

Entwicklungsszenarien einer alpinen Aue bei einem natürlichen Geschiebedefizit : die Triftaue im Oberhasli

Autor(en): **Schweizer, Steffen / Niedermayr, Andreas / Roulier, Christian**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **111 (2019)**

Heft 4

PDF erstellt am: **10.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-941531>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Entwicklungsszenarien einer alpinen Aue bei einem natürlichen Geschiebedefizit – die Triftaue im Oberhasli

Steffen Schweizer, Andreas Niedermayr, Christian Roulier, Michael Döring, Matthias Meyer, Sandro Schläppi, Jan Baumgartner, Benjamin Berger, Magdalena Rohrer, Sonja Fahner, Benno Schwegler, Andres Fankhauser

Zusammenfassung

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts hat sich im Zuge des Gletscherrückzugs eine alpine Aue im Triftgebiet gebildet. Zu Beginn prägten dynamische Geschiebeumlagerungsprozesse die Flusslandschaft am Triftwasser und führten zu einer typischen Sukzession einer alpinen Aue. Mit dem weiteren Rückzug des Triftgletschers hat sich Anfang dieses Jahrhunderts der natürliche Triftsee gebildet, der einen Geschiebeeintrag in die darunterliegende Triftaue praktisch vollständig unterbindet. Damit wird die Geschiebedynamik im Triftwasser auf ein absolutes Minimum reduziert. Daher ist es dem Gewässer so gut wie nicht mehr möglich, seinen Verlauf im Zuge von Hochwasserereignissen zu verändern und neue morphologische Strukturen zu bilden. Aufgrund der topografischen Verhältnisse (breiter Kessel) können die natürlicherweise auftretenden Hochwasserereignisse nicht mehr genug Kraft entwickeln, um grossflächige Vegetationsbestände zu entwurzeln. Damit verbunden ist eine rasche Ausbreitung an Grünerlenbeständen, die mittelfristig die heutige Triftaue fast vollständig besiedeln werden. Im Rahmen des Triftprojekts (Vergrösserung des Triftsees mit neuem Kraftwerk auf Höhe der bestehenden Triffassung) wurden u.a. detaillierte Studien zum Ist-Zustand sowie zur Entwicklung der Triftaue mit und ohne Projekt durchgeführt. Basierend auf diesen Untersuchungen wurden für die Realisierung des Projekts neben dem Restwasserregime zusätzlich auch Hochwasserdotierungen festgelegt.

1. Entstehungsgeschichte der Triftaue

Der heute rund 15 km² grosse Triftgletscher liegt im östlichen Berner Oberland und gehört zu den sich am schnellsten zurückziehenden Gletschern in der Schweiz (BAFU, 2003, Bauder, 2006). Bis etwa in die Mitte des letzten Jahrhunderts erstreckte sich der Triftgletscher noch bis weit hinunter in das Trifttal und überdeckte mit seinem Eis das rund 3 ha grosse Gebiet, auf dem sich die heutige Triftaue befindet. Mit dem Rückzug des Gletschers konnte sich die Triftaue in einem kleinen Talkessel, umgeben von mehreren hundert Meter hohen Gebirgswänden, entwickeln. Aufgrund der Höhenlage von 1600 m ü. M., dem glazialen Abflussregime des Triftwassers, der vorhandenen Auenv egetation und der kurzen Entwicklungszeit lässt sich die Triftaue als eine junge alpine Aue charakterisieren. Auf Basis von Luftbildern vergangener Zeitstände kann die Entwicklung der Aue sehr gut rekonstruiert werden (Bild 1). Zu Beginn der natürlichen Sukzession wurde der überwiegende Teil des Auengebiets von Schotterflächen (Pionierstandorte) und vom Flussbett bedeckt (vgl. Luftaufnahme

von 1970). Zwischen 1980 und 2001 nahm im Lauf der natürlichen Sukzession die Fläche an Auengebüschen etwas zu. Die regelmässig auftretenden Hochwasserereignisse führten im Bereich der Aue zu immer wieder ändernden, verzweigten Verläufen des Triftwassers. Damit verbunden waren regelmässige und grossflächige Zerstörungen von aufkommender Vegetation sowie die Neubildung von ökologisch wertvollen Pionierstandorten. Bis 2001 bildete die Kombination aus natürlichen Hochwasserabflüssen, ausreichendem Gewässer- und hoher Geschiebeführung die Grundvoraussetzung für diese dynamische Entwicklung der Triftaue, gekennzeichnet durch einen verzweigten Flusslauf und durch ein charakteristisches Mosaik der Auenv egetation (vgl. Stanford et al., 2005). Um die Jahrtausendwende haben sich diese Grundvoraussetzungen mit der Bildung des Triftsees rund 300 m oberhalb der Triftaue massgeblich verändert.

Während Hochwasserereignissen wirkt der Triftsee zum einen dämpfend und reduziert somit die auftretenden Hochwasserspitzen. Zum anderen hält der Triftsee

sämtliches Geschiebe zurück und unterbindet den Geschiebeeintrag in das darunterliegende Triftwasser. Da zwischen Triftsee und Triftaue seitlich nur sehr wenig Material eingetragen wird, besteht bei Hochwasserereignissen ein sehr grosses Geschiebedefizit. Dadurch kann das Triftwasser auch bei hohen Abflüssen seinen Gewässerlauf nur minimal verändern, und eine Neugestaltung der Auenfläche ist daher nicht möglich.

Diese morphologische Stabilisierung hat auf der Auenterrasse zu einer starken Zunahme an Grünerlengebüsch geführt, da diese bei Hochwasserereignissen nicht mehr herausgerissen werden und sie bei den in der Triftaue vorkommenden Umweltbedingungen am konkurrenzfähigsten sind (vgl. Luftbildaufnahme 2013, Bild 1).

2. Triftprojekt

In der NFP-61-Studie NELAK (Häberli et al., 2013) wurden die sich bildenden Gletscherseen in der Schweiz dahingehend untersucht, ob sie sich für eine technisch mögliche Erschliessung zur Stromproduktion eignen. Als Fallbeispiel wurde insbesondere auch der Triftsee behandelt, dessen technische Bewirtschaftung nicht nur zur Stromproduktion, sondern auch zur Verbesserung des Hochwasserschutzes im Gadmen- und Aaretal genutzt werden könnte. Auf Basis dieser Grundlagen begann die Kraftwerke Oberhasli AG, diesen möglichen Ausbau detailliert zu prüfen. Die Planungsarbeiten erfolgten im Rahmen eines breit angelegten Begleitgruppenprozesses mit Vertretern aus Behörden, Verbänden, Politik, Region und ausgewiesenen Fachspezialisten. Dabei wurden alle relevanten Umweltthemen detailliert und umfassend bearbeitet. Nach einer fast vierjährigen Planungs- und Partizipationsphase konnte eine Lösung für das «Triftprojekt» mit allen am Prozess Beteiligten gefunden werden. Im Projekt ist der Bau einer zusätzlichen Fassung im Steinwasser mit einer Überleitung des dort gefassten Wassers in den Triftsee vorgesehen. Zusätzlich soll der Triftsee aufge-

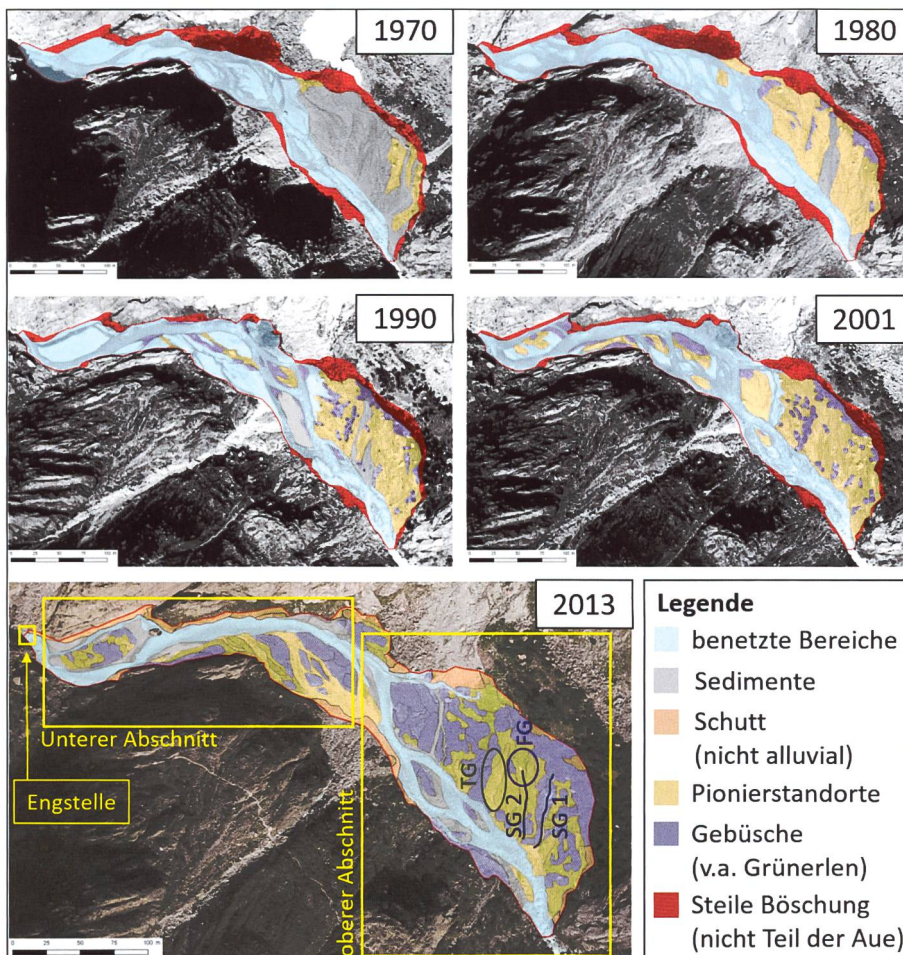


Bild 1: Zeitliche Entwicklung der Triftaue anhand von Luftbildern. Ebenfalls sind die Abschnitte «Oben», «Unten», die Engstelle (Kap. 3.5.1), die oberen beiden Seitengerinne (SG) (Kap. 4.2) sowie das Feuchtgebiet (FG) und Trockengebiet (TG) eingezeichnet.

staut werden, um einerseits eine flexible Stromproduktion zu ermöglichen und um andererseits als saisonaler Speicher insbesondere für das Winterhalbjahr genutzt werden zu können. Auf Höhe der heutigen Wasserfassung des Triftwassers ist eine Zentrale geplant, von der das zur Stromproduktion genutzte Wasser direkt in das bestehende Kraftwerkssystem zurückgegeben werden kann. Mit dem Bau dieser zusätzlichen Kraftwerksstufe kann die Stromproduktion um 145 GWh/a erhöht werden. Dies entspricht rund der Hälfte des Zubaus an Wasserkraft, der von der Energiestrategie des Kantons Bern vorgesehen ist (ohne Berücksichtigung künftiger Produktionseinbußen infolge gesetzlicher Vorgaben wäre damit das kantonale Zubauziel erreicht). Unter Ausnutzung der bestehenden Kraftwerksstufen bis zur endgültigen Wasserrückgabe in Innertkirchen erlaubt die Realisierung des Triftprojekts künftig eine Speicherung von wertvoller Winterenergie von rund 215 GWh/a.

Detaillierte Informationen zu technischen Aspekten, zum ökologischen Untersuchungsprogramm, zur Herleitung des Restwasserregimes, zu Ausgleichs- und

Ersatzmassnahmen (aquatisch und terrestrisch) und zum Begleitprozess finden sich in Schweizer et al. (2019).

Über die «klassischen» Fragen bezüglich Restwasserregime hinausgehend wurden zusätzliche Untersuchungen durchgeführt, um auch auf die ökologischen Fragestellungen hinsichtlich der Triftaue detailliert und umfassend eingehen zu können. Eine zentrale Rolle hierbei nahmen die folgenden Aspekte ein:

- aktueller Zustand der Triftaue (Kap. 3.1 bis 3.3)
- aktuelle Hochwasser- und Geschiebedynamik (Kap. 3.4 bis 3.5)
- Entwicklung der Triftaue mit und ohne Projekt (Kap. 4.1)
- Definition von ökologischen Zielen für die Triftaue (Kap. 4.2)
- Herleitung eines Hochwasserregimes zum Erreichen der ökologischen Ziele bei Projektrealisierung (Kap. 4.2)

3. Biologische und abiotische Untersuchungen

In den folgenden Unterkapiteln werden die verschiedenen Untersuchungen sowie deren wichtigste Resultate beschrieben.

3.1 Aquatische Flora und Fauna

Bei den in den Jahren 2013 und 2016 durchgeführten Elektrofischungen wurden im Triftwasser keine Fische nachgewiesen. Die Aufnahmen von Makrozoö und Phytobenthos erfolgten in den Jahren 2013 und 2016 (Limnex, 2014 und 2016) sowie im Rahmen der Restwassersanierung von 2012 (Schweizer und Zeh Weismann, 2011, Schweizer et al., 2010). Die Laborauswertungen ergaben eine für diese Höhenlage und für das glaziale Abflussregime typische Artenzusammensetzung mit einer eher tiefen Taxazahl und eher geringen Populationsdichten. Als Rote-Liste-Arten wurden die Köcherfliege (*Acrophylax cerberus*) und das Wasserschlamfmoos (*Hygrohypnum alpinum*) gefunden. Beide Arten wurden in früheren Untersuchungen bereits in bestehenden Restwasserstrecken im Oberhasli nachgewiesen.

3.2 Terrestrische Fauna

Die Erhebungen der terrestrischen Invertebraten erfolgten im Sommer und im Herbst 2013. Insgesamt wurden mit den Beprobungen 44 Taxa auf Familienniveau gefunden und eine rote Listen-Art (Sumpfgrashüpfer, *Chrothypus montanus*) nachgewiesen (eQcharta, 2016). Diese Art ist ausgesprochen feuchtigkeitsliebend und besiedelt dauerfeuchte bis nasse Lebensräume wie nasse Wiesen, sumpfige Bereiche an Seeufern und Flüssen oder Hoch- und Niedermoore. In der Triftaue wurde der Sumpfgrashüpfer in einem orografisch rechts liegenden, kleinen Feuchtgebiet angetroffen (Bild 1).

Während der Feldarbeiten wurden zudem Alpenmurmeltiere (*Marmota marmota*), Spitzmäuse (*Soricidae*) sowie sieben Vogelarten beobachtet (Auenberatungsstelle 2014).

3.3 Auenvegetation

Die verschiedenen Vegetationseinheiten, wie beispielsweise Pionierstandorte, Auengebüsche, Feuchtgebiete oder Trockenstandorte, wurden 2013 anhand von Luftbildern und Feldbegehungen gemäss dem Handbuch «Erfolgskontrolle Auen» (Bonnard et al., 2008) kartiert (Bild 1). Bis ins Jahr 2001 bestand die Triftaue aus einem für eine alpine Aue typischem Vegetationsmosaik.

Seit der Jahrtausendwende zeigen die Luftbilder (Kap. 1 und Bild 1) allerdings eine bemerkenswerte Zunahme der Grünerlen von 10% im Jahr 2001 auf 37% im Jahr 2013 (Bild 3). Dieser Zuwachs erfolgte hauptsächlich auf Kosten von Flussbett und Pionierkrautfluren (CSD Ingenieure, 2017).

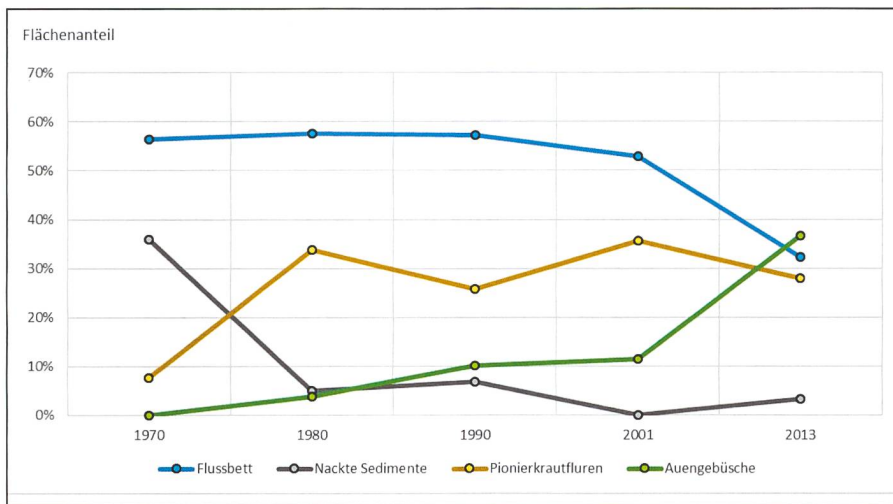


Bild 2: Entwicklung der Häufigkeitsverteilung der wichtigsten Vegetationseinheiten.

Zusätzlich zur Aufnahme der Vegetationseinheiten erfolgte eine detaillierte Untersuchung der vorkommenden Arten anhand von sogenannten Dauerflächen gemäss der Handbücher «Erfolgskontrolle Auen» (Bonnard et al., 2008) sowie «Erfolgskontrolle bei Fliessgewässerrevitalisierungen» (Woolsey et al. 2005). Insgesamt konnten 65 verschiedene Arten nachgewiesen werden. Darunter befanden sich keine geschützten Arten.

3.4 Hydrologie

Im Herbst 2012 wurde eine Abflussmessstelle rund 1 km unterhalb der bestehenden Trifttaue eingerichtet. Unter Berücksichtigung des relativ kleinen Zwischeneinzugsgebiets zwischen Pegel und Aue können aus den gemessenen Werten die Abflussverhältnisse in der Trifttaue sehr gut abgeschätzt werden. In Tabelle 1 und in Bild 3 sind die charakteristischen Abflusswerte des Triftwassers auf Höhe der Trifttaue dargestellt. Das Abflussregime ist dabei sehr stark vom Triftgletscher geprägt, mit

Hydrologische Kenngrösse	Abflusswert [m ³ /s]
Q347	0.1
MQ	2.9
Q3	16
Q1	19
HQ2	22
HQ5	28 bis 33
HQ10	33 bis 42
HQ20	38 bis 50
HQ30	42 bis 55
HQ50	45 bis 62
HQ100	50 bis 70
HQ200	55 bis 80

Tabelle 1: Hydrologische Kenngrössen des Triftwassers auf Höhe der Trifttaue. Die Abschätzungen der Hochwasserabflüsse erfolgten mit dem Programm HQx_meso_ch.

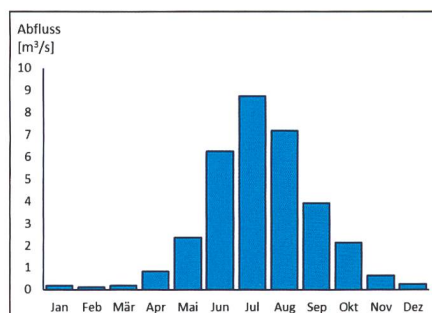


Bild 3: Die natürlichen, mittleren monatlichen Abflüsse des Triftwassers auf Höhe der Trifttaue.

sehr tiefen winterlichen Abflüssen und sehr hohen sommerlichen Abflüssen infolge der Schnee- und Gletscherschmelze.

Seit der Entstehung des Triftsees werden die Spitzenabflüsse während Hochwasserereignissen durch den Gletschersee abgedämpft (Hunziker Zarn & Partner, 2017). Bei kleineren Hochwasserereignissen im Bereich eines HQ2 bis HQ5 liegt die Dämpfung bei etwa 20 %, bei einem HQ100 bei rund 40 %.

3.5 Hydraulik, Geschiebe und Morphologie

3.5.1 Hydraulische Modellierung

Zur Analyse der Strömungsverhältnisse bei Hochwasserabflüssen wurden auf Basis eines Terrainmodells zweidimensionale Überflutungssimulationen mit dem Programm Hydro_AS-2d durchgeführt. Anhand von Beobachtungen und Feldmessungen konnten die Abflussverhältnisse im Auenbereich bestimmt und konnte auf dieser Basis das Modell kalibriert werden.

Aus hydraulischer Sicht lässt sich das Triftwasser im Bereich der Trifttaue in zwei Abschnitte unterteilen (vgl. auch Bild 1):

- Oben: relativ steiler Abschnitt mit groben Blöcken und einer abgeplätteten Sohle.

- Unten: eher flacher Abschnitt mit kleineren Korngrössen. Aufgrund einer Engstelle am unteren Ende der Trifttaue kommt es bei Hochwasserereignissen zu Rückstauereffekten in diesem Abschnitt.

Überflutung der Aue

Die hydraulischen Simulationen zeigen, dass die orografisch rechtsliegende Auenfläche ab einem Abfluss von 16 bis 18 m³/s (Q3 bis Q1, vgl. Tabelle 1) überströmt wird. Allerdings wird in diesen Abflussbereichen nur ein kleiner Teil der Aue überflutet. Erst bei einem Abfluss von rund 25 m³/s wird mehr als die Hälfte der gesamten Auenfläche sowie der aus ökologischer Sicht interessierenden «Pionierfluren» und Weichholzaunen (Kapitel 3.3) überflutet (Bild 4).

Im Sommer dürften auf diesen Standorten regelmässige Kontakte mit dem Grundwasser auftreten. Daher ist davon auszugehen, dass der Feuchtehaushalt und damit die Entwicklung der Pionierfluren und der Weichholzaunen nicht von der Überflutung durch das Triftwasser direkt abhängen.

Stabilität der Auenvegetation bei Spitzenabflüssen

Aufgrund der topografischen Gegebenheiten verteilt sich das Wasser grossflächig im Gewässerbett und in der Aue. Dies hat zur Folge, dass selbst bei sehr hohen Abflüssen die Abflusstiefen und Fließgeschwindigkeiten moderat ausfallen und somit die hydraulisch wirksamen Kräfte für ein Herausreißen von Auengebüschen nicht ausreichen. Erst bei Hochwasserereignissen mit einer Wiederkehrperiode von 30 bis 50 Jahren (42–62 m³/s) kann mit einer lokalen Zerstörung der Auenvegetation gerechnet werden. Es ist möglich, dass bei diesen sehr hohen Abflüssen Gräser und kleinere Gebüsch ausgerissen werden. Ein Auswurzeln von grösseren Grünerlen oder gar ein grossflächiges Freilegen von Erlenbeständen ist selbst bei diesen extremen Abflussverhältnissen sehr unwahrscheinlich.

Aufteilung des Abflusses im Triftwasser und in der Aue

Bis zu einem Abfluss von rund 25 m³/s fließen rund 90 % des Abflusses im Gerinne des Triftwassers. Mit zunehmenden Hochwasserabflüssen nimmt der Abflussanteil, der in der Aue abfließt, deutlich zu. Bei einem HQ100 fließt ca. 1/3 des Gesamtabflusses in die Trifttaue und überflutet diese dann grossflächig (siehe oben). Aufgrund der Auenüberflutung treten selbst

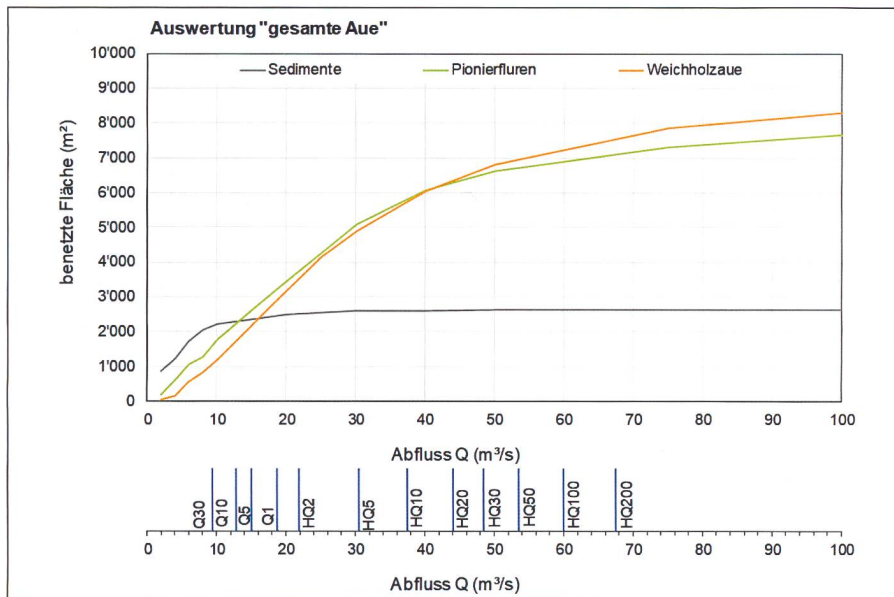


Bild 4: Überflutete Auenflächen in Abhängigkeit vom Abfluss im Triftwasser.

bei einem solchen Extremereignis nur geringe Fliesstiefen (im Mittel 25 cm) und Sohlbelastungen auf.

3.5.2 Geschiebedynamik

Transportbeginn

Zur Bestimmung der charakteristischen Korndurchmesser wurden Linienzahlanalysen an verschiedenen zugänglichen Kiesbänken entlang des Triftwassers erhoben. Im Längsverlauf nehmen die Korngrößen mit abnehmendem Gefälle tendenziell ab, dabei liegen die mittleren Korngrößen (d_m) zwischen 4 und 10 cm und das 90 %-Perzentil (d_{90}) zwischen 10 und 25 cm.

Für Geschiebe der Korngrößen d_m und d_{90} wurde der Transportbeginn ermittelt. Dies erfolgte durch eine Berechnung der kritischen Schubspannung nach Shields (1936) unter Berücksichtigung der lokalen Verhältnisse (Formrauigkeit von Makrostrukturen).

Ein Vergleich der wirkenden Schubspannung mit dem Transportbeginn lässt dann Schlüsse über die Bildung einer abgeplästerten Deckschicht und allfälliger Erosionstendenzen zu.

Im oberen Abschnitt der Triftaue zeigen die 2-D-Simulationen, dass bei höheren Abflüssen ein Teil des Abflusses grossflächig über die Triftaue abfließt und damit die auf die Flusssohle wirksamen hydraulischen Kräfte bei steigenden Abflüssen nur noch geringfügig zunehmen (vgl. Kap. 3.5.1). Der theoretische Transportbeginn für das d_m wird jedoch bereits bei kleinen Abflüssen überschritten. Da aus dem Oberlauf kein Geschiebe mobilisiert wird, führte dies in der Vergangenheit zu einer deutlichen, sichtbaren Vergröberung der Sohle

(passive Akkumulation von grösseren Korngrößen). Erst bei sehr hohen Abflüssen (Größenordnung HQ100) können auch die sehr grossen Blöcke und Strukturelemente mobilisiert resp. verschoben werden. Ein grossflächiges Strukturversagen ist aber erst oberhalb eines HQ100 zu erwarten.

Bei Abflüssen grösser als $25 \text{ m}^3/\text{s}$ erfolgt ein Rückstau bei der Engstelle am unteren Ende der Aue (Kap. 3.5.1, Bild 1). Aufgrund dieses Rückstaus nimmt die hydraulische Belastung im unteren Abschnitt auch mit zunehmendem Abfluss nicht zu. Der Bewegungsbeginn von Geschiebe in der Grösse des mittleren Korndurchmessers d_m wird nahezu nicht erreicht.

Sowohl im oberen als auch im unteren Abschnitt fallen die Schubspannungen somit bei Hochwasserereignissen moderat aus und führen bei Hochwasserereignissen unter einem HQ100 nicht zu einem Aufreissen der Deckschicht.

Geschiebeeintrag

Vor der Bildung des Triftsees lag der mittlere jährliche Geschiebeeintrag auf Höhe der Triftaue bei rund $14\,000 \text{ m}^3$ (Hunziker, Zarn & Partner, 2017). Nur bei sehr selten auftretenden Hochwasserereignissen mit einer Wiederkehrperiode von über 100 Jahren kann Geschiebe aus der Flusssohle mobilisiert werden. Bei entsprechend tieferen Abflüssen beschränkt sich das für einen Transport zur Verfügung stehende Geschiebe auf Einträge aus dem relativ kur-

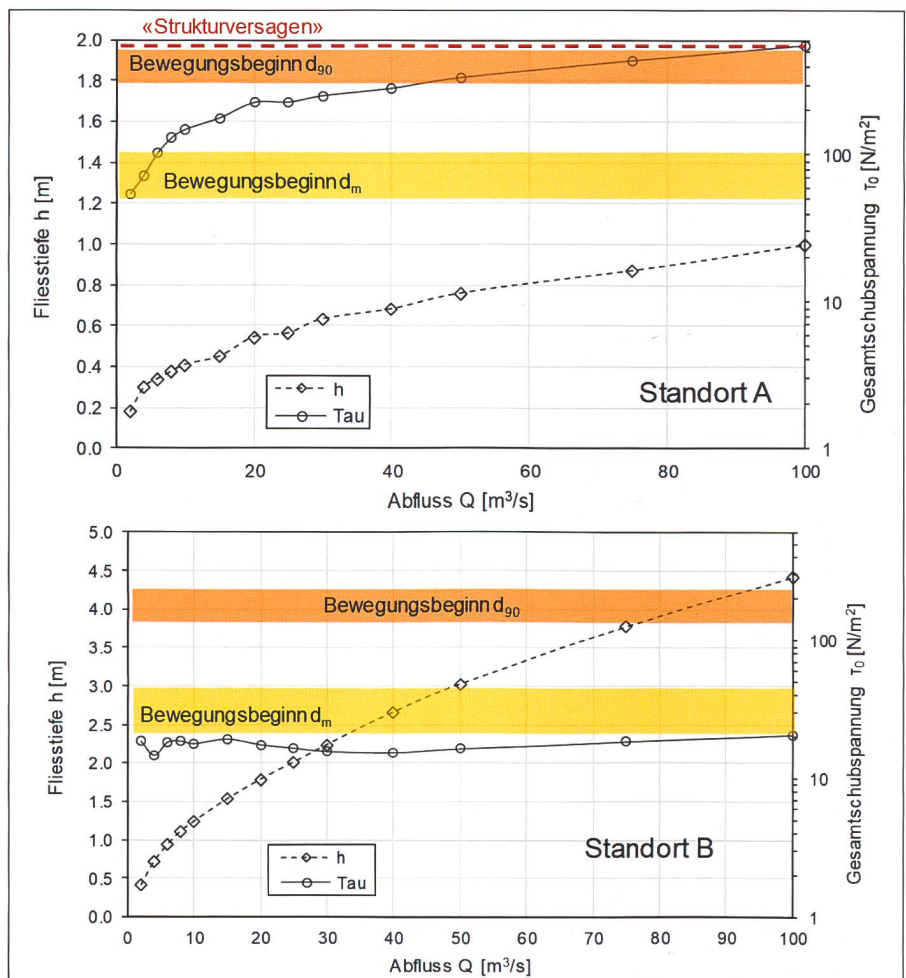


Bild 5: Auswertung der hydraulischen Beanspruchung für die Triftaue im oberen Bereich (Standort A) und im untersten Bereich auf Höhe der Engstelle (Standort B).

zen Gewässerabschnitt zwischen Triftsee und Triftaue. Der Geschiebeeintrag wird dabei hauptsächlich durch sporadisch auftretende Hangrutschungen verursacht und dürfte gemäss der Abschätzmethode vom Bundesamt für Umwelt (2014) deutlich unterhalb von 1000 m³ pro Jahr liegen (Hunziker, Zarn & Partner, 2017).

Hypothetische Situation bei einem erneuten Geschiebeeintrag analog zur Situation vor der Entstehung des Triftsees Ein Geschiebeeintrag, wie er vor der Entstehung des Triftsees auftrat, würde dem Triftwasser wieder ausreichend Material zum (Um-)Gestalten der Morphologie zur Verfügung stellen. Im abklingenden Ast eines Hochwasserereignisses könnten sich im heutigen Flusslauf Ablagerungen bilden, die das Triftwasser beim nächsten Hochwasserereignis in die topografisch tiefer liegende Triftaue lenken würden. Lokal könnten so als Initialprozesse – relativ starke Erosionsvorgänge und Übersarungen auftreten, Grünerlenbestände würden herausgerissen werden, und im Laufe der Zeit würde es zu einer grossflächigen Umgestaltung der heutigen Situation kommen. Die Morphologie würde sich dann nach jedem Hochwasserereignis wieder verändern (vgl. Kap. 1 und Bild 1). Erst damit wären die Voraussetzungen für eine dynamische Entwicklung der Triftaue mit einem Mosaik an verschiedenen Vegetationseinheiten gemäss eines natürlichen Sukzessionszyklus (Stanford et al., 2005) wieder erfüllt – entsprechend dem Zustand vor der Entstehung des Triftsees. Damit der Geschiebeeintrag in die Triftaue wieder erfolgen könnte, müsste der Triftsee mit Sedimentmaterial verfüllt werden. Die vollständige Verfüllung des heutigen Triftsees würde sich über einige Hundert Jahre erstrecken.

4. Schlussfolgerungen und Ausblick

4.1 Entwicklung der Triftaue ohne Triftprojekt

Wie in Kap. 3.5 beschrieben, führt die fehlende Geschiebedynamik zu einer Stabilisierung der Triftaue. Der bereits mit der Bildung des Triftsees einsetzende Prozess der grossflächigen Ausbreitung der Grünerlenbestände wird weiter anhalten und langfristig zu einer Marginalisierung der Auenvegetation führen. Es ist zu erwarten, dass in Zukunft auch der heutige Lebensraum des geschützten Sumpfröhrichts (Kap. 3.2) und das Trockengebiet (Bild 1) von der Überwucherung der Grünerlen nicht verschont bleiben werden.

Nr.	Ökologische Funktion und Prozesse	Ökologisches Ziel	Grober Abflussbereich
I	Dekolmation Triftwasser.	Lückenraum der Sohle soll als Lebensraum zur Verfügung stehen. Kein negativer Einfluss auf den Feuchtehaushalt der Triftaue.	Oberer Abschnitt: HQ100 (für vollständiges Strukturversagen). Unterer Abschnitt: das vorhandene feinere Material kann bei einem Q20 umgelagert werden.
II	Minimaler Geschiebetrieb unter Berücksichtigung des sehr tiefen Geschiebeeintrags.	Heutige stark reduzierte Dynamik soll erhalten bleiben.	Oberer Abschnitt HQ30 bis HQ50. Unterer Abschnitt: das vorhandene feinere Material lagert sich bei einem Q20 um.
III	«Bankbildender» Abfluss.	Ausreichende Abflussdynamik, dass Kiesbänke umgelagert werden.	Oberer Abschnitt: Aufgrund des sehr tiefen Geschiebeeintrags können sich keine neuen Bänke bilden (unabhängig von der Grösse des Hochwassers). Unterer Abschnitt: HQ5.
IV	«Bettbildender» Abfluss.	Ausreichende Abflussdynamik, dass sich eine natürliche Morphologie einstellen kann.	Siehe III.
V	Grossflächige Überflutung der Aue ohne Zerstörung der Vegetation.	Erhalten des typischen Vegetationsmosaiks und der seltenen Lebensräume, Verhinderung, dass kompetitive Arten wie die Grünerle sowie untypische Arten aufkommen.	Ab 16 m ³ /s (Q3) beginnt die Überflutung der Aue.
VI	Grossflächige Überflutung der Aue mit Zerstörung der Vegetation (Gerinnebildender Abfluss).	Auendynamik mit der regelmässigen Neubildung von Pionierstandorten und einer typischen Verteilung verschiedener Auenkompartimente (Vegetationsmosaik).	Ab einem HQ30 bis HQ50 (= 40 m ³ /s) sind lokale Schäden an der Vegetation zu erwarten.
VII	Erhalten der auentypischen und seltenen Lebensräume (Feuchtehaushalt).	Erhalten der typischen Vegetationseinheiten und der seltenen Lebensgemeinschaften (insbesondere Feuchtgebiet).	Ab welchem Abfluss eine signifikante Infiltration von Flusswasser in das Grundwasser stattfindet, kann nur grob abgeschätzt werden und dürfte in der Grössenordnung von 4 m ³ /s liegen.
VIII	Erhalten prioritäre Arten.	Erhalten der Population des geschützten Sumpfröhrichts (Erhalten des Feuchtgebiets).	Siehe VII.

Tabelle 2: Ökologische Ziele, die im Rahmen des Begleitprozesses für die Triftaue definiert wurden.

4.2 Herleitung von ökologischen Massnahmen bei Realisierung des Triftprojekts

Zur Festlegung des künftigen Restwasserregimes wurden im Rahmen des Begleitgruppenprozesses zuerst die Mindestrestwassermengen, basierend auf landschaftlichen und gewässerökologischen Kriterien, festgelegt. In einem zweiten Schritt wurden zusätzlich die auenökologischen Bedürfnisse intensiv behandelt und gemeinsam die wichtigsten ökologischen Ziele für die Triftaue definiert (Tabelle 2).

Allerdings können selbst im Ist-Zustand resp. im künftigen Zustand ohne Projektrealisierung nicht alle in Tabelle 2 formulierten Ziele erreicht werden (Tabelle 3).

In einem ersten Schritt lassen sich aus den Tabelle 2 und 3 die relevanten ökologischen Ziele ableiten, die ohne Projektrealisierung erreicht werden. Gemäss Tabelle 3 handelt es sich dabei um folgende Ziele:

- Dekolmation im unteren Abschnitt des Triftwassers (I)

- grossflächige Überflutung der Aue (ohne Zerstörung der Vegetation; V)
- Erhalten der auentypischen und seltenen Lebensräume (VII)
- Erhalten der prioritären Arten (VIII)

Ausgehend von diesen Zielen, können in einem zweiten Schritt die dafür nötigen ökologischen Massnahmen abgeleitet werden.

Für das Erreichen der Ziele I und V wird eine ausreichende Hochwasserdynamik benötigt. Bei einer Projektrealisierung werden pro Jahr zwei Hochwasserabflüsse (Q1 = 19 m³/s und Q3 = 16 m³/s) unterhalb der künftigen Staumauer abgegeben. Alle fünf Jahre wird eine Hochwasserdotierung auf 30 m³/s (HQ5) erhöht.

Das Erreichen der Ziele VII und VIII hängt neben dem Feuchtehaushalt der Triftaue auch von der Ausbreitung der Grünerlen ab. Ein Zuwachsen der seltenen Lebensräume (insbesondere des Feuchtgebiets) mit Grünerlen wird auch für den künftigen Zustand ohne Projektrealisierung erwartet. Damit einhergehen würde sehr wahrscheinlich auch der Verlust des

Ökologisches Ziel	Ist-Zustand / künftiger Zustand ohne Projekt	Zustand mit Projekt
I	Im oberen Abschnitt des Triftwassers nicht erreichbar, im unteren Abschnitt wird das vorhandene Feinmaterial mehrmals im Jahr umgelagert.	Im oberen Abschnitt des Triftwassers nicht erreichbar, im unteren Abschnitt wird das vorhandene Feinmaterial im Rahmen von zwei Hochwasserdotierungen (Q1, Q3, alle fünf Jahre HQ5) pro Jahr umgelagert.
II	Im oberen steilen Abschnitt findet weder Geschiebetransport noch Dynamik statt. Im unteren flachen Abschnitt wird von den Seitengräben eingetragenes Geschiebe (sofern es kommt) sortiert und transportiert. Dies hat aber keine Auswirkungen auf die grosse obere Trifttaue.	Im oberen Abschnitt: siehe Zustand ohne Projekt. Im unteren Abschnitt erfolgt während der Hochwasserdotierungen (Q1, Q3, alle fünf Jahre HQ5) ein entsprechender Geschiebetransport.
III	Aufgrund des fehlenden Geschiebes ist dieses Ziel für die Trifttaue nicht erreichbar.	Analog Ist-Zustand.
IV	Analog Ziel III.	Analog Ziel III.
V	Ca. drei Mal pro Jahr.	Ca. zweimal pro Jahr.
VI	Tritt heute sehr selten (alle 30 bis 50 Jahre) lokal begrenzt auf.	Tritt künftig nicht auf.
VII	Zwischen Juni und September infiltriert regelmässig (aber nicht permanent) Wasser aus dem Triftwasser in die Aue und beeinflusst den Feuchtehaushalt der Trifttaue. Bild 5 legt den Schluss nahe, dass weitere Parameter (z.B. Lawinen, Steinschlag, Exposition, Schneebedeckung) für die Ausbildung von seltenen Lebensräumen verantwortlich sind. Ein Teil der seltenen Lebensräume wird künftig durch Grünerlen verdrängt werden.	Zwischen Juni und September erfolgt eine regelmässige Vernässung der seltenen Lebensräume (Feuchtgebiet und Weichholzaue mit Weiden) im oberen Teil der Trifttaue, indem die beiden oberen Seitengerinne benetzt werden und das Wasser durch eine Verfüllung der Seitengerinne auf Höhe der seltenen Lebensräume grossflächig austritt. Zusätzlich wird der Feuchtehaushalt von einem Teil der Aue durch Hangwasser und/oder kleineren Zuflüssen direkt gesteuert.
VIII	Analog Ziel VII.	Analog Ziel VII.

Tabelle 3: Erreichung der ökologischen Ziele für die Zustände mit und ohne Projekt.

geschützten Sumpfgrashüpfers (Kap. 3.2). Trotz dieser unsicheren Entwicklung sind Massnahmen getroffen worden, um den Wasserhaushalt des Feuchtgebiets zu erhalten. Während der Vegetationsperiode wird dafür die Restwasserabgabe regelmässig erhöht, so dass die oberen beiden Seitengerinne (vgl. Bild 1) in der Trifttaue benetzt werden. Durch eine Verfüllung der Seitengerinne im Bereich des Feuchtgebiets tritt das zufließende Wasser grossflächig aus und führt zu einer lokalen Vernässung des bestehenden Feuchtgebiets. Mit diesen Massnahmen werden die definierten ökologischen Ziele I, V, VII und VIII (siehe oben) auch im Projektzustand erreicht.

Abschliessend darf an dieser Stelle noch auf die verschiedenen Flussrevitalisierungen hingewiesen werden, die im Rahmen der gewässerökologischen Bilanzierung des Triftprojekts umgesetzt wer-

den (Tabelle 4 und Schweizer et al., 2019). Damit werden die Talgewässer Gadmerwasser und Urbachwasser auf einer Länge von fast 1.5 km morphologisch und ökologisch stark aufgewertet werden.

Quellen:

Auenberatungsstelle (2014): Trifttaue. Auensystem und Vegetation 2013. Bericht im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli AG.

Bauder, A. (2006): Anhaltender Schwund der Schweizer Gletscher. Deutliche Massenverluste wegen geringer Winterniederschläge. Neue Zürcher Zeitung, Nr. 33, S.17 (09.02.2006), Zürich.
Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2003): Naturgefahren. Wenns warm wird in den Bergen. Umwelt, 2 /03, S. 12–15, Bern.

Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2014): Abschätzung der mittleren jährlichen Geschiebelieferung in Vorfluter. Praxishilfe, Methode Tal- und Gebirgsflüsse.

Bonnard, L., Roulier, C., Thielen, R., Gsteiger, P.,

Cosandey, A.-C., Hausammann, A. und Rast, S. (2008): Handbuch Erfolgskontrolle Auen. Biotopinventar BAFU, Auenberatungsstelle.
CSD Ingenieure (2017): Zeitliche Entwicklung der Trifttaue. Bericht im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli AG. Autor: Christian Roulier.
eQcharta (2016): Ökohydrologie der Auenlandschaft Trift. Bericht im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli AG.
Häberli, W., Bütler, M., Huggel, C. Müller, H. und Schless, A. (2013): Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken. NELAK, Forschungsbericht, NFP 61.
Hunziker, Zarn & Partner (2017): Trifttaue am Triftwasser (BE). Geschiebetechnische und morphologische Beurteilung und Massnahmenvorschläge zur Dynamisierung. Technischer Bericht im Auftrag der KWO.
Limnex (2014): Kurzbericht: Untersuchungen im Stein- und Triftwasser. Querprofilaufnahmen, Makrozoobenthos und äussere Aspekte. Bericht im Auftrag der KWO.
Limnex (2016): Makrozoobenthos im Triftwasser. Bericht im Auftrag der KWO.
Schweizer, S., Meyer, M., Heuberger, N., Brechbühl, S. und Ursin, M. (2010): Zahlreiche gewässerökologische Untersuchungen im Oberhasli. Wichtige Unterstützung des partizipativen Begleitprozesses von KWOplus. «Wasser Energie Luft», 4, 289–300.

Schweizer, S. & Zeh Weissmann, H. (2011): Restwassersanierung der genutzten Gewässer im Oberhasli. «Wasser Energie Luft», 1, 25–30.

Schweizer, S., Schwegler, B., Rohrer, M., Meyer, M., Schläppi, S., Baumgartner, J., Berger, B., Fahner, S., Fankhauser, A., Zeh Weissmann, H., Niedermayr, A., Roulier, C., Döring, M. (2019): Das Triftprojekt – ein Überblick zu Projekt, Ökologie und Partizipation. «Wasser Energie Luft», 4/2019, 213–221.

Shields, A. (1936): Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung. Mitteilung der Preussischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, 26, 5–24.

Stanford, J. A., Lorang, M. S., Hauer, F. R. (2005): The shifting habitat mosaic of river ecosystems. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie 29: 123–136.

Woolsey, S., Weber, C., Gonser, T., Hoehn, E., Hostmann, M., Junker, B., Roulier, C., Schweizer, S., Tiegs, S., Tockner, K. und Peter, A. (2005): Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen. Publikation des Rhodan-Thur-Projektes (EAWAG, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ).

Anschrift:

Steffen Schweizer
Kraftwerke Oberhasli AG
3862 Innertkirchen
sste@kwo.ch

Massnahme	Gewässer	Länge (m)
Fuhren-Nord	Gadmerwasser	700
Fuhren-Mitte inklusive Fassungsrückbau Fuhren	Gadmerwasser	400
Fuhren-Süd	Gadmerwasser	120
Urbachwasser	Urbachwasser	200

Tabelle 4: vorgesehene Gewässerrevitalisierungen im Rahmen des Triftprojekts.

Bemerkung: Die Länge der Trifttaue beträgt rund 400 m.