

Universität Basel

Departement für Umweltwissenschaften

Der Einfluss des Restwasserbetriebs auf die Ufervegetation am Oberen Spöl

"Warum die Abwesenheit von Störungen als Störung zu betrachten ist"



Bachelorarbeit von Flint Veith

Bachelorstudiengang: Geowissenschaften:

Betreuerin: Dr. habil. Stefanie von Fumetti

Abgabedatum: 30.9.2025

Danksagungen:

Ein grosser Dank geht an Stefanie von Fumetti sowohl für die kompetente als auch verständnisvolle Betreuung, Raphael von Büren für die Begleitung im Feld, Oliver Heiri für die statistischen Anregungen und Erwin Veith für das Korrekturlesen der Arbeit.

Impressum:

Titelbild:

Restwasserausfluss des Spöl unterhalb der Livigno-Staumauer (Flint Veith).

Institution:

Universität Basel

Departement Umweltwissenschaften

Bernoullistrasse 32, 4056 Basel

Autor:

Flint Veith

Inhaltsverzeichnis:

1	<u>EINLEITUNG</u>	<u>8</u>
2	<u>MATERIAL UND METHODEN</u>	<u>10</u>
2.1	UNTERSUCHUNGSGEBIET OBERER SPÖL	10
2.2	PFLANZENGESELLSCHAFTEN AM OBEREN SPÖL (2024)	11
2.3	ZEITLICHE VERÄNDERUNG DER PFLANZENVERGESELLSCHAFTUNG AM OBEREN SPÖL	13
2.4	SUKZESSIONSZUSTAND AM OBEREN SPÖL	14
2.5	STATISTISCHE ANALYSE	16
	<u>ERGEBNISSE</u>	<u>17</u>
2.6	PFLANZENGESELLSCHAFTEN AM OBEREN SPÖL (2024)	17
2.7	ZEITLICHE VERÄNDERUNG DER PFLANZENVERGESELLSCHAFTUNG AM OBEREN SPÖL	18
2.8	SUKZESSIONSZUSTAND AM OBEREN SPÖL	21
3	<u>DISKUSSION</u>	<u>23</u>
3.1	PFLANZENGESELLSCHAFTEN AM OBEREN SPÖL (2024)	23
3.2	ZEITLICHE VERÄNDERUNG DER PFLANZENVERGESELLSCHAFTUNG AM OBEREN SPÖL	24
3.3	SUKZESSIONSZUSTAND AM OBEREN SPÖL	26
3.4	METHODENKRITIK:	27
4	<u>FAZIT</u>	<u>28</u>
	<u>ANHANG</u>	<u>29</u>
4.1	LITERATURVERZEICHNIS	29
4.2	STECKBRIEFE VERSUCHSFLÄCHEN	33
4.3	VORGEFUNDENE LEBENSRAUMIDENTIFIKATIONEN	40
4.4	GEWICHTETE MITTELWERTE UND SIGNIFIKANZTESTS	41
4.5	DIGITALER ANHANG	41

Abbildungsverzeichnis:

1: Übersichtskarte Schweizer Nationalpark (Nationalpark.ch)	10
2: Untersuchungsgebiet von P. dal Gal bis P. Periv mit Versuchsflächen (Swisstopo)	10
3: Verteilung der Vegetationstypen nach Beerli (2013) in %	17
4: CCA-Ordination Beitrag aller rekonstruierten Umweltvariablen zur Unterschiedlichkeit der Vegetationsaufnahmen. Erklärung der Variablen (Tab. 3).....	18
5: CCA-Ordination: Ähnlichkeits-Verteilung der Vegetationsaufnahmen. Farbcodierung nach Tab. 4 (Blau: Vor Spülung 1990, Orange: Nach Spülung 1990 und Grün: Sommer 2024)	19
6: Entwicklung Versuchsfläche_7 von 1990-2024 als CCA mit identifizieren Arten.	20
7: Durchschnitt der gewichteten Mittelwerte mit Standardfehlern. Varianzanalyse Anova mit Signifikanzniveau $\alpha=0,01$	20
8: Prozentuale Häufigkeit Ruderal-Lebensformen beziehungsweise Ruderalstrategen	21
9: Relativer Anteil der Lebensraumanalysen mit obligater Störungsdynamik	22
10: Überflutete Versuchsfläche_1 und Ersatzfläche (Vetterli, 2021)	24
11: Versuchsfläche_4 überflutet / trockenliegend, trotz gepegeltem Abfluss	25

Tabellen

Tabelle 1: Verwendete Vegetationstypen	11
Tabelle 2: Verwendete siebenteilige Braun-Blanquet-Skala (Dierschke, 1994).	12
Tabelle 3: Zeigerwerte genutzt zur Rekonstruktion der Veränderung über die Zeit. (Landolt, 2010, S. 17–20).....	14
Tabelle 4: Sukzessions-Situation zum Zeitpunkt der Lebensraumanalysen (Kusstatscher, 1991)	14
Tabelle 5: Ausgewählte Störungsstrategien	15
Tabelle 6: Lebensraumtypen mit obligater Störungsdynamik.....	15
Tabelle 7: Gewählte Umweltvariablen	19
Tabelle 8: Lebensraumanalysen der sieben Versuchsflächen, (Score) gibt Bestimmungssicherheit an.	21
Tabelle 9: Prozentuale Häufigkeit von störungsgeprägten Lebensraumanalysen, 1= 100%, Störung obligat für Erhalt des jeweiligen Lebensraums nach Delarze et al. (2015).....	22
Tabelle 10: Durchschnitt gewichtet Mittelwerte. Varianzanalyse Anova Fett= $p<0.01$	41

Glossar:

<u>Anova-Analyse:</u>	Vergleich der Varianz der Mittelwerte (Rasch et al., 2010)
<u>Bearbeitereffekt:</u>	Verzerrung einer identischen Vegetationsaufnahme durch verschiedene Aufnehmende (Boch et al., 2021)
<u>Charakterart:</u>	Besonders charakteristische Art für Lebensraum (Delarze et al., 2015)
<u>D:</u>	Durchlüftungszahl (Landolt, 2010)
<u>Dominanz:</u>	Flächenmässig stark vertretene Art, welche Erscheinungsbild und Struktur der Vegetation prägt (Kadereit et al., 2014)
<u>EG:</u>	Ökologische Gruppe (Landolt, 2010)
<u>EKW:</u>	Engadiner Kraftwerke
<u>F:</u>	Feuchtezahl (Landolt, 2010)
<u>Feuchtigkeitszeiger:</u>	Pflanzenarten, welche typischerweise auf durchnässten Böden wachsen (Lauber et al., 2024)
<u>g-z:</u>	Geophyt - holziger Chamaephyt (Lauber et al., 2024)
<u>g:</u>	Geophyt (Lauber et al., 2024)
<u>H:</u>	Humuszahl (Landolt, 2010)
<u>k-t:</u>	Hemikryptophyt wenig jährlich - Therophyt (Lauber et al., 2024)
<u>K:</u>	Kontinentalitätszahl (Landolt, 2010)
<u>Kalkzeiger:</u>	Pflanzenarten, welche bevorzugt auf kalkhaltigen (basischen) Böden wachsen. Zeigen an, dass der Boden viel Calciumcarbonat aufweist (Lauber et al., 2024)
<u>Kennarten:</u>	Charakteristische Art für Lebensraum (Delarze et al., 2015)
<u>KS:</u>	Konkurrenzstrategie (Landolt, 2010)
<u>Konkurrenzstrategen:</u>	Pflanzenarten, welche sich auf selten gestörten Standorten ansiedeln, Sie sind meist langlebig, Konkurrenzstark und etablieren sich sukzessive nach Störungen. Dabei konkurrieren sie schwächere Arten aus (Lauber et al., 2024)
<u>L:</u>	Lichtzahl (Landolt, 2010)

<u>Lebensraumanalyse:</u>	TypoCH-Identifikation des vorliegenden Lebensraums nach Delarze et al.(2015)
<u>Lebensräume:</u>	Umgebung, in welcher Pflanzen sich vermehren. Umfasst sowohl biotische als auch abiotische Faktoren (Kadereit et al., 2014)
<u>LF:</u>	Lebensform (Landolt, 2010)
<u>Magerkeitszeiger:</u>	Pflanzenarten, welche auf nährstoffarmen Böden vorkommen. Sind auf nährstoffreichen Standorten nicht konkurrenzfähig und werden rasch verdrängt (Lauber et al., 2024)
<u>n-p:</u>	Nanophanerophyt - Phanerophyt (Lauber et al., 2024)
<u>N:</u>	Nährstoffzahl (Landolt, 2010)
<u>n:</u>	Nanophanerophyt (Lauber et al., 2024)
<u>ökolog. Flutungen</u>	künstliche, regelmässige Störungen durch geplante Überflutungen (Consoli et al., 2023)
<u>Post-Hoc Test</u>	Vergleich der Varianz der Mittelwerte zum gleichen Aufnahmezeitpunkt mit denjenigen davor/ danach (Rasch et al., 2010)
<u>Proxys:</u>	Aus der Literatur rekonstruierte Umweltvariablen (Kadereit et al., 2014)
<u>R:</u>	Reaktionszahl (Landolt, 2010)
<u>Ruderalstrategen:</u>	Pflanzenarten, welche sich auf stark gestörten Standorten ansiedeln. Sie sind meist kurzlebig, ausbreitungsstark und können sich schnell nach Störungen etablieren (Lauber et al., 2024)
<u>Score:</u>	Sicherheitswert für die Lebensraumanalyse (Eggenberg & Bornand, 2023)
<u>Störungsvariabel:</u>	Wert einer Umweltvariabel, welche systematisch mit Störungsintensität und Störungsfrequenz zusammenhängt (Landolt, 2010)
<u>T:</u>	Temperaturzahl (Landolt, 2010)
<u>t:</u>	Therophyt (Lauber et al., 2024)
<u>Tax. Verzerrung:</u>	eine systematische Verfälschung in der Taxonomie die durch die Struktur einer bestimmten Klassifikation entsteht. Oftmals bedingt durch die bestimmende Person (Traxler, 1997)

<u>Typo-CH</u>	Offiziell anerkannte und standardmässig verwendete Einteilung der Lebensräume in der Schweiz (Delarze et al., 2015)
<u>t.hp:</u>	Therophyt und Halbparasit (Landolt, 2010)
<u>Übergangstyp:</u>	Lebensraumidentifikation in Transition zwischen zwei Lebensraumtypen (Eggenberg & Bornand, 2023).
<u>Vegetationsmosaik</u>	Lebensraumidentifikation, welche nicht homogen ist, sondern mehrere Lebensraumtypen enthält. (Eggenberg & Bornand, 2023).
<u>Vegetationstyp:</u>	Unterteilung in fünf Typen anhand auffälliger und prägender Arten, nach (Beerli, 2013), angepasst durch Veith (2025)
<u>WF:</u>	Wechselfeuchtezahl (Landolt, 2010)
<u>WT:</u>	Wurzeltiefe (Landolt, 2010)
<u>z:</u>	Holziger Chamaephyt (Lauber et al., 2024)
<u>Zeigerwerte:</u>	Empirisch ermittelte Zahlenwerte, welche ökologische Standortansprüche einer Pflanzenart wiedergeben (Kadereit et al., 2014)

Abstract:

Flussauen sind bedingt durch die regelmässigen Überflutungsereignisse Ökosysteme von hoher Biodiversität. Der Bau der Livigno-Staumauer im Jahr 1968, beraubte den Oberen Spöl seines glazial-nivalen Abflussregimes und führte somit zur Etablierung einer Vegetation, welche nicht mehr den klassischen Charakteristika einer alpinen Ufervegetation entsprach. Als Reaktion wurden seit 1991 ökologische Flutungen durchgeführt, welche durch Kurt Kusstatscher 1991 wissenschaftlich begleitet wurden. Seit dem PCB-Unfall 2016 wurden die künstlichen Störungsereignisse ausgesetzt. Diese Arbeit untersucht, wie sich die fluktuierende Störungsfrequenz auf die Pflanzenvergesellschaftung im Uferbereich des Spöls auswirkt. Dafür wurden die gesamte Ufervegetation kartiert, Kusstatschers Versuchsflächen wiederaufgenommen, TypoCH-Lebensraumanalysen durchgeführt und Umweltvariablen rekonstruiert. Mithilfe von Ordinationen, Varianzanalysen und Post-Hoc-Tests wurde die Veränderung quantitativ untersucht und über die Zeit verglichen. Es konnte bestätigt werden, dass die Pflanzenvergesellschaftung 1991 nicht mehr einer alpinen Ufervegetation entsprach. Direkt im Nachgang der ersten Flutung waren nur geringfügige Veränderungen der Lebensraumidentifikationen sichtbar, da Gefässpflanzen aufgrund ihrer Sessilität länger für die Besiedlung freier Ökologischer Nischen brauchen. Es wurde nachgewiesen, dass Überflutungsereignisse sich durch mechanische Zerstörung und nicht durch wechselnde Bodenfeuchtigkeitsparameter auf die Ufervegetation auswirken. Die wiederkehrenden und regelmässigen Störungsereignisse bis 2016 beeinflussten die Vegetation so stark, dass die Situation noch heute, trotz der ausbleibenden Überflutungen, naturnäher ist als vor und direkt nach der ersten Spülung 1991. Dies zeigt, dass das Ausbleiben von Störungen als Störung zu betrachten ist. Die rezente Vegetation weist eine hohe Anzahl von schützenswerten Arten und Lebensräumen auf. Sie ist jedoch heutzutage stärker geprägt von nitrophilen Arten. Dies ist durch den Eintrag von nährstoffreichen Sedimenten aus dem Grundablass des Livigno-Stausees bedingt und sollte zu einem angepassten Management der ökologischen Flutungen durch die Betreibenden führen.

1 Einleitung

Auen sind Ökosysteme von überdurchschnittlicher Artenvielfalt (Weber & Schmid, 2014). Ungestörte Auensysteme sind durch die wiederkehrenden Überflutungen und das daraus resultierende Habitatsmosaik, welches kontinuierlichem Wandel unterliegt, charakterisiert (Stanford et al., 2005). In der Schweiz bedecken sie weniger als 0.5% der Landesfläche, jedoch konnte über 40% der einheimischen Vegetation nachgewiesen werden (Gallandat, 1993). Der Druck hat im letzten Jahrhundert stark zugenommen. Heutzutage gehören sie zu den am stärksten bedrohten Ökosystemen der Welt (Kandarr & Wittmann, 2020). In der Schweiz sind die Hauptursachen dafür, neben Flussverbauungen und der intensivierten Landnutzung, der Einfluss von Staudämmen zur Wasserkraftgewinnung (BAFU, 2020).

Stauseen sind in den Alpen für die Stromgewinnung weit verbreitet (Döring et al., 2018). Das veränderte Abflussregime verringert die Wassermenge, was zu einer Veränderung der Sedimentfracht und des Gehalts an Organischem Material führt. Dies modifiziert die gesamte Ökologie aller mit dem Gewässer assoziierten Organismen über verschiedene trophische Stufen hinweg (Carlisle et al., 2011; Weber & Schmid, 2014). In alpinen Fließgewässern ist die Biota an die erhöhte Geschiebemenge und Sedimentfracht, aber auch an Überflutungsereignisse angepasst. Diese mechanischen Störungen führen zum dynamischen Vorhandensein unterschiedlicher Sukzessionszustände und kann als Gefüge aus abiotischen sowie biotischen Faktoren und Störungen betrachtet werden (Kadereit et al., 2014). Die Zerstörung eines einzelnen Standorts öffnet somit die Ökologische Nische für das Entstehen eines neuen Standortes (Ellenberg, 2011). Die Abwesenheit periodischer Störungs- oder Überflutungsereignisse unterbricht dieses hochdynamische System (Kadereit et al., 2014). Die Sukzession schreitet somit graduell voran und wird nicht periodisch zurückgesetzt, theoretisch hin bis zur Klimaxvegetation (Tonolla et al., 2020).

Der Obere Spöl befindet sich im Unterengadin, welches als inneralpines Trockental ein stark kontinentales Klima aufweist (Lüdi, 1966). Er verfügte über ein glazial-nivales Abflussregime, welches 1968 durch den Bau der Livigno-Stauseemauer verändert wurde (Kusstascher, 1991). Die verminderte Abflussmenge führte zu geringerer Erosionskraft. So etablierte sich durch das Niedrigwasser ein tiefergelegenes Bachbett. Die Ufervegetation von vor 1968 liegt somit ausserhalb des heutigen Einflussbereiches und die aktuelle Ufervegetation wuchs von 1968 bis 1990 an einem konstant gepegelten Flusslauf (Vetter, 1992). Die geringere und gepegelte Restwassermenge sowie das Ausbleiben von Überflutungsereignissen führte zum Herabwandern des Waldes bis an das Ufer (Mürle et al., 2003). Somit entsprach der Spöl 1990 nicht mehr den typischen Charakteristika eines Gebirgsbachs (Kusstascher, 1991).

Als Reaktion darauf etablierte sich der Einsatz von künstlichen Spülungen, sogenannten «ökologische Flutungen», um der öko-morphologische Degradation unterhalb des Stausees entgegenzuwirken (Consoli et al., 2023). Kusstatscher (1991) begleitete die 1. Spülung des Stausees wissenschaftlich. Neben der Erfassung von physikalisch-chemischen Verhältnissen und der Morphodynamik untersuchte er auch die Ufervegetation. Sieben *before/after* Vegetationsaufnahmen wurden aufgenommen (Rudolf, 2008).

Seit 2000 führen die EKW, als Betreiber des Stausees regelmässig¹ ökologische Flutungen durch. Durch die Reduktion der Kolmation und des Periphytons, verbesserte sich die Fluss-Morphologie (Gubler, 2024). Ebenso wurden Feinsedimente fortgespült und der Sukzessionsgrad der Ufervegetation laut Consoli et al. (2022) heruntergesetzt. Die Nährstoffentfernung und die Zerstörung etablierter K-Strategen erschuf neue Lebensräume und veränderte existierende (Kusstatscher, 1991; Robinson et al., 2023). Während die Makroinvertebratenverteilung des Spöls durch die ökologischen Flutungen wieder einem Gebirgsfluss ähnelte (Robinson et al., 2018), verbleibt die Frage, wie es um die mit dem Gewässer assoziierten Gefässpflanzen bestellt ist (Tonolla et al., 2020). Trotz der regelmässigen Spülungen hielten sich gewisse Gehölze im Uferbereich (Wagner, 2005). Nach einer Panne bei der Reparatur des Grundablasses wurde 2016 PCB in den Spöl freigesetzt (Vetterli, 2021). Die «ökologischen Flutungen» wurden, um die Verschmutzung nicht weiter zu verlagern, 2016 gestoppt und die ersten 60 Metern bis auf das Grundgestein ausgebaggert (Gubler, 2024; Robinson et al., 2023).

Die Standorte Kusstatschers (1991) wurden im Rahmen dieser Arbeit untersucht und mit seinen Artenlisten verglichen. In dieser Arbeit gilt es darum folgende Fragen zu beantworten:

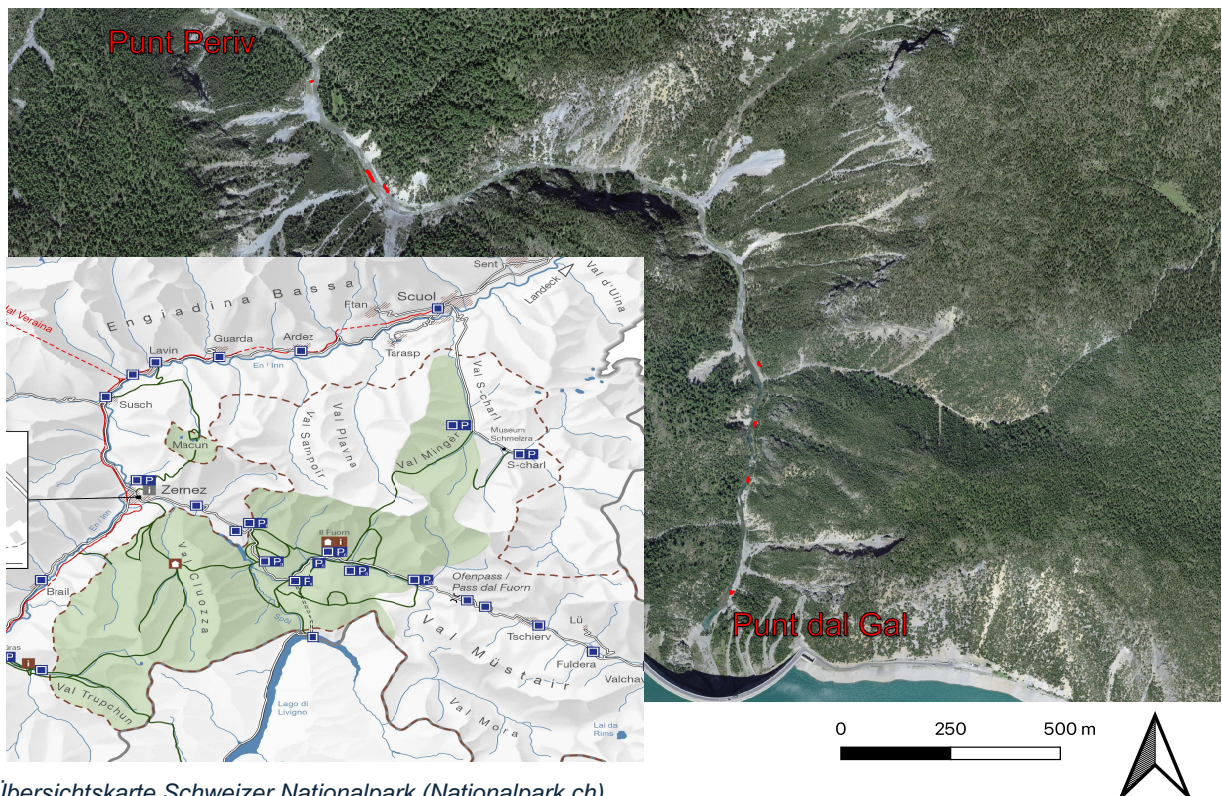
1. Welche Pflanzengesellschaften sind am Oberen Spöl aktuell etabliert?
2. Wie hat sich die Vegetation seit 1990 bis heute entwickelt?
3. Spiegelt sich die gestörte Situation am Oberen Spöl in der vorhandenen Vegetation und ihrer Entwicklung über die Zeit wider?

¹ 1-2x jährlich

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet Oberer Spöl

Das Untersuchungsgebiet (Abb. 2) befindet sich im Schweizerischen Nationalpark (Abb.1), einer streng geschützten Landschaft, in der sich Tiere und Pflanzen frei entwickeln können. Es erstreckt sich von Punt dal Gal, unterhalb des «Lago di Livigno» über 2.2 km bis zum Quellkomplex Punt Periv. Als Kerbtal mit kurzen, wenig erweiterten Talabschnitten, erlaubt es dem Spöl einen vergleichswisen freien Lauf (Kusstatscher, 1991). Das Bodensubstrat besteht zum Grossteil aus größerem Kies, mit graduell angelagerten Feinsedimenten (Consoli et al., 2023). Die dichte Bevölkerung des Nationalparks durch Gämse und Hirsche führt zu einem gewissen Beweidungsdruck (Kusstatscher, 1991).



1: Übersichtskarte Schweizer Nationalpark (Nationalpark.ch)

2: Untersuchungsgebiet von P. dal Gal bis P. Periv mit Versuchsflächen (Swisstopo)

2.2 Pflanzengesellschaften am Oberen Spöl (2024)

Um die Vegetation am gesamten Flussverlauf von der Livigno-Stausee-Mauer bis Punt Periv aufzunehmen, wurde ein Klassifikationssystem nach Beerli (2013) verwendet, welches weiterentwickelt und angepasst wurde. Die Unterteilung in fünf Typen erfolgte anhand von auffälligen und prägenden Arten, welche typisch für den beschriebenen Vegetationstyp sind (Lauber et al., 2024, Tab.1).

Tabelle 1: Verwendete Vegetationstypen

Nadelwald <i>Pinus mugo</i> subsp. <i>uncinata</i> , <i>Aster bellidiastrum</i> , <i>Potentilla erecta</i> , <i>Erica carnea</i> , <i>Picea abies</i> , <i>Larix decidua</i> , <i>Betula pubescens</i> .	
Kleinseggenried <u>Feuchtigkeitszeiger</u> : <i>Cyperaceae</i> , <i>Carex</i> sp., <i>Equisetum</i> sp., <i>Selaginella selaginoides</i> , <i>Trichophorum cespitosum</i> .	
Pioniervegetation <u>Ruderalzeiger</u> : <i>Thymus serpyllum</i> aggr., <i>Berberis vulgaris</i> , <i>Kernera saxatilis</i> , <i>Epilobium</i> sp., <i>Verbascum thapsus</i> , <i>Cirsium</i> sp.	
Fels <u>Magerkeits-& Kalkzeiger</u> , <i>Moose</i> , <i>Flechten</i> , <i>Saxifraga caesia</i> , <i>Gypsophyla repens</i>	
Rasen <u>Dichtbewachsene Sedimente</u> : <i>Poaceae</i> , <i>Taraxacum officinale</i> aggr., <i>Leontodon</i> sp., <i>Gymnadenia conopsea</i> , <i>Plantago</i> sp.	

Neben der flächendeckenden, aber groben Vegetationsaufnahme (Beerli, 2013) galt es an sieben durch Kusstatscher definierten Standorten eine genauere und detaillierte Lebensraumanalyse nach Delarze et al. (2015) vorzunehmen.

Lebensräume stellen in der Ökologie eine grundlegende Einheit dar. Gefässpflanzen sind ein klassischer Indikator, anhand derer man Lebensräume kategorisieren kann (Kadereit et al., 2014). Gefässpflanzen sind aufgrund ihrer Sessilität und hohen Abundanz gut bestimmbar. Durch ihre hohe Biomasse prägen sie und der Lebensraum sich gegenseitig. Aufgrund dieser Faktoren haben sie sich für das verwendete Lebensraum-Klassifikationssystem: «Typo-CH» als primäre Indikatoren etabliert und bewährt (Eggenberg & Bornand, 2023).

Alle Lebensräume der Schweiz werden durch ein vierstufiges, hierarchisches Klassifikationssystem eindeutig voneinander abgegrenzt. Neun Lebensraumbereiche werden in 44 Lebensraumgruppen unterteilt. Nachfolgend findet eine Unterteilung in 174 Lebensraumtypen dritter Ordnung und 95 Lebensraumtypen vierter Ordnung statt. Schlussendlich ergeben sich somit 322 verschiedene Einheiten für die Lebensraumsprache. Die Unterscheidung und Abgrenzung der verschiedenen Einheiten erfolgt über das Konzept der Kennarten. 2758 Gefässpflanzen-Taxas werden den einzelnen Lebensraumeinheiten zugeordnet. Ein einzelnes Taxon reicht nicht zur eindeutigen Identifikation. Je mehr Kennarten für einen Lebensraum gefunden wurden, desto stabiler ist die Lebensraumanalyse.

- Charakterarten sind Kennarten, welche ihren Lebensraumtyp besonders gut charakterisieren und somit einen hohen Indikatorwert besitzen.
- Kennarten besitzen einen geringeren Indikatorwert, da sie auch in anderen Lebensraumtypen vorkommen können (Eggenberg & Bornand, 2023).

Neben der Gesamtliste aller Gefässpflanzen gilt die Dominanz innerhalb einer Versuchsfläche als Merkmal für die korrekte Identifikation des Lebensraums. Hierfür und für die Berechnung eines gewichteten Mittelwerts gilt es den Deckungsgrad nach Braun-Blanquet aufzunehmen (Tab. 2).

Tabelle 2: Verwendete siebenteilige Braun-Blanquet-Skala (Dierschke, 1994).

	Deckungsgrad	%-Wert
r	Ganz vereinzelt	0
+	Spärlich, mit sehr geringem Deckungsgrad	0.5
1	Reichlich aber mit geringem Deckungsgrad oder ziemlich spärlich aber mit grösserem Deckungsgrad.	3
2	5-25% deckend oder sehr zahlreich bei geringerem Deckungsgrad.	15
3	25-50% deckend, Individuenzahl beliebig	37.5
4	41-75% deckend, Individuenzahl beliebig	62.5
5	76-100% deckend, Individuenzahl beliebig	87.5

Die erfassten Arten werden nun wie folgt gewichtet: Einfache Kennarten erhalten einen Score von 1. Charakterarten einen Score von 4. Wenn die Dominanz eines Taxons typisch ist, werden die Scores verdoppelt. Dies gilt ab einem Deckungswert von 2 als erreicht (Eggenberg & Bornand, 2023).

Die Lebensraumanalyse wurde mithilfe des Infoflora-Algorithmus durchgeführt. Diese Methode gilt als elektronisches Expertensystem (De Cáceres et al., 2015) und benötigt zur korrekten, fehlerfreien Anwendung ein fundiertes Verständnis des zugrundeliegenden TypoCH-Klassifikationssystems (Eggenberg & Bornand, 2023).

2.3 Zeitliche Veränderung der Pflanzenvergesellschaftung am Oberen Spöl

Sieben Versuchsflächen, festgelegt und bereits zweimalig untersucht durch Kusstatscher (1991), wurden einer Lebensraumanalyse unterzogen. Diese über die Zeit zu vergleichen, erlaubt Rückschlüsse über die Entwicklung der Pflanzenvergesellschaftung am Oberen Spöl (Kusstatscher, 1991). Ökologische und biologische Zeigerwerte aus der «*Flora Indicativa*» (Landolt, 2010) ermöglichen die Veränderungen der Pflanzengesellschaften quantitativ über die Zeit zu vergleichen. Auch die gestörte Sukzessionsdynamik lässt sich mit ihnen belegen.

Die Konkurrenz mit anderen Lebewesen sowie eigene physiologische Parameter definieren, unter welchen Bedingungen eine Pflanze in der Natur gedeihen kann. Diese Anforderungen an die Umwelt versuchen Zeigerwerte zu charakterisieren, was eine quantitative Vergleichbarkeit ermöglicht. Oftmals suggerieren sie eine Genauigkeit und Eindeutigkeit, welche nicht zwangsläufig gegeben ist. Es gilt darauf hinzuweisen, dass gewisse ökologische Besonderheiten und Zustände sich nicht vollumfänglich in einem Wert oder Symbol erfassen lassen (Landolt, 2010). Zeigerwerte beziehen sich auf das Mittel der Umweltvariabel am hauptsächlichen Standort der Art.

Ihre Aussage ist somit nicht: «*Der Standort hat eine Feuchtigkeitszahl (F) von 2*», sondern es gilt sie wie folgt zu interpretieren: «*Die vorhandene Vegetation ist typisch für einen Standort mit einer Feuchtigkeitszahl (F) von 2*».

Es ist wichtig herauszustreichen, dass Werte oftmals abhängig voneinander sind. Beispielsweise führt hohe Feuchtigkeit oftmals auch zu einer besseren Nährstoffverfügbarkeit. Ein hoher Humusgehalt ist häufig gekoppelt mit einer schlechten Durchlüftung des Bodens. Diese Zusammenhänge gilt es zu betrachten um Fehlannahmen in der Analyse zu vermeiden (Landolt, 2010; Tichý et al., 2023). Zeigerwerte erlauben es, eine Vergleichbarkeit der Vegetationsaufnahmen und generellen Veränderung der Ufervegetation über die Zeit

festzustellen (Kusstatscher, 1991). Beispielsweise gibt die Wechselfeuchtezahl an, wie häufig die Feuchtigkeit im Boden wechselt oder die Nährstoffzahl, wie viel Nährstoffe im Boden verfügbar sind (Tab. 3).

Tabelle 3: Zeigerwerte genutzt zur Rekonstruktion der Veränderung über die Zeit. (Landolt, 2010, S. 17–20)

	Name	Erklärung	Skala
<u>T</u>	Temperaturzahl	Mittlere Lufttemperatur welche charakteristisch ist für das Gedeihen der Art.	1 (alpin) - 5 (sehr warm-kollin)
<u>K</u>	Kontinentalitätszahl	Vorkommen der Art in Bezug auf die Kontinentalität des Klimas.	1 (Ozeanisch) - 5 (kontinental)
<u>L</u>	Lichtzahl	Mittlere Lichtmenge, welche eine Art an ihrem Wuchsort erhält. Bei Bäumen und Sträuchern spezifisch für die Jungpflanzen.	1 (sehr schattig) - 5 (sehr hell)
<u>F</u>	Feuchtezahl	Mittlere Feuchte des Bodens während der Vegetationszeit für die Art.	1 (sehr trocken) - 5 (überschwemmt)
<u>WF</u>	Wechselfeuchtezahl	Wie oft wechselt die Feuchtigkeit im Boden im Jahresverlauf.	1 (Feuchte wenig wechselnd) - 3 (Feuchte stark wechselnd)
<u>R</u>	Reaktionszahl	Gehalt der freien H-Ionen im Boden.	1 (stark sauer) - 5 (basisch)
<u>N</u>	Nährstoffzahl	Gehalt der verfügbaren Nährstoffe im besiedelten Bodens.	1 (nährstoffarm) - 5 (nährstoffreich)
<u>H</u>	Humuszahl	Charakteristisch für den Humusgehalt des Bodens.	1 (Rohböden) - 5 (Humusreich)
<u>D</u>	Durchlüftungszahl	Sauerstoffversorgung des Bodens abhängig von der Bodenstruktur.	1 (verdichtet/ vernässt) - 5 (gute Durchlüftung)
<u>LF</u>	Lebensform	Beschreibt die Lage der Überdauerungsknospen	divers
<u>WT</u>	Wurzeltiefe	Tiefe der Bodendurchwurzelung. Hängt von Bodendurchlüftung ab.	1 (oberflächlich) - 5 (tiefgründig)
<u>KS</u>	Konkurrenzstrategie	Überlebensstrategie der Taxa um sich gegen andere Durchzusetzen.	C= Konkurrenz R= Ruderal S= Stress

2.4 Sukzessionszustand am Oberen Spöl

Die Abwesenheit periodischer Hochwasserereignisse führt zu folgender hypothetischer «Sukzession-Situation» der Vegetationsaufnahmen (Tab. 4).

Tabelle 4: Sukzessions-Situation zum Zeitpunkt der Lebensraumanalysen (Kusstatscher, 1991)

Name	KU_Eins-Sieben	KU_1-7	Plot_1-7
Zeitpunkt	<u>Vor</u> Grund-ablassspülung 1990.	<u>Nach</u> Grund-ablassspülung 1990	Sommer 2024
Sukzession:	<u>Hoch:</u> Entwicklung von 1961-1990	<u>Tief:</u> Bedingt durch Grund-ablassspülung 1990	<u>Mittel:</u> Da seit 2016 keine Spülungen mehr.

Da seit dem PCB-Unfall von 2016 (Gubler, 2024) keine Spülungen mehr durchgeführt wurden, konnte sich die Ufervegetation über acht Jahre unbeeinflusst von Überflutungsereignissen entwickeln (Robinson et al., 2023). Die Sukzession sollte sich rezent² in einem mittleren Bereich, zwischen den beiden Aufnahmen von Kusstatscher vor³ und nach⁴ der Spülung (1991) befinden. Folgender Ansatz dient zur Überprüfung der Hypothese.

Um die Abwesenheit von Störungen nachzuweisen, scheint ein Vergleich geeigneter Umweltvariablen aufschlussreich. Ausgeführte Lebensformen (LF) und Konkurrenzstrategien (KS) gelten als Störungsstrategien (Tab. 5). Ihre Entwicklung zeigt, ob die Vegetation am Oberen Spöl die gestörte Sukzessionsdynamik wiedergibt (Milani et al., 2019).

Tabelle 5: Ausgewählte Störungsstrategien

Lebensformen (Landolt, 2010, S. 20)	Konkurrenzstrategien (Landolt, 2010, S. 21)
n, t, g, k-t, n-p, k, t.hp, g-z, z	rrr, rrs, rss, crr, ccr

Auch die Typo-CH Lebensraumanalyse lässt bei genauerer Betrachtung interessante Rückschlüsse zu. Für den Fall einer uneindeutigen Analyse, also mehreren ungefähr gleich hohen Scores für verschiedene Lebensraumtypen, ist die Unterscheidung zwischen Übergangstypen und Vegetationsmosaiken von grosser Bedeutung.

- Übergangstypen sind, oftmals sukzessionsbedingt, in der Transition zwischen zwei Lebensraumtypen und darum nicht klar zuzuordnen (Eggenberg & Bornand, 2023)
- Vegetationsmosaike hingegen treten auf, wenn in unserer Probefläche die relevanten Umweltfaktoren nicht homogen sind. Wir haben also verschiedene Lebensraumtypen in einer (zu) grossen Probefläche. (Eggenberg & Bornand, 2023)

Bestimmte Lebensraumtypen (Tab. 6) weisen auf eine ausgeprägte Sukzessionsdynamik an Gebirgsbächen hin (Delarze et al., 2015). Die relative Häufigkeit obiger Lebensraumtypen erlaubt es, den Sukzessionszustand der verschiedenen Vegetationsanalysen miteinander zu vergleichen.

Tabelle 6: Lebensraumtypen mit obligater Störungsdynamik

2.2.5	<i>Caricion bicolori-atrofuscae</i>	Schwemmufervegetation alpiner Wildbäche
3.2.1.1	<i>Epilobion fleischeri</i>	Alluvionen mit krautiger Pionierv egetation
3.3.1.4	<i>Petasition paradoxi</i>	Feinerdenreiche Kalkschuttflur
5.3.5	<i>Sambuco-Salicion</i>	Gebüschreiche Vorwaldgesellschaft
5.3.6	<i>Saliciom eleagni</i>	Auen-Weiden gebüsch
5.3.8	<i>Salicenion waldsteinianae</i>	Gebirgs-Weiden gebüsch
6.1.2	<i>Salicion albae</i>	Weichholz-Auenwald
6.1.3	<i>Alnion incanae</i>	Grauerlen-Auenwald
6.4.1	<i>Molinio-Pinion</i>	Pfeifengras-Föhrenwald
7.1.1.1	<i>Agropyro-Rumicion</i>	Feuchte Trittflur

² Plot_1-7

³ KU_Eins-Sieben

⁴ KU_1-7

2.5 Statistische Analyse

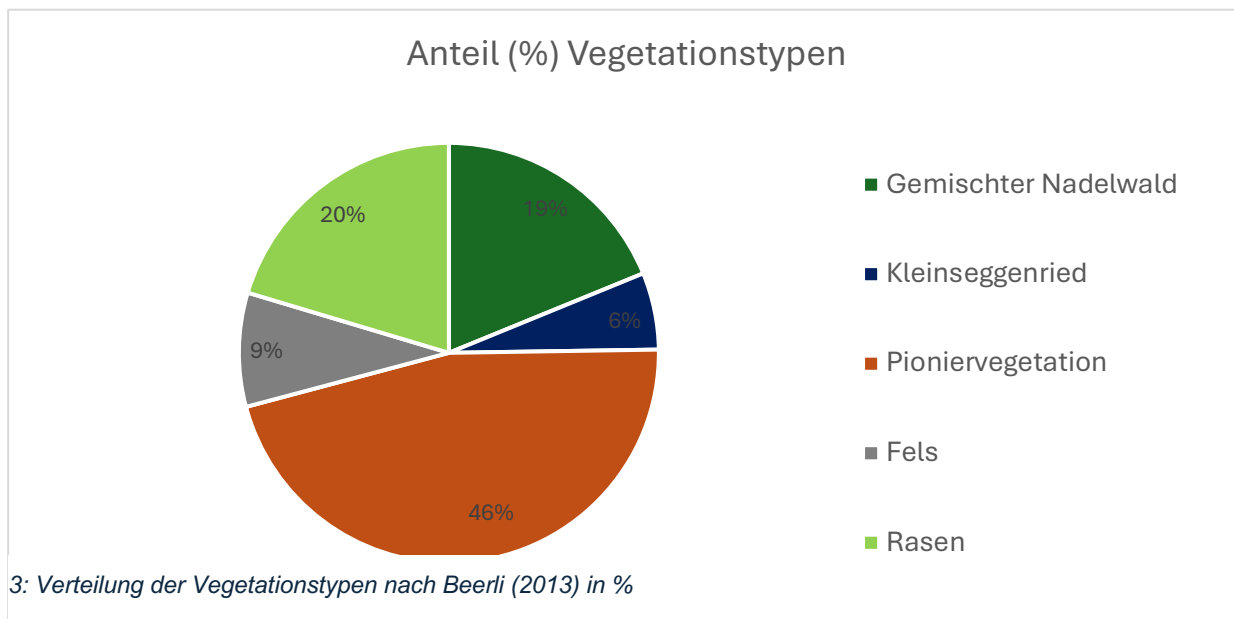
Die Hauptkomponentenanalyse (CCA) stellt eines der grundlegenden, multivarianten statistischen Verfahren zur Dimensionsreduktion dar und spielt eine zentrale Rolle in der Ordination ökologischer Datensätze. CCA ermöglicht es sowohl multivariante Datensätze zu analysieren und visualisieren, als auch zahlreiche korrelierende Variablen auf wenige aussagekräftigere Hauptkomponenten bei gleichzeitiger Maximierung der erklärten Varianz zu reduzieren (Leyer & Wesche, 2008). Vegetationsaufnahmen sind sich umso ähnlicher, je näher sie, im durch die Achsen CCA1 und CCA2 aufgespannten Koordinatensystem, beieinander liegen (Leyer & Wesche, 2008).

Die gewichteten Mittelwerte der Umweltvariablen wurden mithilfe einer Anova-Varianzanalyse und einem Post-Hoc-Test verglichen. Es wird die Varianz der Mittelwerte innerhalb des gleichen Aufnahmezeitpunkts mit denjenigen davor und danach verglichen. Dies erlaubt eine Aussage darüber, ob bei der Vegetationsveränderung über die Zeit signifikante Unterschiede auftreten (Rasch et al., 2010).

Ergebnisse

2.6 Pflanzengesellschaften am Oberen Spöl (2024)

Dominant ist die «Pioniervegetation», während der «Gemischte Nadelwald» und «Rasen» in etwa gleich häufig sind. Ähnlich selten sind die Vegetationbereiche: «Fels» und «Kleinseggenried» (Abb.3).



Auf sieben Versuchsflächen wurden insgesamt 169 Arten aus 89 unterschiedlichen Taxas aufgenommen. Davon sind laut Landolt (2010) 114 Rote Liste-Arten. In sechs Plots und somit am häufigsten gefunden wurden *Larix decidua* und *Picea abies*. Beinahe so präsent in je fünf Plots waren weitere Bäume wie *Pinus mugo* s.l., robuste Grasarten wie *Deschampsia cespitosa*, *Agrostis stolonifera*, *Poa alpina* oder *Saxifraga aizoides*, ein Feuchtigkeitszeiger, Im Minimum wurden mindestens 13 Taxas⁵ auf jeder Versuchsfläche identifiziert.

Es lässt sich festhalten, dass aufgenommene Lebensraumanalysen meist typisch für den Uferbereich eines Gebirgsgewässer sind (Delarze et al., 2015; Tab 9; Beilage). Einige diskussionswürdige Ausnahmen gibt es aber (Tab. 9, x), welche erläutert werden sollten:

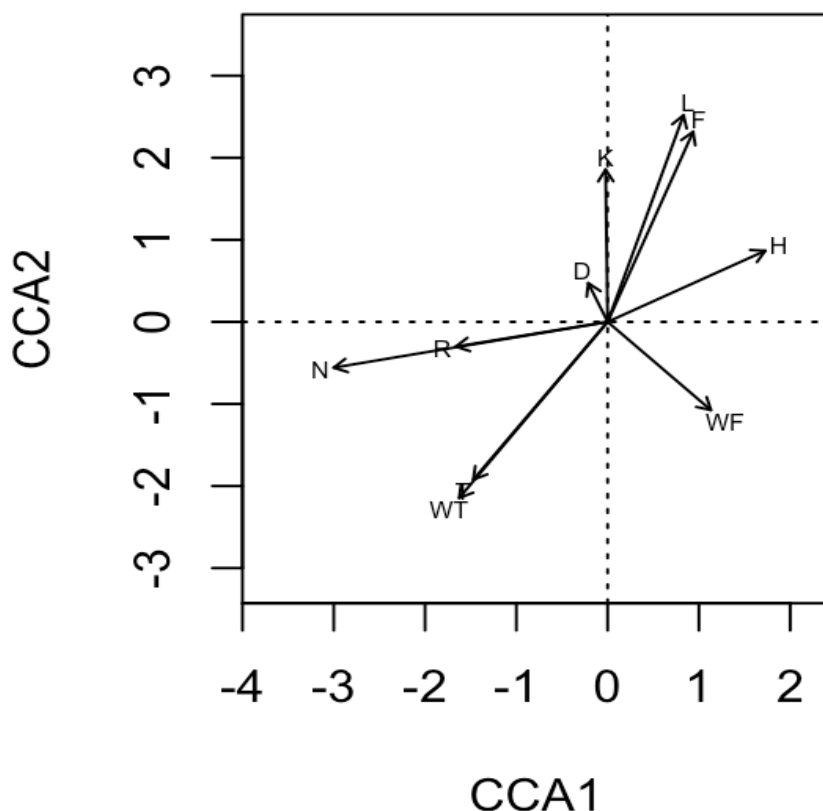
Bei **Plot_1** («4.5.4 Bergfettweide», siehe Anhang 4.3) gilt es zu bezweifeln, dass die Böden gut entwickelt sind. Die obligate Beweidung könnte durch die Überpopulation der Hirsche (Lüdi, 1966) zwar erfüllt sein, jedoch ist eine «Düngung» in dieser Grössenordnung unwahrscheinlich (Delarze et al., 2015, S. 204–205). Die Identifikation wird ausgemacht durch *Cerastium fontanum* s.str. und *Poa alpina*, welche geographisch und lebensräumlich beide vorkommen könnten. (Lauber et al., 2024). Möglich wäre, dass die *Agrostis stolonifera* cf. nicht

⁵ Plot_2

auf Artniveau bestimmt wurde. Wenn sie, wie vermutet, *Agr. stolonifera* wäre, würde dies zu einer Identifikation als «7.1.1 *Agropyro-Rumicion*» führen (Delarze et al., 2015). Somit kann diese Lebensraumidentifikation als Übergangstyp oder Vegetationsmosaik zwischen «7.1.1 *Feuchte Trittflur*» und «4.5.4. *Bergfettweide*» betrachtet werden.

Bei **Plot_3** (6.6 *Gebirgs-Nadelwald*, s.A.) kommen Bäume vor (siehe Anhang 4.3). Die Nadelgehölze erreichen jedoch nicht die Baumgestalt, sondern verbleiben in Strauchhöhe. Auch sind die Böden roh und nicht entwickelt (Delarze et al., 2015, S. 332–333). Die Versuchsfläche_3 wurde bei der 1. Spülung komplett zerstört (Kusstatscher, 1991). Möglicherweise war der Ersatzstandort Standort von Plots_3 nicht treffend gewählt, wofür auch der tiefste «Score» aller Identifikationen sprechen würde (Tab. 8).

2.7 Zeitliche Veränderung der Pflanzenvergesellschaftung am Oberen Spöl



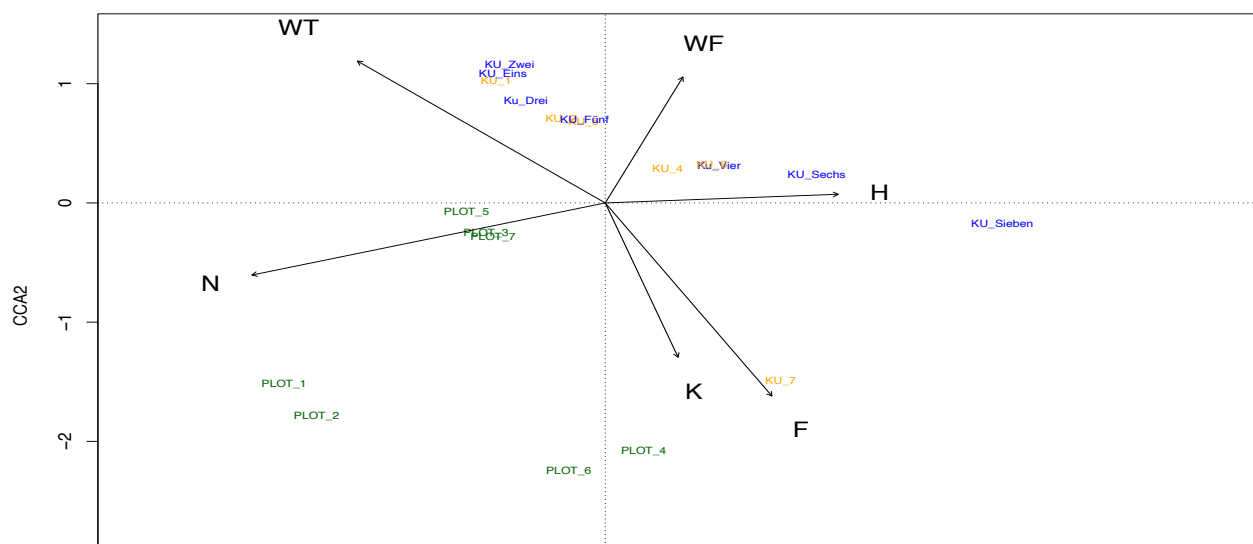
4: CCA-Ordination Beitrag aller rekonstruierten Umweltvariablen zur Unterschiedlichkeit der Vegetationsaufnahmen. Erklärung der Variablen (Tab. 3).

Am meisten Varianz erklären Nährstoff-, Wurzeltiefe-, Wechselfeuchte-, Licht- sowie Feuchtezahl (Abb.4, $p=0.001$ & 67% Varianz). Gewisse redundante Umweltvariablen (Tab. 7) wurden aufgrund ihrer Kollinearität weggelassen.

Tabelle 7: Gewählte Umweltvariablen

Umweltvariablen	Gewählt:
Temperatur, Wurzeltiefe→ kollinear	<u>Wurzeltiefe</u> (länger)
Licht und Feuchte→ kollinear	<u>Feuchte</u> (Interessanter für meine Fragestellung)
Reaktion und Nährstoffe→ kollinear	<u>Nährstoffe</u> (länger)
Durchlüftung → zu kurz	<u>Durchlüftung</u> : Gestrichen, da zu geringe Varianzerklärung.

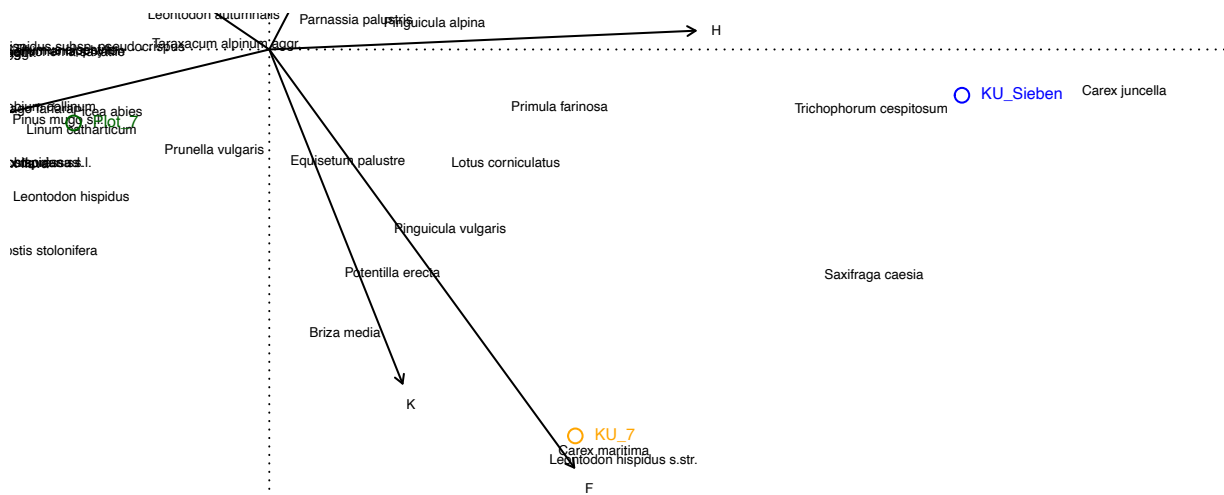
Die Vegetationsaufnahmen Kusstatschers (1991) sind einander ähnlich. Rezentere Vegetationsaufnahmen hingegen sind oftmals nach links unten verschoben (Abb. 5) Um die Entwicklung jeder Untersuchungsfläche über die Zeit nachzuverfolgen, muss dies in der korrekten Reihenfolge geschehen (Siehe Arbeitshypothese; Tab. 4). Exemplarisch dazu betrachte man die Entwicklung der Versuchsflächen₂⁶ (Abb. 5).



5: CCA-Ordination: Ähnlichkeits-Verteilung der Vegetationsaufnahmen. Farbcodierung nach Tab. 4 (Blau: Vor Spülung 1990, Orange: Nach Spülung 1990 und Grün: Sommer 2024)

Als einzige Anomalie dazu springt einem die Entwicklung der Versuchsfläche₇ ins Auge (Abb. 5 & 6). Sie entwickelt sich von einer Vegetation typisch für hohe Humosität hin zu einer Vegetation typisch für hohe Feuchtigkeit und Kontinentalität.

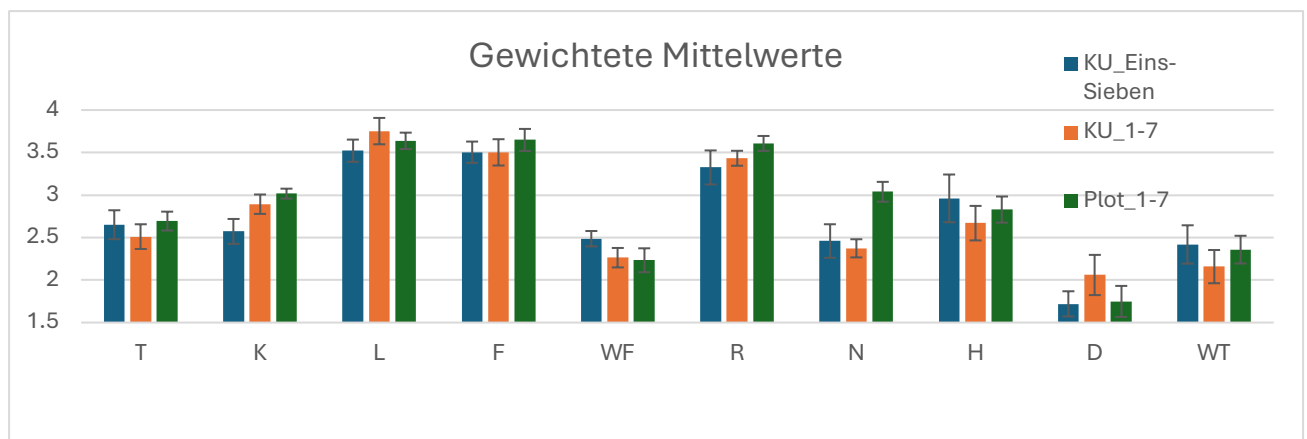
⁶ KU_Zwei → KU_2 → Plot_2



6: Entwicklung Versuchsfläche_7 von 1990-2024 als CCA mit identifizierten Arten.

Die Verschiebung kann durch die Präsenz von *Carex maritima*, *C. juncella* und *Trichophorum cespitosum* in Kusstatschers Vegetationsaufnahmen⁷ erklärt werden (Abb. 6). Alle drei weisen eine hohe Feuchtezahl auf und letztere beide eine hohe Humuszahl (Landolt, 2010). Sie sind rezent nicht mehr aufzufinden (siehe Anhang 4.2). Das Wegfallen dieser Extremwerte führt zu einer Verschiebung nach links oben zu den durchschnittlichen Vegetationsaufnahmen (Abb. 5 & 6).

Der Durchschnitt der gewichteten Mittelwerte (Abb.7). erlaubt eine Zusammenfassung der rekonstruierten Umweltvariablen (Hörsch, 2001). Man erkennt einen klaren Anstieg der Nährstoff-, Kontinentalitäts- und Reaktionszahl. Die Wechselfeuchtezahl nimmt ab. Einzig die Veränderung der Nährstoffzahl (N) ist signifikant (siehe Anhang 4.4, Tab.10). Die restlichen Umweltvariablen zeigen eine heterogene Entwicklung für die einzelnen Versuchsflächen.



7: Durchschnitt der gewichteten Mittelwerte mit Standardfehlern. Varianzanalyse Anova mit Signifikanzniveau $\alpha=0,01$

Die Lebensraumanalysen zeigen für Kusstatschers (1991) Aufnahmen vor und nach der 1. Spülung meist die identische Lebensraumidentifikation (Tab. 8). Die rezente

⁷ KU_Sieben& 7

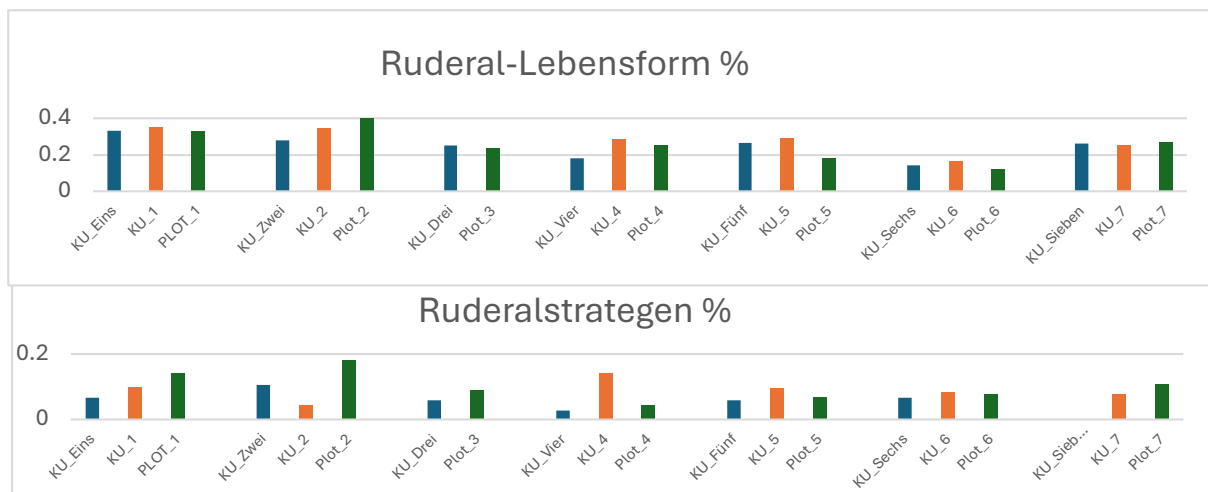
Lebensraumanalysen hingegen weichen öfter davon ab. Oftmals ist die Bestimmungssicherheit geringer (Tab. 8, letzte Spalte)⁸.

Tabelle 8: Lebensraumanalysen der sieben Versuchsflächen, (Score) gibt Bestimmungssicherheit an.

Name	Vor Spülung	Nach Spülungen	Sommer 24
VF_1	3.3.1.4 <i>Petasion paradoxo</i> (9)	3.3.1.4 <i>Petasion paradoxo</i> (9)	4.5.4 <i>Poion alpinae</i> (5)
VF_2	3.3.1.4 <i>Petasion paradoxo</i> (9)	3.3.1.4 <i>Petasion paradoxo</i> (9)	7.1.1 <i>Agropyro rumicion</i> (5)
VF_3	4.3.1 <i>Seslerion</i> (5)	/	6.6 <i>Gebirgs-nadelwald</i> (3)
VF_4	2.2.3 <i>Caricion davallianae</i> (9)	2.2.3 <i>Caricion davallianae</i> (14)	2.2.3 <i>Caricion davallianae</i> (6)
VF_5	3.3.1.4 <i>Petasion paradoxo</i> (7)	3.3.1.4 <i>Petasion paradoxo</i> (9)	2.2.3 <i>Caricion davallianae</i> (5)
VF_6	2.2.3 <i>Caricion davallianae</i> (9)	2.2.3 <i>Caricion davallianae</i> (8)	2.2.3 <i>Caricion davallianae</i> (9)
VF_7	2.2.3 <i>Caricion davallianae</i> (10)	4.5.3 <i>Cynosurion</i> (5)	2.2.5. <i>Caricion bicolori-atrofuscae</i> (9)

2.8 Sukzessionszustand am Oberen Spöl

Sowohl die Entwicklung der Lebensformen als auch die Entwicklung der Konkurrenzstrategie (Abb. 8) weisen darauf hin, dass die ökologischen Flutungen die Sukzession tief halten. Versuchsfläche_1 und Versuchsfläche_3 widerspiegeln als einzige nicht den Einfluss der Überflutungen auf den Sukzessionszustand der Ufervegetation. Das Ausbleiben der Spülungen seit 2016 hingegen ist nicht sichtbar.



8: Prozentuale Häufigkeit Ruderal-Lebensformen beziehungsweise Ruderalstrategen

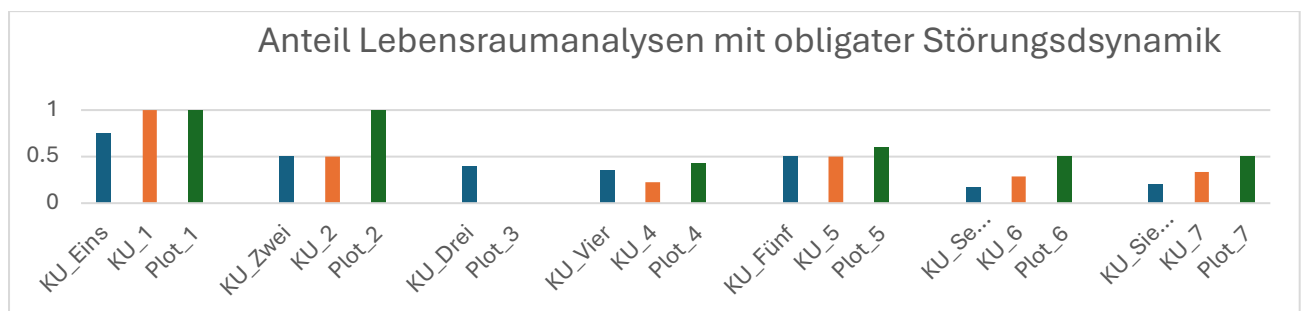
Für jede Lebensraumanalyse ist es möglich, auszusagen, ob periodische Störungen für ihren Erhalt obligat sind (Tab. 9; Delarze et al., 2015).

⁸ Eine prägnante Zusammenfassung der relevanten Charakteristika der jeweiligen Lebensraumanalysen findet sich im Anhang.

Tabelle 9: Prozentuale Häufigkeit von störungsgeprägten Lebensraumanalysen, 1= 100%, Störung obligat für Erhalt des jeweiligen Lebensraums nach Delarze et al. (2015).

	Störung obligat?	% Störungen		Störung obligat?	% Störungen
KU_Eins	✓	0.75	Plot_4	✓	0.429
KU_1	✓	1	KU_Fünf	✓	0.5
Plot_1	×	1	KU_5	✓	0.5
KU_Zwei	✓	0.5	Plot_5	✓	0.6
KU_2	✓	0.5	KU_Sechs	✓	0.167
Plot_2	✓	1	KU_6	✓	0.286
KU_Drei	×	0.4	Plot_6	✓	0.5
Plot_3	×	0	KU_Sieben	×	0.2
KU_Vier	✓	0.357	KU_7	✓	0.333
KU_4	✓	0.222	Plot_7	✓	0.5

Interessant ist, wie viele der ausgeschlossenen Lebensräume (siehe Anhang 4.5.1), im Verhältnis zu allen Lebensraumidentifikationen typisch für regelmässige Störungen sind (Tab. 9). Die Betrachtung der ausgeschlossenen Lebensraumanalysen ermöglicht uns eine differenziertere Analyse. Für jede der 20 Vegetationsaufnahmen (Abb. 9) betrachtet man die relative Häufigkeit der Lebensraumanalysen mit einer obligaten Störungsdynamik im Verhältnis zu allen Lebensraumanalysen (siehe Anhang 4.5.1):



9: Relativer Anteil der Lebensraumanalysen mit obligater Störungsdynamik

Bis auf Versuchsfläche_3 zeigen alle den gleichen Trend auf: Vor der 1.Spülung (1991, Abb. 9)⁹ weisen die ausgeschlossenen Lebensraumanalysen seltener obligate Störungsdynamik auf als danach. Direkt nach der 1.Spülung (1991, Abb 9)¹⁰ spiegelt sich die präsente Störungsdynamik (noch) nicht in den ausgeschlossenen Lebensraumanalysen wider. Der Status Quo (Abb.9)¹¹ weist den höchsten Anteil an Lebensraumanalysen mit obligater Störungsdynamik auf.

⁹ KU_Eins-Sieben

¹⁰ KU_1-7

¹¹ Plot_1-7

3 Diskussion

3.1 Pflanzengesellschaften am Oberen Spöl (2024)

Mit geraumem Abstand dominiert der Vegetationstyp der Ruderalstrategen mit 46% die Flora des Uferbereichs des Oberen Spöl (Abb. 3). Die scheinbare Dominanz dieser «*Pioniervegetation*» widerspricht der gängigen Meinung, dass der Uferbereich des Oberen Spöl einer ausgeprägten Störungsdynamik entbehrt (Beerli, 2013; Consoli et al., 2022; Scheurer & Molinari, 2003). Interessant ist, dass Nadelgehölze am häufigsten auftreten. Dies zeigt auf, dass die Ufervegetation rezent nur selten und geringfügig Überflutungsereignissen ausgesetzt ist (Picco et al., 2016).

Den extrem hohen Anteil an Rote Liste-Arten (Landolt, 2010) ist im Vergleich zu anderen Schweizer Versuchsflächen untypisch (Bäumler et al., 2005). Selbst verglichen mit anderen nationalen (Gigon & Langenauer, 1998) oder gar internationalen (Forests, 2016) Naturschutzgebieten sind Werte über 50% eine Seltenheit. Jedoch sind laut Slezak et al. (2022) genau solche Flussauen mit mittlerer Störungsintensität und Feuchte- sowie Produktivitätswerten enorm divers (Arias et al., 2018).

Da bereits sieben bis zehn Arten für eine sichere Lebensraumidentifikation ausreichen (Maciejewsk et al., 2022), lässt sich festhalten, dass die aufgenommenen Lebensraumanalysen aussagekräftig und typisch für den Uferbereich eines Gebirgsgewässers sind (Delarze et al., 2015). Eine vertiefte Betrachtung über die Zeit zeigt, dass dies nicht immer der Fall war (Tab. 9). Dies bestätigen aktuelle Untersuchungen (Consoli et al., 2022; Meissner, 2023; Robinson et al., 2023).

Interessanterweise sind beide diskussionswürdigen Ausnahmen¹² (Tab. 9, ×), nicht genaue Wiederaufnahmen der Versuchsflächen Kusstatschers (1991), da sie durch Spülungsereignisse beziehungsweise Abtragung im direkten Nachgang des PCB-Unfalls (Vetterli, 2021) zerstört wurden (Abb. 10). Sie wurden behelfsmässig auf nahen, ähnlichen Standorten aufgenommen.



10: Überflutete Versuchsfläche_1 und Ersatzfläche (Vetterli, 2021)

3.2 Zeitliche Veränderung der Pflanzenvergesellschaftung am Oberen Spöl

Ähnlich sind sich Vegetationsaufnahmen aus zwei Möglichkeiten (Abb. 5): Sie wurden durch die gleiche Person und im gleichen Zeitraum aufgenommen. Ein Erklärungsansatz hierfür wäre, dass eine «Taxonomische Verzerrung» (Traxler, 1997) oder ein «Bearbeitereffekt» (Boch et al., 2021) stattfand. Auch denkbar wäre, dass die Translation von Kusstatschers Fundmeldungen in die «Checklist 2017» (Lauber et al., 2024) zu Fehlern geführt hat. Er könnte beispielsweise gewisse Individuen bis auf das Artniveau bestimmt haben, während dem sie rezent, um Falschannahmen zu verhindern, als Aggregat aufgenommen wurden (Boch et al., 2023). Der zweite Grund für die Ähnlichkeiten liegt darin, dass sie auf identischen Flächen aufgenommen wurden, Dies erscheint plausibel, da die Standortfaktoren und der mögliche Artenpool trotz veränderter Störungsintensität und Frequenz ähnlich sind (Kadereit et al., 2014).

¹² Plot_1 & 3

Ökologische Zeigerwerte sind relativ robust gegen oben ausgeführte Fehlerquellen (Boch et al., 2021). Die Entwicklung der Wechselfeuchte (Abb. 7) ist kontraintuitiv und weist darauf hin, dass sich Arten, typisch für seltener wechselnde Bodenfeuchte, vermehrt etablierten (Landolt,



11: Versuchsfläche_4 überflutet / trockenliegend, trotz gepegeltem Abfluss

2010). Es gilt zu erwähnen, dass trotz des gepegelten Abflusses, der Wasserstand des Oberen Spöl über die Zeit nicht immer konstant ist (Abb. 11). Interessanterweise reagieren Sträucher und Bäume eher auf die Feuchtigkeitsverhältnisse im Boden, während krautige Gefässpflanzen stärker von Bodenparametern beeinflusst werden (Bruno et al., 2014)

Jedoch müssen Pflanzen, welche angepasst an wechselnde Bodenfeuchte sind, nicht zwangsläufig auch Ruderalstrategen sein (Ellenberg, 2011). Der Einfluss von Überflutungsereignissen auf die Vegetation charakterisiert sich somit nicht durch die fluktuierende Bodenfeuchtigkeit, sondern vielmehr durch die mechanische Störung der Vegetationsbiomasse (BAFU, 2008; Ellenberg, 2011). Nur die Zunahme der Nährstoffzahl (N) ist signifikant (siehe Anhang 4.4, Tab.10). Eine Erklärung hierfür wäre der Eintrag der nährstoffreichen Feinsedimente (Scheurer & Molinari, 2003; Vetter, 1992) durch die Spülungen (Robinson et al., 2023; Robinson & Uehlinger, 2003). Die von Ellenberger (2011) postulierte Annahme, dass nitrophile Arten am stärksten vom Wegfall regelmäßiger Störungen profitieren, konnte bestätigt werden. Es stellt sich jedoch die Frage, aus welchem Gründen die Nährstoffzeiger zwischen 1968¹³ und der 1. Spülung (1991), in einer längeren Zeitspanne ohne Störungen, nicht die gleiche Dominanz erreichten. Möglicherweise konnten sich die Nährstoffzeiger erst auf den 1990 freigelegten, konkurrenzarmen Standorten flächendeckend durchsetzen oder die klimawandelbedingten verbesserten Wachstumsbedingungen wirkten sich möglicherweise positiv auf die Ausbreitung nitrophiler Arten aus (Ellenberg, 2011; Kadereit

¹³ Bau der Staumauer

et al., 2014). Am Wahrscheinlichsten ist jedoch der Eintrag von nährstoffreichen Sedimenten (Consoli et al., 2023; Scheurer & Molinari, 2003) aus dem Ablass des Livigno-Stausees. Laut Vetter (1992) wurden die Abflüsse von Livigno nur mangelhaft geklärt, was zu einer Eutrophierung der Gewässer führte und sich beispielsweise auch in der dichten Algenbedeckung des Spöls zeigte (Kusstatscher, 1991; Vetter, 1992). Aufgrund meiner Methodik der rekonstruierten Umweltvariablen zeigen die Aufnahmen nach der 1. Spülung (1991) diese Anpassung noch nicht (Ellenberg, 2011; Landolt, 2010). Die Nährstoffzeiger benötigen einige Jahre um sich auf der Brachfläche zu etablieren und durchzusetzen (Erschbamer & Burga, 2020)

Die Mehrzahl der Lebensraumanalysen blieb konstant über die Zeit (Tab. 9). Als Extrembeispiel dafür: Versuchsfläche_4 und 6. Lebensräume, welche Arten mit einer gewissen Robustheit gegen mechanische Störungen aufweisen, dominierten nach der 1. Spülung (1991). Exemplarisch dafür: KU_7 «4.5.3 Cynosurion» (siehe Anhang 4.3). Die verglichen zur Lebensraumidentifikation vor der Spülung, viel geringere Bestimmungssicherheit erklärt sich dadurch, dass instabile Arten durch die Spülung fortgerissen wurden (Kusstatscher, 1991). Es verblieben somit weniger mögliche Kenn- & Charakterarten (Delarze et al., 2015; Eggenberg & Bornand, 2023).

Die wiederkehrenden und regelmässigen Störungsereignisse führten über die Zeit zu einer Anpassung der Vegetation (Kadereit et al., 2014), was sich in den rezenten Lebensraumanalysen¹⁴ widerspiegelt (Eggenberg & Bornand, 2023). Dies ist bemerkenswert, da seit 2016 die Spülungen ausgesetzt wurden (Vetterli, 2021). Das rezente Vorkommen alpiner Ufervegetation, beispielsweise Plot_7, zeugt von der Wichtigkeit regelmässiger Spülungsereignisse und macht Hoffnung für die Zukunft (Delarze et al., 2015).

3.3 Sukzessionszustand am Oberen Spöl

Die rezenten Vegetationsaufnahmen weisen einen geringeren Sukzessionsgrad auf als vor der 1. Spülung. Seit den Spülungen nehmen die Störungsstrategen zu (Abb. 8). Auch der relative Anteil von Lebensraumidentifikationen mit obligater Störungsdynamik (Tab. 9, Abb. 9) steigt seit dem Beginn der Spülungen 1991 an, was beispielsweise Meissner (2023) an der Saane auch beschreibt. Dies bestätigt unsere Hypothese (Tab.4) teilweise.

Die postulierte Erhöhung des Sukzessionszustandes seit dem Ausfall der Spülungen 2016 (Tab. 4) konnte nicht nachgewiesen werden. Der Grund könnte methodisch bedingt sein, da wir unsere Störungsvariablen nicht messen, sondern aus der Vegetation rekonstruieren

¹⁴ Plot_1-7

(Hörsch, 2001). Während die Zerstörung etablierter Konkurrenzstrategen durch ein Hochwasser zwar schnell von statten geht, braucht die Besiedlung, auch durch Ruderalstrategen eine gewisse Zeit (Erschbamer & Burga, 2020). Dies zeigt, dass sich die Vegetation erst nach geraumer Zeit an die regelmässigen Störungen anpasst (Ellenberg, 2011). Fortführend deutet es auch darauf hin, dass die Verdrängung der Ruderalvegetation durch an Konkurrenz angepasste Vegetation Zeit benötigt (Kadereit et al., 2014).

Der rezente Zustand des Lebensraums Oberer Spöl ist somit naturnah (Tab. 9, Abb. 9). Dies ist speziell positiv hervorzuheben, da Auen Ökosysteme von überdurchschnittlicher Artenvielfalt sind (Weber & Schmid, 2014). Aufgrund der schweizweiten Zunahme der Stauseen (Döring et al., 2018) ist die, in dieser Arbeit belegten Wirksamkeit ökologischer Flutungen (Gubler, 2024) um so wichtiger. Ihre positiven Einflüsse wurden, wenn auch nicht für Gefässpflanzen, sowohl am Spöl (Consoli et al., 2022) als auch anderen Restwasserabflüssen wie der Saane (Döring et al., 2018) belegt.

3.4 Methodenkritik:

Am gleichen Standort bleiben Umweltfaktoren und der präsenste Artenpool über die Zeit konstant (Landolt, 2010). Im Normalfall würden wir davon ausgehen, dass in einem stabilen System die Lebensraumanalyse sich nicht ändert (Delarze et al., 2015). Die Veränderung der Lebensraumanalysen über die Zeit lassen sich begründen: Es ist möglich, dass gewisse Lebensraumanalysen fehlerhaft sind, da sie auf Ersatzflächen¹⁵ aufgenommen wurden beziehungsweise Übergangstypen oder Vegetationsmosaike sind (Eggenberg & Bornand, 2023). Es besteht auch die Möglichkeit, dass sie eine noch immer gestörte Sukzessionsdynamik (Robinson et al., 2018) abbilden. (Boch et al., 2023). Dies würde speziell die Analysen mit einem geringen «Score» betreffen (siehe Anhang, 4.5.1).

Unterschiede beim Vergleich über die Zeit könnten durch die obig ausgeführten «Taxonomischen Verzerrungen» (Traxler, 1997) oder den «Bearbeitereffekt» (Boch et al., 2023) begründet sein. Es wäre hier vorteilhaft gewesen, die rezenten Vegetationsaufnahmen von unterschiedlichen Personen aufnehmen zu lassen um abschätzen zu können, wie gravierend ihr Einfluss auf die Artenliste gewesen wäre (Boch et al., 2021).

¹⁵ Plot_1 und 3

4 Fazit

Die Grundablass-Spülungen aus dem Stausee von Livigno trugen Unmengen Nährstoffe in den Spöl ein (Vetter, 1992). Vergleichbare Phosphor-Zunahmen infolge der künstlichen Hochwasser wurden beispielsweise auch durch Döring et al. (2018) an der Saane oder durch Espa et al. (2019) belegt. Der negative Einfluss der Eutrophierung auf die Biodiversitätsmuster muss bei zukünftigen Spülungen kritisch betrachtet und das Management angepasst werden (Crosa et al., 2009; Roth et al., 2015).

Während Kusstatscher (1991) die Vegetationsfläche direkt vor und nach der 1. Spülung (1991) untersuchte, scheint es zielführender, die Wiederaufnahme der Flächen bei einer etwaigen Wiederholung des *before/after*-Experimentes (Rudolf, 2008) über einige Jahr verteilt zum phänologisch identischen Zeitpunkt zu wiederholen (Lauber et al., 2024). Dies hätte den Vorteil, dass die vorgefunden Unterschiede in den Artenlisten exakter die Unterschiede im vorhanden präsenten Artenpool wiedergeben würden. Außerdem könnten sich in der verstreichenden Zeit Ruderalstrategen ansiedeln und etablieren (Erschbamer & Burga, 2020). Dies würde die Aussagekraft und Repräsentativität der Lebensraumanalysen (Delarze et al., 2015) und rekonstruierten Umweltvariablen (Landolt, 2010) steigern.

Interessant wäre der Vergleich mit einem nahe gelegenen Gebirgsfluss, welcher über keinen gestörten Abfluss verfügt aber klimatisch, geologisch und den verfügbaren Artenpool betreffend, möglichst ähnlich ist. Interessant wäre beispielsweise der „Ova dal Fuorn“, dem größten, ungestörten Zufluss des Spöl (Vetter, 1992). Ein methodisch interessanter Ausgangspunkt dafür wäre beispielsweise die Arbeit von Meissner (2023).

Anhang

4.1 Literaturverzeichnis

- Arias, M., Wittmann, F., Parolin, P., Murray-Hudson, M., & Cochrane, T. (2018). Interactions between flooding and upland disturbance drives species diversity in large river floodplains. *Hydrobiologia*, 814, 5–17. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-2664-3>
- BAFU, B. für U. (2008). *Ereignisanalyse Hochwasser 2005*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-naturgefahren/naturgefahren--publikationen/publikationen-naturgefahren/ereignisanalyse-hochwasser-20050.html>
- BAFU, B. für U. (2020). *Bundesinventar der Auengebiete von nationaler Bedeutung-Stand und Handlungsbedarf*. <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/biodiversitaet/fachinfo-daten/bundesinventar-der-auengebiete-von-nationaler-bedeutung-stand-und-handlungsbedarf.pdf>
- Bäumler, B., Moser, D. M., Gygax, A., Latour, C., & Wyler, N. (2005). Fortschritte in der Floristik der Schweizer Flora (Gefäßpflanzen). *Botanica Helvetica*, 115, 83–93. <https://doi.org/10.1007/s00035-005-0712-0>
- Beerli, N. (2013). *Vegetationsanalyse des Umfeldes einiger Quellen im Schweizerischen Nationalpark*. Institut Biogeographie Universität Basel.
- Boch, S., Kuchler, H., Kuchler, M., Bedolla, A., Ecker, K. T., Graf, U. H., Moser, T., Holderegger, R., & Bergamini, A. (2023). Reduktion der Bearbeitereffekte bei der Analyse von Vegetationserhebungen. *Natur und Landschaft*, 98(04), 188–194. <https://doi.org/10.19217/NuL2023-04-03>
- Boch, S., Kurtogullari, Y., Allan, E., Lessard-Therrien, M., Rieder, N. S., Fischer, M., Martínez De León, G., Arlettaz, R., & Humbert, J.-Y. (2021). Effects of fertilization and irrigation on vascular plant species richness, functional composition and yield in mountain grasslands. *Journal of Environmental Management*, 279, 111629. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111629>
- Bruno, D., Belmar, O., Sánchez-Fernández, D., & Velasco, J. (2014). Environmental determinants of woody and herbaceous riparian vegetation patterns in a semi-arid mediterranean basin. *Hydrobiologia*, 730(1), 45–57. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-1822-8>
- Carlisle, D. M., Wolock, D. M., & Meador, M. R. (2011). Alteration of streamflow magnitudes and potential ecological consequences: A multiregional assessment. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(5), 264–270. <https://doi.org/10.1890/100053>
- Consoli, G., Haller, R. M., Doering, M., Hashemi, S., & Robinson, C. T. (2022). Tributary effects on the ecological responses of a regulated river to experimental floods. *Journal of Environmental Management*, 303, 114122. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114122>
- Consoli, G., Siebers, A. R., Bruder, A., & Robinson, C. T. (2023). Long-term reconstruction of energy fluxes in an alpine river: Effects of flow regulation and restoration. *River Research and Applications*, 39(9), 1783–1794. <https://doi.org/10.1002/rra.4189>
- Crosa, G., Castelli, E., Gentili, G., & Espa, P. (2009). Effects of suspended sediments from reservoir flushing on fish and macroinvertebrates in an alpine stream. *Aquatic Sciences*, 72, 85–95. <https://doi.org/10.1007/s00027-009-0117-z>

- De Cáceres, M., Chytrý, M., Agrillo, E., Attorre, F., Botta-Dukát, Z., Capelo, J., Czúcz, B., Dengler, J., Ewald, J., Faber-Langendoen, D., Feoli, E., Franklin, S. B., Gavilán, R., Gillet, F., Jansen, F., Jiménez-Alfaro, B., Krestov, P., Landucci, F., Lengyel, A., ... Wiser, S. K. (2015). A comparative framework for broad-scale plot-based vegetation classification. *Applied Vegetation Science*, 543–560. <https://doi.org/10.1111/avsc.12179>
- Delarze, R., Gonseth, Y., Eggenberg, S., Vust, M., & Delarze, R. (2015). *Lebensräume der Schweiz: Ökologie - Gefährdung - Kennarten* (3., vollständig überarbeitete Auflage). Ott der Sachbuchverlag.
- Döring, M., Tonolla, D., Robinson, C. T., Schleiss, A., Stähly, S., Gufler, C., Geilhausen, M., & Di Cugno, N. (2018a). *Künstliches Hochwasser an der Saane: Eine Massnahme zum nachhaltigen Auenmanagement*.
- Döring, M., Tonolla, D., Robinson, C. T., Schleiss, A., Stähly, S., Gufler, C., Geilhausen, M., & Di Cugno, N. (2018b). *Künstliches Hochwasser an der Saane—Eine Massnahme zum nachhaltigen Auenmanagement*. 110(2), 119–127. <https://doi.org/10.5169/seals-941583>
- Eggenberg, S., & Bornand, C. (2023). *TypoCH-Lebensraumanalyse mit Artenlisten* (1. Aufl.). Documenta InfoFlora. https://www.infoflora.ch/de/assets/content/documents/milieux/typoch-lebensraumanalyse-mit-artenlisten_1-auflage_2024-08-15_01.pdf
- Ellenberg, H. (with Dierschke, H., & Leuschner, C.). (2011). *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht* (6., vollst. neu bearb. und stark erw. Aufl. / von Christoph Leuschner; mit einem Beitrag von Hartmut Dierschke). Ulmer.
- Erschbamer, B., & Burga, C. A. (2020). Pflanzen besiedeln neue Lebensräume: Primärsukzession auf Gletschervorfeldern. In J. L. Lozán, S.-W. Breckle, H. Escher-Vetter, H. Grassl, D. Kasang, F. Paul, & U. Schickhoff (Hrsg.), *Erschbamer, Brigitta; Burga, Conradin A (2020). Pflanzen besiedeln neue Lebensräume: Primärsukzession auf Gletschervorfeldern. In: Lozán, José L; Breckle, Siegmund-W; Escher-Vetter, Heidi; Grassl, Hartmut; Kasang, Dieter; Paul, Frank; Schickhoff, Udo. Warnsignal Klima: Hochgebirge im Wandel. Hamburg: Wissenschaftliche Auswertungen, 252-256. (S. 252–256). Wissenschaftliche Auswertungen. <https://doi.org/10.5167/uzh-192999>*
- Espa, P., Batalla, R., Brignoli, M., Crosa, G., Gentili, G., & Quadroni, S. (2019). Tackling reservoir siltation by controlled sediment flushing: Impact on downstream fauna and related management issues. *PLoS ONE*, 14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218822>
- Forests, S. (2016). *Presence and Abundance of Red-Listed Plant Species in*. <https://consensus.app/papers/presence-and-abundance-of-redlisted-plant-species-in-forests/86a7faae9f405024b434d70209ce55ba/>
- Gallandat, J.-D. (with Gobat, J.-M., Roulier, C., & Schweiz Bundesamt für Umwelt, W. und L.). (1993). *Kartierung der Auengebiete von nationaler Bedeutung: Bericht und Beilagen*. BUWAL.
- Gigon, A., & Langenauer, R. (1998). Blue Data Books - an encouraging new instrument for restoration and conservation. *Applied Vegetation Science*, 1, 131–138. <https://doi.org/10.2307/1479091>
- Gubler, S. (2024). Der Restwasserfluss Spöl. *Schweizerischer Nationalpark*. <https://nationalpark.ch/forschung/restwasserfluss-spoel/>

- Hörsch, B. (2001). *Zusammenhang zwischen Vegetation und Relief in alpinen Einzugsgebieten des Wallis (Schweiz). - Ein multiskaliger GIS- und Fernerkundungsansatz.*
- Kadereit, J. W., Körner, C., Kost, B., & Sonnewald, U. (2014). *Strasburger – Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften.* Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-54435-4>
- Kandarr, J., & Wittmann, F. (2020). Staudämme: Auen in der Amazonasregion erhalten. In *Biodiversität im Meer und an Land. Vom Wert biologischer Vielfalt* (S. 130–135). Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. <https://doi.org/10.2312/eskp.2020.1.6.2>
- Kusstatscher, K. (1991). *Ufervegetation: Wissenschaftliche Begleitung Spülung Grundablass Livigno-Stausee vom 7. Juni 1990.* Geobotanisches Institut der ETH-Zürich.
- Landolt, E. (2010). *Flora indicativa: Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen* (2., völlig neu bearbeitete und erweiterte Aufl). Haupt.
- Lauber, K., Wagner, G., & Gygax, A. (2024). *Flora Helvetica: Illustrierte Flora der Schweiz: mit Artbeschreibungen und Verbreitungskarten von 3250 wild wachsenden Farn- und Blütenpflanzen, einschliesslich wichtiger Kulturpflanzen* (Siebte, überarbeitete Auflage). Haupt Verlag.
- Leyer, I., & Wesche, K. (2008). *Multivariate Statistik in der Ökologie: Eine Einführung* (Korrigierter Nachdruck). Springer.
- Lüdi, W. (1966). *Lokalklimatische Untersuchungen am Fuornbach (Ova dal Fuorn) und am Spöl im schweizerischen Nationalpark* (Bd. 10).
- Maciejewski, L., Pinto, P. E., Wurpillot, S., Drapier, J., Cadet, S., Muller, S., Agou, P., Renaux, B., & Gégout, J. (2022). A limited number of species is sufficient to assign a vegetation plot to a forest vegetation unit. *Applied Vegetation Science*. <https://doi.org/10.1111/avsc.12650>
- Meissner, L. (2023). *Auenvegetation der Sense- und Saane: Einfluss des Restwasserbetriebes auf die Muster der Pflanzen-Diversität.*
- Milani, G., Kneubühler, M., Tonolla, D., Doering, M., Wiesenberg, G. L. B., & Schaepman, M. E. (2019). Remotely Sensing Variation in Ecological Strategies and Plant Traits of Willows in Perialpine Floodplains. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 124(7), 2090–2106. <https://doi.org/10.1029/2018JG004969>
- Mürle, U., Ortlepp, J., & Zahner, M. (2003). Effects of experimental flooding on riverine morphology, structure and riparian vegetation: The River Spöl, Swiss National Park. *Aquatic Sciences*, 65(3), 191–198. <https://doi.org/10.1007/s00027-003-0665-6>
- Picco, L., Sitzia, T., Mao, L., Comiti, F., & Lenzi, M. A. (2016). Linking riparian woody communities and fluviomorphological characteristics in a regulated gravel-bed river (Piave River, Northern Italy). *Ecohydrology*, 9, 101–112. <https://doi.org/10.1002/eco.1616>
- Rasch, B., Hofmann, W., Friese, M., & Naumann, E. (2010). Einfaktorielle Varianzanalyse. In B. Rasch, W. Hofmann, M. Friese, & E. Naumann (Hrsg.), *Quantitative Methoden Band 2: Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler* (S. 1–53). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-05270-5_1
- Robinson, C. T., Consoli, G., & Ortlepp, J. (2023). Importance of artificial high flows in maintaining the ecological integrity of a regulated river. *Science of The Total Environment*, 882, 163569. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163569>
- Robinson, C. T., Siebers, A. R., & Ortlepp, J. (2018). Long-term ecological responses of the River Spöl to experimental floods. *Freshwater Science*, 37(3), 433–447. <https://doi.org/10.1086/699481>

- Robinson, C. T., & Uehlinger, U. (2003). Using artificial floods for restoring river integrity. *Aquatic Sciences*, 65(3), 181–182. <https://doi.org/10.1007/s00027-003-0002-0>
- Roth, T., Kohli, L., Rihm, B., Amrhein, V., & Achermann, B. (2015). Nitrogen deposition and multi-dimensional plant diversity at the landscape scale. *Royal Society Open Science*, 2(4), 150017. <https://doi.org/10.1098/rsos.150017>
- Rudolf, M. (with Kuhlisch, W.). (2008). *Biostatistik: Eine Einführung für Biowissenschaftler*. Pearson Studium.
- Scheurer, T., & Molinari, P. (2003). Experimental floods in the River Spöl, Swiss National Park: Framework, objectives and design. *Aquatic Sciences*, 65(3), 183–190. <https://doi.org/10.1007/s00027-003-0667-4>
- Slezak, M., Douda, J., Šibíková, M., Jarolímek, I., Senko, D., & Hrivnák, R. (2022). Topographic indices predict the diversity of Red List and non-native plant species in human-altered riparian ecosystems. *Ecological Indicators*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108949>
- Stanford, J. A., Lorang, M. S., & Hauer, F. R. (2005). The shifting habitat mosaic of river ecosystems. *SIL Proceedings, 1922-2010*, 29(1), 123–136. <https://doi.org/10.1080/03680770.2005.11901979>
- Tichý, L., Axmanová, I., Dengler, J., Guarino, R., Jansen, F., Midolo, G., Nobis, M. P., Van Meerbeek, K., Ačić, S., Attorre, F., Bergmeier, E., Biurrun, I., Bonari, G., Bruelheide, H., Campos, J. A., Čarni, A., Chiarucci, A., Čuk, M., Čušterevska, R., ... Chytrý, M. (2023). Ellenberg-type indicator values for European vascular plant species. *Journal of Vegetation Science*, 34(1), e13168. <https://doi.org/10.1111/jvs.13168>
- Tonolla, D., Geilhausen, M., & Döring, M. (2020). *Seven decades of hydrogeomorphological changes in a near-natural (Sense River) and a hydropower-regulated (Sarine River) pre-Alpine river floodplain in Western Switzerland*. Wiley.
- Traxler, A. (1997). Handbuch des vegetationsökologischen Monitorings. Methoden, Praxis, angewandte Projekte. Teil A: Methoden. *Publikationen des Umweltbundesamtes, Wien*, M-089A, 1–391.
- Vetter, H. (1992). *Quartär-, Aktuo- und Hydrogeologie im Val dal Spöl (Schweizerischer Nationalpark) geologische Grundlagen für langfristige Beobachtungen von Heinz Vetter* [ETH Zürich]. https://portacultura.gr.ch/p/record/KBG-990001195430206696_63799
- Vetterli, M. (2021, März 29). *Giftiges PCB in Bündner Fluss: «Eine halbbatzige Sanierung reicht nicht»*. <https://www.beobachter.ch/magazin/umwelt-klima/eine-halbbatzige-sanierung-reicht-nicht-336116>
- Wagner. (2005). *Restwassersanierung Grenzkraftwerke. Ökologische Grobbeurteilung und Sanierungsvorschläge für die Wasserentnahme am Spöl bei Punt dal Gall. SIGMA PLAN im Auftrag von BWG & BUWAL*.
- Weber, C., & Schmid, M. (2014a). *Wasserkraftnutzung im Wasserschloss Schweiz: Herausforderungen aus ökologischer Sicht*.
- Weber, C., & Schmid, M. (2014b). *Wasserkraftnutzung im Wasserschloss Schweiz: Herausforderungen aus ökologischer Sicht*.

4.2 Steckbriefe Versuchsflächen

Versuchsfläche_1

Koordinaten	810.99/ 167.54				
Pflanzendeck e %	80		80		40
Fläche m ²	30		27		10
Artenzahl	15		18		19
KU Eins		KU 1		PLOT 1	
Pinus mugo	r	Pinus mugo s.str.	r	Plantago major	r
Aster bellidiastrium	+	Salix cf. caprea	+	Carduus defloratus	r
Saxifraga aizoides	+	Linum catharticum	+	Cirsium sp.	r
Salix appendiculata	+	Galium pumilum	+	Carduus sp.	r
Petasites paradoxus	+	Epilobium cf. alsinifolium	+	Verbascum thapsus	+
Hieracium staticifolium	+	Carduus defloratus s.str.	+	Salix hastata	+
Cerastium fontanum	+	Aster bellidiastrium	+	Larix decidua	+
Deschampsia cespitosa	1	Saxifraga aizoides	+	Cerastium fontanum s.str.	+
Carex flacca	1	Salix appendiculata	+	Poa alpina	+
Tussilago farfara	1	Petasites paradoxus	+	Campanula sp.	+
Leontodon hispidus subsp. hyoseroides	1	Hieracium staticifolium	+	Saxifraga aizoides	+
Cirsium palustre	1	Cerastium fontanum s.str.	+	Hieracium sp.	+
Campanula cochleariifolia	1	Carex flacca	1	Agrostis capillaris	1
Picea abies	1	Tussilago farfara	1	Epilobium sp.	1
Agrostis gigantea	4	Picea abies	1	Agrostis cf. gigantea	1
		Leontodon hispidus subsp. hyoseroides	1	Festuca rubra aggr.	1
		Cirsium palustre	1	Tussilago farfara	1
		Campanula cochleariifolia	1	Barbarea vulgaris	2
		Festuca rubra aggr.	2	Agrostis cf. stolonifera	2
		Agrostis gigantea	3		
3.3.1.4 Petasition paradoxus (9)		3.3.1.4 Petasition paradoxus (9)		4.5.4 Poion alpinae (5)	

Standort:

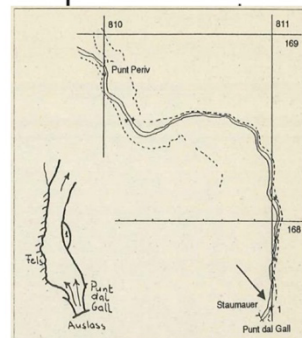
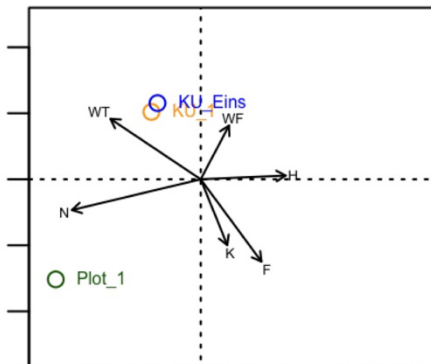
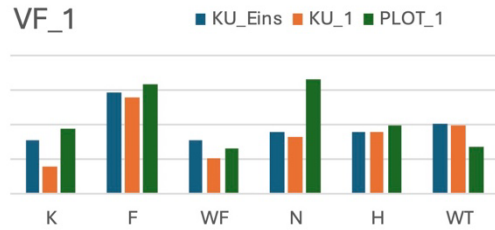
Ersatzfläche neben Zufluss, mit geringerer Pflanzendecke als ursprüngliche Versuchsfläche, welche durch Aushebung des Auslassbeckens 2017 zerstört wurde. Substrat von geringer Größe, meist Kiesel und Sand.

Diskussion:

Die Identifikation als „4.5.4 Milchkrautweide“ ist unpassend und könnte durch eine ungeschickte Ersatzflächenwahl bedingt sein. Die Artenzahl ist im Nachgang der Spülung erhöht. Dies erscheint unschlüssig. Ein Grund hierfür könnte der verspätete Zeitpunkt der 2. Aufnahme Kusstatschers (1991) sein.

Die Zunahme der Nähstoffzeiger ist laut Ellenberger (2011) typisch für Alpine Flussläufe ohne regelmäßige Störungen.

VF_1



Versuchsfläche_2

Koordinaten	811.01/ 167.80			
Pflanzendecke %	75		75	70
Fläche m²	25		12	25
Artenzahl	19		23	18
KU Zwei	KU 2	PLOT 2		
Pinus mugo	r Salix caesia	r Campanula sp.	+	
Picea abies	r Salix myrsinifolia s.str.	r Parnassia palustris	+	
Gypsophila repens	r Carex sp.	r Deschampsia cespitosa	+	
Urtica dioica	+ Aster bellidiflorum	r Linum catharticum	+	
Deschampsia cespitosa	+ Pinus mugo s.str.	r Larix decidua	+	
Cirsium palustre	+ Picea abies	r Picea abies	+	
Arabis ciliata	+ Gypsophila repens	r Pinus mugo s.l.	+	
Tussilago farfara	1 Trisetum distichophyllum	+		1
Taraxacum officinale aggr.	1 Hieracium bifidum	+		2
Saxifraga aizoides	1 Urtica dioica	+		2
Salix cf. appendiculata	1 Salix cf. appendiculata	+		2
Leontodon hispidus subsp. hyoseroides	1 Deschampsia cespitosa	+		2
Hieracium staticifolium	1 Cirsium palustre	+		2
Festuca halleri aggr.	1 Cerastium fontanum s.str.	+		
Epilobium cf. alsinifolium	1 Silene vulgaris s.str.	1 Parnassia palustris	+	
Cerastium fontanum	1 Tussilago farfara	1 Deschampsia cespitosa	+	
Campanula cochleariifolia	1 Taraxacum officinale aggr.	1 Linum catharticum	+	
Poa cenisia	2 Saxifraga aizoides	1 Larix decidua	+	
Agrostis gigantea	4 Poa cenisia	1 Picea abies	+	
Cerastium fontanum	1 Leontodon hispidus subsp. hyoseroides	1		
	Hieracium staticifolium	1		
	Festuca halleri aggr. auct. helv.	1		
	Epilobium cf. alsinifolium	1		
	Campanula cochleariifolia	1		

3.3.1. Petasition paradoxii (9)

3.3.1.4 Petasition paradoxii (9)

7.1.1 Agropyrum rumicoides (5)

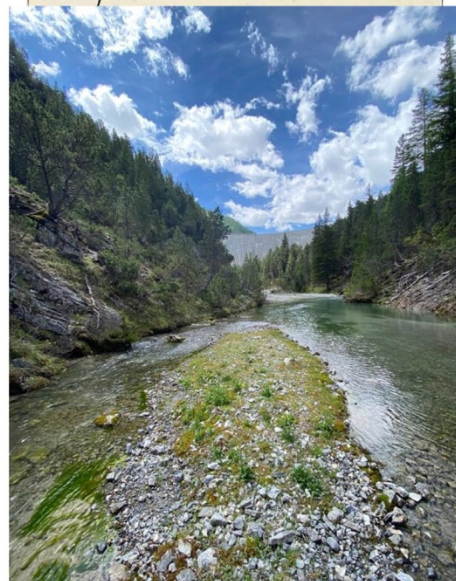
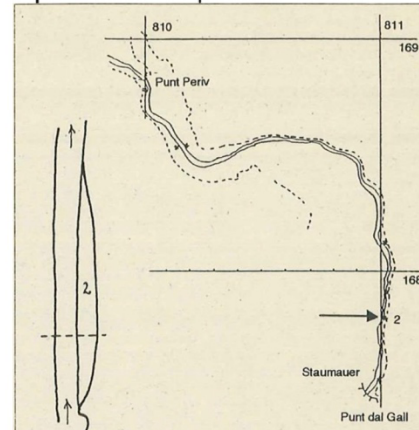
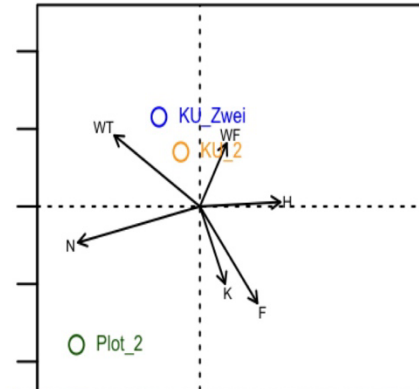
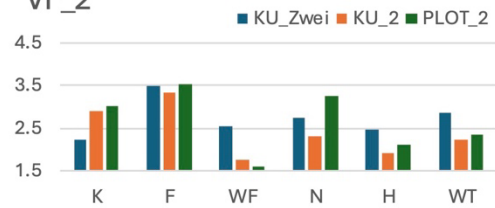
Standort:

Eine beidseitig umschlossene Kiesinsel mit flächigem Bewuchs. Diese Versuchsfläche liegt etwas oberhalb der Abflussmessstation.

Diskussion:

Laut Kusstatscher (1991) lässt sich die Veränderung der Artzusammensetzung mit dem späteren Datum der 2. Aufnahme erklären. Die rezente Artenliste zeigt eine Verschiebung hin zu nitrophilen Arten, welche vom Wegfall der Störungen profitieren (Ellenberger, 2011).

VF_2



Versuchsfläche_3

Koordinaten	811.02/ 167.91		
Pflanzendecke %	75		90
Fläche m²	15		9
Artenzahl	18		26
KU Drei		PLOT 3	
Pinus mugo	r	Salix hastata	r
Arabis ciliata	r	Hieracium murorum aggr.	r
Saxifraga aizoides	+	Aethionema saxatile	r
Hieracium bifidum aggr.	+	Campanula cochlearifolia	r
Cerastium fontanum	+	Polygala sp.	r
Tussilago farfara	1	Ranunculus cf. montanus	r
Taraxacum officinale aggr.	1	Epilobium collinum	+
Salix sp.	1	Thymus alpestris	+
Polygonum viviparum	1	Linum catharticum	+
Poa cenisia	1	Galium anisophyllum	+
Leontodon hispidus	1	Picea abies	+
Equisetum palustre	1	Parnassia palustris	+
Epilobium cf. alsinifolium	1	Epilobium sp.	+
Carduus defloratus	1	Saxifraga aizoides	+
Campanula cochlearifolia	1	Larix decidua	+
Aster bellidiastrum	1	Polygonum cf. viviparum	+
Deschampsia cespitosa	2	Poa alpina	+
Agrostis gigantea	3	Equisetum variegatum	+
		Thymus sp.	+
		Leontodon hispidus subsp. pseudocrispus	1
		Tussilago farfara	1
		Hieracium bifidum	1
		Aconitum sp.	1
		Agrostis stolonifera	2
		Deschampsia cespitosa	2
		Pinus mugo s.l.	2

4.3.1 Seslerion (5)

6.6 Gebirgs-nadelwald (3)

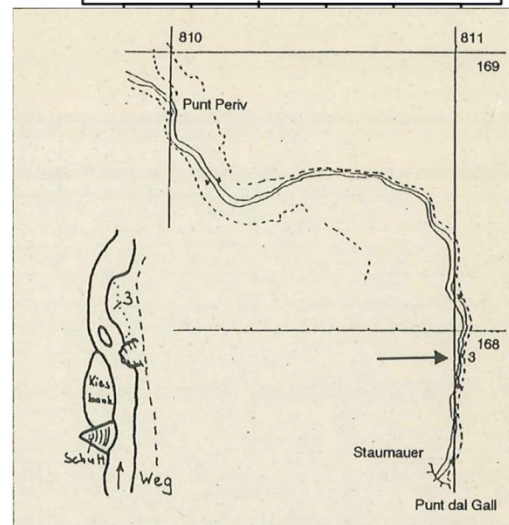
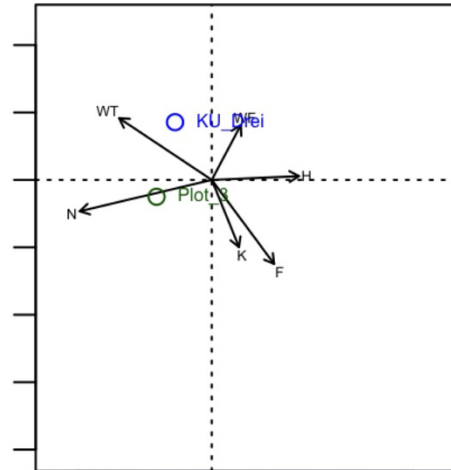
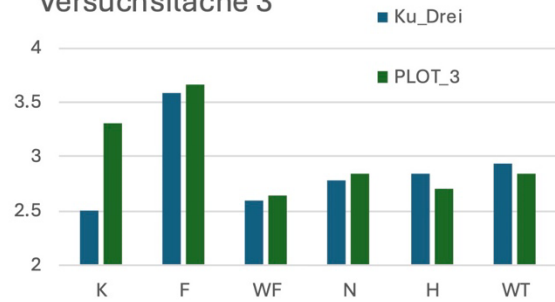
Standort:

Diese Fläche befindet sich unterhalb der Abflussmessstation auf der Prallhangseite. Das Substrat ist grober Schotter mit Feinsand aufgefüllt. Durch die erste Spülung wurde der Standort zerstört und von Kusstatscher (1991) kein zweites Mal aufgenommen.

Diskussion:

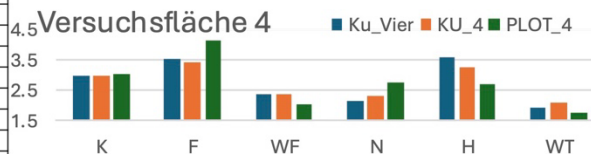
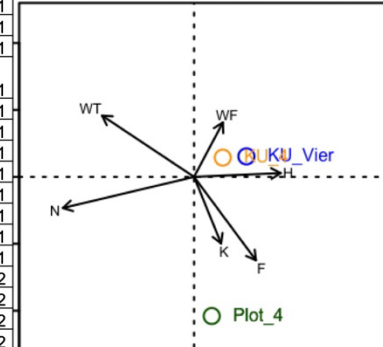
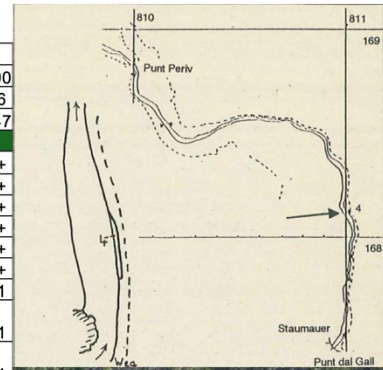
Die Identifikation als "4.3.1. Blaugrashalde" zeigt exemplarisch, dass der Spöl 1991 kein normaler Gebirgsbach mehr war. Die Nährstoffzahl bleibt konstant, während die Vegetation typischer für ein kontinentaleres Klima wird. Dies ist nicht erklärbar und kann als Hinweis dafür dienen, dass die rezente Versuchsfläche nicht kongruent mit Kusstatschers (1991) ist.

Versuchsfläche 3



Versuchsfläche_4

Koordinaten	811.01/ 168.12		
Pflanzendecke %	75	75	90
Fläche m²	9	9	6
Artenzahl	36	63	47
PLOT 4	KU 4	KU Vier	
Gymnadenia odoratissima	r cf. Leontopodium alpinum	r Leucanthemum vulgare	+
Ranunculus montanus	r Dryas octopetala	r Cerastium fontanum	+
Hieracium murorum aggr.	+ Alchemilla coriacea aggr. sensu Heitz	r Trifolium pratense	+
Selaginella selaginoides (L.)	+ Trifolium repens s.str.	+ Trifolium montanum	+
Carex cf. sp.	+ Thymus praecox subsp. polytrichus	+ Ligusticum mutellina	+
Taraxacum alpinum aggr.	+ Salix purpurea	+ Hieracium bifidum aggr.	+
Pinus mugo s.l.	+ Salix cf. appendiculata	+ Tussilago farfara	1
Larix decidua	+ Rhinanthus angustifolius	+ Trichophorum cespitosum	1
Pinguicula alpina	+ Primula farinosa	+ Taraxacum officinale aggr.	1
Primula farinosa	+ Pimpinella saxifraga	+ Selaginella selaginoides	1
Viola biflora	+ Parnassia palustris	+ Saxifraga aizoides	1
Aster bellidiastrium	+ Lotus corniculatus	+ Salix herbacea	1
Barbarea vulgaris	+ Linum catharticum	+ Ranunculus montanus	1
Deschampsia cespitosa	+ Leontodon helveticus	+ Primula farinosa	1
Polygala alpina	1 Hieracium lactucella	+ Potentilla erecta	1
Potentilla erecta	1 Gentiana ciliata	+ Potentilla aurea	1
Picea abies	1 Euphrasia minima	+ Polygonum viviparum	1
Picea abies	1 Carex sempervirens	+ Polygala alpestris	1
Equisetum palustre	1 Briza media	+ Plantago serpentina aggr.	1
Pinguicula vulgaris	1 Leucanthemum vulgare	+ Pinus mugo	1
Prunella vulgaris	1 Cerastium fontanum s.str.	+ Pinguicula alpina	1
Leontodon hispidus	1 Trifolium pratense s.str.	+ Pedicularis verticillata	1
Juncus alpinoarticulatus	2 Trifolium montanum	+ Lathyrus pratensis	1
Carex cf. sp.	2 Taraxacum officinale aggr.	+ Juncus cf. alpinoarticulatus	1
Equisetum variegatum	3 Selaginella selaginoides	+ Equisetum variegatum	1
	Salix herbacea	+ Equisetum palustre	1
	Ranunculus montanus	+ Cirsium acaule	1
	Primula farinosa	+ Carex panicea	1
	Potentilla aurea	+ Carex flacca	1
	Polygala alpestris	+ Aster bellidiastrium	1
	Pinus mugo s.str.	+ Achillea millefolium aggr.	1
	Pedicularis verticillata	+ Agrostis gigantea	1
	Ligusticum mutellina	+ Tofieldia calyculata	2
	Lathyrus pratensis	+ Deschampsia cespitosa	2
	Hieracium bifidum	+ Carex frigida	2
	Aster bellidiastrium	+ Carex capillaris	2
	Achillea millefolium s.str.		
	Vicia cracca s.str.		
	Salix myrsinifolia s.str.		
	Rhinanthus minor		
	Prunella vulgaris		
	Poa cenisia		
	Leontodon hispidus subsp. hyoseroides		
	Leontodon autumnalis		
	Festuca rubra aggr.		
	Eriophorum latifolium		
	Carex montana		
	Tussilago farfara		
	Trichophorum cespitosum		
	Tofieldia calyculata		
	Saxifraga aizoides		
	Potentilla erecta		
	Polygonum viviparum		
	Plantago serpentina		
	Pinguicula alpina		
	Juncus cf. alpinoarticulatus		
	Equisetum variegatum		
	Equisetum palustre		
	Deschampsia cespitosa		
	Cirsium acaule		
	Carex panicea		
	Carex frigida		
	Carex flacca		
	Carex capillaris		
	Agrostis gigantea		



Standort

Diese Fläche ist ein feuchtigkeitsgeprägter Grünstreifen, welcher direkt an den Wanderweg angrenzt (Kusstatscher, 1991).

Diskussion:

Die Zunahme der Nährstoffzahl erklärt Ellenberger (2011) schlüssig. Die Veränderung der Humuszahl hin zu größeren Böden, könnte durch den Eintrag von Feinsedimente bei den Flutungen (Kusstatscher, 1991) bedingt sein. Die hohe Feuchtezahl könnte durch die beobachteten geringen Pegelschwankungen, welche an diesem Standort zu Überflutungen führt, erklärt werden.



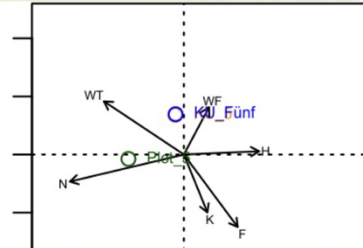
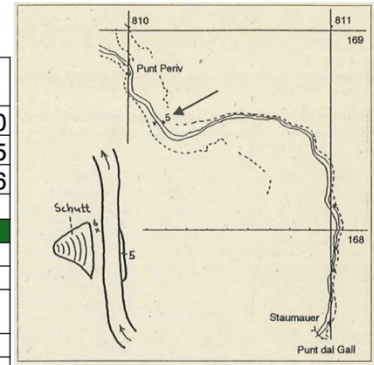
2.2.3 Caricion
davallianae (9)

2.2.3 Caricion davallianae
(14)

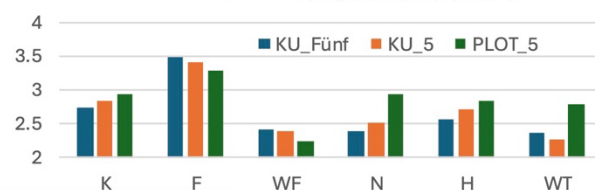
2.2.3 Caricion
davallianae (6)

Versuchsfläche 5

Koordinaten	810.16/ 168.54		
Pflanzendecke %	80	70	60
Fläche m²	25	22	25
Artenzahl	29	43	36
Plot 5	KU_5	KU Fünf	
<i>Botrychium lunaria</i>	r	<i>Saxifraga sp.</i>	r
<i>Hieracium staticifolium</i>	r	<i>Salix reticulata</i>	r
<i>Leontodon hispidus</i> subsp. <i>pseudocrispus</i>	r	<i>Salix purpurea</i>	r
<i>Lotus alpinus</i>	r	<i>Salix myrsinifolia</i> s.str.	r
<i>Leucanthemum adustum</i>	r	<i>Salix herbacea</i>	r
<i>Campanula cochlearifolia</i>	r	<i>Petasites paradoxus</i>	+
<i>Vicia cracca</i>	r	<i>Linum catharticum</i>	+
<i>Festuca rubra</i> aggr.	r	<i>Hieracium bifidum</i>	+
<i>Pinguicula vulgaris</i>	r	<i>Botrychium lunaria</i>	+
<i>Carex capillaris</i>	r	<i>Anthoxanthum cf. odoratum</i>	+
<i>Betula pubescens</i>	r	<i>Pinguicula cf. alpina</i>	+
<i>Polygala amara</i> aggr.	r	<i>Lotus comiculatus</i>	+
<i>Carex davalliana</i>	r	<i>Antennaria dioica</i>	+
<i>Fragaria vesca</i>	+	<i>Sagina saginoides</i>	+
<i>Polygonum viviparum</i>	+	<i>Ranunculus montanus</i>	+
<i>Linum catharticum</i>	+	<i>Polygonum viviparum</i>	+
<i>Picea abies</i>	+	<i>Polygala amarella</i>	+
<i>Epilobium alsinifolium</i>	+	<i>Poa cenisia</i>	+
<i>Larix decidua</i>	+	<i>Pinus sylvestris</i>	+
<i>Juncus cf. articulatus</i>	+	<i>Pinus mugo</i> s.str.	+
<i>Tussilago farfara</i>	1	<i>Picea abies</i>	+
<i>Saxifraga aizoides</i>	1	<i>Parnassia palustris</i>	+
<i>Equisetum arvense</i>	1	<i>Hieracium staticifolium</i>	+
<i>Leontodon hispidus</i>	1	<i>Epilobium cf. alsinifolium</i>	+
<i>Cerastium fontanum</i>	1	<i>Dryas octopetala</i>	+
<i>Prunella vulgaris</i>	1	<i>Cirsium acaule</i>	+
<i>Deschampsia cespitosa</i>	2	<i>Leontodon autumnalis</i>	+
<i>Agrostis stolonifera</i>	2	<i>Cerastium fontanum</i> s.str.	+
<i>Thymus serpyllum</i> aggr.	2	<i>Tussilago farfara</i>	+
		<i>Plantago serpentina</i>	+
		<i>Plantago alpina</i>	+
		<i>Aster bellidiastrium</i>	+
		<i>Thymus praecox</i> subsp. <i>polytrichus</i>	+
		<i>Taraxacum alpinum</i> aggr.	+
		<i>Saxifraga aizoides</i>	+
		<i>Prunella vulgaris</i>	+
		<i>Leontodon hispidus</i> subsp. <i>hyoseroides</i>	+
		<i>Juncus cf. alpinoarticulatus</i>	+
		<i>Equisetum variegatum</i>	+
		<i>Deschampsia cespitosa</i>	+
		<i>Campanula cochlearifolia</i>	+
		<i>Carex capillaris</i>	+
		<i>Agrostis gigantea</i>	+



Versuchsfläche 5



3.3.1.4 Petasition
paradoxi (7)

3.3.1.4 Petasition
paradoxi (9)

2.2.3 Caricion
davallianae (5)

Standort:

Der schmale Vegetationsstreifen befindet sich oberhalb von Punt Periv unterhalb eines steilen Hangabschnittes, ca. 30cm oberhalb des Wasserspiegels (Kusstascher, 1991).

Diskussion:

Die Zunahme der Nährstoffzeiger lässt sich durch die ausbleibenden Störungen seit dem PCB-Unfall 2016 erklären (Ellenberger, 2011). Die geringe Erhöhung gegenüber dem Wasserspiegel erklärt die feuchtigkeitgeprägte Vegetation.

Versuchsfläche_6

Koordinaten	810.13/ 168.53		
Pflanzendecke %	40	40	50
Fläche m²	8	8	20
Artenzahl	30	46	26

KU Sechs	KU 6	Plot 6			
Agrostis gigantea	r	Trisetum distichophyllum	r	Pinguicula vulgaris	r
Aster bellidiastrium	+	Oxytropis sp.	r	Hieracium staticifolium	r
Achillea millefolium aggr.	+	Gentiana verna	r	Festuca rubra aggr.	r
Trifolium pratense	+	Aster bellidiastrium	+	Potentilla erecta	r
Thymus praecox subsp. polytrichus	+	Achillea millefolium s.str.	+	Primula farinosa	r
Salix purpurea	+	Trifolium pratense s.str.	+	Sedum acre	r
Ranunculus montanus aggr.	+	Thymus praecox subsp. polytrichus	+	Triglochin palustris	r
Primula farinosa	+	Salix purpurea	+	Betula pubescens	r
Pinus mugo	+	Ranunculus montanus	+	Leontodon hispidus	r
Picea abies	+	Primula farinosa	+	Leontodon hispidus	r
Elyna myosuroides	+	Picea abies	+	Saxifraga aizoides	+
Carex frigida	+	Juncus cf. alpinoarticulatus	+	Parnassia palustris	+
Carex flacca	+	Elyna myosuroides	+	Deschampsia cespitosa	+
Polygala amarella	1	Carex frigida	+	Tofieldia calyculata	+
Tofieldia calyculata	1	Carex flacca	+	Plantago alpina	+
Selaginella selaginoides	1	Silene vulgaris s.str.	1	Picea abies	+
Saxifraga aizoides	1	Sanguisorba officinalis	1	Eleocharis quinqueflora	+
Prunella vulgaris	1	Salix myrsinifolia s.str.	1	Linum catharticum	+
Potentilla aurea	1	Polygonum viviparum	1	Pinus mugo s.l.	+
Pinguicula vulgaris	1	Parnassia palustris	1	Prunella vulgaris	1
Lotus comiculatus aggr.	1	Leontodon hispidus subsp. hyoseroides	1	Poa alpina	1
Juncus cf. alpinoarticulatus	1	Gentiana ciliata	1	Briza media	1
Hieracium bifidum aggr.	1	Festuca rubra aggr.	1	Equisetum variegatum	2
Gypsophila repens	1	Festuca halleri aggr. auct. helv.	1	Carex flava aggr.	2
Equisetum variegatum	1	Euphrasia minima	1	Agrostis stolonifera	2
Cirsium acaule	1	Erica carnea	1	Juncus alpinoarticulatus	2
Carex sempervirens	1	Leucanthemum vulgare	1		
Trichophorum cespitosum	2	Campanula cochlearifolia	1		
Plantago alpina	2	Briza media	1		
Carex capillaris	2	Betula pubescens	1		
		Polygala amarella	1	4.5	
		Trichophorum cespitosum	1	4	
		Tofieldia calyculata	1	3.5	
		Selaginella selaginoides	1	3	
		Saxifraga aizoides	1	2.5	
		Prunella vulgaris	1	2	
		Potentilla aurea	1	1.5	
		Plantago alpina	1	1	
		Pinguicula vulgaris	1		
		Lotus comiculatus	1		
		Hieracium bifidum	1		
		Gypsophila repens	1		
		Equisetum variegatum	1		
		Cirsium acaule	1		
		Carex sempervirens	1		
		Agrostis gigantea	1		
		Carex capillaris	2		

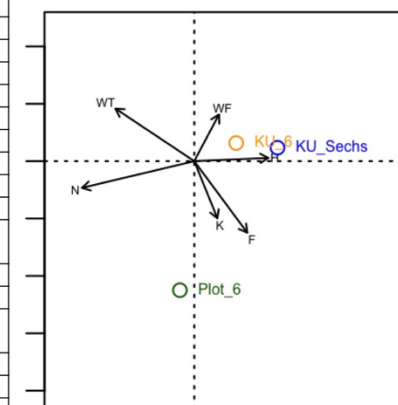
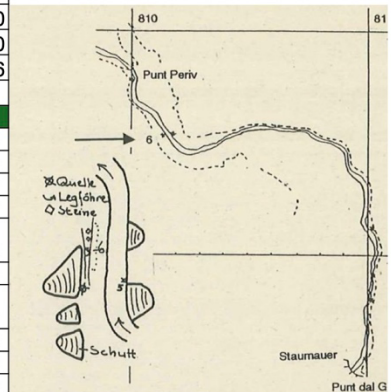
Versuchsfläche

Plot	Blue Bar	Orange Bar	Green Bar
K	2.2	3.2	3.0
F	3.5	3.2	4.0

2.2.3 Caricion
davallianae (9)

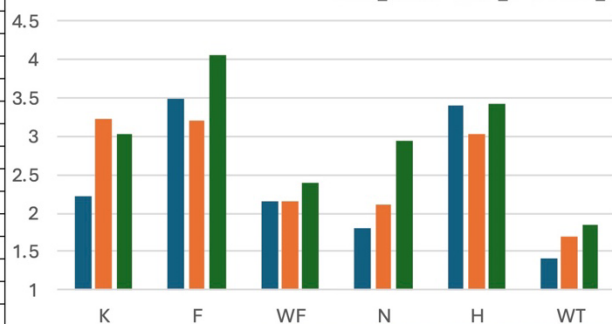
2.2.3 Caricion
davallianae (8)

2.2.3 Caricion
davallianae (9)



Versuchsfläche 6

■ KU_Sechs ■ KU_6 ■ PLOT_6



Standort:

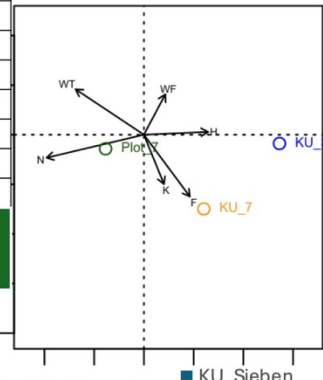
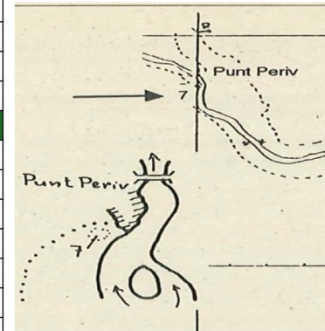
Die Versuchsfläche liegt unterhalb der Dauerbeobachtungsfläche Lüdis (1966). Zwischen dem größeren Bachgeschiebe findet sich etwas Feinmaterial, welches spärlich bewachsen ist. Das erste Hochwasser beeinträchtigte diesen Standort nur gering (Kusstatscher, 1991)

Diskussion:

Die gleichbleibende Identifikation als „2.2.3 Davallseggenried“ könnte durch die geringe Betroffenheit durch die Hochwasser bedingt sein (Kusstatscher, 1991) Der 1991 geringe Nährstoffgehalt im Boden wurde durch das eingetragene nährstoffreiche Feinsediment erhöht (Scheurer& Molinari, 2003), was sich im Anstieg der Nährstoffzahl zeigt.

Versuchsfläche_7

Koordinaten	810.01/ 168.75			
Pflanzendecke %	60		30	80
Fläche m ²	3		2	3
Artenzahl	22		26	31
Ku Sieben	KU 7	Plot 7		
Selaginella selaginoides	r Saxifraga aizoides	r Salix hastata	r	
Saxifraga caesia	r Leontodon autumnalis	r Salix appendiculata	r	
Salix cf. myrsinifolia	r Festuca rubra aggr.	r Euphrasia rostkoviana s.l.	r	
Polygonum viviparum	r Selaginella selaginoides	r Cerastium fontanum	r	
Erica carnea	r Saxifraga caesia	r Parnassia palustris	r	
Aster bellidiastrum	r Salix cf. myrsinifolia s.str.	r Polygala amara aggr.	r	
Carex cf. flacca	r Polygonum viviparum	r Epilobium collinum	+	
Primula farinosa	+ Erica carnea	r Carex capillaris	+	
Polygala alpina	+ Aster bellidiastrum	r Equisetum palustre	+	
Parnassia palustris	+ Carex cf. flacca	r Larix decidua	+	
Tussilago farfara	+ Primula farinosa	+ Pinguicula vulgaris	+	
Prunella vulgaris	+ Polygala amarella	+ Carex maritima	+	
Equisetum variegatum	+ Parnassia palustris	+ Poa alpina	+	
Equisetum palustre	+ Tussilago farfara	+ Saxifraga aizoides	+	
Pinguicula cf. alpina	1 Tofieldia calyculata	+ Salix sp.	+	
Lotus corniculatus aggr.	1 Prunella vulgaris	+ Blysmus compressus	+	
Carex capillaris	1 Leontodon hispidus s.str.	Leontodon hispidus subsp. hyoseroides	1	
Tofieldia calyculata	1 Equisetum palustre	+ Leontodon autumnalis	1	
Leontodon hispidus subsp. hispidus	1 Agrostis gigantea	1 Juncus alpinoarticulatus	1	
Juncus cf. alpinoarticulatus	1 Pinguicula cf. alpina	1 Leontodon hispidus s.l.	1	
Carex juncella	2 Lotus corniculatus	1 Leontodon hispidus	1	
Trichophorum cespitosum	3 Carex capillaris	1 Leontodon autumnalis	1	
	Juncus cf. alpinoarticulatus	1 Equisetum variegatum	1	
	Trichophorum cespitosum	2 Carex flava	1	
	Carex maritima	2 Picea abies	1	
	Equisetum variegatum	3 Pinus mugo s.l.	1	
		Cerastium fontanum	1	
		Agrostis stolonifera	2	
		Agrostis gigantea	2	
		Prunella vulgaris	2	
		Thymus serpyllum aggr.	2	
2.2.3 Caricion davallianae (10)		4.5.3 Cynosurion (5)		2.2.5. Caricion bicolori-atrofuscae (9)



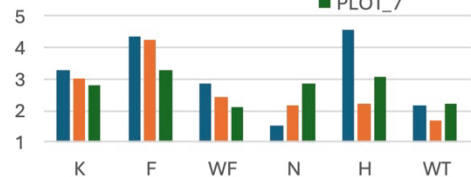
Standort:

Diese Versuchsfläche liegt oberhalb von Punt Periv angrenzend an den in den Fluss hineinragenden Felsen. Sie ist zum Gewässer hin geneigt.

Diskussion:

Die Identifikation als „4.5.3. Kammgrasweide“ ist untypisch. Die Überflutungen können als mechanische Störungen betrachtet werden, welche sensible Arten zerstörte während robuste, wie *F. rubra* oder *L. autumnalis*, sie überstanden. Dies spiegelt sich im geringen „Score“ wider. Die Identifikation als „2.2.5 Schwemmufervegetation alpiner Wildbäche“ zusammen mit der hohen Artenzahl zeigen, dass sich die Ufervegetation erholt. Die Vegetation entwickelte sich von einer hohen Humosität und geringen Nährstoffverfügbarkeit hin zu einer sukzessiv höheren Nährstoffverfügbarkeit.

Versuchsfläche_7



4.3 Vorgefundene Lebensraumidentifikationen

Das «Kalkreiche Kalkseggenried (2.2.3)» kommt entlang von Hochgebirgsbächen vor. Die Böden sind kalkig, feucht und ertragen ein periodisches Trockenfallen (Delarze et al., 2015, S. 89–91).

Die «*Schwemmufervegetation alpiner Wildbäche (2.2.5)*» besteht aus verstreuten Pionierbeständen, welche auf sandigen Schwemmufern entstehen. Der Boden enthält wenig organisches Material. Eine regelmässige mechanische Geländeumgestaltung ist obligatorisch. Ihre Verbreitung ist in der Schweiz hauptsächlich durch Wasserkraftwerke gefährdet (Delarze et al., 2015, S. 84–85).

Die «*Feinerdenreiche Kalkschuttflur (3.3.1.4)*» ist typisch für Bachgeschiebeaufschüttungen in den Höhenlagen. Sie sind auf regelmässige Störungen angewiesen und die Böden können feucht sein (Delarze et al., 2015, S. 122–1).

Die «*Blaugrashalde (4.3.1.)*» ist typisch für trockene, flachgründige Böden. Oftmals entwickelt sie sich auf stabilisierten Geröllhalden. Sie ist blumenreich und weist kaum Nährstoffzeiger auf (Delarze et al., 2015, S. 176–177).

Die «*Talfettweide (4.5.3)*» wird regelmässig beweidet und verfügt über nährstoffreiche sowie gut drainierte Böden. Sie wird regelmässig gedüngt und weist als Anpassung an den Weidedruck einen erhöhten Anteil robuster Pflanzen auf (Delarze et al., 2015, S. 202–203).

Die «*Bergfettweide (4.5.4)*» ist eine Fettwiese, welche auf fruchtbaren, entwickelten Böden wächst. Sie werden regelmässig bestossen und gedüngt (Delarze et al., 2015, S. 204–205).

Die «*Gebirgsnadelwälder (6.6)*» weisen gut entwickelten Böden und Baumbewuchs auf (Delarze et al., 2015, S. 332–333).

Die «*Feuchte Trittflur (7.1.1)*» ist dominiert durch Ausläufer bildende Gräser und Kräuter. Die Böden sind feucht und Störungen sind für den Erhalt dieses Lebensraumtypus von eminenter Bedeutung. In Auengebieten kann er sich spontan entwickeln und bis in die hochmontane Stufe vorkommen (Delarze et al., 2015, S. 348–349).

4.4 Gewichtete Mittelwerte und Signifikanztests

Tabelle 10: Durchschnitt gewichtet Mittelwerte. Varianzanalyse Anova Fett= $p < 0.01$

	T	K	L	F	WF	R	N	H	D	WT
KU_Eins-Sieben	2.651	2.572	3.521	3.504	2.486	3.325	2.459	2.961	1.720	2.419
KU_1-7	2.511	2.892	3.752	3.502	2.263	3.4327	2.373	2.67	2.06	2.158
Plot_1-7	2.693	3.017	3.637	3.648	2.233	3.607	3.038	2.829	1.749	2.358

4.5 Digitaler Anhang

4.5.1 Lebensraumidentifikationen Versuchsflächen



Erklärung zur wissenschaftlichen Redlichkeit und Veröffentlichung der Arbeit (beinhaltet Erklärung zu Plagiat und Betrug)

Titel der Arbeit: Der Einfluss des Restwasserbetriebs auf die Ufervegetation am Oberen Spöl

Name Beurteiler*in: Stefanie von Fumetti

Name Student*in: Flint Veith

Matrikelnummer: 19-053-974

Ich bezeuge mit meiner Unterschrift, dass ich meine Arbeit selbständig ohne fremde Hilfe verfasst habe und meine Angaben über die bei der Abfassung meiner Arbeit benützten Quellen in jeder Hinsicht der Wahrheit entsprechen und vollständig sind. Alle Quellen, die wörtlich oder sinngemäss übernommen wurden, habe ich als solche gekennzeichnet.

Des Weiteren versichere ich, sämtliche Textpassagen, die unter Zuhilfenahme KI-gestützter Programme verfasst wurden, entsprechend gekennzeichnet sowie mit einem Hinweis auf das verwendete KI-gestützte Programm versehen zu haben.

Eine Überprüfung der Arbeit auf Plagiate und KI-gestützte Programme – unter Einsatz entsprechender Software – darf vorgenommen werden. Ich habe zur Kenntnis genommen, dass unlauteres Verhalten zu einer Bewertung der betroffenen Arbeit mit einer Note 1 oder mit «nicht bestanden» bzw. «fail» oder zum Ausschluss vom Studium führen kann.

Ort, Datum: BASEL, 30.9.2025 Student*in: 

Wird diese Arbeit oder Teile davon veröffentlicht?

☐ Nein

☒ Ja. Mit meiner Unterschrift bestätige ich, dass ich mit einer Veröffentlichung der Arbeit (print/digital) in der Bibliothek, auf der Forschungsdatenbank der Universität Basel und/oder auf dem Dokumentenserver des Departements / des Fachbereichs einverstanden bin. Ebenso bin ich mit dem bibliographischen Nachweis im Katalog SLSP (Swiss Library Service Platform) einverstanden. (nicht Zutreffendes streichen)

Veröffentlichung ab: 01.10.2025

Ort, Datum: BASEL, 30.9.2025 Student*in: 

Ort, Datum: Basel, 30.09.25 Beurteiler*in: 

Diese Erklärung ist in die Bachelor-, resp. Masterarbeit einzufügen.