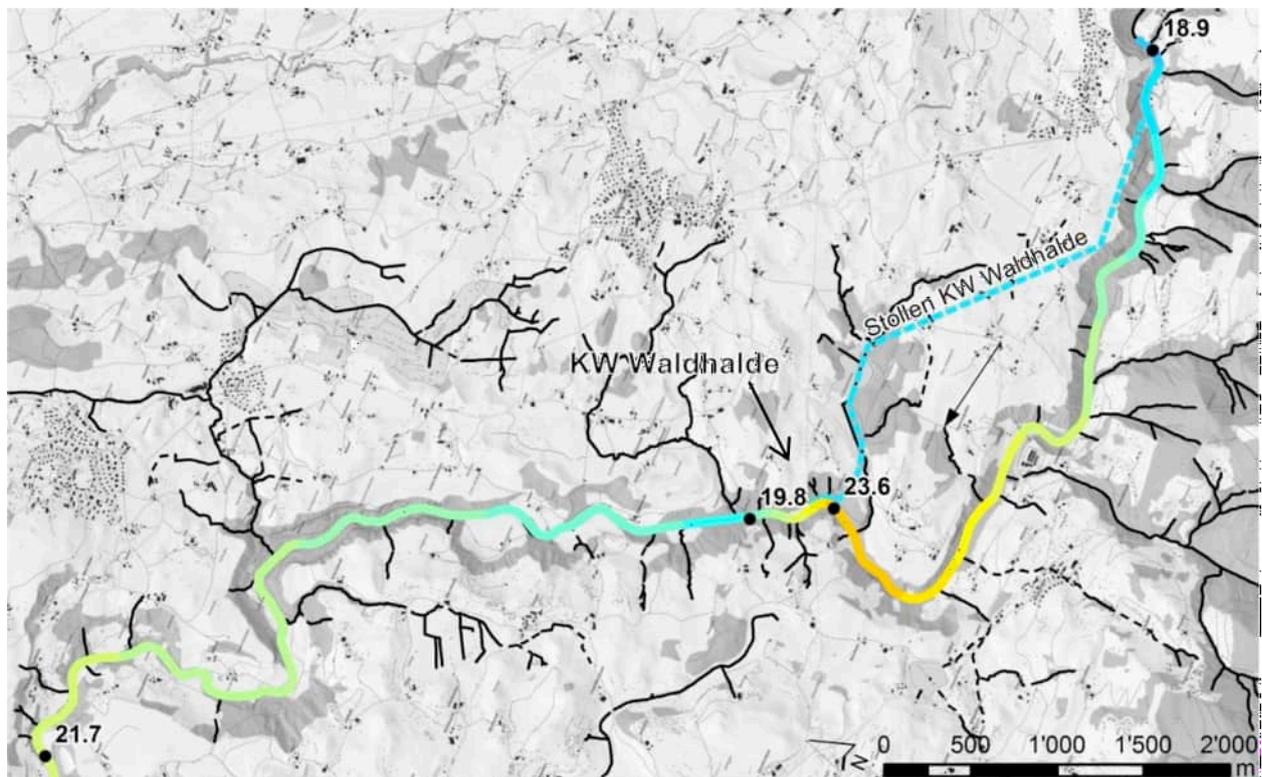


Abbildung 18 Sihl am 9.8.2019 (16:00 Uhr) auf dem oberen Projektabschnitt zwischen Hütten und Hirzel (Temperatur-Angaben in °C). Grafik nach Sieber & Liechti und IUB Engineering (2020).

4.3.3 Einfluss Sihlsee

Die Wassertemperatur in der Restwasserstrecke des KW Waldhalde wird zusätzlich beeinflusst durch die generellen Temperaturentwicklungen des Sihlsees. Diese hängen hauptsächlich mit der heutigen Dotier- vorrichtung bei der Staumauer *In den Schlagen* zusammen. Die Dotierung des Etzelwerks erfolgt direkt aus der Druckleitung. Da das Etzelwerk im Pumpspeicherbetrieb Sihlsee-Zürichsee gefahren wird, stammt das Dotierwasser somit fallweise vom Sihlsee (Turbinierbetrieb) oder vom Zürichsee (Pump- betrieb). Da vom Sihlsee Tiefenwasser (ca. 18 m Tiefe) und vom Zürichsee Oberflächenwasser entnommen wird, kann der Wechsel von Turbinier- zu Pumpbetrieb und umgekehrt zu erheblichen Temperaturschwankungen in der Sihl führen. Insbesondere in den Sommermonaten konnten in der Sihl unterhalb Staumauer Temperaturänderungsraten von 4 - 7° C/h und Maximaltemperaturen von über 25° C gemessen werden (ARGE Umwelt Etzelwerk 2021). Dieses Phänomen ist immer dann sehr ausgeprägt, wenn die Temperaturunterschiede zwischen Oberflächenwasser im Zürichsee und dem Tiefenwasser im Sihlsee besonders gross sind. Da der Pumpbetrieb vor allem Nachts stattfindet, wirkt die Dotierung mit warmem Zürichseewasser (bis 25°C) der natürlichen Abkühlung entgegen und das generelle Temperaturniveau wird angehoben.

4.3.4 Massnahmen

Gemäss Gewässerschutzverordnung (GSchV) Anhang 2, Ziffer 12 «*Zusätzliche Anforderungen an Fliessgewässer*» dürfen die Temperaturverhältnisse des Gewässers nicht derart verändert werden, dass dessen Selbstreinigungsvermögen vermindert wird oder die Wasserqualität für das Gedeihen der für das Gewässer typischen Lebensgemeinschaften nicht mehr genügt⁴. Vor dem Hintergrund der in diesem Kapitel aufgeführten Daten sind in der gesamten Sihl unbedingt Massnahmen zur Verhinderung einer nutzungsbedingten Erwärmung zu treffen. Die SBB plant daher ein neues Dotierkraftwerk an der Staumauer *In den Schlagen*, wobei das Dotierwasser nicht mehr aus der Druckleitung, sondern ausschliesslich vom Grundablasskanal entnommen wird. Auf diese Weise kann konstant Tiefenwasser aus dem Sihlsee mit einer Sommer-Temperatur von 14-17°C dotiert werden (Limnex 2020). Warmes Zürichseewasser gelangt so - wenn überhaupt - nur noch sehr stark verdünnt indirekt via Sihlsee in die Sihl. Es kann daher von einer deutlichen Verbesserung der generellen Temperaturverhältnisse unterhalb des Sihlsees ausgegangen werden.

Beim Kraftwerk Waldhalde ist die wirksamste Massnahme zur Verhinderung einer starken, zusätzlichen Erwärmung in der Restwasserstrecke, wie sie in der Studie von Sieber & Liechti & IUB Engineering (2020) festgestellt wurde, die situative Erhöhung der Dotierung, wie sie mit dem neuen Dotierregime vorgeschlagen wird (Kapitel 2.5). Aufgrund der bereits naturnahen Morphologie und Ufervegetation ist das Potenzial von weiteren Massnahmen, z.B. zur zusätzlichen Beschattung, stark limitiert. Seitens EKZ wird am Ende der Restwasserstrecke eine permanente Temperaturmessstation eingerichtet, die in das Leitsystem eingebunden wird. So kann die Dotierung bei Überschreitung einer gewissen Temperatur abgestuft angehoben werden.

Inwieweit die vom Kanton vorgeschlagene Dotiererhöhung bis maximal 1.6 m³/s ausreicht, um eine signifikante Temperaturreduktion zu erreichen, kann mangels Daten und Erfahrungswerten zum jetzigen Zeitpunkt nicht fundiert beurteilt werden. Dazu wären zwingend zusätzliche Temperaturmessungen während der Sommermonate entlang der gesamten Restwasserstrecke (mehrere Messstellen) erforderlich. Die vorliegenden Daten aus der Studie von Sieber & Liechti /IUB Engineering sind dafür unzureichend.

Die Wirkung der geplanten Dotiererhöhung kann höchstens anhand der bekannten Eckwerte grob abgeschätzt werden. In der Restwasserstrecke des KW Waldhalde wurde bei einem Sockelabfluss von 1 m³/s eine Erwärmungsrate von 1.1 °C/km festgestellt. Im Abschnitt nach der Wasserrückgabe des KW Wald-

4 Die konkreten numerischen Anforderungen der Gewässerschutzverordnung, Anhang 2, Ziffer 12, Abs. 4, wonach die Temperatur eines Fliessgewässers durch Wärmeeintrag oder - entzug gegenüber dem möglichst unbeeinflussten Zustand um höchstens 3 °C, in Gewässerabschnitten der Forellenregion um höchstens 1,5 °C, verändert werden darf, ist gemäss Lundsgaard-Hansen und Murali (2017) für Restwasserstrecken nicht zu beachten. Die Hinweise auf «weitgehende Durchmischung» und andere Formulierungen im entsprechenden Passus lassen darauf schliessen, dass in Absatz 4 nur direkte und punktuelle Einleitungen zu berücksichtigen sind.

halde - der morphologisch ähnlich ist - wurde bei einem Sockelabfluss von 3 m³/s eine Erwärmungsrate 0.3 °C/km gemessen. Unter der Annahme, dass im betrachteten Abflussbereich ein linearer Zusammenhang zwischen der Erwärmungsrate und dem Abfluss besteht, können die Werte zwischen 1 und 3 m³/s interpoliert werden. Mit diesem stark vereinfachten Modell kann die Erwärmung am Ende der 4.4 km langen Restwasserstrecke abgeschätzt werden. Diese Werte gehen aus Tabelle 12 hervor. Beim vorgeschlagenen Abfluss von 1.6 m³/s resultiert mit diesem Ansatz eine Erwärmung von 3.7°C statt bisher 4.7°C. Diese Reduktion um ca. 1°C bringt eine gewisse Verbesserung für die Sihl. Ob damit hinsichtlich Wassertemperatur kritische Situationen verhindert werden können ist jedoch nicht erwiesen.

Mit der im Zusammenhang mit der Erneuerung der Etzelwerkkonzession der SBB beschlossenen Restwasserdotierung aus dem Grundablass des Sihlsees anstelle der bisherigen Dotierung (Tiefenwasser Sihlsee bei Turbinierbetrieb, Oberflächenwasser des Zürichsees bei Pumpbetrieb) wird die Sihl unterhalb des Sihlsees im Sommerhalbjahr zukünftig wesentlich tiefere Wassertemperaturen aufweisen als heute (vgl. Kapitel 4.3.3). Dies wird auch in der Restwasserstrecke des KW Waldhalde zu tieferen Wassertemperaturen führen, als sie heute vorliegen.

Tabelle 12 Grobabschätzung der Erwärmungsraten und der effektiven Erwärmung am Ende der 4.4 km langen Restwasserstrecke anhand der bekannten Eckwerte aus der Studie Sieber & Liechti und IUB Engineering (rot umrahmte Zeilen).

Sockelabfluss [m ³ /s]	Erwärmungsrate [°C / km]	Erwärmung auf 4.4 km langen RW-Strecke [°C]	Differenz zu Ist-Zustand [°C]
1.0	1.1	4.7	-
1.2	1.0	4.4	-0.3
1.4	0.9	4.0	-0.7
1.6	0.8	3.7	-1.0
1.8	0.8	3.3	-1.4
2.0	0.7	3.0	-1.7
3.0	0.3	1.3	-3.4

Für die beantragte Konzessionsdauer von 24 Jahren bis Ende 2047 wurde von EKZ mit den Behörden des Kantons Zug eine Einigung erzielt, dass bei Temperaturen am Ende der Restwasserstrecke von über 20°C maximal 1.6 m³/s abgegeben werden müssen. Die vom Kanton vorgeschlagenen Werte werden daher für den Restwasserbericht als zusätzliche Massnahme zum Schutz der Gewässerorganismen unter Art. 31 Abs. 2 Bst. c GSchG übernommen. Aufgrund der noch offenen Fragen bezüglich Umsetzung und Wirkung des neuen Dotierregimes bei der Fassung Hütten sowie der Wirkung der an der Staumauer Sihlsee getroffenen Massnahmen (Dotierung über Grundablasskanal) lässt sich die Temperaturfrage mit aktuellem Kenntnisstand aber nicht abschliessend beurteilen.

4.4 Fische

4.4.1 Fischarten und deren Verbreitung

Die aktuellsten Daten zum Fischbestand in der Restwasserstrecke des Kraftwerks Waldhalde stammen von einer quantitativen Abfischung vom 15.10.2019 im Gebiet *Unter Sagi* im oberen Teil der Restwasserstrecke⁵. Demnach kommen 7 Fischarten vor, wobei Alet und Bachforelle am häufigsten waren (Tabelle 13). Die Bewertung dieses Sihlabschnitts anhand der gefangenen Fische weist auf ein qualitativ lediglich mässiges Gewässer hin. Dafür verantwortlich sind neben der reduzierten Artenzusammensetzung vor allem die Dominanz des umwelttoleranten Alets und die geringen Dichten der empfindlichen Arten Groppe und Schneider. Hingegen scheint die Naturverlaichung der Bachforelle gut zu funktionieren.

Dieselbe Artenzusammensetzung wurde bereits in einer quantitativen Abfischung vom 15.09.2015 im selben Sihlabschnitt nachgewiesen, jedoch mit anderen Häufigkeiten der vorkommenden Arten (Aqua-Plus 2017). So war damals der Alet nicht die dominante Fischart wie vier Jahre später. Hingegen waren Barben und Elritzen deutlich häufiger. Bei Auf- und Abstiegskontrollen am Wehr des KW Waldhalde 2016 wurde zusätzlich die Regenbogenforelle nachgewiesen.

Die Restwasserstrecke gehört aufgrund des mittleren Gefälles von 1.7 % (Kapitel 4.1) morphologisch zur oberen Forellenregion. Somit wären primär die Fischarten Bachforelle (stationäre Lebensform der Forelle) und Groppe zu erwarten, die typisch für diese Fischregion sind. Da aber weitere Arten vorkommen, muss die Sihlstrecke aufgrund nicht-morphologischer Faktoren einer tieferen Fischregion zugeordnet werden. Derartige Abweichungen sind im Allgemeinen auf eine erhöhte Wassertemperatur zurückzuführen.

Hinsichtlich der temperaturabhängigen Verbreitung der Fischarten wird im Allgemeinen die mittlere Temperatur im wärmsten Monat des Jahres als massgebend betrachtet. Sie beträgt bei der Messstation Blattwag⁶ knapp 17 °C. Aufgrund dieses tiefen Werts wäre eine Einstufung in eine tiefere Fischregion nicht gerechtfertigt. Die heutige Erwärmung entlang der Restwasserstrecke (Kapitel 4.3.2) impliziert aber eine deutlich höhere mittlere Wassertemperatur im wärmsten Monat. Eine Einstufung in die untere Forellenregion macht daher Sinn. Damit lässt sich das Vorkommen der zusätzlich auftretenden Arten erklären.

Für die untere Forellenregion sind neben den vorkommenden Arten zusätzlich das Bachneunauge, die Äsche und der Lachs sowie die Wanderformen der Forelle, See- und Flussforelle, typisch. Das Bachneunauge fehlt in der gesamten Sihl und ist daher für die Restwasserstrecke nicht zu erwarten. Die Ausbreitung der übrigen Arten von der Limmat in die Sihl verhindert derzeit primär die Sihlhözlischwelle. Bis in wenigen Jahren sollen diese und weitere Schwellen für die Fischwanderung saniert sein, so dass eine Ausbreitung der erwähnten Arten in die Sihl einsetzen kann. Der natürliche Felsriegel im Schüepfenloch (unterhalb Sihlbrugg) wird aber die Ausbreitung in die Sihl oberhalb Sihlbrugg für gewisse Fischarten verhindern.

Gemäss dem Wanderfischprogramm des Bundes (Dönni et al. 2017) ist die Sihl inklusive der Restwasserstrecke ein prioritäres Gewässer für den Schutz und die Förderung der heute fehlenden **Äsche**. Sie kommt derzeit oberhalb der Sihlhözlischwelle in Zürich nur dank Besatz vereinzelt vor. Innerhalb der beantragten Konzessionsdauer von 24 Jahren ist diese Art in der Restwasserstrecke kaum zu erwarten, sofern oberhalb Sihlbrugg kein Besatz getätigt wird. Zudem könnte der natürliche Felsriegel im Schüepfenloch (Sihlwald) eine Ausbreitung flussaufwärts verhindern. Die Ausbreitung der **Barbe**, die ebenfalls untypisch für die Forellenregion ist, zeigt aber, dass das Schüepfenloch auch für schwimmschwächere Arten nicht ein absolutes Wanderhindernis darstellt – sofern man davon ausgeht, dass die Barbe natürlicherweise in die Sihl oberhalb Sihlbrugg eingewandert ist.

5 Daten der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität NAWA, Erhebung Fische 2019. Bundesamt für Umwelt. Die nächste Erhebung wird im Herbst 2023 erfolgen.

6 Basis Tagesmittelwerte 2012–2021 des Monats mit der jeweils höchsten mittleren Wassertemperatur.

Auch für die **Nase** ist die Sihl ein prioritäres Wandergewässer, gemäss Bund aber nur von der Sihlmündung bis zum Schüепенloch unterhalb Sihlbrugg. Das Schüепенloch stellt für diese Art vermutlich ein Wanderhindernis dar. Zudem liegt ihr natürliches Verbreitungsgebiet in der Äschenregion (unterhalb Schüепенloch) und nicht in der Forellenregion (oberhalb Schüепенloch). Diese Art ist daher für die Restwasserstrecke nicht zu erwarten.

Der **Lachs** ist historisch nicht belegt. Trotzdem ist die Sihl ein wichtiges Potenzialgewässer im Hinblick auf dessen Wiederansiedlung, da sie ein grosses Habitatpotenzial für die Fortpflanzung aufweist (Dönni et al. 2016b). Für die knapp 30 km von der Sihlmündung entfernt liegende Restwasserstrecke des Kraftwerks Waldhalde ist aber eine Besiedlung durch den Lachs innerhalb der beantragten Konzessionsdauer von 24 Jahren unwahrscheinlich. Die Lachse unterliegen zu vielen anhaltend wirkenden Mortalitätsfaktoren im Atlantik sowie auf ihrer Wanderung zwischen dem Atlantik und den potenziellen Laichgebieten in der Schweiz.

Die Sihl wird für die **Seeforelle** nur im Mündungsbereich als prioritäres Wandergewässer eingestuft. Ob sich diese grosswüchsige Wanderform der Forelle innerhalb der nächsten 24 Jahre in der Restwasserstrecke Waldhalde etablieren kann, ist ebenfalls ungewiss. Seeforellen müssen einen grossen Teil des Lebens in einem See verbringen. In Frage käme hierfür nur der Zürichsee. Seeforellen aus dem Zürichsee müssten somit während der Laichwanderung in die Limmat absteigen und anschliessend in die Sihl aufsteigen. Ein solches Verhalten ist zwar aus der Literatur bekannt (Ferguson et al. 2019), für die Schweiz aber – soweit uns bekannt – bisher für Seeforellen nicht belegt. Der Kanton Zürich setzt aber seit einigen Jahren Seeforellen in die Sihl ein, mit dem Ziel dereinst eine Population aufbauen zu können.

Ein Aufsteigen von **Flussforellen** aus der Limmat in die Sihl ist hingegen wahrscheinlich, da diese grosswüchsige Wanderform der Forelle zum Laichen aus grossen Fliessgewässern in die Zuflüsse aufsteigt. Bereits heute kommen vereinzelt grosse Forellen (> 50 cm) in der Sihl oberhalb Sihlbrugg vor, bei denen es sich um Flussforellen handeln könnte. Generell ist über das Vorkommen von Flussforellen kaum etwas bekannt.

Die zusätzlich im Unterlauf der Sihl vorkommenden Arten **Gründling** und **Trüsche** sind für die Restwasserstrecke Waldhalde eher nicht zu erwarten. Ihr Verbreitungsgebiet liegt primär in der Äschenregion. Grundsätzlich würde das auch für den **Alet** gelten. Alet können sich aber sehr gut an die verschiedensten Umweltbedingungen anpassen. Sie treten denn heute auch in den meisten Fischgewässern auf, in die sie einwandern können.

Tabelle 13 Bekanntes und innerhalb der Konzessionsdauer erwartetes Vorkommen von Fischarten in der Restwasserstrecke gemäss NAWA-Daten des BAFU und AquaPlus (2017).

Fischart	Typisch obere Forellenregion	Typisch untere Forellenregion	Bekanntes Vorkommen	Gefährdung	Priorität
Alet		X	häufig	NG	K
Forelle - Bachforelle	X	X	häufig	4	4
Forelle - Flussforelle	X	X	fehlt	2	1
Barbe		X	mittel	4	4
Elritze		X	häufig	NG	K
Groppe	X	X	mittel	4	4
Schmerle		X	selten	4	3
Schneider		X	selten	3/E	4
Regenbogenforelle			selten	F	K

Gefährdung⁷

0: ausgestorben
 1: vom Aussterben bedroht
 2: stark gefährdet
 3: gefährdet
 4: potenziell gefährdet
 NG: nicht gefährdet
 F: Fremde Art
 E: europäisch geschützt

Priorität⁸

1: sehr hoch
 2: hoch
 3: mittel
 4: mässig
 K: keine Priorität

4.4.2 Zielfischarten

Aus den Ausführungen in Kapitel 4.4.1 geht hervor, dass mit einem Auftreten von grossen Forellen innerhalb der beantragten Konzessionsdauer zu rechnen ist (primär Flussforellen). Als derzeit grosswüchsigste Fischart der Sihl gibt sie die notwendige Mindestwassertiefe für die freie Fischwanderung vor (Art. 31 Abs. 2 Bst. d GSchG).

Hinsichtlich des Aspekts der seltenen Lebensgemeinschaften (Art. 31 Abs. 2 Bst. d GSchG) stehen die gefährdeten Arten (ohne potenziell gefährdete Arten) im Fokus. In erster Linie ist dies die bereits heute vorkommende Kleinfischart Schneider. Da auch mit dem Auftreten der als stark gefährdet eingestuft Flussforelle gerechnet wird, wird auch diese Art speziell betrachtet. Schliesslich wird auch die Barbe als Zielart definiert – analog zum Restwasserbericht Etzelwerk (ARGE Umwelt Etzelwerk 2021). Sollten innerhalb der Konzessionsdauer entgegen den Erwartungen Äschen und Nasen die Restwasserstrecke besiedeln, sind deren Lebensraumansprüche weitgehend über die Zielarten Forelle und Barbe abgedeckt.

4.4.3 Habitatansprüche

Forellen legen ihre Eier in Laichgruben im Kiesbett (Laichzeit November/Dezember). Gute Laichplätze zeichnen sich in erster Linie durch ein geeignetes Substrat der Gewässersohle aus. Die optimale Korngrösse liegt zwischen 2 und 8 cm. Ausreichend hohe Fliessgeschwindigkeiten gewährleisten, dass der Kies des Laichplatzes von Feinstoffen befreit und damit die Sauerstoffversorgung gesichert ist. Die prä-

⁷ Gemäss Verordnung vom 24.11.1993 zum Bundesgesetz über die Fischerei (Stand 1.1.2021)

⁸ BAFU (2019)

ferierten mittleren Fliessgeschwindigkeiten liegen zwischen 0.30 und 0.60 m/s. Bezüglich der Wassertiefe sind Forellen flexibler. Die minimale Wassertiefe ist von der Fischgrösse abhängig. Über den Winter findet die Entwicklung der Eier im Kiesgrund der Bachsohle statt. Die Laichplätze dürfen in dieser Zeit nicht trockenfallen. Zudem benötigen Forellen genügend Deckung als Sicht- und Strömungsschutz während der Ruhephasen zwischen den Laichakten.

Die Forellenlarven halten sich bevorzugt in strömungsarmen Zonen nahe der Uferlinie auf. Juvenilen Forellen bewohnen ein relativ breites Spektrum an Fliessgeschwindigkeiten (bis ca. 0.7 m/s) und Wassertiefen (bis ca. 0.8 m). Um dem Prädationsdruck durch grosse Forellen aber auch anderen Fressfeinden zu entgehen, halten sie sich gerne in Bereichen auf, die für diese nicht erreichbar sind (strukturierte Ufer, seichte Stellen mit Deckung, z. B. grobkörnige Furten). Die adulten Forellen bevorzugen langsam fließende, tiefe Stellen, insbesondere Kolke.

Die **Barbe** laicht bevorzugt auf Kies mit Korngrössen von 1 bis 6 cm (Laichzeit April/Mai). Die klebrigen Eier haften auf und zwischen den Steinen. Die bevorzugten Fliessgeschwindigkeiten liegen im Bereich von 0.2 bis 1.0 m/s, die optimalen Wassertiefen zwischen 0.2 und 0.4 m. Die juvenilen Fische benötigen ufernahe Kiesbänke mit breiten Strömungsgradienten (bis ca. 0.4 m/s), da sie mit zunehmender Grösse höhere Fliessgeschwindigkeiten bevorzugen. Die bevorzugte Wassertiefe liegt bei etwa 0.2–0.5 m. Die Adultfische leben vor allem in stärker durchströmten Bereichen (bis ca. 1.8 m/s) und in Wassertiefen über 0.4 m.

Auch der **Schneider** ist ein Kieslaicher (Laichzeit primär April/Mai, kann aber auch in den Sommer hinein reichen). Er bevorzugt Korngrössen von 2 bis 5 cm und legt die Eier in den Kieslückenraum (Interstitial), wo sie an den Kieseln kleben bleiben. Fliessgeschwindigkeiten bis etwa 0.5 m/s werden angenommen. Hinsichtlich der Wassertiefe sind sie nicht wählerisch. Der entscheidende Faktor für das Aufkommen der Jung- und Adultfische ist eine reich strukturierte Uferlinie mit strömungsberuhigten Zonen nahe der Hauptströmung. Während die Larven flache Uferstellen aufsuchen, halten sich die älteren Fische eher an Standorten mit Tiefen über 0.5 m auf. Zudem müssen am Ufer Spalten- und Lückenräume als Unterstände vorhanden sein, wie sie durch Totholz oder Steinhaufen entstehen. Als Wintereinstand werden Kolke bevorzugt.

4.4.4 Einordnung bezüglich Restwasser

Art. 31 Abs. 2 Bst. c GSchG bezweckt unter anderem den Erhalt der Lebensräume, auf welche die gefährdeten Fischarten angewiesen sind. Dabei geht es um die Lebensräume, die qualitativ und/oder quantitativ von der Restwassermenge abhängen, d. h. primär durch die Strömung und Wassertiefe charakterisiert sind (Estoppey et al. 2000). Dazu gehören die überströmten Kiesbänke, die oft Laichhabitate sind, aber auch die ufernahen Lebensräume, die für alle Arten die Larvalhabitate und oft auch die Jungfischhabitate darstellen.

Aufgrund der Habitatansprüche der Zielarten (Kapitel 4.4.3) lässt sich zusammenfassend festhalten, dass die Mindestrestwassermenge gewährleisten muss, dass die potenziellen Laichhabitate (Kiesbänke) genügend überströmt und die ufernahen Habitate vom Hauptstrom (Talweg) nicht abgekoppelt sind, sondern eine ausreichend grosse Tiefen- und Strömungsvariabilität aufweisen. Inwieweit diese generellen Forderungen erfüllt sind, lässt sich durch Felderhebungen bei verschiedenen Restwasserszenarien oder durch artspezifische Habitatmodellierungen⁹ anhand von hydraulischen 2D-Modellen beurteilen.

Von zwei Abschnitten der Restwasserstrecke (200 bzw. 120 m lang) liegen hochaufgelöste hydraulische 2D-Modelle für Abflüsse von 500 l/s bis 1'300 l/s vor (vgl. Kapitel 4.5)¹⁰. Beide Abschnitte wurden hinsichtlich der freien Fischwanderung ausgewählt. Inwieweit sie repräsentativ für das Habitatangebot sind, ist nicht bekannt. Zudem sind sie hinsichtlich einer Habitatmodellierung nicht ausgewertet. Schliesslich liegen auch keine vergleichbaren Daten zum vorhandenen Substrat vor. Die Datenbasis für eine Habitatmodellierung ist somit unvollständig. Es lässt sich daher nicht abschätzen, wie gross das Habitatangebot bei den vorgeschlagenen Restwasserabflüssen ist. Hinzu kommt, dass ein Abfluss von 1'300 l/s dem natürlichen Abfluss Q_{356} entspricht (Tabelle 5, Kapitel 4.2.3). Ein Vergleich mit Abflüssen im hydrologisch unbeeinflussten Zustand, die während eines grossen Teil des Jahres deutlich höher wären, wäre somit nicht möglich, weshalb ein allfälliger Habitatverlust anhand dieser Daten nicht quantifizierbar ist.

Gemäss Kapitel 4.6 weisen zumindest die beiden Modellstrecken für die vorgeschlagenen Dotierwassermengen von 800 bis 1'200 l/s einen vielfältigen aquatischen Lebensraum auf. Von dieser Vielfalt profitieren generell auch die Fische. Inwieweit diese Abflüsse den geforderten Erhalt der spezifischen Lebensräume für die Zielfischarten gewährleisten, kann ohne weitergehende Untersuchungen nicht beurteilt werden.

Seitens Kanton wurden bislang keine Untersuchungen zu dieser Frage verlangt, weshalb sie nicht Bestandteil des Pflichtenhefts waren.

9 Bei der Habitatmodellierung wird die artspezifische Eignung eines Gewässerabschnitts mittels eines zweidimensionalen Ansatzes bewertet. Er basiert auf einer Verknüpfung von hydraulischen und biologischen Parametern. Mit Hilfe des hydraulischen 2D-Modells werden die Habitatparameter Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe für verschiedene Abflüsse berechnet. Zudem wird die Substratzusammensetzung der Gewässersohle und oft auch das Deckungsangebot kartiert. Die Verknüpfung mit den biologischen Parametern erfolgt über so genannte Eignungskurven. Sie beschreiben mit Hilfe eines Eignungsindex (Wert von 0=ungeeignet bis 1=optimal), wie gut die Ansprüche bezüglich eines einzelnen Habitatparameters erfüllt sind. Aus den Eignungsklassen der drei Parameter (Einzeleignungen) erfolgt durch Aggregation die Bewertung der Gesamteignung.

10 Im Restwasserbericht Etzelwerk wird auf dem etwa 16 Kilometer langen Abschnitt zwischen Alpmündung bis Hirzel (Abschnitt 2) für die Zielarten Forelle und Barbe ein Mindestabfluss von 1'500 l/s ausgewiesen (ARGE Umwelt Etzelwerk 2021). Massgebend für diesen Abfluss ist die Strecke S5 bei Hirzel, für die ebenfalls ein numerisches 2D-Modell vorliegt. Der Modellabschnitt liegt in einer Rechtskurve und wird als Furt-Kolk-Strecke charakterisiert. Die morphologische Situation in den beiden Abschnitten in der Restwasserstrecke des KW Waldhalde (keine typischen Furt-Kolk-Sequenzen) lässt sich daher nicht direkt vergleichen.

4.5 Freie Fischwanderung

4.5.1 Wanderzeiten

Sämtliche Fischarten unternehmen kürzere oder längere Wanderungen, um unterschiedliche Habitat aufzusuchen. Dieser Habitatwechsel kann saisonal oder aber auch täglich stattfinden. Am bekanntesten ist die Laichwanderung, die bei den Zielarten Forelle und Barbe über mehrere Kilometer hinweg stattfinden kann. Daneben gibt es beispielsweise auch die Wanderung von und zu den Wintereinständen oder das Aufsuchen von Unterständen, z. B. bei Hochwasser.

Die Zeit der Laichwanderung der Forellen erstreckt sich in der Sihl über die Monate Oktober bis Dezember, diejenige der Barbe von April-Juni (Abbildung 19). Auch Schneider unternehmen Laichwanderungen, wenn auch deutlich kürzere als Barben und Forellen (Herrmann et al. 2004). Die Wanderzeiten für den Schneider wurden aufgrund der Wassertemperatur in der Sihl (Messstation Blattweg) eingeschätzt. Die minimale Wassertemperatur für das Laichen liegt bei ca. 14 °C (Breitenstein & Kirchhofer 2010). Die Laichzeit kann sich über mehrere Wochen hinziehen.

Zielart		Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.
Forelle	Laichwanderung aufwärts												
	Laichzeit												
	Laichwanderung abwärts												
Barbe	Laichwanderung aufwärts												
	Laichzeit												
	Laichwanderung abwärts												
Schneider	Laichwanderung aufwärts												
	Laichzeit												
	Laichwanderung abwärts												

Abbildung 19 Ungefähre Hauptperioden der Laichwanderung und Laichzeit der Zielfischarten in der Sihl (Daten zu Forelle und Barbe: ARGE Umwelt Etzelwerk 2021, Daten zum Schneider: Abschätzung aufgrund der Wassertemperatur).

4.5.2 Referenzlänge und Mindestwassertiefe

Als Zielart für die freie Fischwanderung wurde analog zum Restwasserbericht Etzelwerk (ARGE Umwelt Etzelwerk 2021) die Forelle gewählt. Hinsichtlich der Fischlänge ist nicht die Maximallänge relevant, sondern die Länge, die ca. 80 % der Fische erreichen (Dönni et al. 2016a). Gemäss Restwasserbericht Etzelwerk wurden bei Bestandeskontrollen bisher selten Forellen von mehr als 50 cm Länge gefangen. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Kontrollabschnitte in der Regel keine tiefen Kolke umfassen, weil sie mittels Elektrofänger nicht bzw. nicht effizient befischt werden können. Die grossen Forellen halten sich aber in den tiefen Kolken auf. Bei Fischaufstiegszählungen beim Kraftwerk Schifflibühl wurden ebenfalls Forellen bis lediglich ca. 50 cm gefangen. Forellen mit einer Länge von 50–70 cm werden aber in der Sihl bis hinauf zum Sihlsee regelmässig durch Angelfischer gemeldet. Diese Angaben lassen sich allerdings nur in wenigen Fällen belegen (ARGE Umwelt Etzelwerk 2021). Aufgrund dieser verschiedenen Informationen kamen die Fischereifachstellen beim Restwasserbericht Etzelwerk zum Schluss, dass es angemessen ist, die Referenzlänge auf 50 cm festzulegen. Die „Referenzlänge“ für Forellen wurde für die Restwasserstrecke des KW Waldhalde daher seitens Kanton Zug ebenfalls auf 50 cm festgelegt. Ausgehend von dieser Referenzlänge wird die Körperhöhe und damit die Mindestwassertiefe abgeleitet.

Gemäss Tabelle 14 gelten analog zum Restwasserbericht Etzelwerk die folgenden Anforderungen:

- Es gilt eine generelle Mindestwassertiefe von 27 cm
- Untiefen dürfen über eine maximale Länge von 25 m eine minimale Wassertiefe von 22 cm aufweisen (50 x RL).
- Eine Unterschreitung der Mindestwassertiefe für Untiefen ist nur in Einzelfällen und nur auf einer Strecke von maximal 1 Meter pro Unterschreitung erlaubt (HZP 2020).

Tabelle 14 Herleitung der Mindestwassertiefen für die Zielfischart Forelle basierend auf den Empfehlungen des Bundes (Dönni et al. 2016a): KH_{rel} = relative Körperhöhe (= Körperhöhe/Totallänge; nach Ebel 2013), RL = Referenzlänge, KH = Körperhöhe. Alle Daten in der Tabelle stammen aus dem Bericht Fischwerk (2019).

Biometrische Angaben			Mindestwassertiefen [m]		
KH_{rel}	RL [cm]	KH [cm]	generell	Untiefe	max. Länge Untiefe
0.22	50	10.8	0.27	0.22	25

4.5.3 Numerisches 2D-Modell Hunziker, Zarn & Partner

Zur Ermittlung der Mindestrestwassermengen, bei denen die oben aufgeführten Kriterien für die freie Fischwanderung erfüllt sind, wurde von der Firma Hunziker, Zarn und Partner (HZP) ein numerisches 2D-Modell für zwei Abschnitte in der Restwasserstrecke erstellt und die Strömungen- und Wassertiefen bei verschiedenen Abflüssen simuliert (HZP 2020). Für jeden Abfluss konnten so die Wassertiefen entlang des Talwegs berechnet und nach obigem Schema bewertet werden.

Die Lage der beiden Modellstrecken geht aus Abbildung 20 hervor. Im Abschnitt A fliesst das Wasser grossflächig verteilt über eine grosse Breite ab. In Abschnitt B wird der Abfluss durch eine Insel auf zwei Arme aufgeteilt. Diese beiden Abschnitte sind in Bezug auf die vorhandenen Fliesstiefen am kritischsten. Sie wurden anlässlich einer Begehung mit Vertretern der EKZ und des Kantons Zug am 9.4.2019 festgelegt (Fischwerk 2019).

Die 2D-Modellierung basiert auf Drohnenbefliegung der Abschnitte sowie auf terrestrischer Vermessung mittels Tachymeter im benetzten Gerinne. Das detaillierte Vorgehen bei der Vermessung, Modellierung und Kalibrierung ist im Bericht HZP (2020) aufgeführt. Insgesamt wurden sieben verschiedene Abflüsse simuliert:

- 500 l/s
- 800 l/s
- 900 l/s
- 1'000 l/s
- 1'100 l/s
- 1'200 l/s
- 1'300 l/s

4.5.4 Ergebnisse Fischwanderung

Die aus der Modellierung von HZP resultierenden Wander-Pfade zeigen die bestmöglichen Schwimm-Routen in Bezug auf die Kriterien der freien Fischwanderung. In Abschnitt A sind mehrere Pfade mit vergleichbaren Wassertiefen erkennbar. Für die Auswertung wurden im Abschnitt A zwei Pfade und im Abschnitt B ein Pfad berücksichtigt.

Abbildung 21 zeigt die Wander-Pfade bei einem Abfluss von 1'000 l/s für die beiden Abschnitte. Die simulierten Wassertiefen wurden anhand der Kriterien der Mindestwassertiefen kategorisiert und farblich dargestellt.

In Abbildung 22 und Abbildung 24 werden die Wassertiefen entlang dieser Wander-Pfade beim Abfluss von 1'000 l/s gezeigt. Abbildung 23 und Abbildung 25 zeigen die mittlere Tiefe und die Länge von Untiefen (< 27 cm) und Einzelfällen (< 22 cm). Die roten Linien markieren dabei die Anforderungen gemäss den oben definierten Kriterien.

In Tabelle 15 sind die Kennwerte für die Unterschreitungen der generellen Mindestwassertiefe von 27 cm und der Mindestwassertiefe für Untiefen von 22 cm entlang der tiefsten Pfade in Abschnitt A und B bei allen modellierten Abflüssen zusammenfassend aufgetragen.

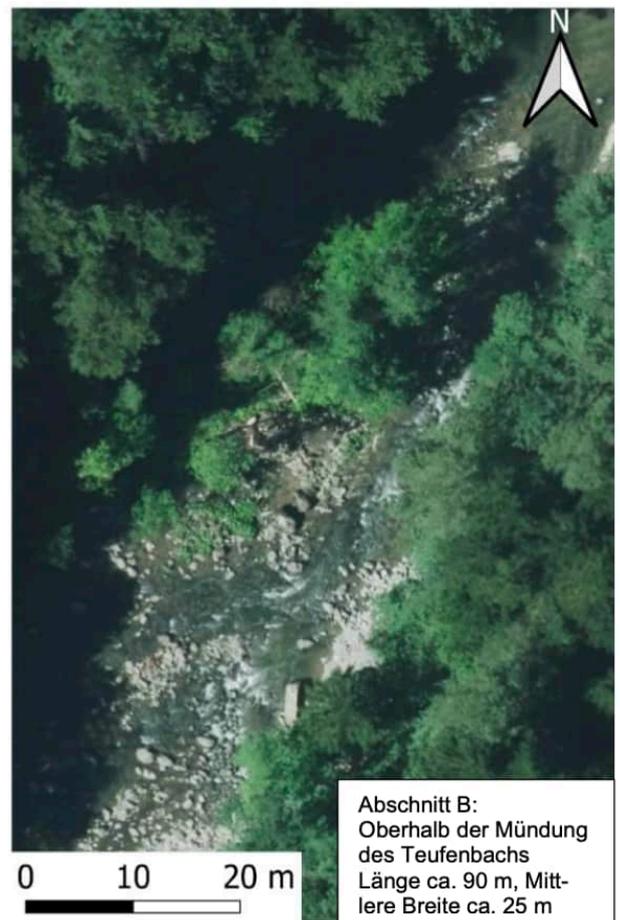
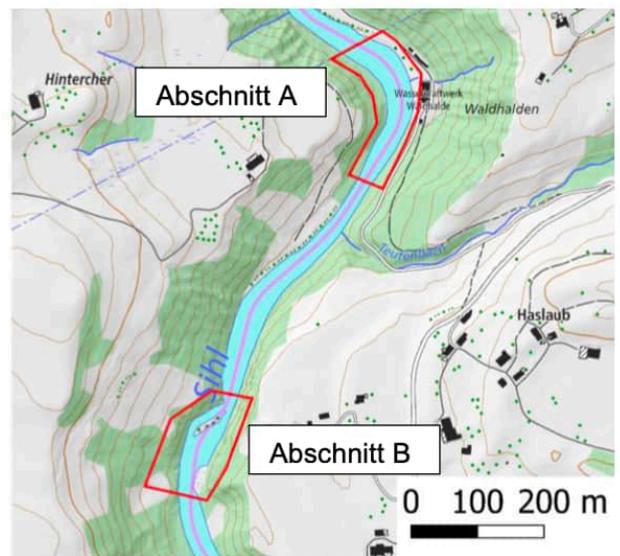


Abbildung 20 Modellstrecken in der Restwasserstrecke des KW Waldhalde (Abbildung aus Bericht HZP 2020).

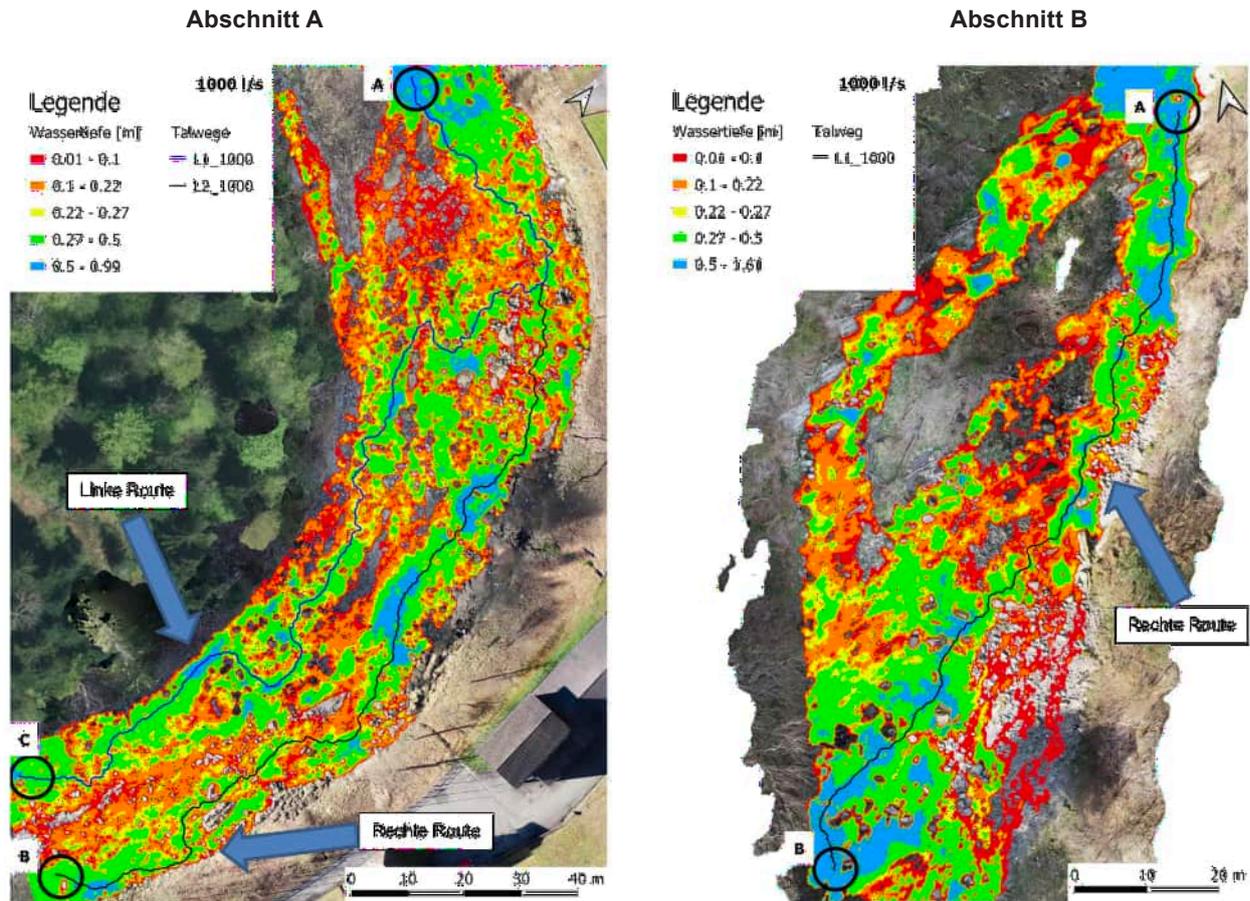


Abbildung 21 Simulierte Wassertiefen und Darstellung der Pfade für einen Abfluss von 1'000 l/s in Abschnitt A (links) und Abschnitt B (rechts). Abbildung aus Bericht HZP (2020).

Die Ergebnisse von HZP (2020) zeigen, dass die Anforderungen an die freie Fischwanderung für Forellen mit einer Referenzlänge von 50 cm in Abschnitt A bei einem Abfluss von 1'000 l/s erfüllt sind. Dort bietet der linke Pfad etwas bessere Bedingungen als der rechte Pfad. Entlang des linken Pfads sind ab 1'000 l/s die oben aufgeführten Anforderungen vollständig erfüllt. Im Abschnitt B muss gemäss Bericht HZP dagegen unterschieden werden zwischen dem 80 cm hohen Absturz mit über 20 % Gefälle (vgl. Abbildung 26) und dem sonstigen, angrenzenden Strömungsfeld. Mit Ausnahme des Absturzbereichs sind im Abschnitt B bereits ab 500 l/s die Anforderungen eingehalten. Beim steilen Absturz stellen sich hingegen hohe Fliessgeschwindigkeiten und niedrige Fliesstiefen ein. Bei Abflüssen im Bereich 1200 - 1300 l/s nähern sich die Werte dem angestrebten Soll-Bereich an, die Kriterien werden aber erst bei Abflüssen deutlich über 1'300 l/s vollumfänglich erreicht. Für diesen Abflussbereich liegen aber keine Modelldaten vor.

Im Zuge der Diskussionen mit den kantonalen Fachstellen wurde die Beurteilung von HZP, wonach ein Abfluss von 1'000 l/s für die freie Fischwanderung ausreichend sei, gestützt. Der Absturz in Abschnitt B wird als natürliches Wanderhindernis betrachtet und die vorhandenen Unterschreitungen der Mindesttiefe im Nahbereich des Absturzes werden toleriert.

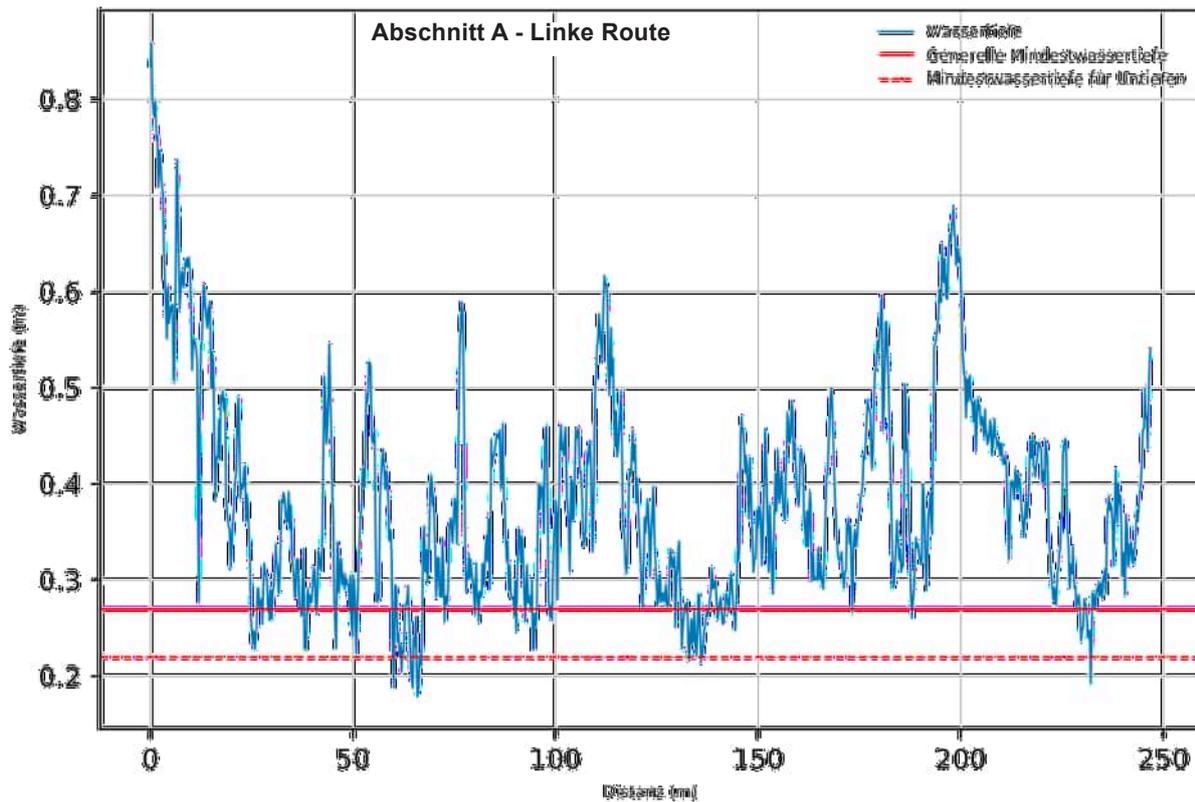


Abbildung 22 Fliesstiefen entlang der linken Wanderroute für 1'000 l/s im Abschnitt A (Abbildung verändert nach HZP 2020).

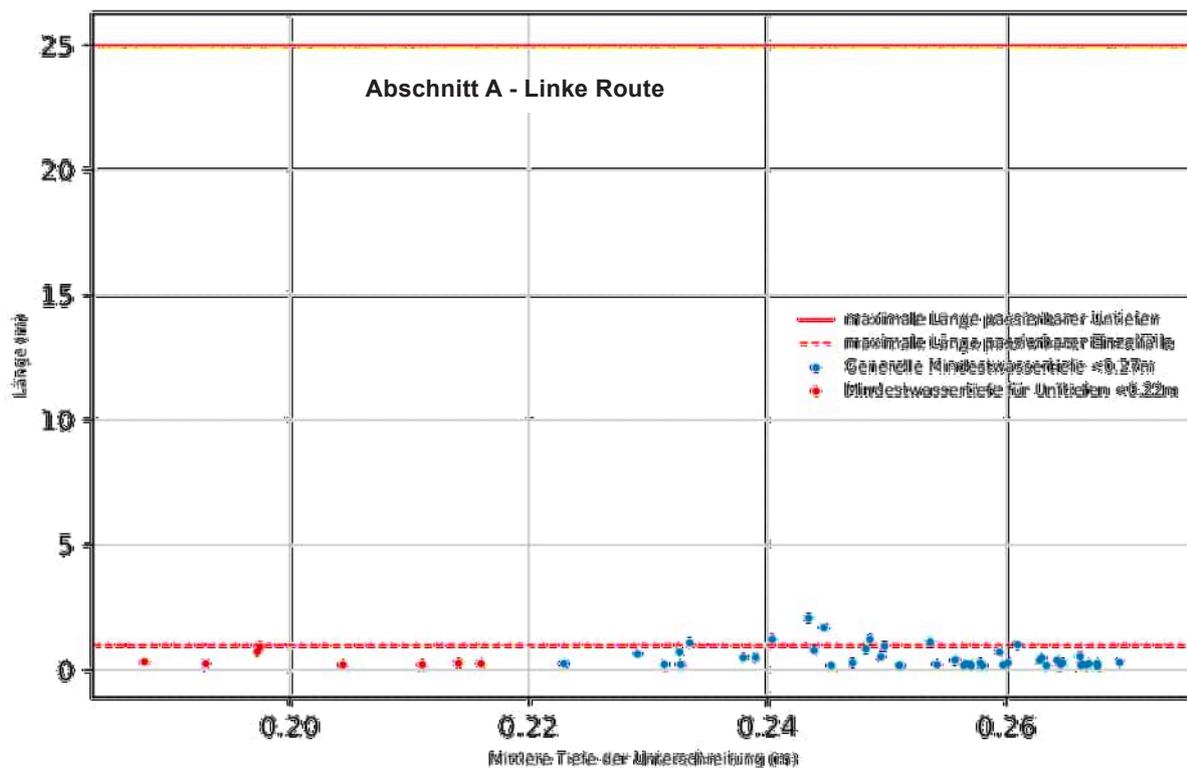


Abbildung 23 Länge der Unterschreitungen der generellen Mindestwassertiefe ($< 27\text{ cm}$) und der Mindestwassertiefe für Untiefen ($< 22\text{ cm}$) entlang der linken Route bei einem Abfluss von 1'000 l/s in Abschnitt A. Lesehilfe: Damit die Anforderungen an die Fischwanderung erfüllt sind, müssen die blauen Punkte unter der durchgezogenen roten Linie liegen und die roten Punkte unter der rot gestrichelten Linie (Abbildung verändert nach HZP 2020).

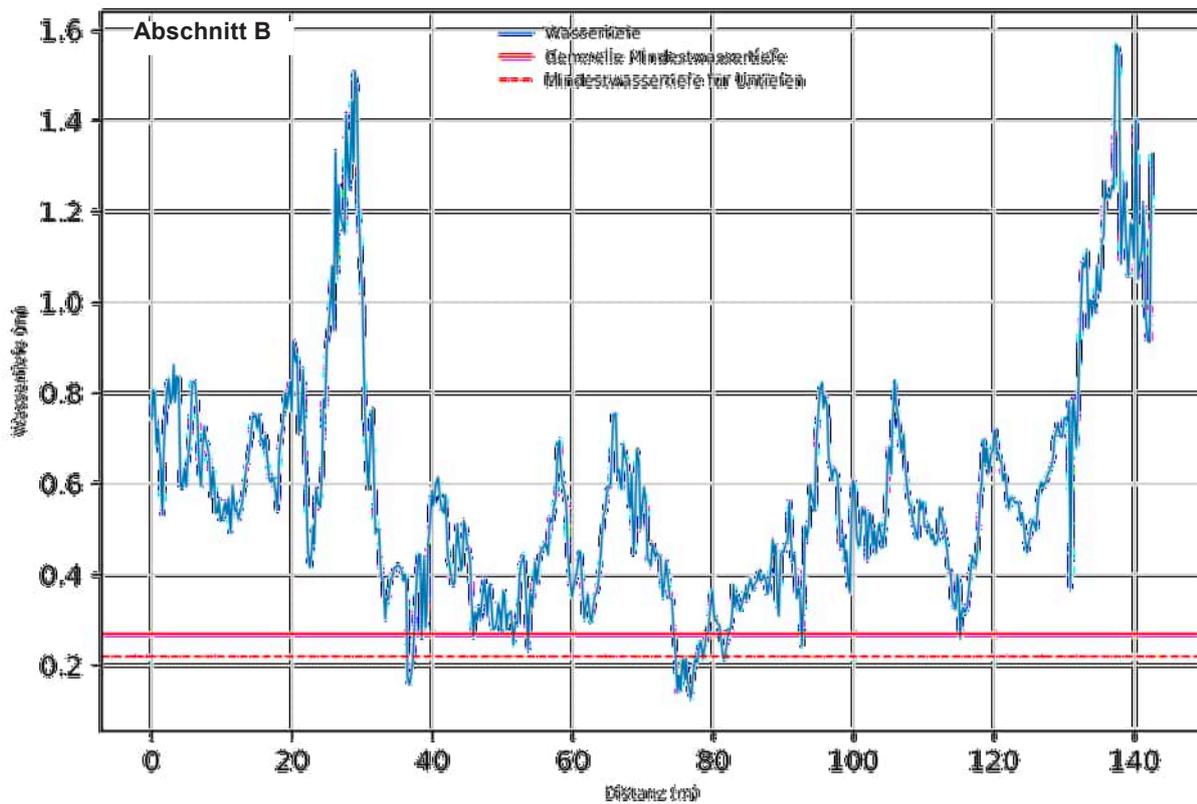


Abbildung 24 Fließtiefen entlang der rechten Wanderroute für 1'000 l/s im Abschnitt B (Abbildung verändert nach HZP 2020).

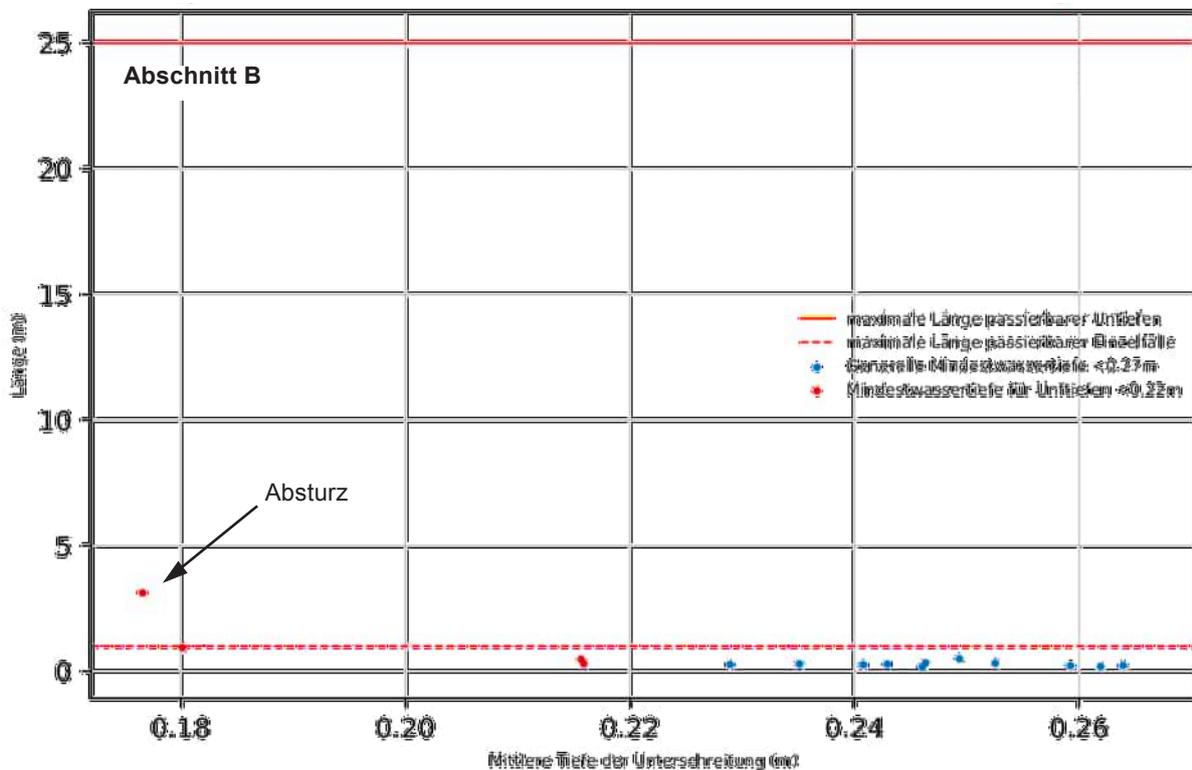


Abbildung 25 Länge der Unterschreitungen der generellen Mindestwassertiefe ($< 27\text{ cm}$) und der Mindestwassertiefe für Untiefen ($< 22\text{ cm}$) entlang der rechten Route bei einem Abfluss von 1'000 l/s in Abschnitt B. Lesehilfe: Damit die Anforderungen an die Fischwanderung erfüllt sind, müssen die blauen Punkte unter der durchgezogenen roten Linie liegen und die roten Punkte unter der rot gestrichelten Linie (Abbildung verändert nach HZP 2020).

Tabelle 15 Kennwerte für die Unterschreitungen der generellen Mindestwassertiefe von 27 cm und der Mindestwassertiefe für Untiefen von 22 cm entlang der tiefsten Pfade in den Abschnitten A und B bei verschiedenen Abflüssen (Daten aus Bericht HZP 2020).

Abschnitt	Abfluss [l/s]	Gesamtlänge des Talweges [m]	Unterschreitungen von 27 cm Wassertiefe [m]			Unterschreitungen von 22 cm Wassertiefe [m]		
			Summierte Länge [m]	Anteil Talweg [%]	Grösste Länge [m]	Summierte Länge [m]	Anteil Talweg [%]	Grösste Länge [m]
Abschnitt A Linke Route	500	256	50.5	19.7	2.2	29.3	11.4	3.6
	800	241	32.5	13.5	1.9	7.1	2.9	1.3
	900	244	25.8	10.6	1.7	5.9	2.4	1.2
	1'000	247	23.8	9.6	2.0	3.2	1.3	0.9
	1'100	231	17.3	7.5	2.5	2.3	1.0	0.8
	1'200	222	11.8	5.3	1.7	1.4	0.6	0.5
	1'300	220	11.2	5.1	1.2	0.6	0.3	0.5
Abschnitt A Rechte Route	500	256	44.4	17.3	2.5	25.6	10.0	4.0
	800	246	26.8	10.9	1.9	10.4	4.2	2.8
	900	244	22.3	9.1	1.7	6.7	2.7	2.5
	1'000	239	16.9	7.1	1.4	4.8	2.0	1.3
	1'100	241	16.8	7.0	1.2	4.0	1.7	1.2
	1'200	238	9.1	3.8	1.1	3.3	1.4	1.2
	1'300	235	7.6	3.2	0.9	2.8	1.2	1.1
Abschnitt B (mit Absturz)	500	148	5.5	3.7	0.8	7.3	4.9	4.1
	800	145	4.5	3.1	0.7	5.7	3.9	3.6
	900	144	3.4	2.4	0.7	5.1	3.5	3.3
	1'000	143	3.1	2.2	0.6	4.8	3.4	3.0
	1'100	142	3.9	2.7	1.1	3.9	2.7	1.5
	1'200	142	3.9	2.7	1.0	3.3	2.3	1.2
	1'300	141	3.7	2.6	1.0	3.1	2.2	1.1

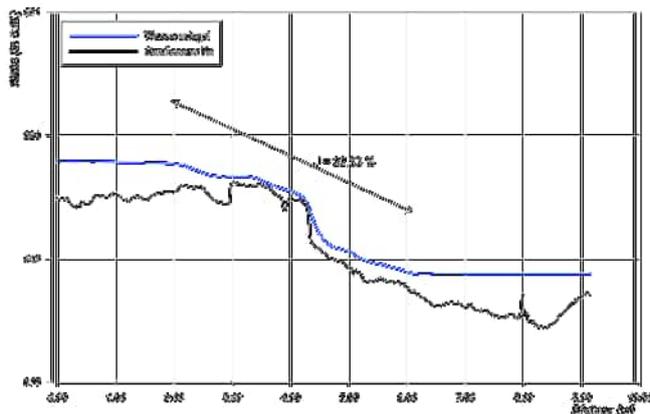


Abbildung 26 Längsprofil (links) und Luftbild (rechts) des rund 80 cm hohen Absturzes in Abschnitt B, bei welchem die Mindestwassertiefen nicht erfüllt werden (Abbildungen aus Bericht HZP 2020).

4.5.5 Vergleich der Resultate mit Restwasserbericht Etzelwerk

Im Restwasserbericht Etzelwerk wird auf dem etwa 16 Kilometer langen Abschnitt zwischen Alpmündung bis Hirzel (Abschnitt 2) für die freie Fischwanderung ein Mindestabfluss von 1'500 l/s ausgewiesen (ARGE Umwelt Etzelwerk 2021). Massgebend für diesen Abfluss ist die Strecke S5 bei Hirzel, für die ebenfalls ein numerisches 2D-Modell vorliegt. Der Modellabschnitt liegt in einer Rechtskurve und wird als Furt-Kolk-Strecke charakterisiert. Abstürze sind keine vorhanden. Die kritischen Stellen bezüglich Wandertiefen liegen in diesem Abschnitt erwartungsgemäss in den Furten. Die Anforderungen an die freie Fischwanderung werden dort erst bei einem Abfluss von 1'500 l/s erfüllt.

Die morphologische Situation und die Strukturen von Abschnitt S5 Hirzel und den beiden Abschnitten in der Restwasserstrecke des KW Waldhalde lassen sich aber nicht direkt miteinander vergleichen. Die Restwasserstrecke des KW Waldhalde ist anders strukturiert, hier sind zur Zielerreichung etwas tiefere Abflüsse erforderlich als in der Furt-Kolk-Sequenz in Abschnitt S5. Die Diskrepanz in den Mindestwassermengen für die freie Fischwanderung hat somit hauptsächlich morphologische Gründe. Zudem werden die Unterschreitungen der Mindestwassertiefen im Bereich des Absturzes toleriert.

4.5.6 Einordnung bezüglich Restwasser

Gemäss den Modell-Ergebnissen Modellierung von HZP und dem bereits getroffenen Vorentscheid des Kantons werden die Anforderungen an die freie Fischwanderung bei einem Abfluss von 1'000 l/s als erfüllt betrachtet. Unter der Bestimmung Art. 31 Abs. 2 Bst. d (freie Fischwanderung) wird für den Restwasserbericht ein Abfluss von 1'000 l/s eingesetzt. Von Dezember bis März kann dieser Abfluss aber gemäss dem in Zusammenarbeit mit den Fischerei- und Gewässerschutzfachstellen der Kantone Zug und Zürich vorgeschlagenen Restwasserregelung unterschritten werden (Kapitel 2.5), da in diesen Monaten natürlicherweise nur wenig Wanderaktivität stattfindet, was auch weitgehend für die Zielarten zutrifft (Abbildung 19). In den vier Monaten wird der Abfluss deshalb auf das Minimum gemäss Art. 31 Abs. 1 GSchG von rund 800 l/s reduziert. Typischerweise zeigen aber die Forellen im Winter eine gewisse Wanderaktivität, insbesondere die Rückwanderung von den Laichplätzen ist wichtig, da Forellen im Gegensatz zum Lachs oft mehrmals laichen. Die Abflussreduktion im Winter führt in Abschnitt A (Linke Route) an einer Stelle zu einer leichten Einschränkung der Durchgängigkeit (Untiefe auf einer Länge von 1.3 m, vgl. Tabelle 15). In Abschnitt B sind - mit Ausnahme des Absturzes - auch beim reduzierten Abfluss die Anforderungen an die Durchgängigkeit erfüllt. Da es sich um kritische Abschnitte bezüglich Fischwanderung handelt, besteht mit einer Reduktion der Mindestrestwassermenge im Dezember auf 800 l/s nur lokal eine gewisse Einschränkung der Forellenwanderung flussabwärts.

4.6 Aquatische Lebensräume

4.6.1 Auswertung Daten 2D-Modell

Die abflussabhängige Veränderung der aquatischen Lebensräume kann durch statistische Auswertung der Daten aus der 2D-Modellierung für die beiden Standorte A und B aufgezeigt werden (vgl. Kapitel 4.5). Im Vordergrund stehen hierbei die Parameter Benetzung, Fließgeschwindigkeit und Fliesstiefe. Für den Bereich der modellierten Abflüsse von 0.5 bis 1.3 m³/s können so die Verhältnisse an zwei morphologisch unterschiedlichen Abschnitten beschrieben werden.

4.6.2 Benetzung

Die benetzte Fläche ist ein Indikator für die Grösse des aquatischen Lebensraumes. In Abbildung 27 wird die Benetzung in Abhängigkeit des Abflusses in den beiden Modell-Abschnitten A und B dargestellt. In beiden Abschnitten verläuft die Benetzungskurve sehr ähnlich und flacht mit zunehmendem Abfluss tendenziell ab. Der grösste relative Benetzungszuwachs tritt in beiden Abschnitten zwischen 500 und 900 l/s auf. Abschnitt A ist breiter als Abschnitt B, entsprechend ist hier die gesamte benetzte Fläche auch deutlich grösser. Eine vollständige Benetzung der Sohle mit Überspülung der Kiesbänke tritt erst im Hochwasserbereich auf. Das zeigen beispielsweise die Fotos in Abschnitt A bei einem Abfluss von ca. 10 m³/s, die im Rahmen der Landschaftsbewertung aufgenommen wurden (Stelle L3, Kapitel 4.11).

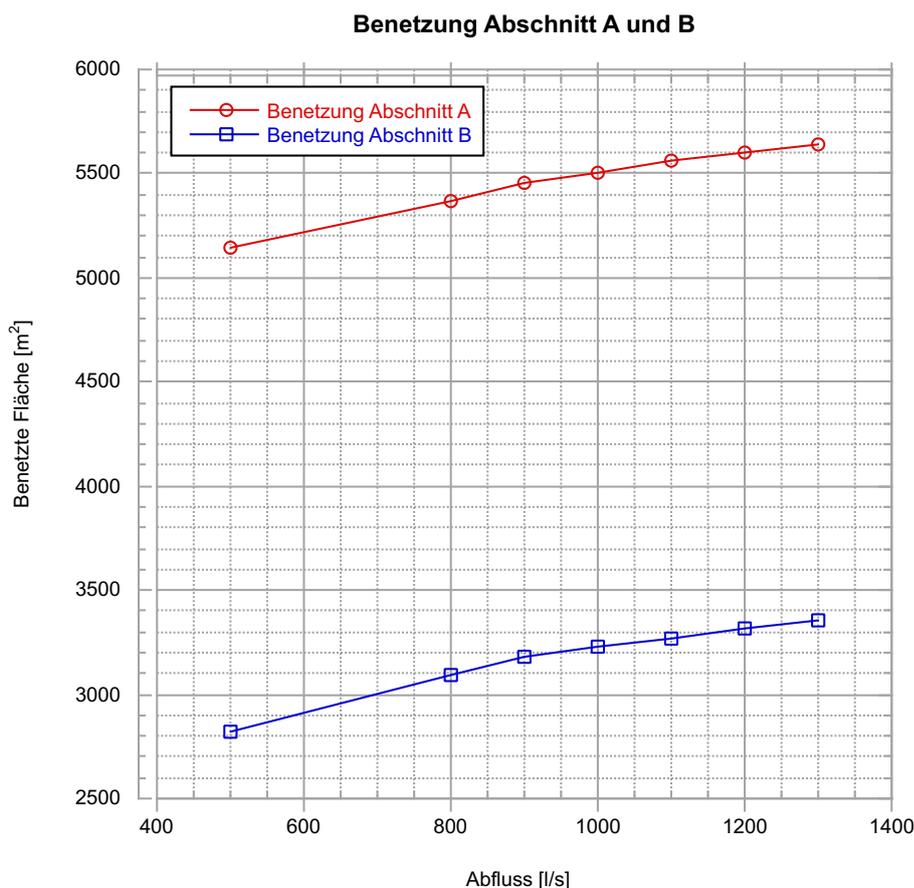


Abbildung 27 Benetzte Fläche von Abschnitt A und B in Abhängigkeit des Abflusses (Daten: 2D-Modell HZP 2020).

4.6.3 Fließgeschwindigkeit

Die Summenhäufigkeitskurven in Abbildung 28 und Abbildung 29 zeigen die Verteilung der tiefengemittelten Fließgeschwindigkeit in Abschnitt A und B in Abhängigkeit des Abflusses zwischen 500 und 1'300 l/s, was einem Niedrigwasser entspricht. In beiden Abschnitten dominieren in diesem Abflussbereich sehr langsame Fließgeschwindigkeiten und nur ganz lokal sind höhere Strömungen vorhanden (Schnelle, Abstürze). Abschnitt B ist schmaler als Abschnitt A und weist höhere Fließgeschwindigkeiten auf. In beiden Abschnitten ist im Bereich von 500 bis 800 l/s eine mässige Zunahme der Strömung zu erkennen. Bei Abflüssen grösser 800 l/s ist die Strömungszunahme nur sehr schwach ausgeprägt. Dieses Strömungsmuster hängt mit der Morphologie und dem geringen Gefälle der Sihl in der Restwasserstrecke des KW Waldhalde zusammen. Wie in Kapitel 4.1 beschrieben, weist die Sihl eine sehr grobe Sohle auf, die durch Residualblöcke stark strukturiert ist. Dadurch entstehen grossflächige Hinterwasser und strömungsberuhigte Zonen, die punktuell durch schneller strömende Areale unterbrochen werden. Aus diesem Grund reagiert die Fließgeschwindigkeit nicht sehr sensitiv auf eine Abflusszunahme. Es sind deutlich grössere Abflüsse notwendig als hier dargestellt sind, um das generelle Strömungsbild signifikant zu verändern.

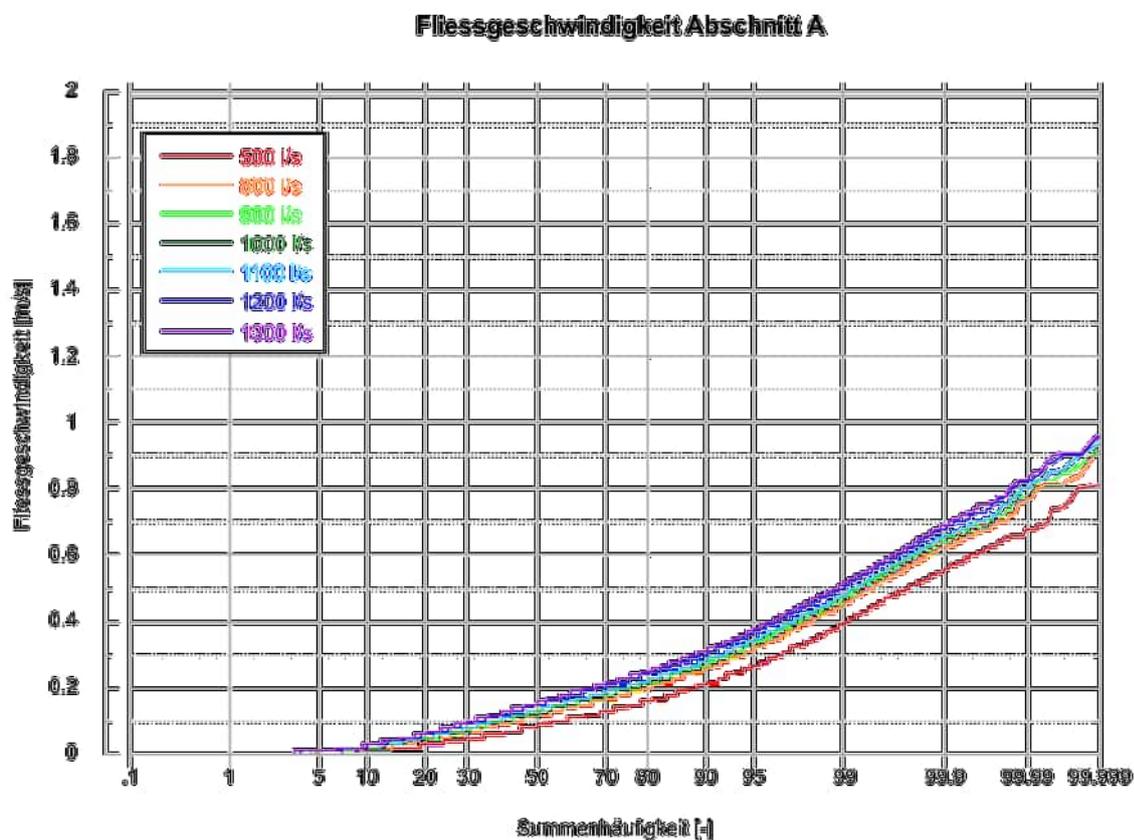


Abbildung 28 Summenhäufigkeitsdiagramm für die tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit in Abschnitt A bei den modellierten Abflüssen von 500 bis 1'300 l/s (Daten: 2D-Modell HZP 2020).

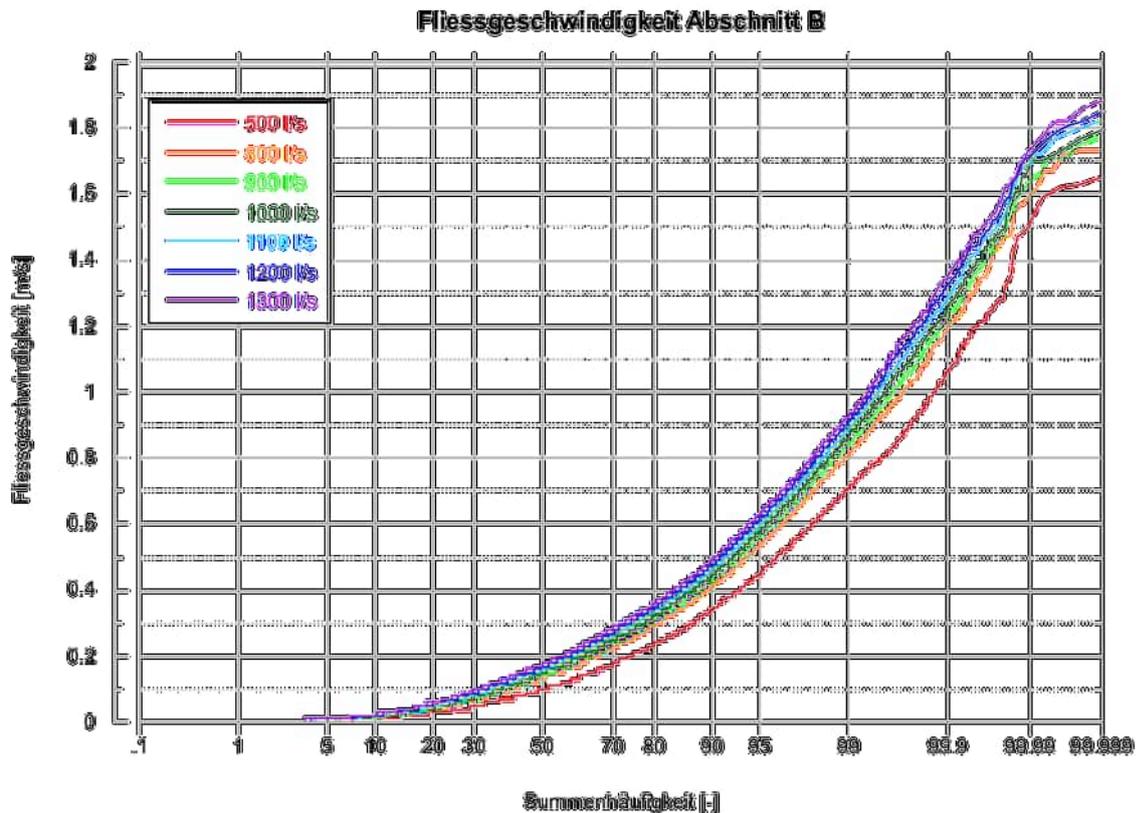


Abbildung 29 Summenhäufigkeitsdiagramm für die tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit in Abschnitt B bei den modellierten Abflüssen von 500 bis 1'300 l/s (Daten: 2D-Modell HZP 2020).

4.6.4 Fliesstiefe

Die Summenhäufigkeitskurven in Abbildung 30 und Abbildung 31 zeigen die Verteilung der Fliesstiefen in Abschnitt A und B in Abhängigkeit des Abflusses. Die ausgeprägte Strukturierung der Sohle durch Residualblöcke führt zu grossflächigen Arealen mit Hinterwasser und zum Teil auch eingestauten Bereichen mit entsprechend grösseren Fliesstiefen. Anhand der Summenhäufigkeitskurven ist dieses Muster gut zu erkennen. In beiden Abschnitten weist ein grosser Teil der benetzten Fläche eine Fliesstiefe von über 20 cm auf. In einzelnen Kolken werden Maximalwerte bis 1.7 m erreicht. Im breiteren Abschnitt A sind die Fliesstiefen erwartungsgemäss geringer. Die Verteilung der Fliesstiefe verändert sich im aufgezeigten Abflussbereich nur schwach. Eine signifikante Verschiebung der Fliesstiefenverteilung ist erst bei deutlich höheren Abflüssen zu erwarten.

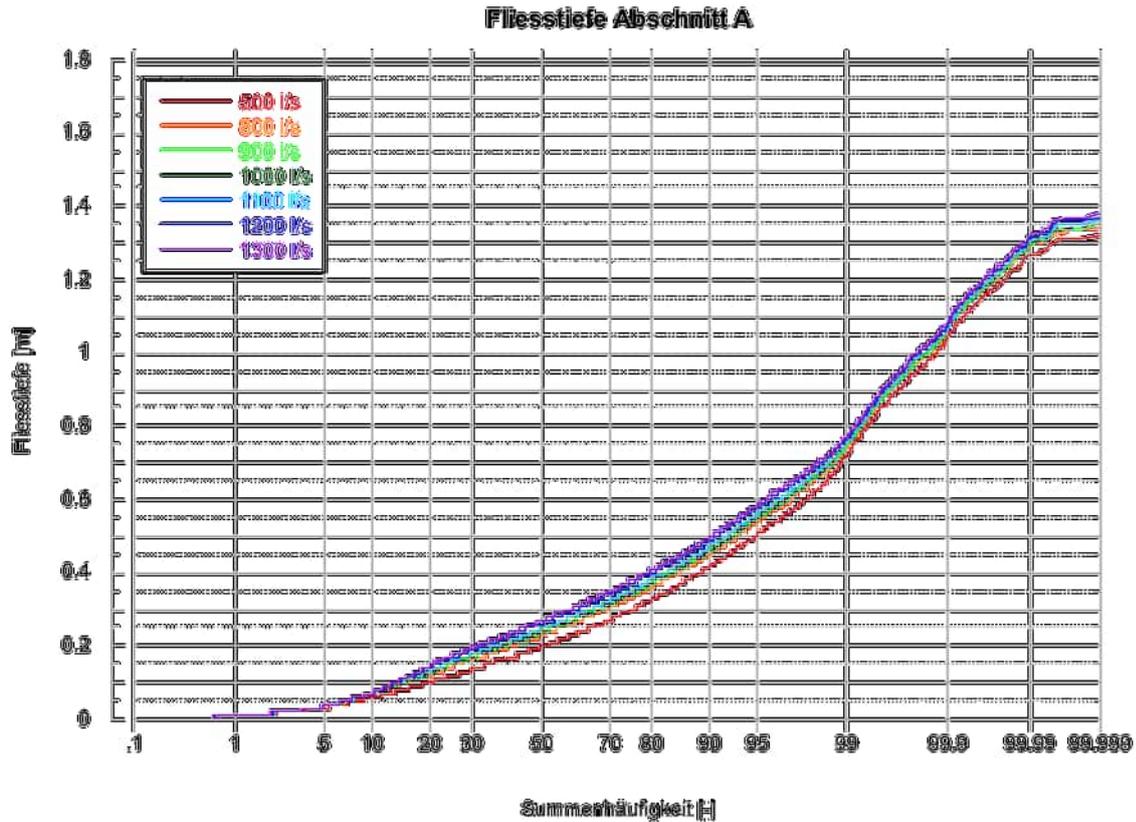


Abbildung 30 Summenhäufigkeitsdiagramm für die Fliesstiefen in Abschnitt A bei den modellierten Abflüssen von 500 bis 1'300 l/s (Daten: 2D-Modell HZP 2020).

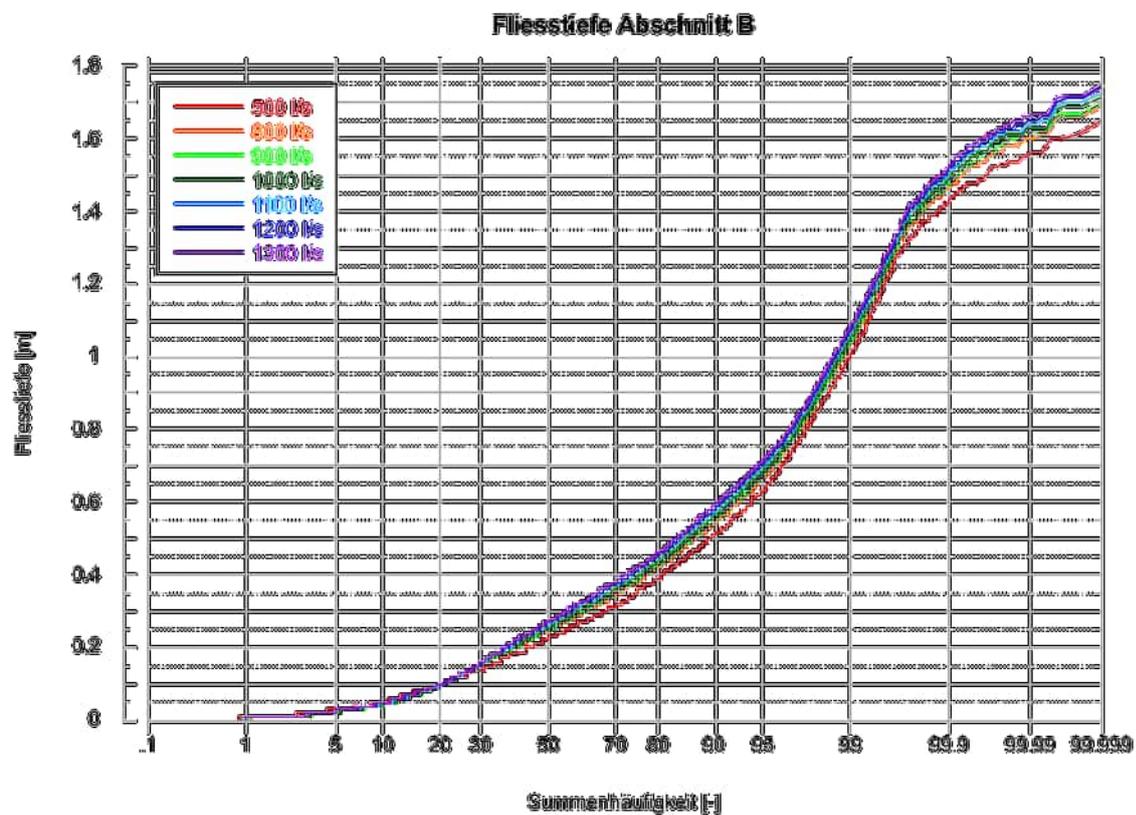


Abbildung 31 Summenhäufigkeitsdiagramm für die Fliesstiefen in Abschnitt B bei den modellierten Abflüssen von 500 bis 1'300 l/s (Daten: 2D-Modell HZP 2020).

4.6.5 Habitatvielfalt

Die Habitatvielfalt kann approximativ mit dem hydro-morphologischen Index der Diversität (HMID) beschrieben werden (Gostner 2012). Dieser Kennwert beschreibt die Habitatvielfalt in einem Fließgewässer anhand der hydraulischen Variablen Fließgeschwindigkeit (v) und Fliesstiefe (t). Er basiert auf dem Variationskoeffizienten (c_v) dieser beiden Variablen und wird wie folgt berechnet:

$$\text{HMID}_{\text{Abschnitt}} = V(v) \times V(t) = (1 + c_{v,v})^2 \times (1 + c_{v,t})^2$$

Je grösser der HMID, desto grösser auch die Vielfalt an verschiedenen Habitaten. Nach Gostner (2012) werden HMID-Werte < 5 als gering eingestuft, Werte von 5 bis 9 als mittel und Werte grösser 9 als hoch. In der Regel sinkt der HMID bei Hochwasser. Die Fischwandertiefe entlang des Talwegs wird vom HMID nicht berücksichtigt.

Basierend auf den oben aufgeführten Modell-Daten zur Fließgeschwindigkeit und Fliesstiefe wurde für die beiden Abschnitte A und B der HMID für jeden Abfluss berechnet. Abbildung 32 zeigt die HMID-Werte für die Abflüsse von 500 bis 1300 l/s in den beiden Abschnitten. In beiden Fällen nimmt der HMID mit zunehmendem Abfluss tendenziell ab. Dies hängt damit zusammen, dass mit steigendem Abfluss eine zunehmende Ausnivellierung stattfindet und die Diversität der Habitate abnimmt. Im Einzelfall hängt das aber von der morphologischen Situation ab, ob beispielsweise bei zunehmender Benetzung neue Habitate erschlossen werden.

In Abschnitt A wird der HMID bei 500 l/s nach obiger Klassierung als hoch eingestuft und sinkt mit zunehmendem Abfluss in den mittleren Bereich. In Abschnitt B sind die Werte im gesamten betrachteten Abflussbereich als hoch einzustufen.

Diese quantitative Methode zur Abschätzung der Habitatvielfalt bestätigt gesamthaft die Einschätzung der Sihl im Bereich des Kraftwerks Waldhalde als einen sehr vielfältigen und strukturierten Lebensraum auch unter Restwasserbedingungen.

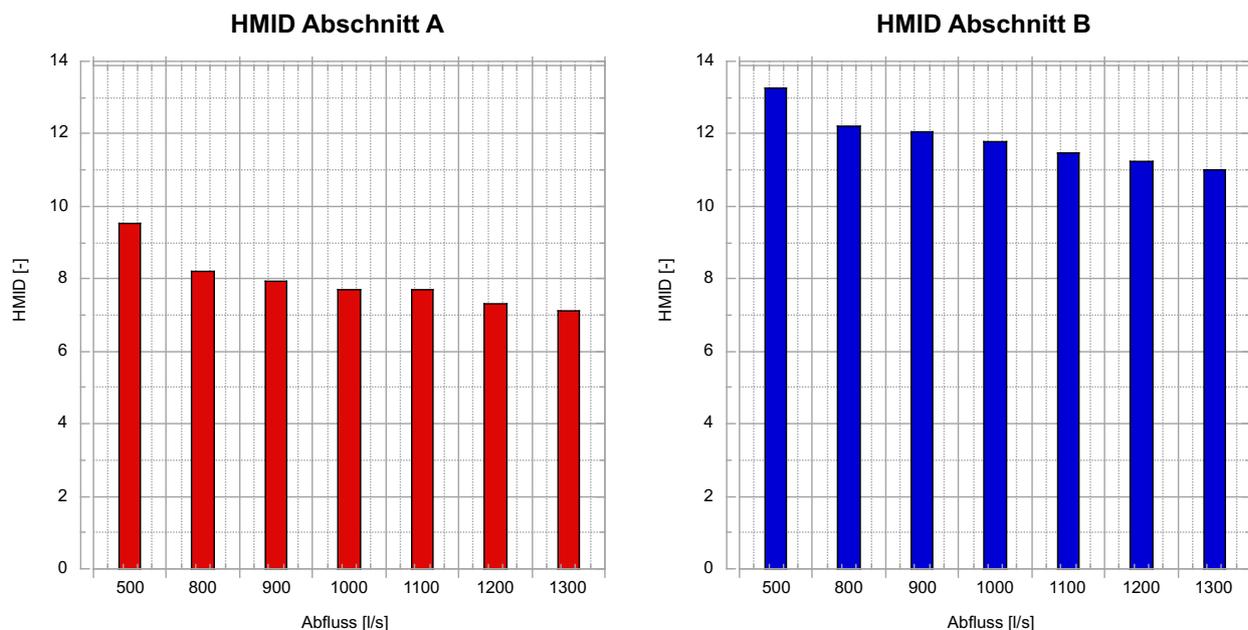


Abbildung 32 Hydro-morphologischer Index der Diversität (HMID) bei Abflüssen von 500 bis 1300 l/s in Abschnitt A (links) und Abschnitt B (rechts).

4.6.6 Einordnung bezüglich Restwasser

Die Modelldaten ergeben für die vorgesehenen Dotiermengen in der doppelten Restwasserstrecke KW Waldhalde von 800 bis 1'200 l/s einen vielfältigen aquatischen Lebensraum. Dieser Abflussbereich entspricht einem natürlichen Niedrigstabbfluss im Bereich des Q_{360} . Dass hier in der Sihl dennoch ein breites Habitats- und Artenspektrum vorhanden ist, kann vor allem mit der stark strukturierten Sohle in Kombination mit dem Gefälle auf diesem 4.4 km langen Abschnitt begründet werden. Das breite Spektrum an Störelementen führt zu einem Gewässer, das gesamthaft langsam fliessend, lokal aber viele schnell fliessende Areale sowie sehr unterschiedliche Wassertiefen aufweist.

Die generelle Abfluss- und Geschiebedynamik ist durch den Zufluss von Alp und Biber zeitlich naturnah, wird aber durch den künstlich angelegten Sihlsee (und weitere Anlagen) deutlich reduziert. Die Hochwasserdynamik wird gemäss dem Modell Hydmod-F als *wenig verändert* eingestuft. Die geplanten künstlichen Hochwasser an der Staumauer des Sihlsees von über 100 m³/s (V5 Plus Modul 1) werden den Grobgeschiebetrieb gewährleisten und in der doppelten Restwasserstrecke des KW Waldhalde somit dieselbe Wirkung zeigen, wie in der übrigen Restwasserstrecke der Sihl.

Zu Abflüssen über 1'300 l/s können mit den vorhandenen Daten lediglich Analogieschlüsse mit den übrigen Sihlabschnitten gezogen werden. Der Vergleich mit biologischen Untersuchungen im Rahmen des UVB Etzelwerk an anderen Abschnitten der Sihl – die als standorttypisch eingestuft werden – zeigt leichte bis mässige Unterschiede zur doppelten Restwasserstrecke KW Waldhalde (vgl. Kapitel 4.7). Die aquatischen Lebensräume und die benthischen Organismen in der doppelten Restwasserstrecke Waldhalde bei 800 - 1'200 l/s können deshalb ebenfalls als standorttypisch eingestuft werden. Ob eine zusätzliche Abflusserhöhung zum Erhalt der Lebensräume (u.a. nach Art. 33 Abs. 3 Bst. b GSchG) erforderlich ist, kann mit den vorhandenen Daten aber nicht abschliessend beurteilt werden. Wir gehen anhand der vorhandenen Informationen davon aus, dass alle typischen Habitate bei diesen Abflüssen vorhanden sind. Darauf deuten auch die Daten zum Makrozoobenthos hin, wo bspw. keine Abnahme von rheophilen oder rheobionten Organismen in den doppelten Restwasserstrecken festgestellt wurde.

4.7 Makrozoobenthos

4.7.1 Stellenauswahl

Das Makrozoobenthos in der Restwasserstrecke des Kraftwerks Waldhalde wurde im Rahmen der Restwasseruntersuchungen für das Etzelwerk zweimal erhoben. Dabei wurde jeweils eine Untersuchungsstelle oberhalb der Fassung Hütten und eine in der Restwasserstrecke beprobt. Durch den Vergleich dieser beiden Standorte lässt sich der Einfluss der zusätzlichen Wasserentnahme unter den heutigen Bedingungen (Ist-Zustand) beurteilen. Für den Restwasserbericht Etzelwerk lieferte die Stelle in der Restwasserstrecke Waldhalde vor allem Hinweise darauf, wie sich die Makrozoobenthos-Biozönosen bei Sockelabflüssen unter den heutigen 2.5 m³/s entwickeln. Daher wurde nebst der Restwasserstrecke Waldhalde auch die Restwasserstrecke des Kraftwerks Schiffli bei Sihlbrugg nach dem gleichen Muster beprobt, also ebenfalls mit einer Untersuchungsstelle in der Restwasserstrecke und einer unterhalb der Wasserrückgabe. Die Proben aus der Restwasserstrecke Waldhalde widerspiegeln die Situation mit bisheriger Restwasserregelung mit Sockelabflüssen von 500 - 1'000 l/s. Die Daten aus der Restwasserstrecke des KW Schiffli zeigen eine Situation bei einem Sockelabfluss von ganzjährig 600 l/s. Die Probenahmestellen und die Restwasserstrecken der beiden Ausleitkraftwerke gehen aus Abbildung 33 hervor.

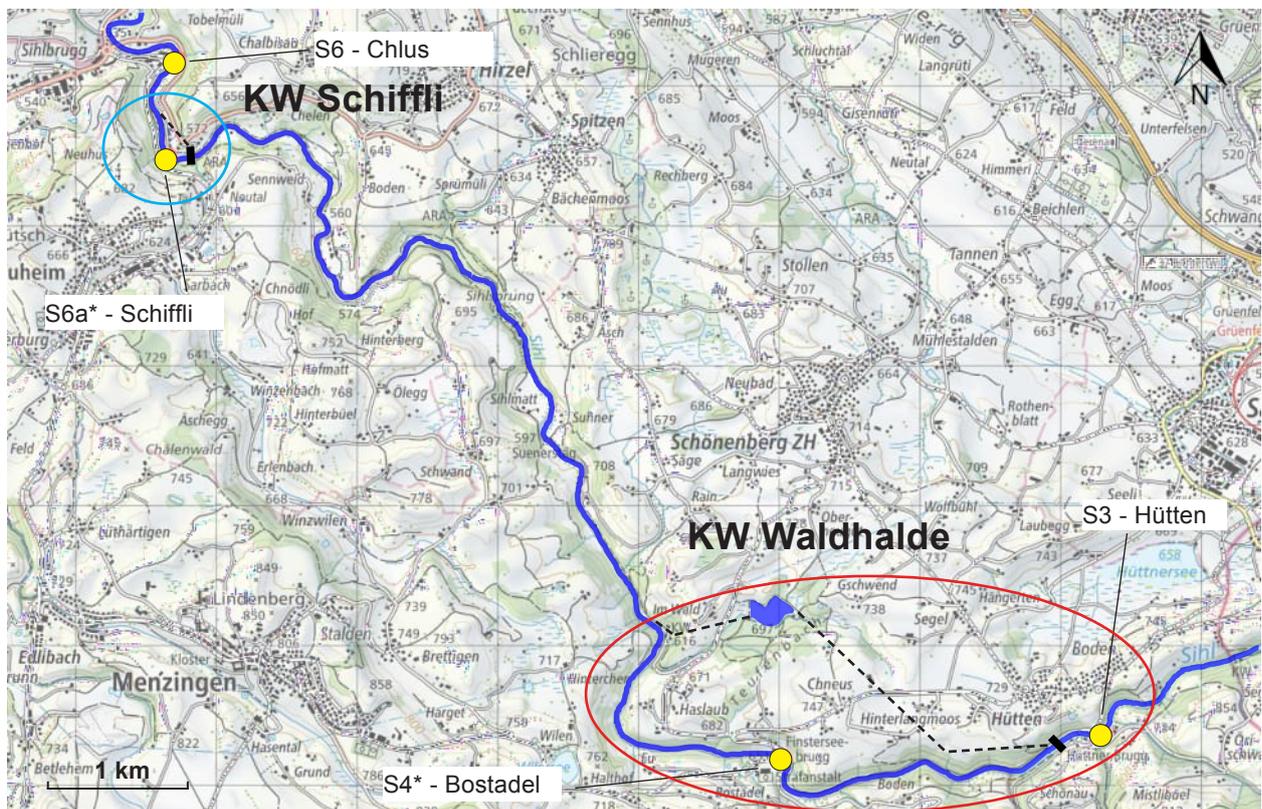


Abbildung 33 Probenahmestellen in der Sihl. Nummerierung der Stellen gemäss Restwasserbericht Etzelwerk (ARGE Umwelt Etzelwerk 2021).

4.7.2 Methodik

Die Probenahme erfolgte nach der Methodik gemäss MSK-Modul „*Makrozoobenthos*“ des BAFU (Stucki 2010, BAFU 2019). Die Proben wurden im Labor ausgezählt und die Wasserwirbellosen bestimmt. Zusätzlich zur Methodik des BAFU, welche die Bestimmung der Wasserwirbellosen nur auf Familienniveau vorsieht, wurden die EPT-Taxa bis auf Artniveau bestimmt.

Anhand der so ermittelten Taxaliste pro Stelle und Probenahmekampagne wurden als Interpretationshilfe verschiedene gewässerökologische Indices berechnet/hergeleitet:

- Gesamtanzahl Taxa
- IBCH_2019¹¹
- Anzahl EPT-Familien
- SPEAR_{pesticides}-Index
- Diversitäts-Index und Evenness
- Saprobien-Index
- Rhithron-Ernährungstypen-Index
- Längenzonierungs-Index
- Verteilung Strömungsgilden
- Temperaturpräferenzen
- Faunenähnlichkeit (Soerensen-Index, Beta-Diversität)

Die hier aufgeführten Indices werden in Kapitel 9.1 genauer erläutert.

4.7.3 Probenahmezeitpunkt

Die erste Probenahme fand im Juli 2018 statt (fakultatives 2. Zeitfenster gemäss MSK). Die zweite Probenahme erfolgte im März 2020 und damit im Hauptprobenahmefenster nach MSK.

4.7.4 Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse dieser Untersuchungen aufgeführt. Zusätzlich zu den Daten des Kraftwerks Waldhalde werden zum Vergleich auch die Daten im Perimeter des Kraftwerks Schiffli aufgezeigt.

4.7.4.1 Quantitative Aspekte

Als quantitative Aspekte werden die beiden Parameter **Individuendichte** und **Biomasse** (Nassgewicht) beurteilt. Die Angaben dazu finden sich in Tabelle 16 sowie für die Individuendichte in Abbildung 34. Die Individuendichte war in der Restwasserstrecke Waldhalde bei beiden Probenahmen höher als in der Untersuchungsstelle oberhalb Fassung. Im Juli 2018 war dieser Unterschied besonders ausgeprägt, im März 2020 dagegen nur schwach. Dieser Unterschied ist unter anderem auf die erhöhte Dichte von Kriebelmückenlarven (passive Filtrierer) und auch der Eintagsfliegen zurückzuführen. Bei den übrigen Taxagruppen zeigt sich hingegen kein konsistentes Muster. In der Restwasserstrecke des Kraftwerks Schiffli wurden bei beiden Probenahmekampagnen sehr ähnliche Verhältnisse festgestellt. Die deutlich höhere Besiedlungsdichte (und Biomasse) in den doppelten Restwasserstrecken gegenüber den Vergleichsstandorten S3 und S6 mit ähnlicher Morphologie ist vermutlich eine Folge der verminderten Wasserführung in diesen Abschnitten.

11 Der überarbeitete Index IBCH_2019 (BAFU 2019) ersetzt den älteren IBCH gemäss Stucki (2010).

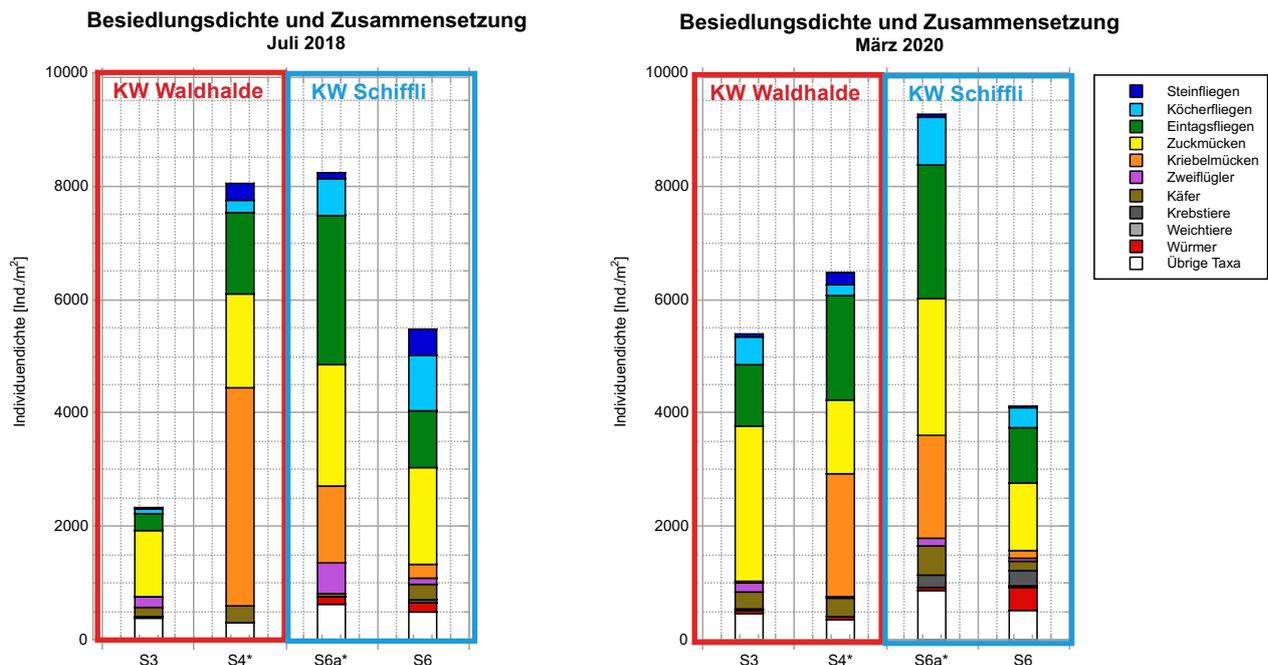


Abbildung 34 Besiedlungsdichte (Individuendichte) und Zusammensetzung der Makrozoobenthosproben im Juli 2018 (links) und März 2020 (rechts). Dargestellt sind die wichtigsten systematischen Gruppen. * Ausleitstrecken Waldhalde und Schiffli (= doppelte Restwasserstrecke).

4.7.4.2 Qualitative Aspekte

Gesamtanzahl Taxa

Die Gesamtanzahl Taxa in den Proben war im Juli 2018 sehr ähnlich zwischen dem Vergleichsstandort oberhalb Fassung Hütten und in der Restwasserstrecke Waldhalde, im März 2020 war die Taxazahl in der Restwasserstrecke dagegen tiefer. Das gleiche Muster wurde auch in der Restwasserstrecke des Kraftwerks Schiffli beobachtet.

IBCH_2019

Der IBCH_2019 - als Indikator für den allgemeinen Gewässerzustand - indizierte in der Restwasserstrecke des Kraftwerks Waldhalde in beiden Probenahmekampagnen die Zustandsklasse „gut“. Im Juli 2018 erreichte der IBCH höhere Werte gegenüber dem Vergleichsstandort S3 und im März 2020 leicht tiefere Werte. Gegenüber dem Vergleichsstandort lässt sich anhand des IBCH_2019 und dessen Teilparametern Indikatorgruppe (zeigt Einfluss der Wasserqualität) und Diversitätsklasse (zeigt Einfluss weiterer Faktoren, z.B. Morphologie, Hydrologie) kein wesentliches Defizit feststellen. In der Restwasserstrecke des KW Schiffli wurde ein ähnliches Muster gefunden, die Unterschiede zwischen doppelter Restwasserstrecke und Vergleichsstandort waren aber etwas ausgeprägter.

Anzahl EPT-Familien

Die Anzahl empfindlicher EPT-Familien zeigte bei der Kampagne 2018 keinen eindeutigen Trend an. Im März 2020 war die Anzahl dieser Taxagruppen in beiden Restwasserstrecken im Vergleich zu den Referenzstellen S3 und S6 aber reduziert. Das deutet auf eine gewisse Beeinträchtigung hin. Allerdings wird die Anzahl EPT-Familien in beiden Restwasserstrecke immer noch mit Zustandsklasse „gut“ bewertet. Es kann daher höchstens von einer leichten Beeinträchtigung ausgegangen werden.

SPEAR_{pesticides}-Index

Der SPEAR_{pesticides}-Index ist ein Mass für die Exposition und die insektizide Wirkung von Pestiziden in Fließgewässern aufgrund der Merkmalsausprägungen des Makrozoobenthos. Index-Werte können zwischen 1 und 100 liegen, wobei für die Schweiz noch keine Wertung in Zustandsklassen vorliegt. Generell gilt jedoch: je tiefer der Wert, desto grösser die Belastung. Die Werte in den untersuchten Proben streuen zwischen 34 und 50 und sind höchstens als gering belastet einzustufen. Die Unterschiede zwischen den Restwasserstrecken und den Vergleichsstandorten sind nicht besonders stark ausgeprägt.

Diversitäts-Index

Der Diversitäts-Index nach Wihlm & Dorris (1968) zeigte keinen einheitlichen Trend an. In allen Stellen wird eine hohe Diversität indiziert.

Evenness-Index

Der Evenness-Index beschreibt die Ausgewogenheit einer Biozönose. Das theoretische Optimum dieses Indikators liegt ungefähr bei 0.7. Die Probe aus der Restwasserstrecke Waldhalde zeigte im Juli 2018 mit einem Wert von 0.48 keine grössere Abweichung vom Vergleichsstandort S3 (0.54), im März 2020 lag der Evenness-Index in der Restwasserstrecke sogar näher beim Optimum (S3: 0.49, S4: 0.62). Im Vergleich dazu lagen die Werte in der Restwasserstrecke Schiffli durchwegs im Sollbereich. Die Artengemeinschaften können somit mehrheitlich als ausgewogen eingestuft werden.

Saprobien-Index

Der Saprobien-Index – als Mass für die organische Gewässerbelastung – lag mit Werten < 2.3 durchwegs im Bereich der Zustandsklassen „gut“ bis „sehr gut“. Es kann also von einer geringen Nährstoffbelastung in der Sihl ausgegangen werden.

Rhithron-Ernährungstypen-Index (RETI)

Der Rhithron-Ernährungstypen-Index – als Indikator für eine standortgerechte Ernährungstypenzusammensetzung – zeigte bei beiden Probenahmekampagnen und in beiden Restwasserstrecken eine Abweichung vom Vergleichsstandort. Das ist vor allem mit der grossen Dichte von Kriebelmückenlarven (passive Filtrierer) zu erklären, welche den RETI herabsetzen. Da dieses Phänomen bei beiden Probenahmekampagnen und in beiden Ausleitstrecken (Waldhalde und Schiffli) auftrat und in der restlichen Sihl so nicht beobachtet werden konnte (ARGE Umwelt Etzelwerk 2021), ist von einem Zusammenhang mit der verminderten Wasserführung auszugehen.

Längenzonierungsindex (LZI)

Der Längenzonierungsindex – als Mass für die Standortgerechtigkeit der Biozönose – indizierte an allen Stellen eine untere Forellenregion (Metarhithral, MR) oder eine Äschenregion (Hyporhithral, HR) und liegt damit im erwartbaren Spektrum aufgrund der Höhenlage, des Gefälles und der Gewässerbreite (erwartete LZI-Werte zwischen 4 und 5). Der LZI der beiden Restwasserstrecken erreichte im Juli 2018 mit einem LZI von 4.64 (S4) bzw. 5.15 (S6a) etwas höhere Werte als an den Vergleichsstellen (S3: 4.43, S6: 4.95). Im März 2020 war der LZI mit Werten von 4.22 (S4) bzw. 4.64 (S6a) dagegen etwas tiefer oder gleich wie die Werte in der jeweiligen Vergleichsstelle (S3: 4.38, S6: 4.63). Insgesamt ist in beiden Ausleitstrecken keine systematische Verschiebung des LZI gegenüber dem Vergleichsstandort ohne zusätzliche Wasserausleitung erkennbar. In der Restwasserstrecke der Kraftwerke Waldhalde und Schiffli ist somit eine standorttypische Biozönose vorhanden.

Tabelle 16 Makrozoobenthos-Indices und deren Bewertung in den Vergleichsstandorten (Restwasserstrecke Etzelwerk) und in den Ausleitstrecken* Waldhalde und Schiffli für die beiden Probenahmen 2018 und 2020. Die Bewertungskriterien und zusätzliche Erläuterungen gehen aus der Legende unter der Tabelle hervor.

Stelle	KW Waldhalde		KW Schiffli		KW Waldhalde		KW Schiffli	
	S3	S4*	S6a*	S6	S3	S4*	S6a*	S6
Datum Probenahme	11.07.2018		11.07.2018		25.03.2020		25.03.2020	
Höhe [m ü. M.]	689	639	539	533	689	639	539	533
Quantitative Beurteilung								
Total Individuendichte [Ind./m ²]	1'984	7'764	7'646	5'022	4'932	6'126	8'402	3'618
Biomasse Nassgewicht [g/m ²]	3.8	18.7	16.5	11.3	18.2	28.7	33.0	18.6
Anteil an Sollbiomasse [%]	56%	252%	180%	121%	269%	387%	359%	199%
Qualitative Beurteilung								
Anzahl Taxa	28	28	31	32	39	33	41	46
Anzahl IBCH-Taxa	19	20	20	24	25	23	25	29
IBCH_2019	0.58	0.63	0.63	0.74	0.79	0.74	0.79	0.85
IBCH_R	0.53	0.53	0.58	0.69	0.74	0.63	0.74	0.74
Indikatorgruppe (IG)	0.70	0.70	0.70	0.84	0.97	0.84	0.97	0.97
Diversitätsklasse (DK)	0.51	0.60	0.60	0.68	0.68	0.68	0.68	0.77
Anzahl EPT-Familien	10	12	10	12	15	12	12	16
SPEAR_2019.11	42.23	44.15	40.01	38.55	49.50	42.72	38.00	34.86
Diversität	2.6	2.3	3.0	3.6	2.6	3.1	3.3	3.4
Evenness	0.54	0.48	0.61	0.71	0.49	0.62	0.62	0.62
Saprobienindex	1.78	2.00	2.04	1.98	1.93	1.9	1.93	1.86
Anzahl Taxa zur Indexberechnung	10	10	12	14	19	13	15	21
Rhithron-Ernährungstypenindex	0.48	0.21	0.33	0.48	0.55	0.34	0.36	0.40
Anzahl Taxa zur Indexberechnung	25	25	28	29	34	30	35	42
Längenzonierungsindex (LZI)	4.43	4.64	5.15	4.95	4.38	4.22	4.64	4.63
Anzahl Taxa zur Indexberechnung	9	9	11	13	18	12	15	20
Biozönotische Zuordnung mit LZI	MR	HR	HR	HR	MR	MR	HR	HR

Legende

	Zustand	DK, IG, IBCH_2019	Anzahl EPT-Familien	Diversitäts-index	Evenness	Saprobienindex	RETI
sehr gut	sehr gut	≥ 0.8	> 12	> 3	Ideal: 0.7 - 0.8, je näher bei 1, desto ausgewogener die Artengemeinschaft	1.0 - 1.79	> 0.5 = rhithrales Gewässer. Je näher bei 1, desto näher der Quelle
gut	gut	0.6 - < 0.8	8 - 12	2 - 3		1.8 - 2.29	
mässig	mässig	0.4 - < 0.6	5 - 7	1 - 2		2.3 - 3.69	
unbefriedigend	unbefriedigend	0.2 - < 0.4	2 - 4			3.7 - 3.49	
schlecht	schlecht	< 0.2	< 2	< 1		3.5 - 4.00	

MR = Metarhithral, untere Forellenregion

HR = Hyporhithral, Äschenregion

Strömungsgilden

Wasserwirbellose können entsprechend ihren Strömungspräferenzen in verschiedene Strömungsgilden eingeteilt werden. Anhand dieser Daten kann die Zusammensetzung der Strömungsgilden untersucht und mit einer Referenzstelle verglichen werden. Hydrologische Beeinträchtigungen führen oft zu einer Verschiebung des Strömungsgildenspektrums. So wurde beispielsweise in Schwallstrecken oft eine Zunahme von Organismen beobachtet, die an starke Strömungen angepasst sind („*Rhithralisierung*“). Demgegenüber kann in Restwasserstrecken mit sehr tiefen Abflüssen das Gegenteil eintreten, nämlich eine signifikante Zunahme von Organismen, die an langsame Strömungen angepasst sind („*Potamalisierung*“). Für die Untersuchungsstellen wird die Zusammensetzung der Strömungsgilden der EPT-Taxa betrachtet (Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen). Deren Verteilung pro Stelle wird in Abbildung 35 für beide Probenahmekampagnen zum direkten Vergleich dargestellt.

Wie aus der Abbildung hervorgeht, können bis zu einem Drittel der EPT-Taxa anhand der Literatur keiner Strömungsgilde zugeordnet werden („*unbekannt*“). Dominierend sind die Gilden Rheo-limnophil und Rheophil. Der Anteil von Organismen, die an höhere oder ganz hohe Strömungen angepasst sind (rheophile/rheobionte, orange und rote Balken) wird in beiden Ausleitstrecken gegenüber den Vergleichsstandorten nicht systematisch verändert. Da diese Organismen in der Regel von einer Wasserentnahme und der damit einhergehenden Reduktion der Strömung am direktesten betroffen sind, kann für die untersuchten Abschnitte demnach keine eindeutige Verschiebung der Strömungsgilden nachgewiesen werden. Die entsprechenden Habitate sind trotz zusätzlicher Wasserausleitung vorhanden.

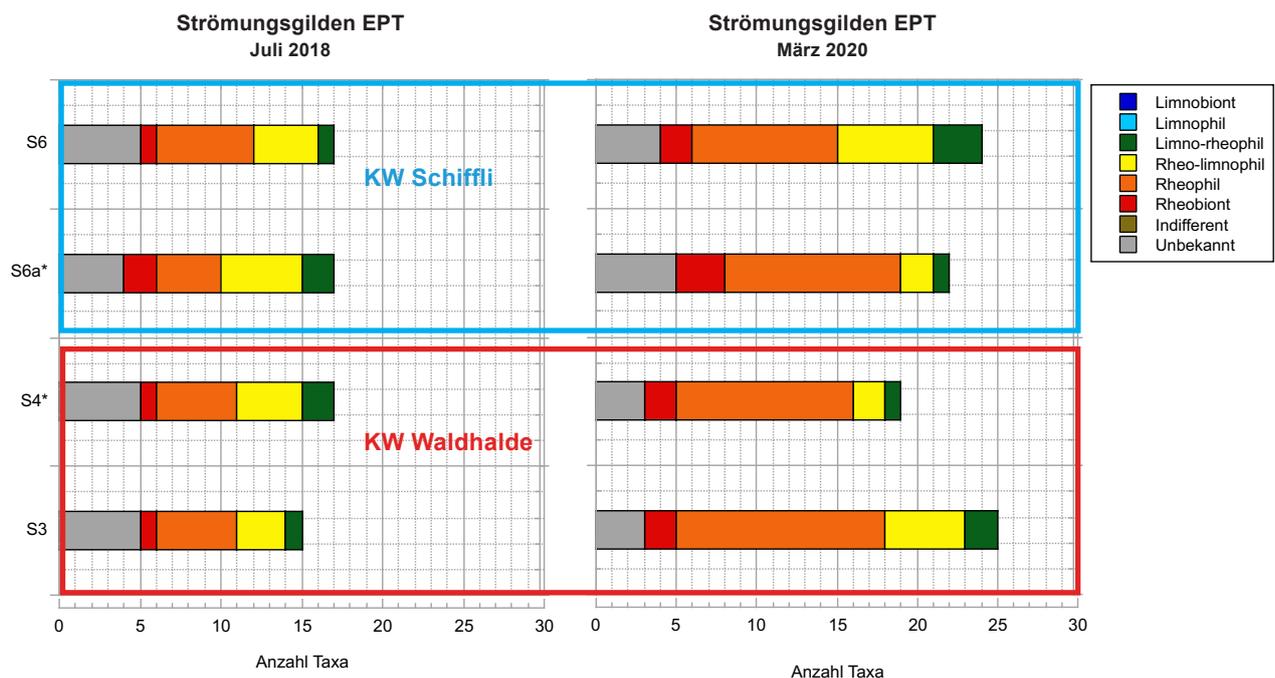


Abbildung 35 Verteilung der Strömungsgilden der EPT-Taxa. Strömungspräferenzen: limnobiont = nur stehende Gewässer, limnophil = stehende Gewässer, selten Fließgewässer, limno-rheophil = stehende Gewässer, aber regelmäßig in Fließgewässern zu finden, rheo-limnophil = Fließgewässer, langsame Strömungen, rheophil = Fließgewässer, moderate bis starke Strömungen, rheobiont = Fließgewässer, nur starke Strömungen. *Doppelte Restwasserstrecke.

Temperaturpräferenzen

Hinsichtlich der Temperaturpräferenzen zeigen die Daten aus dem UVB Etzelwerk in der gesamten Sihl die Verbreitung von wärmetoleranten Arten und das Fehlen von kälteliebenden Arten, wie sie beispielsweise in der hydrologisch unbeeinflussten Alp vorkommen. Der Grund dafür ist einerseits der Sihlsee (vgl. oben) sowie im morphologisch beeinträchtigten Unterlauf die fehlende Beschattung. In den beiden Ausleitstrecken der Kraftwerke Waldhalde und Schiffli lässt sich über die gesamte Biozönose betrachtet hingegen kein eindeutiger Trend hin zu noch mehr wärmetoleranten Arten bzw. weniger kälteliebenden Arten erkennen. Die Proben aus den doppelten Restwasserstrecken unterscheiden sich diesbezüglich nicht wesentlich von den Vergleichsstandorten.

Faunenähnlichkeit (Soerensen-Index, Beta-Diversität)

Die Ähnlichkeit der Taxazusammensetzung zwischen zwei Probenahmestellen wird durch den Soerensen-Index beschrieben. Dieser liegt zwischen 0 und 1, wobei Werte zwischen < 0.64 als geringe Ähnlichkeit und Werte ≥ 0.64 als grosse Ähnlichkeit eingestuft werden (Smukalla & Friedrich, 1994). Der Soerensen-Index für den paarweisen Vergleich der Stelle in der Ausleitstrecke Waldhalde und Schiffli mit dem jeweiligen Vergleichsstandort (S3-S4*, S6a*-S6) geht aus Tabelle 17 für die beiden Probenahmekampagnen hervor. Die Werte zeigen hohe Ähnlichkeiten der Taxazusammensetzung zwischen der jeweiligen Ausleitstrecke (doppelte Restwasser-Strecke) und der Vergleichsstrecke (Restwasser-Strecke Etzelwerk) an. Dieses relativ klare Ergebnis ist ein Indiz dafür, dass die zusätzliche Wasserentnahme beim Kraftwerk Waldhalde (und beim Kraftwerk Schiffli) nicht zu einer wesentlichen Veränderung des Artenspektrums führt.

Tabelle 17 Werte des Soerensen-Index für den paarweisen Vergleich der Referenzstelle in der Restwasserstrecke Etzelwerk (S3, S6) mit den Stellen in der Ausleitstrecke Waldhalde (S4*) und Schiffli (S6a*).

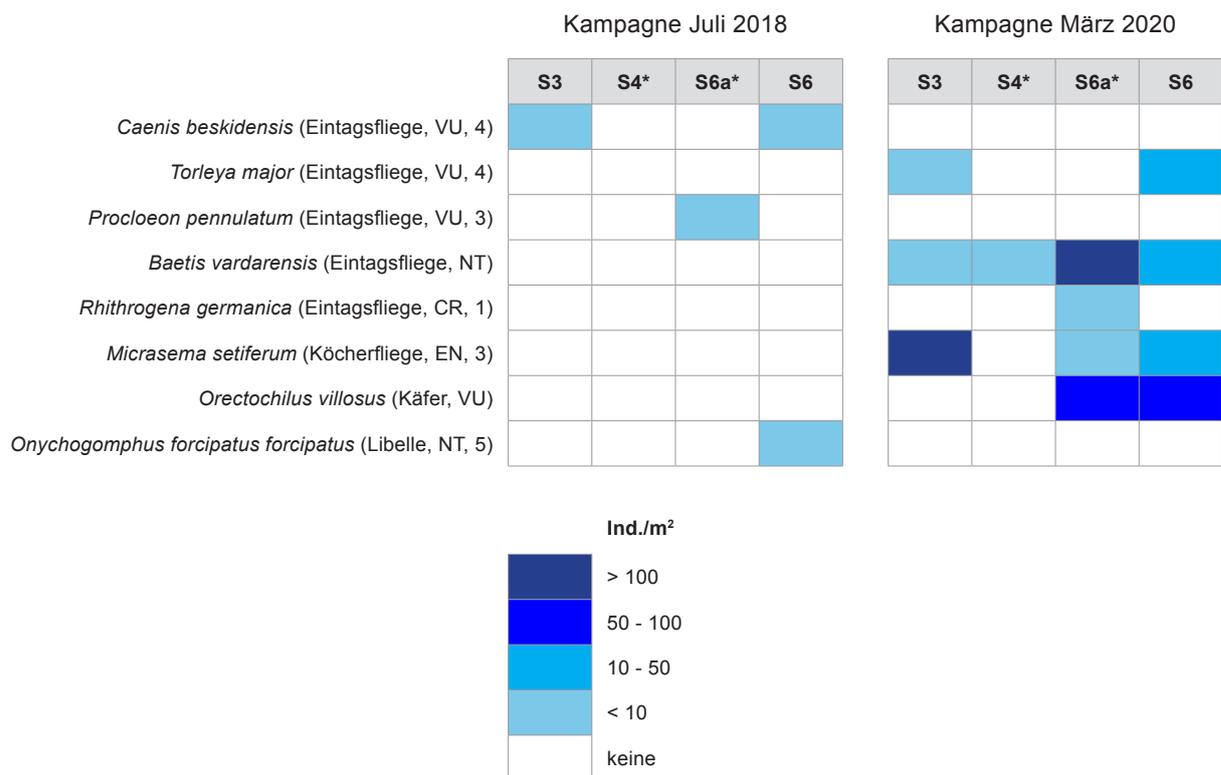
Kraftwerk	Stellenpaar	Soerensen-Index	
		Juli 2018	März 2020
Waldhalde	S3-S4*	0.68	0.72
Schiffli	S6a*-S6	0.73	0.78

4.7.4.3 Rote Liste Arten

Im Rahmen der Probenahmen vom Juli 2018 und März 2020 wurden in der Restwasserstrecke des KW Waldhalde und des KW Schiffli Rote Liste Arten nachgewiesen. Sie sind in der nachfolgenden Tabelle 18 aufgelistet. Aufgezeigt wird auch die Besiedlungsdichte dieser Arten pro Probenahmestelle und Kampagne in Klassen. Die Mehrheit der Rote Liste Arten wurden in der Frühlingsprobenahme im März 2020 nachgewiesen. Die Stellen in oder unterhalb der Restwasserstrecke des Kraftwerks Schiffli (S6a*, S6) wiesen dabei eine höhere Zahl Rote Liste Arten auf als die Restwasserstrecke des Kraftwerks Waldhalde (S4*) oder auch die Stelle oberhalb Fassung Hütten (S3). Das Fehlen gewisser Arten in beiden doppelten Restwasserstrecken bei gleichzeitigem Vorkommen in den Vergleichsstandorten deutet auf einen Einfluss der zusätzlichen Wassernutzung hin. Andere Arten fehlen nur in der Restwasserstrecke des KW Waldhalde, wurden aber in der Restwasserstrecke des KW Schiffli nachgewiesen. Angesichts der ähnlichen und während mehrerer Monate sogar leicht tieferen Sockelabflüsse in der Restwasserstrecke des KW Schiffli (ganzjährig 600 l/s) im Vergleich zur Restwasserstrecke Waldhalde (bisher 500 - 1'000 l/s) kann in diesen Fällen nicht einzig von einem Restwassereffekt ausgegangen werden.

Die aufgeführten Arten bevorzugen hauptsächlich mittlere bis hohe Strömungsgeschwindigkeiten (Rheophilie). Die Eintagsfliegen *Torleya major* und *Procloeon pennulatum* bevorzugen dagegen eher strömungsberuhigte Zonen. Für die stark gefährdete Köcherfliege *Micrasema setiferum* sind uns keine Präferenzangaben bekannt.

Tabelle 18 Rote Liste Arten (Insektenordnung, Gefährdungsstatus, Prioritätsstatus) in der Sihl oberhalb Fassung Hütten (S3) und in der Restwasserstrecke des Kraftwerks Waldhalde (S4) sowie in der Restwasserstrecke des Kraftwerks Schiffli (S6a) und unterhalb Wasserrückgabe Schiffli (S6) im Juli 2018 und März 2020. Angegeben ist jeweils auch die Besiedlungsdichte dieser Arten gemäss obiger Klassierung.



4.7.5 Gesamtbeurteilung Makrozoobenthos

Die quantitativen und qualitativen Aspekte zeigen in der Restwasserstrecke des Kraftwerks Waldhalde eine vielfältige und standortgerechte Biozönose an. Der Einfluss der zusätzlich reduzierten Wassermenge ist anhand des Makrozoobenthos erkennbar, aber nicht ausgeprägt. So nimmt die Häufigkeit von stresstoleranten Arten tendenziell zu, was sich in deutlich höheren Individuendichten und Biomassen zeigt. Zudem weichen einige Parameter von den Vergleichsstandorten ab. Unter Berücksichtigung aller untersuchter Bewertungsindikatoren sowie der Taxazusammensetzung kann von einer leichten bis mässigen, zusätzlichen Beeinträchtigung des Makrozoobenthos gegenüber der Restwasserstrecke des Etzelwerks gesprochen werden. Dieses Muster ist über beide betrachteten Ausleitstrecken (Waldhalde und Schiffli) konsistent.

4.7.6 Einordnung hinsichtlich Restwasser

Hinsichtlich Restwasser kann aus den Ergebnissen abgeleitet werden, dass die bisherigen Minimalabflüsse von 500 bis 1'000 l/s tendenziell zu tief sind. Die vorhandenen Defizite gegenüber der Restwasserstrecke Etzelwerk sind jedoch - wie oben dargelegt - nicht erheblich. Der Vergleich mit der Restwasserstrecke des KW Schiffli zeigt zudem, dass neben dem Sockelabfluss noch weitere Faktoren eine Rolle spielen. Der genaue Umfang der zusätzlich erforderlichen Wassermenge gegenüber dem bisherigen Zustand kann aus den vorliegenden Daten nicht abgeleitet werden. Die vorgeschlagene Anhebung des Sockelabflusses auf 800 bis 1'200 l/s ist aber grundsätzlich zu begrüssen.

Beim Etzelwerk wurde für den Abschnitt 2 - Alpmündung bis Hirzel - für das Makrozoobenthos ein Mindestabfluss von 1500 l/s ausgewiesen. Dieser Wert ist aber nicht robust, er wurde durch einen Analogieschluss hergeleitet:

- In den doppelten Restwasserstrecken (Waldhalde, Schiffli) mit Abflüssen von 0.5 - 1 m³/s ist eine moderate zusätzliche Beeinträchtigung erkennbar
- In den Vergleichsstandorten der Restwasserstrecke Etzelwerk mit heutigen Sockelabflüssen von 2.5 - 3 m³/s ist gemäss Restwasserbericht Etzelwerk eine vielfältige und standortgerechte Biozönose vorhanden. Eine systematische, restwasserbedingte Beeinträchtigung des Makrozoobenthos durch zu tiefe Sockelabflüsse ist mit den vorliegenden Daten nicht erkennbar
- Die für das Makrozoobenthos erforderliche Wassermenge (Mindestanforderungen) in der Sihl wird somit im Bereich zwischen den reduzierten Abflüssen der doppelten Restwasserstrecken (0.5 - 1 m³/s) und den heutigen Restwasserabflüssen (2.5 - 3 m³/s) angesetzt.

Aufgrund dieser Ausgangslage wurden im Abschnitt Alpmündung bis Hirzel die Abflussanforderungen für die freie Fischwanderung übernommen. Dieser Wert (1'500 l/s) liegt ungefähr in der Mitte des genannten Spektrums.

4.8 Wasserqualität

Die Wasserqualität in der Sihl wird bei der Stelle Hütten (Nr. 115), direkt bei der Fassung des KW Waldhalde, durch das AWEL überwacht. Bis 2011 bestand hier eine Hauptmessstelle des Kantons mit kontinuierlicher, automatischer Probenahme (Stellen Nr. 910). Wegen der über mehrere Jahre konstant guten bis sehr guten Wasserqualität wurde der Betrieb der automatisierten Messstation 2012 eingestellt. Seither wird diese Stelle nur noch periodisch im Rahmen der routinemässigen Monitorings des AWEL überprüft, wobei monatliche Stichproben entnommen werden (AWEL 2020). Die Ergebnisse der Probenahmen von 2018 bis 2021 sind in Tabelle 19 aufgelistet.

Die erhobenen Parameter liegen mit Ausnahme des DOC-Gehalts (gelöster organischer Kohlenstoff) innerhalb der Zielvorgaben und werden entsprechend mit Zustandsklasse gut bis sehr gut bewertet. Der hohe DOC-Gehalt ist nicht vorwiegend anthropogen bedingt, sondern auf den hohen Waldanteil sowie die Moore im Einzugsgebiet zurückzuführen.

In die Restwasserstrecke des KW Waldhalde münden keine Abwasserreinigungsanlagen (ARA) mehr. Die ARA Menzingen (Gemeinde Finstersee) ist seit Januar 2020 nicht mehr in Betrieb. Das Abwasser des Dorfteils Finstersee wird seither in der ARA des Gewässerschutzverbandes Region Zugersee-Küssnachtensee-Ägerisee (GVRZ), also ausserhalb des Sihleinzugsgebiets gereinigt (ARGE Umwelt Etzelwerk 2021).

Aufgrund der guten bis sehr guten Wasserqualität der Sihl und der Aufhebung der ARA Menzingen ist das Thema Wasserqualität und Verdünnungskapazität für den Restwasserbericht des KW Waldhalde von untergeordneter Bedeutung. Es lassen sich gestützt auf Art. 31 Abs. 2 Bst. a GSchG somit auch keine zusätzlichen Restwasserforderungen begründen.

Tabelle 19 Gesamtbeurteilung der Wasserqualität an der Messstelle 115 - Sihl bei Hütten für die Kampagnen 2018-2021 (Daten gemäss Factsheet AWEL). * NO₂: Zielvorgabe für Stellen mit Chloridgehalt < 10 mg Cl/l ** PO₄: Zielvorgabe für Stellen unterhalb von Seen (hier Sihlsee).

Kenngrosse	Zielvorgabe	2018	2019	2020	2021
Ammonium (T<10°C)	0.4 mg NH ₄ -N / l	0.03	0.03	0.03	0.05
Ammonium (T≥10°C)	0.2 mg NH ₄ -N / l	0.02	0.06	0.06	0.05
Nitrit*	0.02 mg NO ₂ -N / l	0.007	0.012	0.009	0.007
Nitrat	5.6 mg NO ₃ -N / l	0.97	1.84	0.96	0.97
Phosphat**	0.08 mg PO ₄ -P / l	0.012	0.023	0.020	0.015
Gesamtphosphor**	0.14 mg Ges-P / l	0.028	0.046	0.042	0.034
DOC	4.0 mg C / l	3.09	6.10	5.19	4.01

Legende

Zustand
sehr gut
gut
mässig
unbefriedigend
schlecht

4.9 Grundwasserhaushalt

Eine Beschreibung der Grundwasserverhältnisse in der Sihl erfolgte im Rahmen der Konzessionserneuerung des Etzelwerks für den relativ langen Abschnitt zwischen Staumauer Sihlsee und Langnau a.A. (Jäckli Geologie 2020). Der Perimeter des KW Waldhalde wird damit zwar auch abgedeckt, wird im Bericht von Jäckli Geologie aber nicht näher beschrieben. Das Gerinne der Sihl verläuft unterhalb des Sihlsees mehrheitlich in wenig durchlässigen quartären Talfüllungen oder direkt auf dem Molassefels. Dementsprechend sind bis zur Kantonsgrenze SZ-ZH auch nirgends eigentliche nutzbare Schottervorkommen vorhanden. Einzige Ausnahme bildet der Bereich Schindellegi, wo grundwasserführende Schichten vorhanden sind (Grundwasserfassung Schindellegi). Erst unterhalb von Sihlbrugg sind gemäss Jäckli Geologie (2020) verschiedene, kleinere Grundwasservorkommen entlang der Sihl vorhanden. Diese Vorkommen bilden jedoch keinen zusammenhängenden Grundwasserstrom. Als Grundwasserleiter wirkt in diesen Bereichen der spät- bis nacheiszeitlich abgelagerte Kiesschotter. Der Bericht von Jäckli Geologie kommt zu Schluss, dass die mit der Konzessionserneuerung des Etzelwerks verbundenen Änderungen des Dotierregimes zu keinen signifikanten Veränderungen auf die lokal vorhandenen Grundwasservorkommen führen. Nachteilige Auswirkungen auf die wenigen bestehenden Grundwassernutzungen sind demnach nicht zu befürchten.

Entlang der Restwasserstrecke des KW Waldhalde sind gestützt auf diese Ausführungen keine von der Sihl abhängigen Grundwasservorkommen vorhanden. Dies geht auch aus der Grundwasserkarte des Kantons Zürich hervor (Abbildung 36). Für die Restwasserbemessung beim Kraftwerk Waldhalde hat dieser Teilaspekt daher eine geringe Bedeutung.

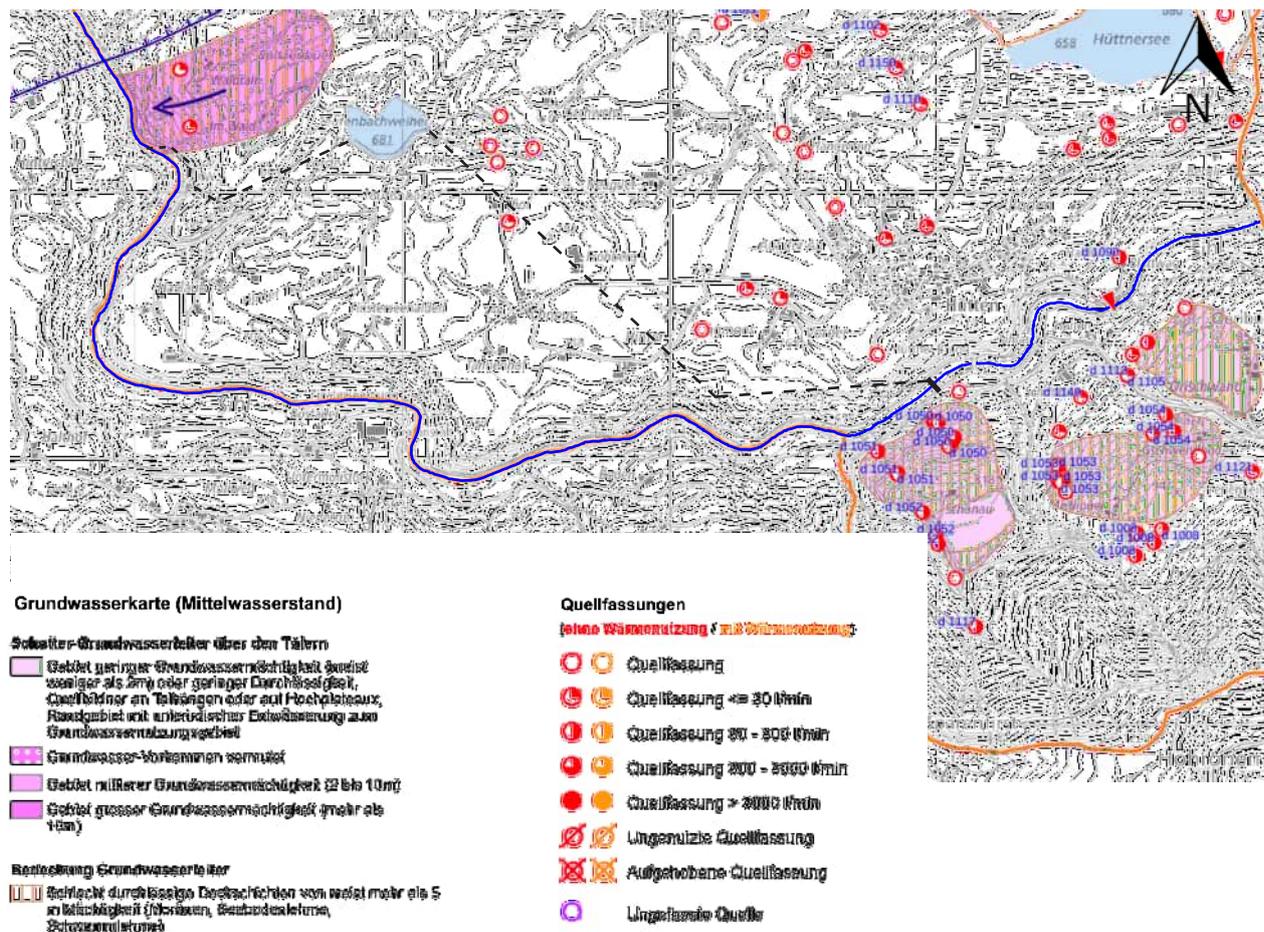


Abbildung 36 Kantonale Grundwasserkarte (Mittelwasserstand) im Perimeter des KW Waldhalde. Eingezeichnet sind neben dem Wasserweg des KW Waldhalde (Fassung, Teufenbachweiher und Zentrale mit Wasserrückgabe) auch die Quellfassungen im Gebiet (Quelle Karte: <https://maps.zh.ch>).

4.10 Schutzgebiete und Inventare

Der Perimeter des Kraftwerks Waldhalde liegt im BLN-Gebiet 1307 und umfasst die Glaziallandschaft zwischen der Sihl und der Lorze mit ihren Flussräumen, die Höhronenkette sowie die südöstlich anschliessende Moorlandschaft Schwantenuau und dehnt sich gegen Nordwesten über den Hirzel und den Horgenberg bis zum Gattiker Weiher aus (Abbildung 37). Das Gebiet zeichnet sich unter anderem durch eine «einzigartige Glaziallandschaft mit ausgeprägtem Formenschatz, zahlreichen langgezogenen Moränenrücken, Tälern und Senken sowie runden Moränenhügeln mit landschaftsprägenden Linden», durch eine «voralpine Flusslandschaft von ursprünglicher Schönheit mit deutlich ablesbarer fluvioglazialer Entstehungsgeschichte der Täler von Sihl und Lorze» sowie durch die «weitgehend naturnahe[n] und ursprünglich anmutende[n] Flusstäler von Sihl und Lorze [...]» aus (ENHK 2020). Für die Restwasserbeurteilung relevant ist vor allem Schutzziel 3.2 - *Die natürliche Dynamik der Flusslandschaften von Lorze und Sihl sowie die Urtümlichkeit der nicht erschlossenen Flussabschnitte erhalten*. Eine Beurteilung hinsichtlich Landschaftsbild und eine Einordnung bezüglich Schutzziele des BLN-Objekts befindet sich im nachfolgenden Kapitel Landschaftsaspekt.

Weitere Bundesinventare sind im Kraftwerksperimeter keine vorhanden. Die Restwasserstrecke liegt aber im kantonalen Natur- und Landschaftsinventar 1980 (Kanton Zürich) und ist dort als geologisches/geomorphologisches Objekt aufgelistet. Die Schutzziele überschneiden sich stark mit den Schutzzielen des BLN-Gebiets und zielen vor allem auf die ungeschmälerete Erhaltung der einzigartigen Flusslandschaft mit all ihren geologisch bedeutungsvollen Erscheinungsformen (eiszeitliche Flussumlegung, Talbildungsprozesse, Rutschhänge, Gesteinsaufschlüsse, Eratiker).

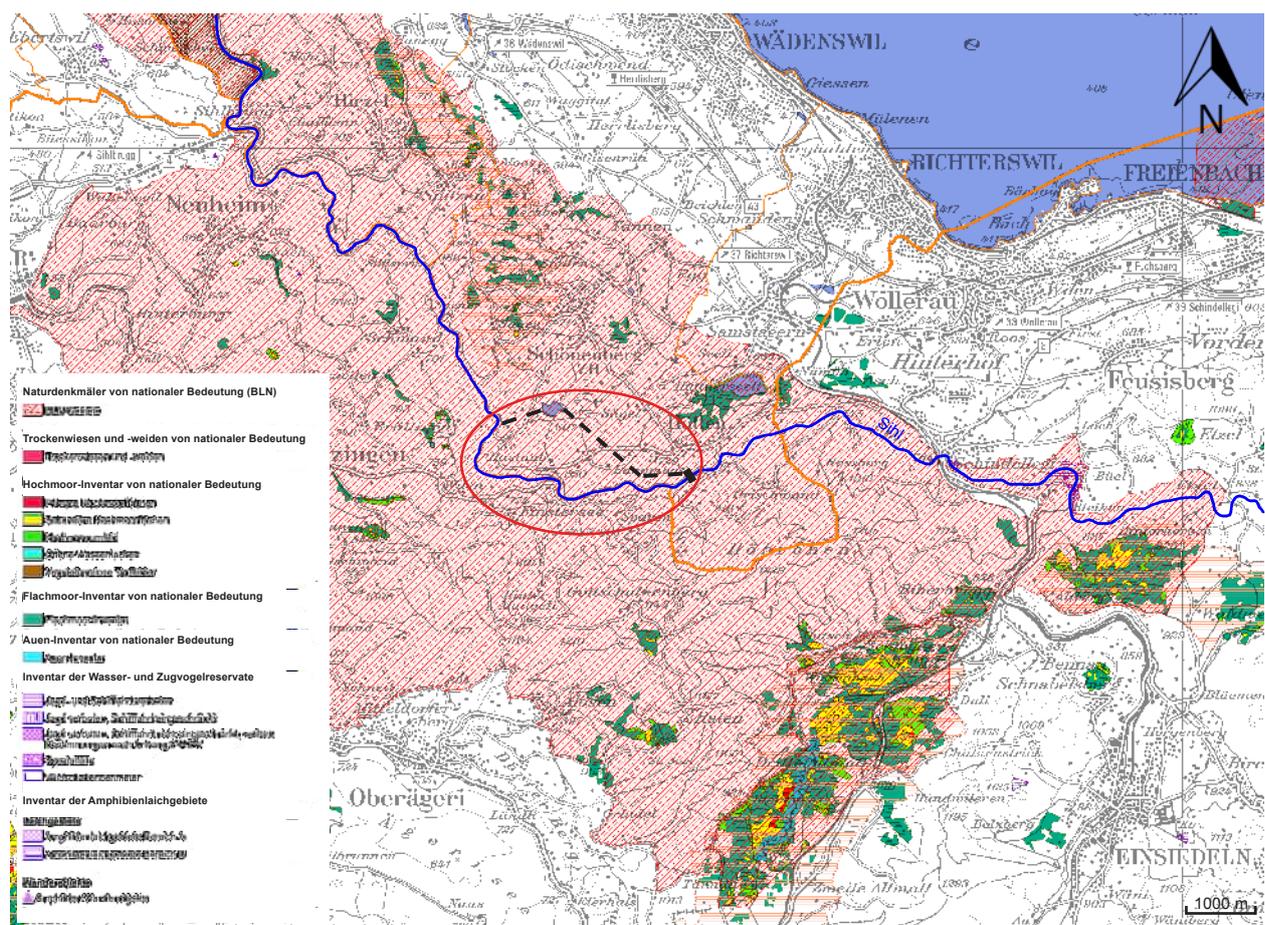


Abbildung 37 Bundesinventare im Gebiet des Sihltales (Karte: GIS Kanton Zürich). Der Perimeter des Kraftwerks Waldhalde ist durch einen roten Kreis markiert.

4.11 Landschaftselement

4.11.1 Methodik, Kriterien

Die Bewertung des Landschaftsaspekts erfolgte im Zuge der Restwasserabklärungen im Herbst 2022. Die dabei verwendeten Kriterien sind eine Kombination aus verschiedenen Methoden. Wegen der weitgehend naturnahen Flussmorphologie in der Restwasserstrecke des Kraftwerks Waldhalde wurde für die Restwasserbeurteilung der Fokus auf die abflussspezifischen Aspekte des Landschaftsbildes gelegt. Abflussunabhängige Parameter wie z.B. Uferrelief, Ufervegetation oder Verbauungsgrad wurden nicht bewertet, da sie weitgehend unbeeinträchtigt sind und für die Restwasserbemessung nicht im Vordergrund stehen. Die für die Bewertung des Landschaftsbild verwendeten Kriterien und deren Ausprägung sind in Tabelle 20 aufgelistet. Sie wurden von Limnex speziell für den vorliegenden Fall vorgeschlagen und lehnen sich vor allem an die Methode nach Schälchli (1991) sowie den Leitfaden „Landschaftsästhetik“ des BUWAL (Gremminger et al. 2001) an. Jedes Kriterium wurde nach einer vierstufigen Skala bewertet:

- Kriterium vollständig erfüllt
- Kriterium mehrheitlich erfüllt
- Kriterium teilweise erfüllt
- Kriterium nicht erfüllt

Tabelle 20 Bewertungskriterien für das Landschaftsbild in der Restwasserstrecke des KW Waldhalde.

Kriterium	Beschreibung
Benetzte Breite	Die Böschungsfusspunkte werden beidseits erreicht. Flachliegende, grössere Steine werden überströmt (ausgenommen sind Findlinge und Residualblöcke).
Sichtbarkeit des Abflusses	Flussaufwärts betrachtet wird der Abfluss als zusammenhängend wahrgenommen.
Anspringen von Seitengerinnen	In allen Seitengerinnen, die im natürlichen Zustand bei Mittelwasserabfluss durchgehend gut durchströmt sind, ist auch bei Restwasserhältnissen ein durchgehender Abfluss anzutreffen.
Weisses Wasser	Weisses Wasser ist im Bereich von Schnellen oder Abstürzen sichtbar.
Spritzen des Abflusses (nur bei Schnellen, Abstürzen)	Das Spritzen des Überfallstrahls ist bei Abstürzen oder bei Schnellen von einigen Metern Distanz deutlich zu erkennen. Im Überfallbereich sind die angrenzenden, über den Wasserspiegel hinausreichenden Steine und Blöcke benetzt.
Geräusch des Abflusses	Das Rauschen des Abflusses ist auch aus einiger Entfernung noch wahrnehmbar (rein qualitativ).
Vielfalt des Strömungsmusters, Turbulenz	Die Wasseroberfläche ist gegliedert durch Strukturen, Wellen, die Wasseroberfläche ist nicht glatt, es sind vielfältige Strömungsmuster bzw. eine hohe Strömungsvariabilität auf engem Raum vorhanden, häufige Richtungsänderung der Strömung (Wirbel, Wellen, Gischt, stille Buchten)

4.11.2 Untersuchungsabschnitte und -abflüsse

Das Landschaftsbild wurde an drei morphologisch unterschiedlichen Abschnitten beurteilt. Diese decken das vorhandene Spektrum von verschiedenen Morphologietypen in der Restwasserstrecke relativ gut ab:

- **L1:** Kanalähnlicher Abschnitt mit ausgeprägter Verblockung, starke Kammerung, häufigste Situation
- **L2:** Flussbiegung mit grosser Rifflestruktur und Pool sowie eine bewachsene Mittelinsel mit Seitengerinne
- **L3:** Flacher und sehr breiter Abschnitt nach Flussbiegung, Kiesbank, Seitengerinne vorhanden, entspricht Abschnitt A (vgl. Kapitel 4.5 und Kapitel 4.6)

Die Lage dieser Abschnitte geht aus Abbildung 38 hervor. Alle Standorte sind gut einsehbar, entweder von einem Wanderweg oder von einer Brücke aus betrachtet.

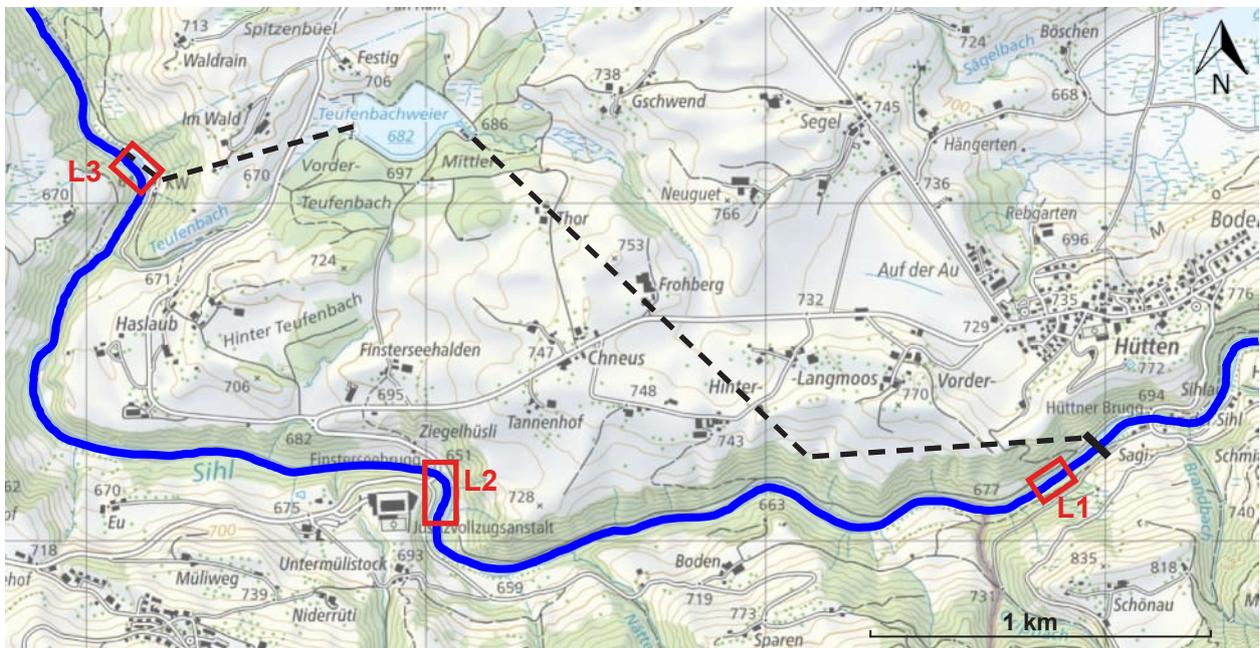


Abbildung 38 Abschnitte für die Landschaftsbewertung in der Restwasserstrecke des KW Waldhalde.

Das Landschaftsbild wurde in jedem Abschnitt bei insgesamt vier verschiedenen Abflüssen aufgenommen: 0.8 m³/s, 1.6 m³/s, 2.5 m³/s, ca. 10 m³/s. Die Niederwasserabflüsse (0.8 -2.5 m³/s) wurden im Rahmen eines Dotierversuchs am 10. Oktober 2022 aufgenommen. Die Aufnahmen bei einem Abfluss von ca. 10 m³/s erfolgten bei einem Hochwasser Ende September 2022.

Die Landschaftsbewertung nach den oben aufgeführten Kriterien erfolgte jedoch nur für die drei Niederwasserabflüsse, da sie für die Beurteilung der Sockelabflüsse im Vordergrund stehen. Die Aufnahmen bei 10 m³/s haben orientierenden Charakter. Sie geben einen Anhaltspunkt zum Erscheinungsbild bei Fassungsüberlauf beim Wehr Hütten und dem vorhandenen Spektrum beim Erscheinungsbild der Sihl.

4.11.3 Ergebnisse Landschaftsbewertung

Die nachfolgenden Fotoserien (Abbildung 39, Abbildung 40, Abbildung 41) zeigen die Situation in den drei Abschnitten L1, L2 und L3 bei den vier beprobten Abflüssen.

Die Bewertung des Landschaftsbildes für den Niederwasserbereich anhand der oben aufgeführten Kriterien ist aus Tabelle 21 ersichtlich.

Landschaftsbild Abschnitt L1



Abbildung 39 Landschaftsbild im Abschnitt L1, ca. 100 m unterhalb Wehr Hütten bei Abflüssen von 800, 1600, 2500 und ca. 10'000 l/s (Fotos: Limnex AG).

Landschaftsbild Abschnitt L2



Abbildung 40 Landschaftsbild im Abschnitt L2 auf Höhe der Finsterseebrücke bei Abflüssen von 800, 1600, 2500 und ca. 10'000 l/s (Fotos: Limnex AG).

Landschaftsbild Abschnitt L3

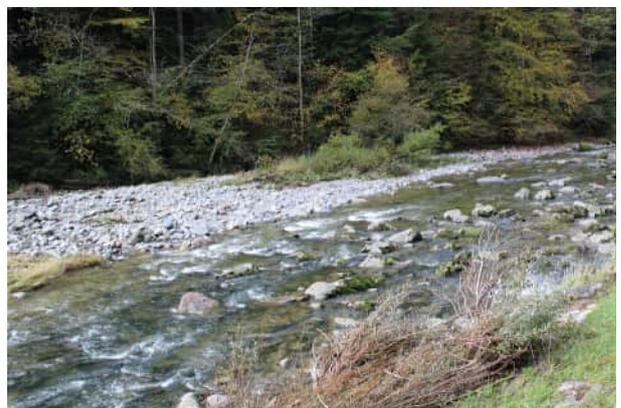


Abbildung 41 Landschaftsbild im Abschnitt L3 auf Höhe der Zentrale Waldhalde bei Abflüssen von 800, 1600, 2500 und ca. 10'000 l/s (Fotos: Limnex AG).

Tabelle 21 Landschaftsbewertung gemäss den oben aufgeführten Kriterien für die drei Abschnitte L1 - L3 in der Restwasserstrecke des KW Waldhalde für den Abflussbereich 0.8 - 2.5 m³/s.

Kriterium	L1			L2			L3		
	0.8 m ³ /s	1.6 m ³ /s	2.5 m ³ /s	0.8 m ³ /s	1.6 m ³ /s	2.5 m ³ /s	0.8 m ³ /s	1.6 m ³ /s	2.5 m ³ /s
Benetzte Breite	2	2	3	2	2	3	2	2	3
Sichtbarkeit des Abflusses	3	3	3	2	2	3	3	3	3
Anspringen von Seitengerinnen	-	-	-	2	2	3	1	1	1
Weisses Wasser	2	2	2	3	3	4	2	2	3
Spritzen des Abflusses (Schnellen, Abstürze)	1	1	2	2	2	3	1	2	2
Geräusch des Abflusses	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Vielfalt des Strömungsmusters, Turbulenz	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Gesamtbewertung (Mittelwert), gerundet	2	2	3	2	2	3	2	2	3

4	Kriterium vollständig erfüllt
3	Kriterium mehrheitlich erfüllt
2	Kriterium teilweise erfüllt
1	Kriterium nicht erfüllt
-	Kriterium nicht relevant

Aus der Tabelle geht hervor, dass einzelne Kriterien im Abflussbereich von 0.8 bis 1.6 m³/s nicht oder nur teilweise erfüllt werden. Die Landschaftsqualität wird in diesem Abflussbereich gesamthaft als mittel (Kriterien teilweise erfüllt) eingestuft. Die Abflüsse liegen im Bereich des natürlichen Q_{347} bis Q_{360} . Ein solches Erscheinungsbild der Sihl tritt demnach natürlicherweise an wenigen Tagen pro Jahr auf.

Bei einem Abfluss von 2.5 m³/s ist eine Verbesserung in der Kriterienbewertung festzustellen. Die meisten Kriterien werden als „mehrheitlich erfüllt“ beurteilt. Die Landschaftsqualität wird gesamthaft als gut eingestuft. Der Abfluss von 2.5 m³/s liegt im Bereich des natürlichen Q_{310} bis Q_{330} . Unter natürlichen Abflussbedingungen (ohne Etzelwerk) tritt somit ein Erscheinungsbild der Sihl, bei dem die Kriterien mehrheitlich erfüllt sind, statistisch gesehen an mindestens 310 Tagen pro Jahr auf.

Die Bewertung zeigt, dass im Niederwasserbereich relativ grosse Abflusssprünge notwendig sind, um in der breiten und stark verblockten Sihl eine für das menschliche Auge erkennbare Veränderung im Landschaftsbild zu erreichen. Am besten ist die abflussabhängige Veränderung in Abschnitt L2 (Riffle, Pool, Insel) von der Finsterseebrücke aus erkennbar.

Anhand der hydrologischen Grundlagen in Kapitel 4.2.6 kann die Abflussdynamik in der Restwasserstrecke und die Häufigkeit der oben aufgezeigten Zustände hinsichtlich Landschaftsbild für den Projekt-Zustand (neues Dotierregime Etzelwerk und KW Waldhalde) abgeschätzt werden. Es lassen sich folgende Aussagen dazu machen:

- Wehrüberlauf beim Sihlwehr Hütten tritt mit dem neuen Dotierregime des Etzelwerks (Var. 5 Modul 2) in Kombination mit dem geplanten neuen Dotierregime des KW Waldhalde statistisch an etwa 90 Tagen pro Jahr auf.
- Abflüsse grösser oder gleich $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ treten in der Restwasserstrecke des KW Waldhalde statistisch an ca. 70 Tagen pro Jahr auf. Gemäss den Abflussganglinien in Kapitel 4.2.6 treten solche Situationen im Jahresverlauf gehäuft zwischen März und September auf.
- Somit kann davon ausgegangen werden, dass die oben aufgeführten Kriterien bezüglich Landschaftsbild an ungefähr 70 Tagen pro Jahr mehrheitlich erfüllt werden, wobei die zeitliche Streuung je nach hydrologischem Jahr sehr gross sein kann.

4.11.4 Einordnung bezüglich BLN-Schutzzielen

Wie in Kapitel 4.10 aufgeführt, liegt die gesamte Restwasserstrecke des KW Waldhalde im BLN-Gebiet. Für die Restwasserbeurteilung relevant ist vor allem Schutzziel 3.2 - *Die natürliche Dynamik der Flusslandschaften von Lorze und Sihl sowie die Urtümlichkeit der nicht erschlossenen Flussabschnitte erhalten*. In diesem Zusammenhang ist vor allem die Abfluss- und Geschiebedynamik bei Hochwasser als sohlenbildender Faktor von zentraler Bedeutung. Die Abstufung der Sockelabflüsse im Niederwasserbereich hat für den Erhalt der natürlichen Dynamik der Flusslandschaft hingegen eine geringere Bedeutung.

Die Hochwasserdynamik in der Sihl wird durch den Sihlsee erheblich beeinflusst bzw. gedämpft. Dank dem Zufluss von Alp und Biber weist die Sihl auf Höhe der Fassung Hütten (Station Blattweg) zwar eine reduzierte, aber zeitlich natürliche Abflussdynamik auf. Gemäss der Methodik Hydmod-F werden die Hochwasserparameter beim Standort Blattweg als wenig verändert bzw. naturnah bezeichnet (Kapitel 4.2.8). Im Zusammenhang mit der neuen Konzession des Etzelwerks sind bezüglich Hochwasser- und Geschiebedynamik noch weitere Massnahmen geplant. Diese umfassen einerseits die periodische Erzeugung von künstlichen Hochwassern an der Staumauer Sihlsee im Rahmen von Modul 1 der neuen Dotiervariante V5 Plus (ARGE Umwelt Etzelwerk 2021). Andererseits sind unterhalb der Staumauer *In den Schlagen* auch Kiesschüttungen zur Sanierung des Geschiebehaushalts geplant. Es ist daher zukünftig auch in der Restwasserstrecke des KW Waldhalde mit einer Verbesserung im Bereich der Dynamik zu rechnen.

Der Betrieb des KW Waldhalde führt nach unserer Einschätzung nur zu einer unwesentlichen Veränderung der Hochwasserdynamik in der Restwasserstrecke. Die maximale Ausleitmenge von etwa $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ist im Vergleich zu den auftretenden, geschiebeführenden Hochwasserabflüssen von zum Teil über $100 \text{ m}^3/\text{s}$ sehr gering. Zudem ist die Fassung geschiebegängig gestaltet, sodass ein zeitnaher Geschiebetransport gewährleistet ist. Wir gehen daher davon aus, dass die Anforderungen bezüglich Erhalt der natürlichen Dynamik der Flusslandschaft im Perimeter des KW Waldhalde erfüllt sind.

4.11.5 Gesamtbeurteilung Landschaftsbild

Das Naturerlebnis in der Restwasserstrecke des KW Waldhalde ist gesamthaft betrachtet hauptsächlich durch die naturnahe Morphologie und weniger durch den hier im Fokus stehenden Abfluss geprägt. Der Abfluss im betrachteten Niederwasserbereich von 0.8 bis 2.5 m³/s wird aus Landschaftssicht nicht als unnatürlich, sondern als tiefer Abfluss empfunden. Die vielfältigen Strukturen der Flusssohle führen zu einer grossen Strömungs- und Habitatvielfalt und einem positiven Landschaftserlebnis. Aufgrund der geringen Abflusssensitivität im Niederwasserbereich, fallen Abflussveränderungen für die menschliche Wahrnehmung nur schwach ins Gewicht. Dies gilt insbesondere für L1 und L3 und etwas weniger für L2 oberhalb der Finsterseebrücke, wo die Sihl gewissermassen aus der Vogelperspektive eingesehen wird. Hier ist das Landschaftserlebnis bei 2.5 m³/s deutlich eindrücklicher als bei tieferen Abflüssen. Bei 10 m³/s liefert die Sihl im Vergleich zu den Niederwasserabflüssen eher ein Hochwasserbild, welches zum Zeitpunkt der Aufnahme durch die Trübung - die natürlicherweise nach wenigen Stunden abnimmt - noch verstärkt wurde.

Gestützt auf die sieben angewandten Kriterien ist für die Festlegung der Restwassermengen unter Art. 33 Abs. 3 GSchG ein Abfluss im Bereich von 2.5 m³/s zu empfehlen. Mit dem geplanten neuen Dotierregerime wird eine solche Situation durchschnittlich an 70 Tagen pro Jahr durch Überlauf an der Fassung erreicht oder überschritten. Sofern eine länger andauernde Verbesserung des Landschaftsbild angestrebt wird, müsste die Dotierwassermenge zumindest saisonal auf einen Abfluss von 2.5 m³/s angehoben werden. Dies könnte, wie auch bei anderen Kraftwerken, vor allem im Sommerhalbjahr zur Anwendung kommen.

Dieser Abfluss kommt aber nur dann zur Anwendung, wenn der Fassungszufluss mindestens 2.5 m³/s beträgt. Fällt der natürliche Fassungszufluss unter diesen Wert, gilt der natürliche Zufluss als massgebend. Die Anforderungen an die Landschaft sind dann trotz Unterschreitung erfüllt. Eine solche Situation tritt dann auf, wenn beim Sihlsee Artikel 36 GSchG angewendet wird und der natürliche Seezufluss in die Restwasserstrecke weitergeleitet wird (Trockenheitsregime).

5 Einhaltung der Restwasserbestimmungen

Die im Kapitel 4 hergeleiteten Mindestanforderungen werden in der nachfolgenden Tabelle 22 unter Berücksichtigung saisonal unterschiedlicher Vorgaben für die Restwasserstrecke des KW Waldhalde aufgeführt. Die Werte gelten für die gesamte Restwasserstrecke, es erfolgt keine Aufteilung in mehrere Abschnitte. Nachfolgend werden die verschiedenen Aspekte gegliedert nach den Gesetzesartikeln Art. 31 - 33 GSchG zusammenfassend dargestellt.

Die Interessen für die Wasserentnahme (Art. 33 Abs. 2 GSchG) werden im nachfolgenden Kapitel 6 separat aufgezeigt.

Art. 31 Abs. 1 GSchG	
Mindestrestwassermenge, Q ₃₄₇	Der Mindestabfluss beträgt beim Sihlwehr Hütten ausgehend vom natürlichen (historischen) Q ₃₄₇ 0.77 m ³ /s (aufgerundet 0.8 m ³ /s)
Art. 31 Abs. 2 GSchG	
Wasserqualität (Bst. a)	Auf diesem Abschnitt befinden sich keine Abwassereinleitungen. Dieser Parameter ist deshalb nicht relevant.
Grundwasservorkommen (Bst. b)	Die Trinkwassergewinnung ist auf diesem Abschnitt nicht von der Wasserentnahme betroffen. Der Parameter wird deshalb als nicht relevant eingestuft.
Seltene Lebensräume (Bst. c)	Im Zusammenhang mit den aquatischen Lebensräumen ist es von grosser Bedeutung, in den Sommermonaten eine nachteilige Temperaturentwicklung in der Restwasserstrecke zu verhindern. Aus diesem Grund soll gemäss dem Vorschlag des Kantons eine temperaturabhängige Erhöhung des Sockelabflusses erfolgen. Der maximale, temperaturabhängige Sockelabfluss beträgt dabei 1.6 m ³ /s.
Seltene Lebensgemeinschaften Makrozoobenthos (Bst. c)	Im Rahmen der biologischen Erhebungen wurde mehrere Rote Liste Arten beim Makrozoobenthos in der Restwasserstrecke festgestellt. Mit den vorliegenden Daten kann jedoch keine robuste Aussage zum erforderlichen Mindestabfluss gemacht werden. Es ist aber anhand der Daten zu den aquatischen Lebensräumen davon auszugehen, dass die vorgeschlagene Restwasserregelung mit einem Sockelabfluss von 0.8 m ³ /s (Dez. - Mär.) und 1.2 m ³ /s (Apr. - Nov.) zu einer Verbesserung führt.

Seltene Lebensgemeinschaften Fische (Bst. c)	In der Restwasserstrecke kommen mehrere Rote Liste Arten vor. Mit den vorliegenden Daten kann jedoch keine Aussage zum erforderlichen Mindestabfluss gemacht werden. Anhand der Daten zu den aquatischen Lebensräumen ist davon auszugehen, dass die vorgeschlagene Restwasserregelung mit einem Sockelabfluss von 0.8 m ³ /s (Dez. - März) und 1.2 m ³ /s (Apr. - Nov.) zu einer Verbesserung gegenüber dem heutigen Zustand führt.
Fischwanderung (Bst. d)	Aufgrund der Modellierung von HZP (2020) wird für die freie Fischwanderung ein Abfluss von 1.0 m ³ /s ausgewiesen. Gemäss der vorgeschlagenen neuen Restwasserregelung wird dieser Abfluss von Dezember bis März unterschritten. In diesem Fall gilt Art. 31 Abs. 1 GSchG.
Laichareale (Bst. e)	Diese Bestimmung ist für die Sihl nicht relevant.
Art. 32 GSchG	Dieser Artikel ist für die Sihl nicht anwendbar.
Art. 33 Abs. 3 GSchG	
Landschaftselement (Bst. a)	Die Landschaftsqualität ist im Abflussbereich 0.8 bis 1.6 m ³ /s mittel. Bei einem Abfluss von 2.5 m ³ /s ist besonders im mittleren Abschnitt der Restwasserstrecke (Fensterseebrücke) eine Verbesserung zu beobachten. Aus Landschaftssicht ist für die Festlegung der Restwassermengen unter Art. 33 Abs. 3 GSchG zeitweise ein Abfluss im Bereich von 2.5 m ³ /s vorteilhaft (Vorschlag: April bis Oktober). Mit den neu vorgeschlagenen Restwassermengen ist dieser Abfluss im Mitteljahr 2014 an 70 Tagen überschritten (vgl. Abbildung 15).
Aquatische Lebensräume	Keine abschliessende Beurteilung möglich. Die vorhandenen Daten deuten darauf hin, dass alle standorttypische Habitate vorhanden sind. Die Hochwasserdynamik ist weitgehend gewährleistet.
Wasserqualität	Keine zusätzliche Abflusserhöhung notwendig.
Grundwasser	Keine zusätzliche Abflusserhöhung notwendig.
Landwirtschaftliche Bewässerung	Keine zusätzliche Abflusserhöhung notwendig.

Tabelle 22 Restwassertabelle mit den erforderlichen Mindestwassermengen für die gesamte Restwasserstrecke des KW Waldhalde gemäss Artikel 31-33 GSchG. Die mit einem * gekennzeichneten Abflüsse werden als situative, temperaturabhängige Dotierung umgesetzt. Der Abfluss von 1.6 m³/s entspricht hier dem vorgesehenen Maximalwert.

Art.	Abs.	Bst.	Beschreibung	Mindestrestwassermengen nach Art. 31 - 33 GSchG [m³/s]												
				Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
31	1		Q347, Formel Matthey, gerundeter Wert	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	2	a	Wasserqualität													
		b	Grundwasser													
		c	Seltene Lebensräume und -gemeinschaften					1.6*	1.6*	1.6*	1.6*	1.6*	1.6*	1.6*	1.6*	1.6*
		d	Freie Fischwanderung (Referenzlänge 50 cm)				1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
		e	Laichgebiete													
			Artikel 31 GSchG	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	1.6*	1.6*	1.6*	1.0	1.0	1.0	0.8
32		a	Kleine, hochgelegene Gewässer													
		b	Nichtfischgewässer													
		b ^{bis}	Geringes ökologisches Potenzial													
		c	Schutz- und Nutzungsplanung													
		d	Notsituationen													
			Artikel 31 und 32 GSchG	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	1.6*	1.6*	1.6*	1.0	1.0	1.0	0.8
33		a	Landschaft				2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
		b	Aquatische Lebensräume													
		c	Wasserqualität													
		d	Grundwasser													
		e	Landwirtschaftliche Bewässerung													

6 Interessen für die Wasserentnahme

Hinweis: Kapitel 6 wurde von Alfredo Scherngell, Leiter Wasserkraft EKZ, verfasst (16.03.2023).

6.1 Ausgangslage

Beim Kraftwerk Waldhalde an der Sihl handelt es sich mit einer Nennleistung von 2.6 MW per Definition um ein Kleinwasserkraftwerk (Kraftwerke mit einer Leistung <10 MW). Das Kraftwerk (KW) liegt in der Restwasserstrecke des Pumpspeicherwerks Etzelwerk, wodurch sich vom Stauwehr Kraftwerk Waldhalde bis zur Wasserrückgabe unterhalb des Maschinenhauses eine doppelte Restwasserstrecke ergibt.

Beim Kraftwerk Waldhalde wird also das Restwasser des Etzelwerks ein zweites Mal zur Stromproduktion genutzt. Mit der bestehenden Konzession Etzelwerk fließen so dem KW Waldhalde stets mindestens 2.5 m³/s zu. Dies ermöglicht eine im Jahresverlauf ausgeglichene Stromproduktion von im Mittel 13.6 GWh. Mit 6.8 GWh wird die Hälfte der Jahresproduktion im Winterhalbjahr produziert. Damit trägt das Kraftwerk Waldhalde einen wichtigen Anteil an der Energieversorgung im Winter.

6.2 Neue Restwassermenge

Nach dem Ablauf der Etzelwerk-Konzession im Mai 2017 ist auf Ende des selben Jahres die Zuger Wasserrechtskonzession für das KW Waldhalde ausgelaufen.

Die neue Etzelwerkkonzession sieht einen Wechsel des Dotierregimes von einem saisonal abgestuften auf ein dynamischeres Modell vor. Gleichzeitig soll auch beim KW Waldhalde die Restwassersanierung nach GSchG erfolgen.

Mit dem Amt für Umwelt des Kantons Zug wurde unter Beizug der Fischerei- und Jagdverwaltung des Kantons Zürich die erforderliche Restwassermenge zur Erfüllung der Mindestrestwassermenge gemäss GSchG Art. 31 festgelegt. Die neu einzuhaltende Mindestrestwassermenge soll demnach wie folgt betragen:

- Vom 1. Dezember bis zum 31. März 800 l/s
- Vom 1. April bis zum 31. Mai 1'200 l/s
- Vom 1. Juni bis zum 31. August
 - bei einer Wassertemperatur am Ende der Restwasserstrecke unter 18°C 1'200 l/s
 - bei einer Wassertemperatur am Ende der Restwasserstrecke ≥ 18 °C 1'400 l/s
 - bei einer Wassertemperatur am Ende der Restwasserstrecke ≥ 20 °C 1'600 l/s
- Vom 1. September bis zum 30. November 1'200 l/s

Mit der Erhöhung der Restwassermengen während den Sommermonaten, in Abhängigkeiten einer gemessenen Wassertemperatur der Sihl, wurde ein neuer Ansatz für eine dynamische Dotierung gefunden. Damit trägt EKZ dazu bei den höheren Wassertemperaturen durch vermehrte Hitzeperioden und ausbleibende Niederschläge entgegen zu wirken. Ausserdem wird mit der geplanten Infrarot-Wassertemperaturmessung in eine neue zukunftsgerichtete Technologie investiert.

6.3 Begründung gegen eine weitere Erhöhung der Restwassermenge

Mit dem neuen Dotierregime Etzelwerk fällt der saisonal abgestufte jedoch konstante Zufluss, und insbesondere der garantierte Mindestzufluss von 2.5 m³/s, weg. Die gleichzeitige Erhöhung der Restwassermenge beim KW Waldhalde führt daher zu einer einschneidenden Produktionsverminderung mit entsprechenden wirtschaftlichen Nachteilen.

Gemäss aktuellen Modellrechnungen wird das KW Waldhalde in einem sehr trockenen Jahr (Abflüsse aus dem Jahr 2018) bis zu 102 Tage (28% der Jahresdauer) stillstehen. Die Stillstände treten dabei in den Monaten Oktober und November sowie in den Sommermonaten Juni, Juli und August auf. Im Extremfall wurde ein Rückgang der Jahresproduktion auf 11.5 GWh (-15%) berechnet. Mit dieser Ausgangslage ist klar, dass eine weitere Erhöhung der Restwassermenge beim KW Waldhalde, insbesondere in den Sommermonaten, den wirtschaftlichen Weiterbetrieb gefährdet.

Die Gestehungskosten von Kleinwasserkraftwerken liegen höher als jene grosser Wasserkraftwerke. Beim Kraftwerk Waldhalde betragen diese aktuell 120 CHF/MWh. Jede Erhöhung der Restwassermenge reduziert die Jahresproduktion und führt damit zu einer Steigerung der Gestehungskosten. Im oben beschriebenen Trockenjahr sogar um ca. 23% auf rund 150 CHF/MWh.

6.4 Zusammenfassung

Mit der Energieproduktion von aktuell rund 13.6 GWh pro Jahr ist für den Weiterbetrieb des KW Waldhalde ein klares öffentliches Interesse (GSchG Art. 33 Absatz 2 Bst. a) gegeben.

Mit einer Bruttoleistung von rund 2'200 kW leistet das KW Waldhalde aktuell einen Wasserzins von rund 242'000 CHF. Zudem sind mit dem Kraftwerksbetrieb eine Reihe von Unterhaltspflichten wie für den Teufenbachweier sowie für Strassen und Wegen verbunden (GSchG Art. 33 Absatz 2 Bst. b).

Im vorangegangenen Abschnitt wurden die Auswirkungen der Restwassererhöhung auf die Wirtschaftlichkeit des Kraftwerks aufgezeigt. EKZ nimmt seine Verantwortung für einen ökologischen Kraftwerksbetrieb wahr. Jede weitere Erhöhung der Restwassermenge würde jedoch einen Weiterbetrieb des Kraftwerks in Frage stellen (GSchG Art. 33 Absatz 2 Bst. c).

Ebenso wurde bereits in den vorhergehenden Abschnitten aufgezeigt, dass das KW Waldhalde einen wichtigen Beitrag zur Inländischen Stromproduktion leistet. Davon steht rund die Hälfte im Winterhalbjahr zur Verfügung. Dies ist eher untypisch für ein Laufwasserkraftwerk. Damit kann die Stromlücke im Winter reduziert werden. Aus Sicht von EKZ ist es ausserdem sinnvoller die Bedingungen für einen wirtschaftlichen Betrieb bestehender Wasserkraftanlagen zu schaffen, statt neue Gebiete für die Nutzung der Wasserkraft zur Stromproduktion zu erschliessen (GSchG Art. 33 Absatz 2 Bst. d).

Dietikon, 16. März 2023

Alfredo Scherngell
Leiter Wasserkraft

7 Einhaltung weiterer Bestimmungen

7.1 Wiederherstellungs- und Ersatzmassnahmen

Mit der Verlängerung der Zuger Konzession werden keine Veränderungen an den technischen Anlagen oder der Nutzwassermenge des KW Waldhalde vorgenommen. Mit Ausnahme der Restwassermengen (Etzelwerk und Kraftwerk Waldhalde) verändert sich an der bisherigen Situation nichts. Von daher kann davon ausgegangen werden, dass der Projektzustand weitgehend dem Ist-Zustand entspricht. Da gemäss Art. 58a Abs. 5 WRG der Zustand zum Zeitpunkt der Gesuchseinreichung als Referenzzustand zu Grunde gelegt wird, sind somit grundsätzlich keine Wiederherstellungs- und Ersatzmassnahmen nach Art. 18 Abs. 1^{ter} NHG zu treffen.

Allerdings stellt sich die Frage der Anwendbarkeit dieser Bestimmung auf kleine Wasserkraftwerke. Das Kraftwerk Waldhalde hat eine installierte Leistung von unter 3 MW. Gemäss der Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) muss daher keine Umweltverträglichkeitsprüfung erstellt werden. Art. 58a Abs. 5 WRG bezieht sich aber explizit auf UVP-pflichtige Kraftwerke. Morgenbesser und Eichenberger (2022) beurteilen diese Frage für das Kraftwerk Waldhalde aus juristischer Sicht. Gemäss ihrer juristischen Einschätzung besteht eine Gesetzeslücke, da vom Gesetzgeber nicht beabsichtigt war, eine Unterscheidung zwischen kleinen (< 3 MW) und grösseren Kraftwerken (> 3 MW) vorzunehmen. Vielmehr sollten die Unsicherheiten in der Praxis betreffend Ausgangszustand generell beseitigt werden, weswegen Art. 58a Abs. 5 WRG für sämtliche Kraftwerke anwendbar sei. Nach Ansicht von Morgenbesser und Eichenberger kann die bestehende Gesetzeslücke durch Analogie geschlossen werden. Detailliertere Ausführungen dazu befinden sich in Kapitel 9.3.

Die EKZ stellt sich aufgrund dieser Überlegungen, in Absprache mit den Behörden des Kantons Zug (Protokoll der Besprechung vom 22. Januar 2019), auf den Standpunkt, dass für die Verlängerung der Zuger Konzession für das Kraftwerk Waldhalde keine Wiederherstellungs- und Ersatzmassnahmen zu treffen sind.

8 Literatur

- ARGE Umwelt Etzelwerk (Firmen: Infraconsult, Limnex & Fischwerk) (2021): Konzessionserneuerung Etzelwerk - Restwasserbericht, 260 S. + Anhang, Bericht im Auftrag SBB, Infrastruktur Energie, Projekte und Engineering, Version 3.0 / 26.04.2021.
- AquaPlus AG 2017: KW Waldhalde - Monitoring Fischgängigkeit. Funktionskontrolle und Bewertung der Fischauf- und -abstiegsanlagen. Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, 24 S. und Anhang.
- Aschwanden, H. 1992: Die Niedrigwasserabflussmenge Q347 – Bestimmung und Abschätzung in alpinen schweizerischen Einzugsgebieten. Eine Arbeitsanleitung. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Landeshydrologie und -geologie, Mitteilung Nr. 18, Bern 1992.
- AWEL (2020): Konzept zur Untersuchung der Oberflächengewässer - Messperiode 2018 bis 2021, Version 6, Autor: Pius Niederhauser.
- AWEL: Factsheet Hauptmessstelle 910: Sihl bei Hütten, <https://www.zh.ch/de/umwelt-tiere/wasser-gewaesser/messdaten/fliesssgewaesserqualitaet.html>
- AWEL: Factsheet Stelle 115: Sihl bei Hütten, <https://www.zh.ch/de/umwelt-tiere/wasser-gewaesser/messdaten/fliesssgewaesserqualitaet.html>
- BAFU (2019): Liste der National Prioritären Arten und Lebensräume. In der Schweiz zu fördernde prioritäre Arten und Lebensräume. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt- Vollzug – Biodiversität: 99 S.
- BAFU (Hrsg.) (2019): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung von Fliessgewässern (IBCH_2019). Makrozoobenthos – Stufe F. 1. aktualisierte Ausgabe, November 2019; Erstausgabe 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1026: 59 S.
- BAFU (Hrsg.)(2021): Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Gewässer. Hydrologie, Gewässerökologie und Wasserwirtschaft. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 2101: 134 S.
- BAFU, Abteilung Hydrologie: Methodenerläuterung - Abschätzung Q347 mit GIS-Applikation BAFU.
- Baumann, P., Kirchhofer, A., Schälchli, U. (2012): Sanierung Schwall/Sunk – Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. BAFU, Umwelt- Vollzug 1203, 126 S.
- Binderheim E., Göggel W. 2007: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Äusserer Aspekt. Umwelt-Vollzug Nr. 0701. Bundesamt für Umwelt, Bern. 43 S.
- Breitenstein, M., Kirchhofer, A. (2010) Förderung der litho-rheophilen Fischarten der Schweiz - Factsheets zu Biologie und Förderungsmassnahmen. BAFU, 50 S.
- B+S (2021): Konzessionserneuerung Etzelwerk: Bewertung Dotierszenarien mittels Modul-Stufen-Konzept Hydrologie (Stufe F). Ergänzungsbericht Dotiervarianten 5+ (Module 1, 2, 3). Bericht im Auftrag der SBB AG, Infrastruktur, Energie.
- Dönni, W., Boller, L., Zaugg, C. (2016a): Mindestwassertiefen für See- und Bachforellen – Biologische Grundlagen und Empfehlungen. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt: 42 S.
- Dönni, W., Spalinger, L., Knutti, A. (2016b) Die Rückkehr des Lachses in der Schweiz – Potential und Perspektiven. Aus-legeordnung. Bundesamt für Umwelt, 55 S.

- Dönni, W., Spalinger, L., Knutti, A. (2017) Erhaltung und Förderung der Wanderfische in der Schweiz – Zielarten, Einzugsgebiete, Aufgaben. Bundesamt für Umwelt (BAFU), 53 S.
- Dübendorfer, C., Kirchofer, A., Baumann, P. (2011): Expertenbericht zu einem Modul Temperatur im Rahmen des Modul-Stufen-Konzepts, Expertenbericht vom Dezember 2011, Bundesamt für Umwelt
- Ebel, G. (2013): Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen – Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. Ingenieurbiologische Grundlagen, Modellierung und Prognose, Bemessung und Gestaltung. Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie 4, 483 S.
- Elber, F., Stäheli, T., Camenzind, M. (2019): Revitalisierung von Fließgewässern in Zeiten des Klimawandels. Aqua Viva – Die Zeitschrift für Gewässerschutz, 03/2019, S. 26 - 31
- Elliott, J. M., Hurley, M. A., Fryer, R. J. (1995): A new, improved growth model for brown trout, *Salmo trutta*. Functional Ecology, Nr. 9, S. 290–298.
- Estoppey, R., Kiefer, B., Kummer, M., Lagger, S., Aschwanden, H. (2000): Angemessene Restwassermengen – Wie können sie bestimmt werden? BUWAL-Vollzug Umwelt, 140 S.
- Ferguson, A., Reed, T. E., Cross, T. F., McGinnity, P., Prodöhl, P. A. (2019) Anadromy, potamodromy and residency in brown trout *Salmo trutta*: the role of genes and the environment. Journal of Fish Biology 95, 692-718.
- Fischwerk (2019): Neukonzessionierung Kraftwerk Waldhalde, Sihl - Restwasserbericht, Teil Freie Fischwanderung. Bericht im Auftrag der EKZ, 03.09.2019.
- Flussbau AG (2014): Sanierungsplan Geschiebehaushalt, Los Sihl. Studie im Auftrag des Kantons Schwyz, Umweltdepartement, Amt für Wasserbau.
- Flussbau AG & Jäckli Geologie (2017): Sihl, Langnau a.A. - Zürich. Auswirkungen des Etzelwerkes und des geplanten Hochwasserentlastungsstollens auf die Kolmation der Sihlsohle und die Grundwasserneubildung. Bericht im Auftrag des AWEL und der SBB. Schlussbericht vom 6. Oktober 2017.
- Flussbau AG (2020): Sihl, Staumauer Schlagen - Dreiwässern. Sanierung Geschiebehaushalt: Studie über Art und Umfang der Massnahmen. Bericht im Auftrag der SBB, Grossprojekte Energie, 8. Januar 2020.
- Flussbau AG & WSL (2020): Etzelwerk - Auswirkungen des Wehrréglements auf den Geschiebehaushalt der Sihl und die Dekolmation der Sohle. Bericht im Auftrag der SBB und des AWEL Zürich. Entwurfversion vom 19. August 2020.
- Friederich, G., Smukalla, R. (1994): Ökologische Effizienz von Renaturierungsmassnahmen an Fließgewässern. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen. Materialien Nr. 7. 462 S.
- Gonseth Y., Monnerat, C. (2002): Rote Liste der gefährdeten Libellen der Schweiz. Hrsg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, und Schweizer Zentrum für die Kartographie der Fauna, Neuenburg. BUWAL-Reihe Vollzug Umwelt. 46 S.
- Gostner, W. (2012): The Hydro-Morphological Index of Diversity: a Planning Tool for River Restoration Projects, Dissertation, Thèse No. 5408 (2012), Faculté de l'environnement naturel, architectural et construit laboratoire de constructions hydrauliques, EPFL.
- Gremminger, T., Keller, V., Roth, U., Schmitt, H.-M., Stremmlow, M., Zeh, W. (2001): Landschaftsästhetik. Wege für das Planen und Projektieren. Hrsg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Leitfaden Umwelt Nr. 9. Bern.

- Herrmann, M., Ott, B., Seitz, B., Heise, J. (2004) Untersuchungen zur Fortpflanzungsbiologie, Entwicklung und zu den Lebensräumen von Schneider (*Alburnoides bipunctatus* BLOCH 1782) und Strömer (*Leuciscus souffia agassizi* VALENCIENNES 1844) – Abschlussbericht über die Untersuchungen 2002-2004. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 96 S.
- Huet, M. (1949): Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courants. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 11: 333–351.
- Hunziker, Zarn & Partner (2020): Kraftwerk Waldhalde - Hydraulische Modellierung der Restwasserverhältnisse, 02. Juni 2020
- Hütte, M., Niederhauser, P. (1998): Ökomorphologie Stufe F (flächendeckend). Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz. Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 27. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern. 49 S.
- Jäckli AG (2020): Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse im Abschnitt Sihlsee bis Langnau a.A – Hydrogeologischer Kurzbericht im Auftrag der SBB Energie, Projekte und Engineering, 28.09.2020.
- Küttel, S. Peter, A., Wüest, A. (2002): Rhone Revitalisierung: Temperaturpräferenzen und -limiten von Fischarten Schweizerischer Fliessgewässer, Publikation Nr. 1, 1. März 2002.
- Limnex AG (2014): Sanierung von Schwall/Sunk im Kanton Zürich - Beschlossene Planung. Bericht im Auftrag des Amt für Abfall, Wasser, Energie, Luft, Sektion Gewässernutzung, 15. Dezember 2014, 79 S.
- Limnex AG (2019): Kraftwerk Waldhalde EKZ - Bestimmung des Q347 und Herleitung der Mindestrestwassermenge nach Art. 31 Abs. 1 GSchG, 06. September 2019
- Limnex AG (2020): Untersuchung zur Dotierung der Sihl über den Grundablass. Bericht im Auftrag der SBB, Infrastruktur Energie, 20 S, 17.12.2020.
- Lundsgaard-Hansen, B., Mural, R. (2017): Gewässerschutzgesetzgebung und thermische Nutzung. Relevanz und Rahmenbedingungen, Bundesamt für Umwelt, Abteilung Wasser, Bern. Kurs-Unterlagen zum Praxisorientierter Eawag Kurs „*Heizen und Kühlen mit Seen und Flüssen*“, Kastanienbaum, 8. November 2017.
- Lubini V., Knispel S., Sartori M., Vicentini H., Wagner A. (2012): Rote Listen Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen. Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern, und Schweizer Zentrum für die Kartographie der Fauna, Neuenburg. Umwelt-Vollzug Nr. 1212: 111 S.
- Marrer, H. (1981): Vorschläge für Massnahmen im Interesse der Fischerei bei technischen Eingriffen in Gewässer. Veröffentlichung Nr. 40 des Bundesamtes für Umweltschutz und der Eidgenössischen Fischereiinspektion, Bern, 1–79.
- Moog O., Schmidt-Kloiber A., Vogl R., Koller-Kreimel V. (2010): ECOPROF – Version 3.2. Software zur Bewertung des ökologischen Zustandes von Fliessgewässern nach WRRL.
- Morgenbesser, M. Eichenberger, A. (2022): Wasserkraftwerk Waldhalde - Rechtliche Einschätzung betreffend Art. 58a Abs. 5 WRG, Aktennotiz zuhanden der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ).
- Pfaundler, M., Dübendorfer, C., Zysset, A. (2011): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Hydrologie - Abflussregime Stufe F (flächendeckend). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1107: 113 S.
- Schälchli, U. (1991): Morphologie und Strömungsverhältnisse in Gebirgsbächen: ein Verfahren zur Fest-

- legung von Restwasserabflüssen. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Mitteilung 113, Zürich 1991, Hrsg. Prof. Dr. D. Vischer.
- Schälchli, U. (2002): Innere Kolmation. Methoden zur Erkennung und Bewertung. Bericht im Auftrag von Fischnetz c/o EAWAG, Dübendorf: 22 S.
- Scherrer AG (2013): Hochwasser-Hydrologie der Sihl – Hochwasserabschätzung unterhalb des Sihl-sees bis Zürich. Bericht im Auftrag des Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL).
- Schweder, H. (1992): Neue Indizes für die Bewertung des ökologischen Zustandes von Fließgewässern, abgeleitet aus der Makroinvertebraten-Ernährungstypologie. In Lacombe (Ed.): Ökologische Bewertung von Fließgewässern. Limnologie aktuell, Bd. 3. Gustav F
- Sieber & Liechti GmbH, IUB Engineering AG (2020): Temperaturverlauf in Fließgewässern - Untersuchung und Visualisierung von Temperatureinflüssen, Ableitung von Massnahmenvorschlägen. Bericht im Auftrag des BAFU/Sektion Lebensraum Gewässer, Kanton Zürich/AWEL, Abteilung Gewässerschutz, Renaturierungsfonds Kanton Bern, Kanton Aargau/Jagd- und Fischerei, Kanton Zürich/Fischerei- und Jagdverwaltung, 07.12.2020.
- Sørensen, T. (1948): A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. Kongelige Danske Videnska- bernes Selskab 5 (4): 1–34.
- Strohmeier P., Bruckner G., Schlumprecht H. und Strätz C. (2005): Verschlammung und Versandung oberfränkischer Fließgewässer. Hrsg.: Bezirk Oberfranken, Bezirksfischereiverband Oberfranken, Landesfischerei- verband Bayern.
- Stucki, P. (2010): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer: Makrozoobenthos Stufe F (flächendeckend). BAFU 1026, 61 S.
- Tonolla D., Chaix O., Meile T., Zurwerra A., Büsser P., Oppliger S., Essyad K. (2017): Schwall-Sunk – Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1701: 133 S.
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R., Cushing, C.E. (1980): The river continuum concept. Can. J. Fish. Aquat. Sci. Vol. 37: 130-137.
- Wilhm, J.L., Dorris, D.C. (1968): Biological parameters of water quality. Bioscience 18: 477 - 481.
- Zappa, M. (2019): Wasserbilanz Sihlsee bei Trockenheit. Bericht im Auftrag der SBB. 23 S.
- Zelinka, M. & Marvan, P. (1961): Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. Arch. Hydrobiol. 57: 389-407.

9 Anhang

9.1 Gewässerökologische Indices

Für die Bewertung der qualitativen Aspekte der Benthosbiozönosen wurden verschiedene Indices mit der Software ecoprof (Moog et al. 20010) als Interpretationshilfe berechnet:

- **Anzahl Taxa:** Grobes Mass für die Artenvielfalt.
- **IBCH_2019:** Der IBCH ist ein grobes Mass zur Bestimmung der Diversität des Makrozoobenthos und allfälliger Gewässerbelastungen. Beim aktualisierten Index IBCH_2019 gibt die Indikatorgruppe (IG) zusätzlich Information zur Wasserqualität, während die Diversitätsklasse (DK) andere anthropogene Einflüsse (z.B. Ökomorphologie, Hydrologie etc.) abbildet (BAFU (Hrsg.) 2019)
- **Anzahl EPT-Familien:** Mass für die Artenvielfalt der empfindlichen Insekten aus den Ordnungen der Eintags-, Stein- und Köcherfliegen (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera).
- **Diversitäts-Index:** Mass für die Artenvielfalt eines Gewässers. Je grösser der Wert, desto grösser die Vielfalt. Werte über 3 bezeichnen meist eine gute bis sehr gute Vielfalt (nach Wilhm & Dorris 1968).
- **Evenness-Index:** Mass für die Ausgewogenheit eine Biozönose. Eine Evenness von 1.0 zeigt eine total ausgewogene Population an, in der alle Arten gleich häufig vertreten sind. Natürlicherweise kommen nie alle Arten gleich häufig vor. Als Optimum der Evenness gelten Werte zwischen 0.7 - 0.8.
- **Saprobien-Index:** Mass für die organische Belastung eines Gewässers. Der Index kann Werte zwischen 1 und 4 annehmen, wobei 1 ein unbelastetes und 4 ein übermässig belastetes Gewässer bezeichnet (nach Zelinka & Marvan 1961).
- **Rhithron-Ernährungstypen-Index:** Der RETI nach Schweder (1992) basiert auf der Zuordnung aller erfassten Makroinvertebraten zu bestimmten Ernährungstypen. Für den RETI wird der Anteil von Weidegängern und Zerkleinerern an allen Primärkonsumenten berechnet. Für Bachoberläufe (rhithrale Gewässer) werden Werte > 0.5 erwartet.
- **Längenzonierungs-Index (LZI):** Im Längsverlauf eines unbeeinflussten Fliessgewässers von der Quelle bis zum Meer verändern sich die Biozönosen. Diese werden in zehn biozönotische Regionen unterteilt. Der LZI berechnet anhand der Taxaliste die biozönotische Region. Die Abweichung des LZI von der erwarteten biozönotischen Region liefert Hinweise für allfällige Beeinträchtigungen des untersuchten Gewässerabschnittes. Die Festlegung der erwarteten biozönotischen Region basiert auf den Parametern Gefälle, Gewässerbreite und Temperatur (Huet 1949 und Marrer 1981). Von der Quelle bis zum Meer unterscheiden wir folgende zehn biozönotische Regionen: LZI 1 = Eukrenal (Quellregion), 2 = Hypokrenal (Quellbach), 3 = Epirhithral (obere Forellenregion), 4 = Metarhithral (untere Forellenregion), 5 = Hyporhithral (Äschenregion), 6 = Epipotamal (Barbenregion), 7 = Metapotamal (Brachsenregion), 8 = Hypopotamal (Flunderregion), 9 = Litoral (Uferregion), 10 = Profundal (Tiefenwasser).

9.2 Kurzbericht Bestimmung Q347, Limnex (2019)

Limnex AG
Neumarktplatz 18
Limnologie 5200 Brugg
044 313 13 00
Gewässerökologie info@limnex.ch
www.limnex.ch
Hydrometrie



Kraftwerk Waldhalde EKZ

Bestimmung des Q347 und Herleitung der Mindestrestwassermenge nach Art. 31 Abs. 1 GSchG

Zuhanden
Herr Alfredo Scherngell
Elektrizitätswerke des Kantons Zürich
Projekte Erneuerbare Energien
Überlandstrasse 2
Postfach 792
CH-8953 Dietikon

Brugg, 06.09.19

Ausgangslage

Im Zusammenhang mit der Konzessionserneuerung des Kraftwerks Waldhalde der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) soll für den Fassungsstandort Waldhalde der natürliche Niedrigwasserabfluss Q_{347} berechnet werden. Daraus wird nach Art. 31. Abs. 1 GSchG die Mindestrestwassermenge hergeleitet. Die Limnex AG wurde von EKZ damit beauftragt, basierend auf den Grundlagen des Restwasserberichts zur Konzessionserneuerung der Etzelwerke (SBB) die entsprechenden Berechnungen zum Q_{347} durchzuführen. Mit Genehmigung der SBB (J. Nachbur) werden hierfür die Datengrundlagen aus dem Restwasserbericht verwendet und auf den Fassungsstandort Waldhalde umgerechnet.

Berechnung Q_{347} und Herleitung Mindestrestwassermenge

Analog zum Restwasserbericht Etzelwerke wird der Abfluss Q_{347} im Sinne einer Auslegeordnung mit vier verschiedenen Ansätzen berechnet resp. abgeschätzt. Diese sind nachfolgend aufgeführt und im Folgenden noch detaillierter erläutert:

1. Modellierung des Q_{347} bei der Staumauer Sihlsee mittels GIS-Applikation ModAlp durch das BAFU. Das Q_{347} beträgt nach dieser Methodik 933 l/s (vgl. Restwasserbericht SBB). Dieser Wert wird linear auf das Einzugsgebiet bei der Fassung Waldhalde extrapoliert ($EZG_{\text{Sihlsee}} 156 \text{ km}^2$, $EZG_{\text{Waldhalde}} \sim 259.5 \text{ km}^2$, Faktor 1.66).
2. Berechnung anhand des für den Restwasserbericht SBB entwickelten hydrologischen Modells (Limnex) basierend auf den Zuflüssen zum Sihlsee sowie dem Zwischeneinzugsgebiet Sihlsee bis Waldhalde für die Periode 1995-2018 (Messstationen: Minster, Grossbach, Alp und Biber).
3. Berechnung anhand der historischen Abflussdaten der Messstationen Sihl-Untersiten und Alp-Trachslau, Rüti (1922-1937¹) mit linearer Extrapolation der Zwischeneinzugsgebiete (Untersiten bis Waldhalde inkl. Gesamtabfluss aus Alp und Biber)
4. Proportionale Umrechnung des langjährigen Q_{347} in der Alp bei Einsiedeln (Messstation BAFU, 1995-2018) auf das Einzugsgebiet der Sihl bei der Fassung KW Waldhalde ($EZG_{\text{Waldhalde}} \sim 259.5 \text{ km}^2$, $EZG_{\text{Alp}} = 46.7 \text{ km}^2$, $Q_{347 \text{ Alp}} = 365 \text{ l/s}$).

Tabelle 1: Abflussmenge Q_{347} und daraus resultierende Mindestrestwassermenge nach Art. 31 Abs. 1 GSchG für die vier Ansätze.

Ansatz	Q_{347}	$Q_{\text{Min Art. 31. Abs. 1}}$	Datenquelle
1	1'550 l/s	606 l/s	GIS-Modellierung BAFU ModAlp
2	1'670 l/s	643 l/s	Abflussmodell Limnex (1995-2018)
3	2'080 l/s	770 l/s	Historische Daten Sihl-Untersiten und Alp-Trachslau, Rüti (1922-1937)
4	2'030 l/s	754 l/s	Messstation Alp-Einsiedeln (1995-2018)

¹ Das Jahr 1924 wurde wegen Datenlücken bei der Station Alp-Trachslau, Rüti von insgesamt fast 3 Monaten weggelassen.

Erläuterungen zu den Berechnungsansätzen

Ansatz 1:

Die Abteilung Hydrologie des Bundesamts für Umwelt (BAFU) hat eine GIS-Applikation entwickelt, die es beim Fehlen von Abflussmessungen ermöglicht, ausgehend von der Koordinatenangabe die Abflussmenge Q_{347} zu berechnen². Die Anwendbarkeit dieses Verfahrens ist auf Einzugsgebiete mit einer Fläche von mehr als 10 km² beschränkt. Im Rahmen des Restwasserberichts Etzelwerke SBB wurde diese Modellierung für den Sihlsee bei der Staumauer angewandt. Anhand der Einzugsgebietsfläche wurde dieser Wert auf den Fassungsstandort Waldhalde umgerechnet.

Ansatz 2:

Der Abfluss bei der Fassung Waldhalde ergibt sich aus dem natürlichen Zufluss bei der Staumauer Sihlsee sowie der Abflussspende aus dem Zwischeneinzugsgebiet zwischen Staumauer und Waldhalde. Die relevanten Einzugsgebiete und die hydrologischen Messstationen, welche die Grundlage für die Berechnung darstellen, sind in Abbildung 1 eingezeichnet.

Der **natürliche Zufluss bei der Staumauer des Sihlsees** wird basierend auf den beiden BAFU-Messstellen Minster-Euthal und Grossbach-Gross berechnet. Zusammen decken die beiden Stationen ein Einzugsgebiet von rund 68 km². Die Summe der Abflüsse von Minster und Grossbach wird linear auf die gesamte Einzugsgebietsfläche bei der Staumauer (156 km²) hochgerechnet. Daraus ergibt sich Faktor 2.3.

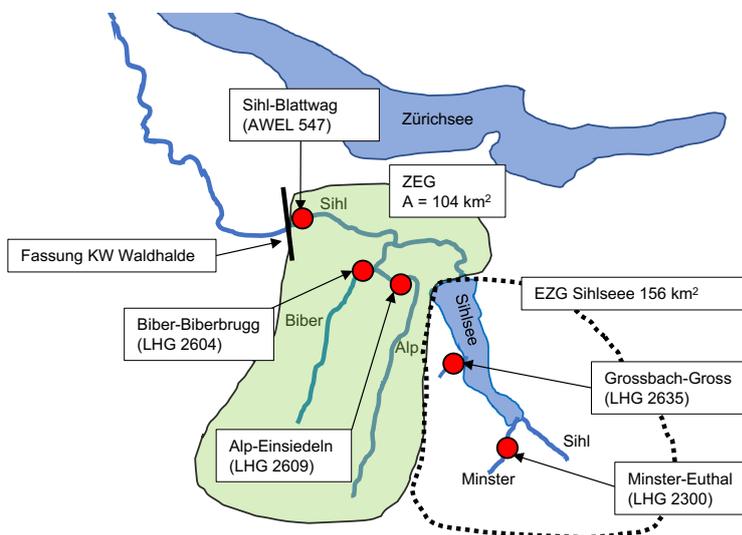


Abbildung 1: Systemüberblick Sihl im Ist-Zustand mit Zwischeneinzugsgebieten und hydrologischen Messstationen.

² Aschwanden, H. (1992): Die Niedrigwasserabflussmenge Q_{347} – Bestimmung und Abschätzung in alpinen schweizerischen Einzugsgebieten. Eine Arbeitsanleitung. Hydrologische Mitteilung der Landeshydrologie und – geologie Nr. 18. Bern.

<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00273/index.html?lang=de>

Das **Zwischeneinzugsgebiet (ZEG) zwischen Staumauer und Waldhalde** beträgt ca. 104 km². Es umfasst die beiden wichtigsten Zuflüsse Alp und Biber. Für die Berechnung der Abflusssspende aus dem Zwischeneinzugsgebiet werden sieben Teileinzugsgebiete gemäss Tabelle 2 unterschieden.

Durch die beiden Messstationen Alp-Einsiedeln und Biber-Biberbrugg sind ca. 79 km² (~75%) des ZEG durch Abflussmessungen abgedeckt. Die Abflüsse aus den restlichen Teileinzugsgebieten werden basierend auf den beiden Messstationen anhand ihrer Fläche linear extrapoliert. Aus der Summe der Abflüsse dieser sieben Teileinzugsgebiete resultiert schliesslich die Abflusssspende aus dem ZEG Staumauer bis KW Waldhalde.

Tabelle 2: Teileinzugsgebiete im ZEG (Staumauer bis Waldhalde inkl. Alp + Biber) mit Flächenangaben Die offiziellen Stationen sind blau markiert. Sie dienen als Grundlage für die Extrapolation des restlichen Einzugsgebiets.

Gewässer	Abschnitt	Fläche [km ²]
Sihl	Staumauer-Alpmündung	11.0
	Alpmündung-Waldhalde (ohne Alp + Biber)	9.1
Alp	Messstelle Alp-Einsiedeln (BAFU)	46.7
	Messstelle – Einmündung Biber	1.5
	Einmündung Biber – Mündung in Sihl	3.2
Biber	Messstelle Biber-Biberbrugg (BAFU)	31.9
	Messstelle – Einmündung in Alp	0.1
Total		103.5

Ansatz 3:

Bei Ansatz 3 dienen die historischen Daten der Messstationen Sihl-Untersiten und Alp-Trachslau, Rüti für die Periode 1922 – 1937 als Datengrundlage. Die Abflüsse beim Standort Waldhalde ergeben sich aus den Abflüssen bei Sihl-Untersiten und dem Zwischeneinzugsgebiet Untersiten bis Waldhalde (inkl. Alp und Biber). Die Abflusssspende aus dem Zwischeneinzugsgebiet wird ausgehend von der Messstation Alp-Trachslau auf das gesamte ZEG hochgerechnet. Die Einzugsgebietsflächen gehen aus Tabelle 3 hervor.

Tabelle 3: Teileinzugsgebietsflächen im ZEG Staumauer bis Waldhalde (inkl. Alp + Biber).

Gewässer	Abschnitt	Fläche [km ²]
Alp	Messstelle Alp-Trachslau, Rüti (LHG)	31.4
Alp	Alp + Biber gesamt bei Mündung in Sihl	83.4
Sihl	Sihl-Untersiten bis Waldhalde (ohne Alp + Biber)	19.1
Total		102.5

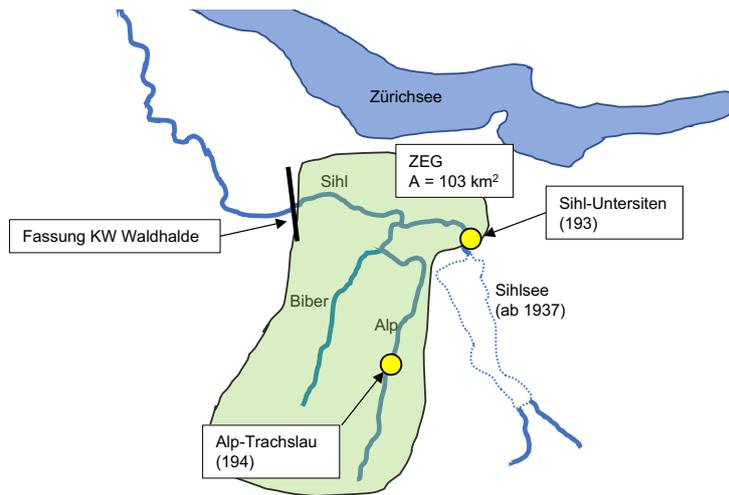


Abbildung 2: Systemüberblick Sihl im historischen Zustand mit Zwischeneinzugsgebieten und hydrologischen Messstationen.

Ansatz 4:

Bei Ansatz 4 dient die Alp als Referenzgewässer für die Sihl (ähnliche Höhenlage und Abflussregime). Dabei wird der Niedrigwasserabfluss Q_{347} bei der Messstation Alp-Einsiedeln (Nr. 2609) für die Periode 1995-2018 anhand der Einzugsgebietsfläche auf den Fassungsstandort KW Waldhalde umgerechnet.

9.3 Rechtliche Einschätzung bezüglich Art. 58a Abs. 5 WRG

Aktennotiz

An Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ), Alfredo Scherngell, Leiter Wasserkraft

In Sachen Wasserkraftwerk Waldhalde

Betreff Rechtliche Einschätzung betreffend Art. 58a Abs. 5 WRG

Akten Nr. 142282-21

Datum 28. August 2022

Erstellt von Dr. Mischa Morgenbesser / Andreas Eichenberger

I. Ausgangslage und Fragestellung

Die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) betreiben das Wasserkraftwerk Waldhalde in 8824 Schönenberg. Das Wasserkraftwerk befindet sich auf dem Gebiet des Kantons Zürich sowie des Kantons Zug, weswegen es über eine Konzession des Kantons Zürich als auch des Kantons Zug verfügt. Die Konzession des Kantons Zug muss erneuert werden.

Bis anhin wurde im Zusammenhang mit einer Umweltverträglichkeitsprüfung bei der Erneuerung einer Konzession auf den historischen Zustand abgestellt, d.h. den Zustand vor dem Bau des Wasserkraftwerks. Gemäss Art. 58a Abs. 5 des Wasserrechtsgesetzes (WRG), welcher am 1. Juli 2020 in Kraft trat, ist neu auf den Zustand im Zeitpunkt der Gesuchseinreichung abzustellen.

Im Rahmen der Sitzung vom 23. Mai 2022 führte der Vertreter des WWF, Dani Heusser, aus, Art. 58a Abs. 5 WRG sei so auszulegen, dass der Ausgangszustand dem natürlichen Zustand entspricht. Zudem wurde seitens des WWF ausgeführt, Art. 58a Abs. 5 WRG gelte nur für den Fall, dass kein Umweltverträglichkeitsbericht erstellt werden müsse, weswegen Art. 58a Abs. 5 WRG auf kleine Wasserkraftwerke nicht anwendbar sei.

Vorliegend sind folgende Fragen zu beantworten:

1. Entspricht der Ausgangszustand gemäss Art. 58a Abs. 5 WRG dem natürlichen Zustand vor dem Bau des Wasserkraftwerks?
2. Ist Art. 58a Abs. 5 WRG auf kleine Wasserkraftwerke nicht anwendbar?

II. Rechtliches

A. Auslegung von Art. 58a Abs. 5 WRG

Bei der Erneuerung einer Wasserrechtskonzession von bestehenden Speicher- und Laufkraftwerken mit einer installierten Leistung von mehr als 3 MW muss gemäss der Verordnung über die

Badertscher Rechtsanwälte AG | Legal Tax Notaries

Mühlebachstrasse 32
Postfach 769
CH-8024 Zürich

T +41 44 266 20 66
F +41 44 266 20 70

Grafenauweg 6
Postfach 7243
CH-6302 Zug

T +41 41 726 60 60
F +41 41 726 60 66

www.b-legal.ch
info@b-legal.ch

Die Rechtsanwälte sind in den Anwaltsregistern
des Kantons Zürich und Zug eingetragen.

Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit des Vorhabens eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt werden. Die Basis der Prüfung bildet der Umweltverträglichkeitsbericht. Darin muss unter anderem auch der Ausgangszustand gemäss Art. 10b Abs. 2 lit. a des Umweltschutzgesetzes (USG) dargestellt werden. Dieser dient als Referenzgrösse dafür, ob und in welchem Umfang Wiederherstellungs- und Ersatzmassnahmen nach Art. 18 Abs. 1^{ter} des Natur- und Heimatschutzgesetzes (NHG) zu leisten sind.

Nach bisheriger Praxis meint der Ausgangszustand im Sinne von Art. 10b Abs. 2 lit. a USG den vom Vorhaben noch nicht beeinflussten Umweltzustand mit seinen natürlichen Standortmerkmalen und seinen bestehenden Vorbelastungen. Bei einer Konzessionserneuerung ist der Ausgangszustand derjenige Zustand, der bestehen würde, wenn die frühere Konzession nie erteilt und die Anlage nie gebaut worden wäre (vgl. Bundesamt für Umwelt, BAFU, UVP-Handbuch, Richtlinie des Bundes für die Umweltverträglichkeitsprüfung, Bern 2009, Modul 5, S. 21).

Auch gemäss der Rechtsprechung des Bundesgerichts galt bis anhin im Rahmen einer Konzessionserneuerung der historische Zustand als massgebend, d.h. der natürliche Zustand vor dem Bau des Kraftwerks (vgl. BGer 1A.59/1995 vom 28. April 2000).

Entsprechend mussten für die Differenz zwischen dem historischen Zustand und dem Zustand im Zeitpunkt der Gesuchseinreichung Ersatzmassnahmen geleistet werden. Aus rechtlicher Sicht wurde diese Praxis davon abgeleitet, dass auf eine Konzessionserneuerung kein Rechtsanspruch besteht.

Der Vollzug in der Vergangenheit hat jedoch gezeigt, dass in der Praxis Unsicherheiten bestehen, was unter dem Begriff "Ausgangszustand" zu verstehen ist. Aufgrund dessen wurde das WRG revidiert, namentlich wurde Art. 58a Abs. 5 WRG eingefügt, welcher per 1. Juli 2020 in Kraft trat und wie folgt lautet:

"Als Ausgangszustand im Sinne von Artikel 10b Absatz 2 Buchstabe a des Umweltschutzgesetzes vom 7. Oktober 1983 gilt für die Festlegung von Schutz-, Wiederherstellungs- und Ersatzmassnahmen nach dem Bundesgesetz vom 1. Juli 1966 über den Natur- und Heimatschutz der Zustand im Zeitpunkt der Gesuchseinreichung."

Die Anpassung des WRG bezweckte, den Ausgangszustand im Zusammenhang mit Konzessionserneuerung im Bereich Naturschutz eindeutig festzulegen, und zwar als Zustand zum Zeitpunkt der Gesuchseinreichung (Ist-Zustand). Dadurch wurde Rechtssicherheit geschaffen, insbesondere da der ursprüngliche Zustand vor dem Bau eines bereits bestehenden Kraftwerkes nur schwer zu ermitteln ist und die Ermittlung teilweise unverhältnismässig wäre.

Die Festlegung des Ausgangszustands als Ist-Zustand hat zur Folge, dass dieser Zustand bei der Erstellung eines Umweltverträglichkeitsberichts im Hinblick auf ein Verfahren um Konzessionserneuerung den Prüfungen zugrunde zu legen ist. Gleichzeitig dient dieser Zustand als Referenzgrösse dafür, ob und in welchem Umfang Wiederherstellungs- und Ersatzmassnahmen nach Art. 18 Abs. 1^{ter} NHG zu leisten sind (vgl. Bericht der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Nationalrates vom 30. April 2019, BBl 2019 5575; Stellungnahme des Bundesrates vom 14. August 2019 zum Bericht der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Nationalrates vom 30. April 2019, BBl 2019 5809).

Art. 58a Abs. 5 WRG definiert somit (neu) explizit den Zeitpunkt der Gesuchseinreichung als massgebenden Zustand, d.h. den Ist-Zustand. Nach dem Wortlaut von Art. 58a Abs. 5 WRG sowie insbesondere nach dem Willen des Gesetzgebers entspricht der Ausgangszustand somit nicht dem natürlichen Zustand. Demzufolge ist nach den heute geltenden gesetzlichen Bestimmungen nicht mehr auf den historischen, sondern auf den Ist-Zustand, d.h. den Zeitpunkt der Gesuchseinreichung, abzustellen.

Eine anderweitige Auslegung, wonach nach wie vor auf den natürlichen Zustand abzustellen wäre, würde dem Zweck der Gesetzesrevision widersprechen, und namentlich Rechtsunsicherheit hinsichtlich der Frage, was unter dem Ausgangszustand zu verstehen ist, schaffen. Denn liesse Art. 58a Abs. 5 WRG nach wie vor offen, was unter dem Ausgangszustand zu verstehen ist, bestünden in der Praxis weiterhin Unsicherheiten, was nicht dem Willen des Gesetzgebers entspricht.

Darüber hinaus hat das BAFU bereits vor der Gesetzesrevision in dem Unterzeichnenden vorliegenden Dokumenten festgehalten, dass der natürliche Zustand einzig für beeinträchtigte Lebensräume nach Art. 18 Abs. 1^{ter} NHG massgebend ist. Für die anderen Schutzgüter vertrat das BAFU bereits vor der Gesetzesrevision die Auffassung, dass vom Ist-Zustand ausgegangen werden könne. Aufgrund der Gesetzesrevision ist nun auch im Bereich der beeinträchtigten Lebensräume einzig der Ist-Zustand massgebend. Entsprechend ist für sämtliche Umweltbereiche der Ist-Zustand relevant. Für eine anderweitige Auslegung besteht nach unserer Auffassung kein Raum.

B. Anwendbarkeit von Art. 58a Abs. 5 WRG auf kleine Kraftwerke

Bei Wasserkraftwerken mit einer installierten Leistung von mehr als 3 MW muss gemäss Anhang 1, Ziffer 2 (Energie), Nr. 21.3 der Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt werden. Folgerichtig bedarf es bei kleinen Wasserkraftwerken, welche eine Leistung von weniger als 3 MW erbringen, keiner Umweltverträglichkeitsprüfung.

Selbst wenn jedoch keine Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen ist, müssen die Bestimmungen des USG selbstredend auch bei kleinen Kraftwerken eingehalten werden, da die Befreiung von einer Umweltverträglichkeitsprüfung nicht von der Einhaltung der Bestimmungen des USG befreit.

Dem Wortlaut nach bezieht sich Art. 58a Abs. 5 WRG zwar auf Art. 10b Abs. 2 lit. a USG und somit auf Kraftwerke mit einer installierten Leistung von mehr als 3 MW. Ausgehend vom Willen des Gesetzgebers muss jedoch von einer Gesetzeslücke ausgegangen werden.

Eine Lücke des Gesetzes liegt vor, wenn sich eine gesetzliche Regelung als unvollständig erweist, weil sie auf eine bestimmte Frage keine Antwort gibt. Bevor eine ausfüllungsbedürftige Lücke angenommen werden darf, ist durch Auslegung zu ermitteln, ob das Fehlen einer ausdrücklichen Anordnung nicht eine bewusst negative Antwort des Gesetzes bedeutet, d.h. ein sogenanntes qualifiziertes Schweigen darstellt. In diesem Fall hat das Gesetz eine Rechtsfrage nicht übersehen, sondern stillschweigend – im negativen Sinne – mitentschieden. Für Analogie oder richterliche Lückenfüllung ist kein Platz (vgl. BGE 140 III 206, E. 3.5.1; 139 II 404, E. 4.2; Häfelin/Müller/Uhlmann, Allgemeines Verwaltungsrecht, 8. Aufl., Zürich 2020, N 202).

Im Rahmen der parlamentarischen Debatte im Zusammenhang mit der Einführung von Art. 58a Abs. 5 WRG ist stets von Wasserkraftwerken bzw. Kraftwerken die Rede. Es wird mithin keine Unterscheidung zwischen der Grösse des Kraftwerks vorgenommen. Hinzu kommt, dass der Zweck der Einführung von Art. 58a Abs. 5 WRG der Schaffung von Rechtssicherheit dienen sollte. Es kann demzufolge nicht dem Willen des Gesetzgebers entsprochen haben, dass unter Art. 58a Abs. 5 WRG nur grosse Kraftwerke fallen. Denn eine Unterscheidung zwischen grossen und kleinen Kraftwerken im Rahmen einer Konzessionserneuerung hinsichtlich des massgebenden Ausgangszustandes widerspricht klar dem Willen des Gesetzgebers, Unsicherheiten in der Praxis zu beseitigen.

Im Ergebnis liegt daher nach unserer Auffassung kein qualifiziertes Schweigen des Gesetzgebers vor. Der Gesetzgeber beabsichtigte nicht, lediglich für grosse Kraftwerke Rechtssicherheit zu schaffen. Vielmehr sollten die Unsicherheiten in der Praxis betreffend Ausgangszustand generell beseitigt werden, weswegen Art. 58a Abs. 5 WRG für sämtliche Kraftwerke anwendbar ist. Entsprechend liegt eine Gesetzeslücke vor, welche durch Analogie geschlossen werden kann.

III. Fazit

Gestützt auf das Gesagte können die eingangs gestellten Fragen wie folgt beantwortet werden:

1. Der Ausgangszustand gemäss Art. 58a Abs. 5 WRG entspricht **nicht** dem natürlichen Zustand vor dem Bau des Wasserkraftwerks. Vielmehr ist der heutige **Ist-Zustand massgebend**. Dies gilt für alle Schutzgüter (soweit die Spezialgesetzgebung nichts Abweichendes regelt).
2. Art. 58a Abs. 5 WRG **ist** auf kleine Wasserkraftwerke **anwendbar**.

Die Ausführungen des WWF anlässlich der Sitzung vom 23. Mai 2022 sind somit nach unserer Auffassung aus rechtlicher Sicht unzutreffend und sind weder mit den heute geltenden gesetzlichen Bestimmungen noch mit dem Willen des Gesetzgebers vereinbar.