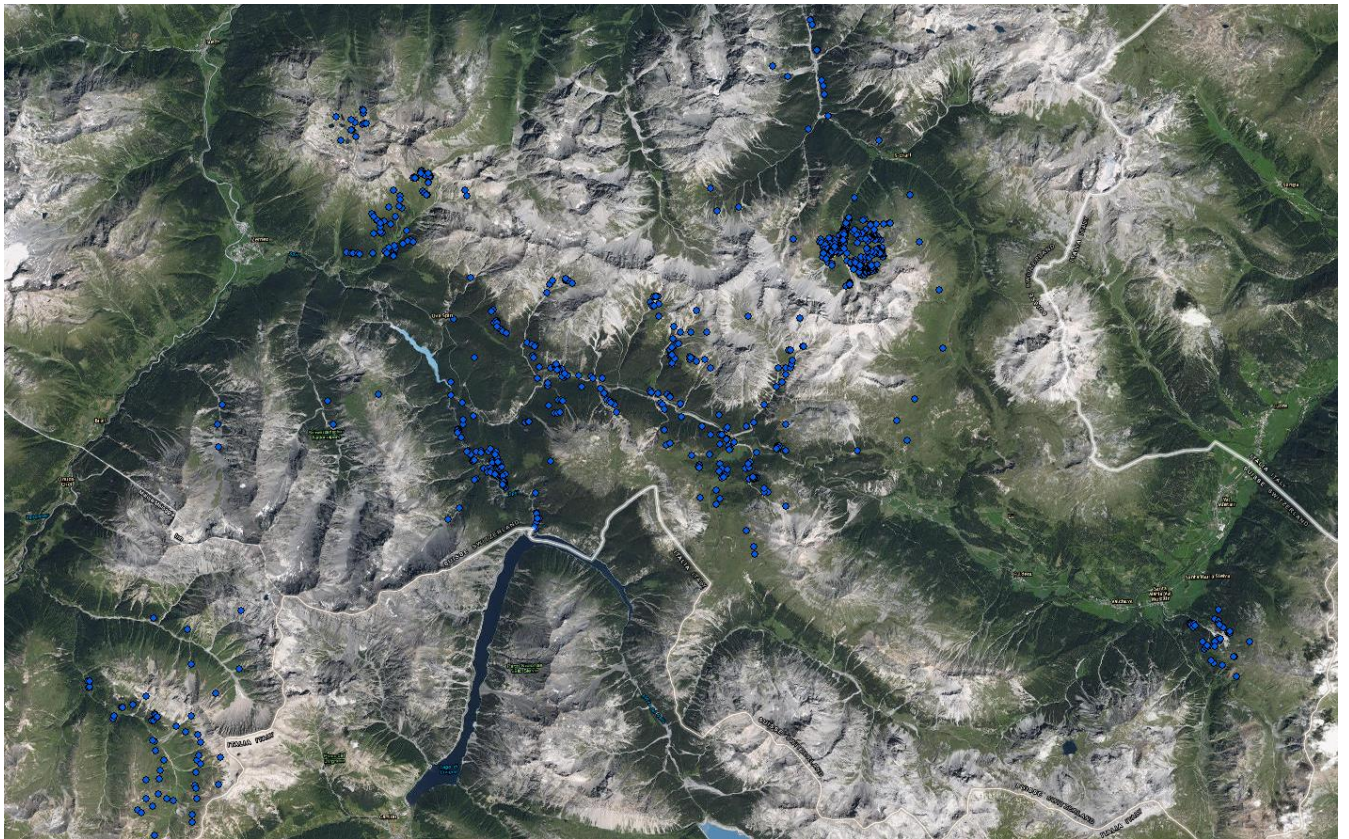


Universität Basel
Departement Umweltwissenschaften
Institut für Natur-, Landschafts- und Umweltschutz



Datenaggregation und Analyse aus 100 Jahren Quellforschung im Schweizerischen Nationalpark



Masterarbeit
Christoph Ruggli

Betreut durch:
Dr. Stefanie von Fumetti
August 2017

Verdankung

Für die Unterstützung meiner Masterarbeit bedanke ich mich bei:

Dr. Stefanie von Fumetti für die Betreuung und die Unterstützung während der ganzen Arbeit.

Ruedi Haller und dem Schweizerischen Nationalpark für das Ermöglichen der Masterarbeit.

Meiner Familie, Freundin und Freunden für die Unterstützung in allen Bereichen während dieser Arbeit.

Abstract

Quellforschung wird im Schweizerischen Nationalpark schon seit der Gründung 1914 betrieben. Die erfassten Daten sind jedoch in sehr unterschiedlichen Formen vorhanden und nicht homogenisiert. Das Ziel dieser Arbeit ist es, eine Datenbank mit allen verfügbaren Daten über Quellen im Schweizerischen Nationalpark zu erstellen. Dazu wurden die unterschiedlichen verfügbaren Quelldaten homogenisiert und zusammengefasst. Mit diesen Daten wurden dann verschiedene Einzelanalysen durchgeführt.

Es zeigte sich, dass seit der Gründung 1914 im Schweizerischen Nationalpark 739 Quellen erfasst wurden. Jedoch gibt es grosse Unterschiede in den gemessenen Parametern. So wurden bei vielen Quellen nur die Koordinaten und keine weiteren Parameter aufgenommen. Die Ergebnisse der Einzelanalysen zeigte, dass der Hitzesommer 2003 einen Einfluss auf die Quellen hatte. Jedoch änderte sich nicht wie erwartet die Wassertemperatur, sondern aufgrund des verminderten Niederschlags die Abflussmenge. Der physikalisch-chemische Vergleich von Quellen aus unterschiedlichen Gebieten zeigte, dass es aufgrund der homogenen Geologie des Schweizerischen Nationalparks nur weniger Unterschiede gibt. Die grössten Differenzen zeigten sich zwischen der Macunseenplatte und dem Rest des Parks.

Das Quellmonitoring steht seit rund 15 Jahren sehr im Fokus der Quellforschung. Mit Monitoringprojekten und somit langfristigen Datenreihen können Klimaveränderungen und langfristige Auswirkungen auf Quellen untersucht werden. Die Arbeit soll einen Beitrag für eine verbesserte Datenübersicht und eine Planungshilfe für zukünftige Monitoringprojekte sein.

Abbildungsverzeichnis

Titelbild: Übersicht über die erfassten Quellen im SNP (RUGGLI, 2017)

Abb. 1: Übersichtskarte des Schweizer Nationalparks; Map.geo.admin.ch, Massstab 1:200000	9
Abb. 2: Aufgenommene physiko–chemische Parameter aus der Arbeit von FORLIN (2015).....	18
Abb. 3: «Startseite» der Quelldatenbank von Steiner	18
Abb. 4: Register «Springs» von Schmassmann	19
Abb. 5: Erfasste Parameter von Schmassmann	19
Abb. 6: Die Entität «Calcium» (RUGGLI, 2017).....	21
Abb. 7: Entity–Relationship Modell der strukturellen Parameter	23
Abb. 8: Entity–Relationship Model der faunistischen Parameter.....	24
Abb. 9: SQL Tabelle Wassertemperatur	27
Abb. 10: Die Quellen GS8 und BF0 (STEINER, 2005)	29
Abb. 11: Übersicht über die erfassten Quellen im Schweizerischen Nationalpark ...	32
Abb. 12: Temperatur- und Niederschlagsmitte der Station Segl–Maria. Meteoschweiz.ch, 2017 (Verändert durch RUGGLI, 2017)	33
Abb. 13: Abflussmenge und Temperaturverlauf der Quelle BF0	34
Abb. 14: Abflussmenge und Temperaturverlauf der Quelle CS1	34
Abb. 15: Abflussmenge und Temperaturverlauf der Quelle GS8	35
Abb. 16: Abflussmenge und Temperaturverlauf der Quelle JL3.....	35
Abb. 17: Abflussmenge und Temperaturverlauf der Quelle PG3	36
Abb. 18: Abflussmenge und Temperaturverlauf der Quelle PP10	36
Abb. 19: PCA der ost- bzw. westgerichteten Bergflanken des Val Chaschauna....	37
Abb. 20: PCA der Quellen des Vallatsch und des Macuns	38
Abb. 21: Boxplot der diversesten und am wenigsten diversen Quellen	40
Abb. 22: Übersichtskarte aller mehrfach erfassten Quellen im SNP	43
Abb. 23: Ausgefüllte Tabelle Parameter	58

Inhalt

Verdankung	2
Abstract	3
Abbildungsverzeichnis	4
Teil I: Allgemeine Grundlagen	7
1. Einleitung	7
2. Untersuchungsgebiet	9
3. Theoretischer Exkurs: Datenbanken	11
3.1 Übersicht verschiedener Datenbankmanagementsysteme	12
4. Aktuelle Datengrundlage im Schweizer Nationalpark	15
5. Geschichte und aktueller Stand der Quellforschung	15
5.1 Motivation für die Erstellung einer Quelldatenbank für den Schweizer Nationalpark	16
Teil II: Quelldatenbank	17
6. Methodisches Konzept	17
6.1. Theorie	17
6.2. Datenaggregation	17
7. Funktionsweise der Quelldatenbank	20
7.1. Datenaggregation	20
7.2. Konzeptuelles Datenmodell	22
7.2.1. Strukturelle Parameter	22
7.2.2. Artlisten	24
8. Dokumentation zur Neuerfassung von Daten	25
8.1. Datenerfassung	25
8.2. Datenmigration	25

8.2.1.	Vorarbeit.....	25
8.2.2.	Migration.....	26
9.	Umsetzung der Quelldatenbank	28
Teil III:	Räumliche Analysen	30
10.	Methodik.....	30
11.	Ergebnisse	32
11.1.	Hitzesommer 2003	33
11.2.	Räumliche Korrelationen	37
11.3.	Korrelationen zwischen der Fauna und den chemisch-physikalischen Parametern	39
11.4.	Hervorhebung einzelner Quellen für Monitoringprojekte.....	40
11.4.1.	Faunistik.....	41
11.4.2.	Zeitreihen	43
11.4.3.	Chemische Parameter.....	44
Teil IV:	Diskussion und Ausblick	45
12.	Methodendiskussion.....	45
13.	Ergebnisdiskussion.....	47
14.	Ausblick.....	50
Literaturverzeichnis		51
Internetquellen.....		54
Anhang.....		55
Redlichkeitserklärung		55
Anleitung zur Quellerfassen und Datenmigration.....		56
Beispiel einer ausgefüllten Datenerfassungstabelle.....		58

Teil I: Allgemeine Grundlagen

1. Einleitung

Datenbanken sind ein täglicher Bestandteil unseres Lebens. Seien es Personendaten bei der Einwohnerkontrolle, die Kontodaten bei Banken oder die Bestände im Warenlager der Migros, alle wichtigen Daten im Alltag, sind in Datenbanken gespeichert. Durch Datenbanken, wird das Bedürfnis nach einfacher und effizienter Datenspeicherung und -verwaltung erfüllt. Zudem bieten sie die Möglichkeit, den Überblick über eine sehr grosse Datenmenge zu behalten.

Datenbanken werden seit geraumer Zeit auch in der Naturwissenschaft immer populärer (VOIGT, 1998). Ein Grund dafür ist, dass auch in diesem Fachbereich die gesammelten Datenmengen stark ansteigen. Sensoren, welche 24 Stunden am Tag und an sieben Tagen die Woche, Parameter erfassen, produzieren eine noch nie dagewesene Menge an Daten. Ein Beispiel für einen Vorteil von Datenbanken in der Naturwissenschaft, sind Monitoringprojekte, welche mittels einer Datenbank bedeutend effizienter betrieben werden können, als wenn jeder Wissenschaftler, welcher Daten zu einem bestimmten Thema besitzt, diese auf seinem eigenen Rechner speichert (TOWNSHEND, 1991).

In der Schweiz gibt es mehrere Projekte, in welchen verschiedene Umweltparameter in Datenbanken aufgearbeitet und diese der Allgemeinheit zur Weiterverarbeitung zur Verfügung stellen. In faunistischer Hinsicht ist das CSCF (Centre Suisse de Cartographie de la faune) führend. In ihrer faunistischen Datenbank werden alle Informationen über die geographische Verbreitung von Tierarten in der Schweiz erfasst. Auch der Bund betreibt einige Projekte, welche erfasste Messwerte in Datenbanken sammeln und diese als Geodaten zur Verfügung stellen. So finden sich zu fast allen Themenbereichen des Bundesamts für Umwelt (BAFU) Geodatenmodelle zum Download. Da diese Daten schon für eine einfachere Benutzung und Darstellung verarbeitet wurden, ist auf den ersten Blick nicht sichtbar, dass auch in diesem Fall die Basisdaten in einer Datenbank abgelegt sind.

Auf internationaler Ebene ist die GBIF (Global Biodiversity Information Facility) eine der grössten umweltbezogenen Datenbanken. Darin wurden 1'720'142 Spezies in 781'721'923 Beobachtungen erfasst (gbif.org, 2017).

Die dadurch generierte Fülle an Daten eröffnet neue Möglichkeiten der Datenanalyse. Mittels Datenbanken, welche unterschiedlichste Messergebnisse an einem zentralen Ort speichern, lassen sich eigene Messergebnisse bedeutend besser deuten und dadurch einfacher in einen Kontext zu anderen erfassten Daten setzen. Dies kann sowohl auf kantonaler, nationaler oder internationaler Ebene von Bedeutung sein.

Im Schweizerischen Nationalpark (SNP) werden alle Arbeiten, welche auf dem Gebiet des SNP entstanden sind und einer räumliche Komponente besitzen, in einem sogenannten «Datacenter» erfasst (parcs.ch/snp, 2017). Die meistens räumlichen Daten sind einzeln als GIS layers verfügbar. Somit können Karten mit den einzelnen Datenpunkten heruntergeladen und weiterbearbeitet werden. Dies gilt auch für die Quellforschung im SNP. Dabei sind viele Karten von einzelnen Arbeiten entstanden. Die dabei erfassten Quellen wurden jedoch noch nie in einer einheitlichen Datenbank zusammengefasst und analysiert.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die erfassten Quellen im Schweizerischen Nationalpark ohne Informationsverlust zu aggregieren und in einem zweiten Schritt zu analysieren. Diese Quelldatenbank soll in das System des SNP integriert werden und in der Zukunft ein besseres Monitoring und eine verbesserte Planung der Quellkartierung ermöglichen.

2. Untersuchungsgebiet

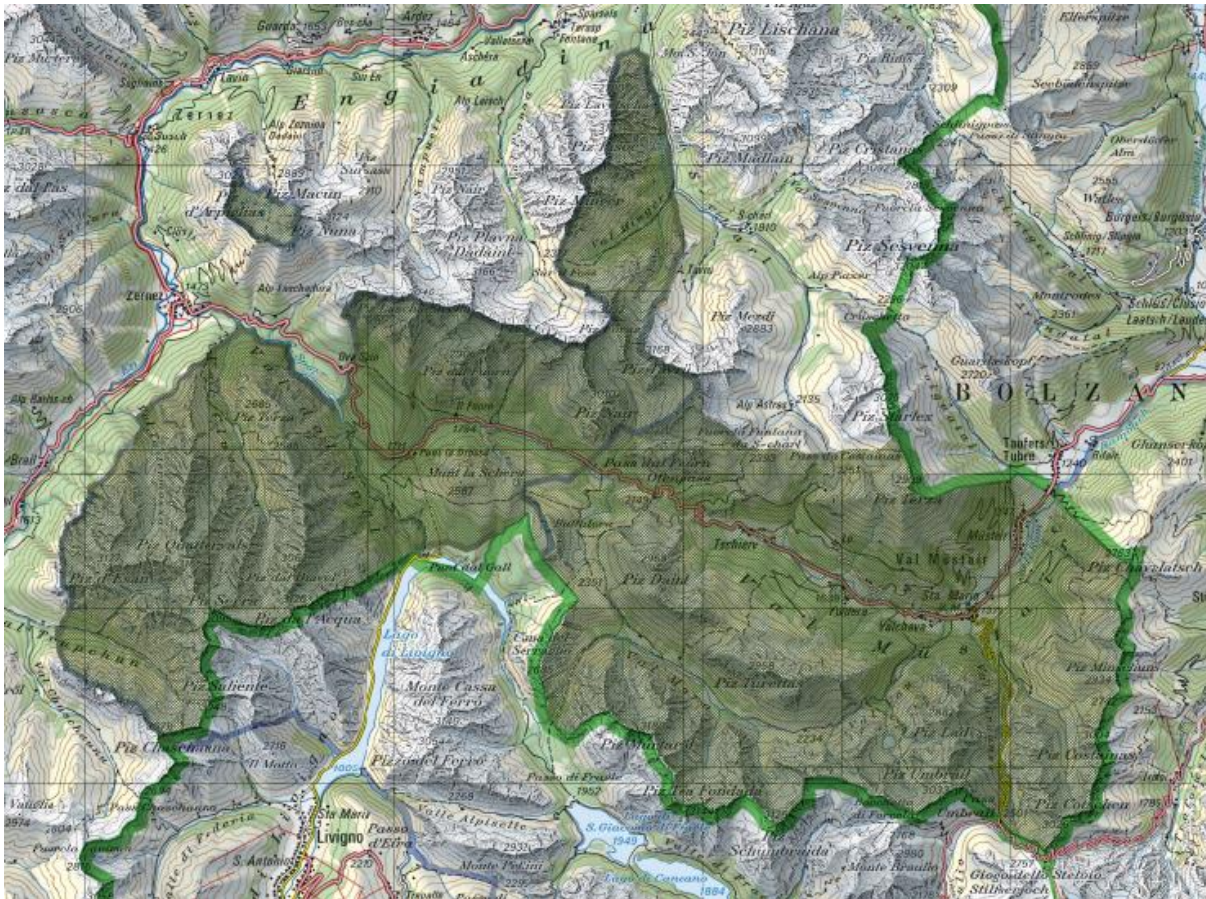


Abb. 1: Übersichtskarte des Schweizer Nationalparks; Map.geo.admin.ch, Massstab 1:200000

Das Untersuchungsgebiet, welches den ganzen Schweizerischen Nationalpark umfasst, liegt im östlichen Teil des Kantons Graubünden: dem Unterengadin. Das Gebiet umfasst rund 170 Quadratkilometer und dehnt sich über Zernez, Scuol, dem Ofenpass und S-chanf aus. Der Park liegt zwischen 1400 und 3700 Metern über Meer. Der SNP ist der einzige Nationalpark der Schweiz und somit das grösste Wildnisgebiet innerhalb der Grenzen der Schweiz. Der Park wurde am 1. August 1914 gegründet und ist damit der älteste Nationalpark der Alpen. Seit der Gründung ist der Nationalpark in einer öffentlich-rechtlichen Stiftung organisiert, welche durch die Eidgenössische Nationalparkkommission als Stiftungsrat vertreten wird.

Gemäss den Richtlinien der International Union for Conservation of Nature (IUCN) gehört der SNP der höchsten Schutzklasse (1a) an. (nationalpark.ch, 2017). Dies bedeutet, dass die Nutzung des Parks hauptsächlich dem Zweck der Forschung, dem Schutz der Biodiversität und als Referenzgebiet zum Monitoring dient. Die Klasse 1a definiert sich ausserdem über die strenge Kontrolle von menschlichen Einflüssen (iucn.org, 2017).

Das Klima des Nationalparks ist stark durch die inneralpine Trockenheit beeinflusst. Diese entsteht dadurch, dass der Park in alle Richtungen durch hohe Berge vor Niederschlag geschützt ist. Das Klimadiagramm der Station Buffalora zeigt, dass im SNP im Jahresdurchschnitt nur rund 800mm Niederschlag fällt (meteoschweiz.ch). Weiter ist ein saisonaler Unterschied in der Niederschlagsmenge zu sehen. Dabei zeigt sich im Sommer ein Maximum (Juli, August) und im Winter ein Minimum (Dezember, Januar).

Die Temperaturen werden markant durch Höhe und Exposition beeinflusst. Somit können Tal- und Gipfellagen nur bedingt miteinander verglichen werden. Aufgrund der Höhenlage und des Standorts innerhalb der Alpen liegen die Temperaturen zwischen -10 und 8 Grad Celsius.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die tiefe Niederschlagsmenge stark durch die inneralpine Trockenheit geprägt ist und dass die Temperaturen im Nationalpark sehr starken saisonalen Schwankungen unterliegen. (HALLER ET AL., 2014)

Durch den starken, aktiven Schutz der Tier- und Pflanzenwelt seit der Gründung des SNP 1914, ist eine grosse Diversität an einheimischer Fauna und Flora vorhanden. Aufgrund der extremen klimatischen Bedingungen, welche im Park herrschen, können sich jedoch nur wenige und sehr spezifische Pflanzenarten im Park etablieren. Aus diesem Grund sind rund 50% der Fläche des SNP Rohböden und Extremstandorte mit nur geringer oder keiner Bodenbedeckung. Mit 30% Fläche sind Wälder der zweitgrösste Flächenanteil.

Nicht nur für Pflanzen ist der Nationalpark ein wichtiges geschütztes Habitat, auch für Tiere bildet ein Nationalpark einen geeigneten Lebensraum. Vor allem für Grosssäuger wie Rothirsch, Gämse, Steinbock und Wolf sind die 170 unverbauten Quadratkilometer ein wichtiger Lebensraum, da sich ansonsten innerhalb der Schweizer Alpen kein weiteres grosses zusammenhängendes Wildnisgebiet findet. Grosssäuger sind zudem auf dem Gebiet des SNP vor der Jagd geschützt. So können sich die Bestände im SNP erholen. Dadurch entsteht die Möglichkeit, dass auch Habitate ausserhalb des Parks wieder zu besiedeln.

3. Theoretischer Exkurs: Datenbanken

Aufgrund der immer weiter ansteigenden Menge an Daten, wird es immer wichtiger, die erfassten Daten in einer logischen Form abzuspeichern. Damit wird gewährleistet, dass die aufgenommenen Daten wiedergefunden und weiterverarbeitet werden können. Die im Vergleich zu früher extrem gestiegene Rechenleistung, der stark sinkende Preis von Speicherplatz und die Entwicklung tabellenbasierter relationaler Datenbanken haben den Weg für Datenbanken in allen Bereichen des Arbeitslebens geebnet (JAROSCH, 2016).

In einer Datenbank werden Daten, die untereinander in einer logischen Beziehung stehen, gesammelt und systematisch gespeichert. Dieses System ist fast immer ein Bestandteil eines Informationssystems. Ein Beispiel für ein solches Informationssystem ist der Internetauftritt der «swissbib» (baselbern.swissbib.ch). In ihrer Datenbank werden Informationen wie Titel, Autor, Publikationsjahr oder der Stellplatz von wissenschaftlichen Arbeiten in Basel und Bern gespeichert.

Ein Datenbanksystem setzt sich aus den Daten, einer Software zur Darstellung der Daten und einem Datenbankmanagementsystem (DBMS) zur Verwaltung der Daten zusammen (HORN et al. 2001).

Wie schon anfangs besprochen, stellt die Bewältigung grosser Mengen an Information, welche täglich gewonnen werden, eine zentrale Aufgabe von Datenbanken dar. Neben der reinen Speicherung der Daten, gehört auch der optimierte Zugriff und die Korrektheit bei parallelem Zugriff wie beispielsweise lesen oder ändern der Daten zu den Anforderungen. Aus diesen Anforderungen entstand das ACID – Modell (HÄRDER, 1983). Dies steht für:

- **Atomarität:** Jede Abfrage erfolgt zusammenhängend (atomar). Dies bedeutet, dass die gemachte Abfrage nur komplett ausgeführt werden kann und nicht nur in Teilen.
- **Consistency:** Durch die atomare und somit komplette Abfrage, bleibt die Konsistenz der Daten erhalten.
- **Isolation:** Damit mehrere Benutzer gleichzeitig auf das System zugreifen können, müssen die Nutzer und deren Abfragen gegen andere Nutzer isoliert werden.
- **Durability.** Die Dauerhaftigkeit der Datenbank muss gewährleistet werden, so dass auch nach einem Systemabsturz noch alle Daten vorhanden sein werden (SCHICKER, 2017).

Ein weiterer zentraler Punkt von Datenbanken ist die Redundanz. Redundanz bedeutet, dass die gleichen Informationen mehrfach separat in verschiedenen Dateien (redundant) abgespeichert werden. Ein Beispiel dafür sind die Koordinaten einer Quelle, welche mehrmals beprobt wurde und bei jedem Besuch die Koordinaten einzeln abgespeichert wurden. Diese

Redundanz in den Daten kann schwerwiegende Folgen haben. Als Konsequenz entstehen sogenannte Änderungs–Anomalien. Dies bedeutet, dass bei einer Änderung der neu erhobenen Daten mehrere ältere Einträge nach dem gleichen Eintrag durchsucht und angepasst werden müssen. Wenn diese Änderungen nicht vollständig durchgeführt werden, führt dies zu einer Inkonsistenz der Daten. Somit enthält die Datenbank widersprüchliche Informationen. Dies kann sehr schnell zu einer unbrauchbaren Datenbank führen, da für identische Einträge unterschiedliche Informationen abgespeichert sind.

Datenbankabfragen benutzen eine eigene Sprache, welche SQL (Structured Query Language) genannt wird (JAROSCH, 2016). Sie wurde dazu entwickelt, dass Daten innerhalb der Datenbank mit möglichst kleinem sprachlichem Aufwand editierbar sind. Die Sprache wurde in den 1970er Jahren vom Informatiker E. F. Codd entwickelt. Er entwickelte die komplette Syntax auf der Basis von nur acht Operatoren. Seitdem wurde die Sprache immer mächtiger und umfangreicher. Dieser Entwicklung verdankt sie den Status als wichtigste Datenbanksprache in der heutigen Zeit (JAROSCH, 2016).

Datenbanken werden oftmals in zwei unterschiedliche Ebenen aufgeteilt. Es gibt einerseits die intensionale Ebene. Sie beschreibt den möglichen Inhalt der Datenbank mittels Datenbankschema und Informationen über die Metadaten (Struktur und Typ). Die zweite Ebene ist die extensionale Ebene. Sie beschreibt die Ausprägung der Datenbank mit dem tatsächlichen Inhalt der Datenbank (Attributwerte, Objektinformationen). Die Struktur der Datenbank ist vorgegeben durch das Datenbankschema, welches in der intensionalen Ebene definiert wurde.

3.1 Übersicht verschiedener Datenbankmanagementsysteme

Mittlerweile gibt es zahlreiche verschiedene Datenbankmanagementsysteme (DBMS) auf dem Markt, welche sich in einzelnen Punkten stark unterscheiden können. Datenbankmanagementsysteme gibt es sowohl als Open Source (Freeware) als auch als Payware, welche die Anforderungen an Langlebigkeit, Benutzerfreundlichkeit und Kosteneffizienz erfüllen. Im Folgenden werden die vier am weitesten verbreiteten DBMS (db-engines.com, 2017) mit ihren Vor- und Nachteilen vorgestellt.

- Microsoft SQL Server

Microsoft SQL ist eines der bekanntesten Datenbankmanagementsystem auf dem Markt. Die weite Verbreitung und das kommerzielle Interesse von Microsoft führt dazu, dass die Support- und Updatesicherheit langfristig gewährleistet ist. Aufgrund der weiten Verbreitung und des langen Bestehens von MS SQL, gibt es sowohl im Internet, als auch in Buchform unzählige Tutorials, welche den Einstieg in das Thema, neben dem leicht verständlichem Graphical User Interface (GUI), erleichtern.

Gegen die Nutzung von MS SQL spricht, dass die Software nur in der Windowsumgebung und nicht auf Linux oder macOS von Apple funktioniert. Der Nutzer ist an Windows bzw. Microsoft gebunden. Ein weiterer Nachteil sind die teuren Lizenzen, welche für die kommerzielle Nutzung erworben werden müssen. Für die nichtkommerzielle Nutzung ist das System unentgeltlich zum Download verfügbar.

- Oracle Database

Wie auch Microsoft SQL ist auch Oracle Database ein weit verbreitetes kommerzielles Datenbanksystem. Im Unterschied zu Microsoft SQL verfügt Oracle Database über eine sehr viel umfangreichere Funktionalität, was es zu einem sehr mächtigen DBMS macht. Ein weiterer Vorteil ist, dass Oracle DB nicht ausschliesslich auf Windows, sondern auch auf macOS von Apple und Linux genutzt werden kann.

Eine solch weitreichende Funktionalität braucht ein gewisses Vorwissen für die Bedienung, um den vollen Funktionsumfang ausnutzen zu können. Wie für Microsoft SQL müssen auch für Oracle teure Lizenzen für den kommerziellen Gebrauch erworben werden.

- MySQL

Im Gegensatz zu Microsoft und Oracle ist MySQL ein kostenloses und quelloffenes Datenbanksystem, welches über eine grosse Community verfügt. Diese Community und das ansprechende GUI helfen bei einem einfachen und schnellen Einstieg in das System. Wie auch Oracle kann MySQL auf verschiedenen Betriebssystemen genutzt werden. Wie bei jeder Freeware ist auch bei MySQL der Support und die Updateunterstützung unsicher. Theoretisch ist es möglich, dass der Support eingestellt wird und keine Updates mehr ausgerollt werden. Dies ist auch bei MS SQL Server oder Oracle denkbar. Jedoch ist die Möglichkeit, dass ein Unternehmen wie Microsoft oder Oracle in den nächsten fünf Jahren Konkurs geht bedeutend kleiner, als das ein Communityprojekt nicht mehr weitergeführt wird.

- PostgreSQL / PostGIS

Wie auch bei MySQL sind bei PostgreSQL die grosse Community und der kostenlose volle Funktionsumfang die beiden grossen Vorteile. Leider bestehen aber auch die gleichen Nachteile wie bei MySQL. Da das Programm von einer Open – Source Community betrieben und weiterentwickelt wird, ist sowohl die Update- als auch die Supportsicherheit nicht so hoch wie bei einem kommerziell orientierten Unternehmen.

Grundsätzlich erfüllen alle aufgezählten Datenbanken den Anforderungen an die Langlebigkeit, Anwenderfreundlichkeit und Kosteneffizienz. Auch in Bezug auf die Funktionalität, sind die Unterschiede der Systeme zu gering, als dass es für die vorliegende Arbeit einen signifikanten Unterschied machen würde, mit welchem System gearbeitet wird. Daher müssen weitere Kriterien miteinbezogen werden, um das für die vorliegende Arbeit sinnvollste System zu eruiieren. Durch Abwägung von zusätzlichen Kriterien wie Einfachheit, Kosten und persönlichem Vorwissen, habe ich mich für Microsoft SQL entschieden. Wie und in welcher Form die Datenbank beim SNP weiterbetrieben wird, muss in Absprache mit den verantwortlichen Personen im Schweizerischen Nationalpark entschieden werden.

4. Aktuelle Datengrundlage im Schweizer Nationalpark

Aktuell sind alle im SNP erfassten Daten auf dem Datacenter des Nationalparks gespeichert (Parcs.ch). In dieser Datenbank lassen sich die benötigten Daten über verschiedene Kategorien suchen und in Absprache mit dem SNP via File Transfer Protocol (FTP) Server herunterladen. Ein FTP Server ist ein Netzwerkprotokoll zur Datenübertragung, bei dem via einen Server Daten herunter- und hochgeladen werden können (POSTEL, 1985). Dies ist ein bewährtes und gut funktionierendes System. Jedoch werden die Daten im SNP nur teilweise als GIS Layers aufbereitet. Meist werden Daten nur als schriftliche Arbeiten, wie sie dem SNP geliefert wurden, abgespeichert. Dies führt dazu, dass die Datenrecherche, selbständige Datenaufbereitung und die Homogenisierung sehr aufwändig sein kann. Am Beispiel der Quellen im SNP lässt sich die Herausforderung sehr gut aufzeigen. Die jeweiligen Daten sind in unterschiedlichen Formaten abgespeichert und wurden zum Teil in verschiedenen weiterführenden Arbeiten mehrfach erfasst. Das jetzige Datacenter stellt damit eher ein Archiv der gesammelten Daten dar, als dass es sich um einen Datensatz handelt, der ohne grossen eigenen Aufwand zum Weiterverarbeiten gebraucht werden kann.

5. Geschichte und aktueller Stand der Quellforschung

Die Quellforschung im SNP wurde bis ins Jahr 2000 nur unregelmässig betrieben. Die Erfassung und Erforschung von Quellen auf dem Gebiet des heutigen SNP begann rund zwei Jahre (1912) vor der eigentlichen Gründung des Parks. 1912 erfasste LUDER (1912) für die Landeshydrologie Quellen auf dem Gebiet des heutigen Parks. Danach erstellte SCHMASSMANN (1952) ein Quellinventar für den Park. Nach Schmassmanns Quellinventar gab es für längere Zeit keine Quellforschung mehr. Erst ab dem Jahr 1992 wurde die Forschung wieder aufgenommen. Ab 2000 nahm die Quellforschung stark zu, es wurde fast jährlich eine Arbeit in Zusammenhang mit Quellen publiziert. In diesen Jahren wurde auch vermehrt der Ansatz verfolgt, die schon erfassten Daten mittels Zeitreihen in einen Kontext zu der sich verändernden Umwelt zu stellen.

Etwa gleichzeitig mit der Aufnahme der Quellen im SNP begann die Forschung und Datenerfassung von Quellen auch im Ausland. So erfasste THIENEMANN (1907) auf Rügen und später STEINMANN (1908) in den Alpen die ersten Quellen. Auch international fokussiert sich die Forschung in Zusammenhang mit Quellen vor allem auf die Zusammenfassung der Daten und das Monitoring. So werden zum Beispiel in Nationalpark Berchtesgaden seit 1994 schwerpunktmässig Quellen beprobt und die Zusammensetzung der Fauna untersucht (GERECKE Et AL., 2002). Auch in den Vereinigten Staaten von Amerika (USA) lässt sich der Trend zu langfristigen Monitoringprojekten beobachten (ERMAN, 2002). Gerade in den USA

ist der Quellschutz, vor allem in Bezug auf die Fauna, schon seit rund zehn Jahren ein populäres Thema in der Forschung. (STRAYER, 2006; BARQUIN, 2008).

Im Gegensatz zu den USA, erlitt die Quelforschung in der EU einen Dämpfer, da Quellen nicht in den EU-Wasserrahmenrichtlinien berücksichtigt wurden. Somit ist der Zustand von Quellen juristisch nicht relevant. Dies hat zur Folge, dass die Quelforschung nur bedingt gefördert wird (BRENDENBERGER ET AL., 2015). In Gebieten, in welchen Quellen nicht geschützt sind, konzentriert sich die Forschung auf die Renaturierung von beeinträchtigten oder zerstörten Quellen (BÜCHLER ET AL., 1993).⁵

5.1 Motivation für die Erstellung einer Quelldatenbank für den Schweizer Nationalpark

Für eine eigene Quelldatenbank des SNP gibt es mehrere Gründe. So führt die Datenbank zum einen zu einer verbesserten Übersicht über die erfassten Quellen im Park, zum anderen wird die einheitliche Datenbank zu einer besseren Planung und somit zu besserem Monitoring führen. Die homogenisierte Datendarstellung ermöglicht es, die Quellstandorte nach bestimmten Merkmalen zu filtern und so schneller und einfacher Standorte zu identifizieren, welche für ein Monitoringprogramm geeignet wären.

Ein weiterer Vorteil einer eigenen Quelldatenbank wären die Vereinfachung von Zeitreihenanalysen, welche mit einer einheitlichen Datenbank mit sehr viel kleinerem Aufwand durchgeführt werden können. Der Grund dafür ist, dass viele Quellen mehrmals in verschiedenen Arbeiten beprobt wurden. Dies hat dazu geführt, dass identische Quellen unterschiedlich benannt wurden und in verschiedenen Dateien abgespeichert wurden. Bei der Erstellung der neuen Quelldatenbank wurden diese Doppelnennungen identifiziert und angepasst. Somit können durch die Homogenisierung Zeitreihen über eine längere Zeitdauer und mit Mehrinformationen analysiert werden. Ausserdem führt eine einheitliche Quelldatenbank dazu, dass neue Analysen über den gesamten Park durchgeführt werden können. Dies war bisher nur mit bedeutendem Mehraufwand möglich.

Eine einheitliche Datenbank führt zuletzt auch zu einer besseren Benutzerfreundlichkeit. So ist es praktikabler, wenn in einem GIS-Programm nur eine Datenbank (DB) angebunden werden muss und nicht mehrere. Ausserdem können die kompletten Daten bedeutend einfacher an andere Wissenschaftler abgegeben werden, indem nur ein einziger Datensatz verschickt werden muss.

Teil II: Quelldatenbank

6. Methodisches Konzept

Die Erstellung der Datenbank ist in drei grundlegende Schritte aufgeteilt. Zuerst wurde ein Konzept mit Datenbankentwurf und ER-Modell (Kapitel 7.2) erstellt. In einem nächsten Schritt wurden die Daten aggregiert und in der neu erstellten Datenbank zusammengeführt (Kapitel 9). Zuletzt wurde die Datenbank mittels Einzelanalysen auf ihre Funktionalität und die Korrektheit der Daten getestet (Kapitel 11).

6.1. Theorie

In einem ersten Schritt wurde ein theoretisches Konzept für die Zusammenführung der Daten erstellt (Kapitel 7.1). Darin wurde festgehalten, wie die einzelnen Datenpunkte ohne Datenverlust aggregiert und mit einer möglichst geringen Redundanz gespeichert werden können. Das Problem der Datenspeicherung mit möglichst geringer Redundanz wird in Kapitel 7.2 vertieft diskutiert. Während der Erstellung des Konzeptes, wurde in Absprache mit R. Haller vom SNP entschieden, welches Datenbankmanagementsystem (DBMS) für die Datenhaltung verwendet wird. Neben Faktoren wie Langlebigkeit, Effizienz und Benutzerfreundlichkeit, waren auch die unterschiedlichen Kosten der Programme (Freeware vs. Payware) und persönliches Vorwissen entscheidend. Da Microsoft SQL die gewünschten Voraussetzungen am besten erfüllt, wurde diese Software zur Datenspeicherung und Verwaltung ausgewählt. Für eine breitere Nutzbarkeit wurde die Datenbank ausserdem in eine Access – Datenbank konvertiert. Der Grund dafür ist, dass die Datenbank so auch für Anwender ohne informatisches Wissen verfügbar wird, da Microsoft Access ein Bestandteil des Microsoft Office Pakets ist. Beide Datenbanken finden sich auf dem beiliegenden Datenträger.

6.2. Datenaggregation

Das Ziel der Datenaggregation war es, die Daten ohne Informationsverlust in einer einheitlichen Form zu homogenisieren. In einer ersten Phase wurden die Daten in ihrer eigentlichen Form analysiert. Dort zeigte sich, dass es grosse Diskrepanzen zwischen den jeweiligen Arbeiten gibt (FORLIN, 2015; SCHMASSMANN, 1952). Dies zeigte sich vor allem in der Anzahl aufgenommenen Parametern, als auch in der Struktur der Daten. Dies wird beispielhaft in den untenstehenden Abbildungen aufgezeigt. In Abbildung 2 sind alle aufgenommenen Parameter vorhanden, jedoch sind sie in einer Weise dargestellt, welche es faktisch unumgänglich macht, die Arbeit zu lesen, um die Daten nutzen zu können. Dies, weil wichtige Angaben über die Quelle, wie Koordinaten oder Quellname fehlen.

1		5	7	8	9	10
2	Na ⁺ [mg/l]	0.14 ± 0.0	0.28 ± 0.0	0.81 ± 0.9	0.31 ± 0.1	0.54 ± 0.2
3	Mg ²⁺ [mg/l]	7.74 ± 0.7	9.76 ± 0.3	9.97 ± 2.5	14.22 ± 2.5	20.92 ± 3.2
4	Ca ²⁺ [mg/l]	25.24 ± 4.6	39.09 ± 5.7	31.30 ± 6.1	36.72 ± 10.2	42.74 ± 8.9
5	K ⁺ [mg/l]	NA	0.14 ± NA	0.53 ± 0.6	NA	0.25
6	F ⁻ [mg/l]	0.19 ± 0.1	0.21 ± 0.0	0.14 ± 0.0	0.05 ± 0.0	0.18 ± 0.1
7	Cl ⁻ [mg/l]	0.17 ± 0.1	0.24 ± 0.1	1.19 ± 1.5	0.20 ± 0.1	0.46 ± 0.3
8	NO ₃ ⁻ [mg/l]	1.22 ± 0.2	1.05 ± 0.1	0.98 ± 0.2	0.43 ± 0.1	0.21 ± 0.1
9	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	29.96 ± 10.7	19.59 ± 1.9	25.91 ± 10.2	24.24 ± 10.8	65.93 ± 24.8
10	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	152.60	196.20	218.00	305.20	316.10
11	pH	8.14 ± 0.1	7.97 ± 0.0	7.73 ± 0.2	7.96 ± 0.1	7.70 ± 0.1
12	O ₂ [mg/l]	8.54 ± 3.2	8.65 ± 2.7	8.55 ± 1.4	9.50 ± 1.8	6.67 ± 2.0
13	Temp [°C]	3.8 ± 0.1	4.0 ± 0.2	5.6 ± 1.1	4.7 ± 1.2	4.9 ± 0.3
14	Leitfähigkeit [µS/cm] (WTW Cond. 8210)	244 ± 25.2	297 ± 8.5	306 ± 6.6	341 ± 28.0	452 ± 54.6

Abb. 2: Aufgenommene Physiko – chemische Parameter aus der Arbeit von FORLIN (2015).

In den Abbildungen 3, 4 und 5 ist die Quelldatenbank von Steiner zu sehen. Die Datenstruktur ist sehr klar und wird durch die «Startseite» (Abb. 3) vereinfacht. Im Register «Springs» sind nur die elementaren Quelldaten wie ID, Name, Koordinaten, Typ und Erfasser erfasst. Während im Register «Measurements Schmassmann» die eigentlich erfassten Parameter abgespeichert sind.

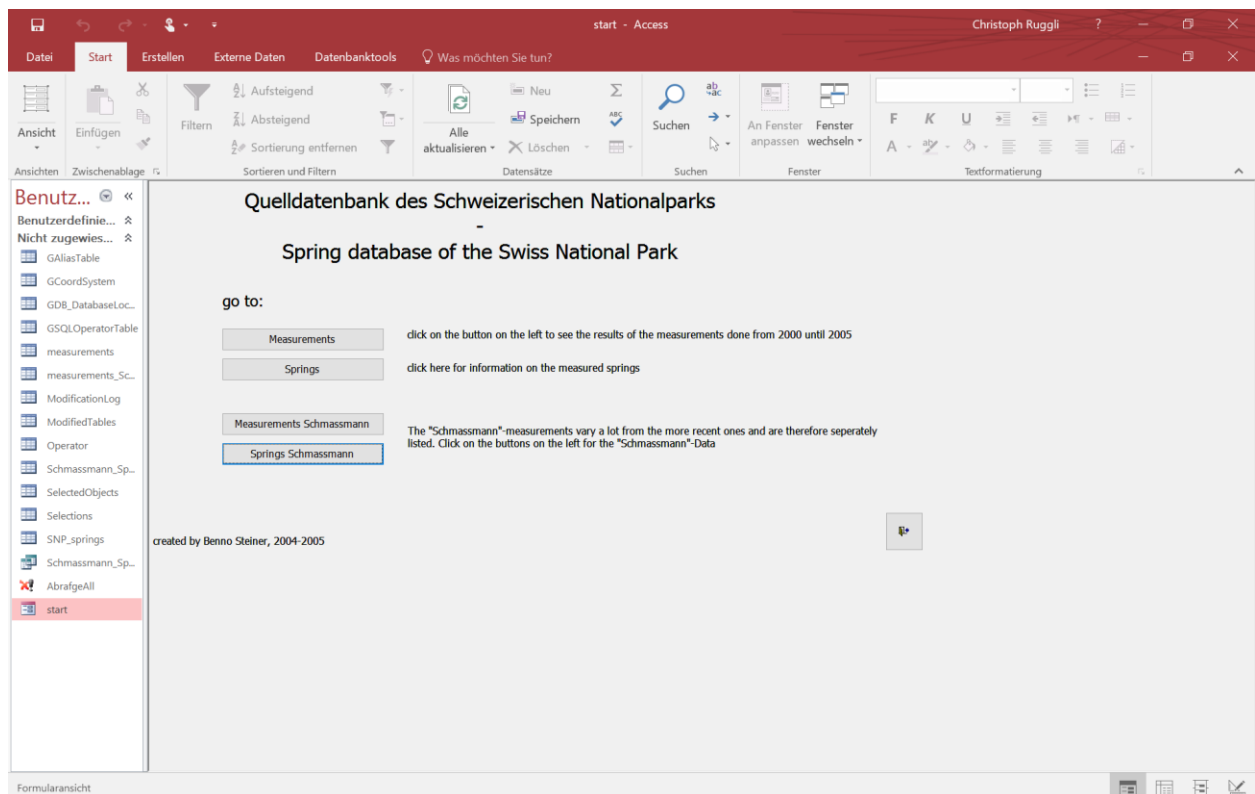


Abb. 3: «Startseite» der Quelldatenbank von Steiner

ID	name	Sch_Nr	easting03	northing03	elevation	special	type	foto
1	BR1		814600	170730	1960		Rheokrene	
2	BR2		814540	170850	1920		Rheokrene	
4	BR3		814490	170920	1910		Rheokrene	
5	BR4		814220	171210	1890		Aufstoss	
6	BR5		814200	171220	1890		Aufstoss	
7	BUS1	86	816200	169050	2180	S92	Rheokrene	
8	BUS1	128	816200	169050	2180	S87	Rheokrene	
9	BUS114	114	816150	169750	2040		Sick.Quelle	
10	BUS115	115	815880	169450	2130		Sick.Quelle	
11	BUS116	116	815365	169440	2200		Sick.Quelle	
12	BUS117	117	815575	169150	2260		Rheokrene	
13	BUS121	121	816885	169050	2080		Rheokrene	
14	BUS127	127	816150	170000	2020		Sumpf	
15	BUS144	144	816350	168900	2180		Rheokrene	
16	BUS145	145	816200	168800	2180		Rheokrene	
17	BUS146	146	817400	168400	2220		Rheokrene	
18	BUS3	85	816150	168200	2120		Rheokrene	
19	BUS5		816060	168450	2060	?	Sick.Quelle	
20	BUS7	70	815900	170000	1990	?	Rheokrene	
21	BUS70	70	815900	170000	2090		Rheokrene	
22	BUS84	84	816360	169900	1980		sick.Quelle	
23	CL1		810140	172860	2060		Rheokrene	
24	CL11		809810	173160	2030		Sick.Quelle	
25	CL13		809880	173210	2060		Rheokrene	
26	CL15		809780	173530	2100		Rheokrene	
27	CL3		810050	172930	2060		Rheokrene	
28	CL5		810000	172960	2060		Rheokrene	
29	CL7		809980	173000	2060		Rheokrene	
30	CL9		809900	173070	2060		Rheokrene	

Abb. 4: Register «Springs» von Schmassmann

ID	spring	day	month	year	hour	min	airtemp	watertemp	o2act	o2cor	o2satur	co2free	pH	discharge	ca_mg	mg_mg	alc_na	tot_cation
1	BR1	10	9	1958	13	20	9.2	3.4	8.8	10	87	0.28	7.6	4	49.7	13.6	18.4	81.7
2	BR2	10	9	1958	10	45	16.5	7.7	9.4	9.8	103	0.28	7.7	5				
3	BR2	26	9	1963	13	30	7.5	7.1	10.2	10.1	101	0.32	7.5	5	40	17	8.75	65.75
4	BR3	10	9	1958	10	20	13.5	4.5	10.3	9.9	104	0.28	8.1	101	32.1	16.5	21.8	70.4
5	BR4	3	9	1959	15	0	9.8	6	9.8	9.5	103	0.32	7.6		35.3	14.6	17.4	67.3
6	BR5	3	9	1959	15	45	8.9	6.9	9.3	9.3	100	0.32	7.6		33.7	11.7	8.5	53.9
7	BUS1	7	9	1960	16	0	4.7	4.8	9.8	9.5	103	0.6	7.25	3	30	20.6	0.92	51.52
8	BUS1	19	7	1964	14	30	8.8	5	9.8	9.4	104	0.4	7.35	3	37	13.4	13.1	63.5
9	BUS114	24	9	1963	12	15	10.9	7.5	10	9	111	0.34	7.7	3	50.12	18.2	15.85	84.17
10	BUS115	24	9	1963	14	10	9.2	9.3	9.7	8.7	107	0.17	7.85	4	30.1	18.2	1.4	49.7
11	BUS116	24	9	1963	14	45	8.6	7.7	8.2	8.8	93	0.32	7.6	10	30	12.4	2.7	45.1
12	BUS117	24	9	1963	16	20	6.2	3.1	10.3	9.8	105	0.11	8.1	20	22	9.7	25.8	57.5
13	BUS121	25	9	1963	16	10	7.2	6.3	5.4	9.2	59	0.8	7.2	2	44	21.9	8.7	74.6
14	BUS127	19	7	1964	10	20	19.5	11.9	5.9	8.1	73	0.3	7.8	10	54	27.9	19.3	101.2
15	BUS144	24	7	1964	9	40	12.3	4.7	10.4	9.5	109	0.48	7.45	5	36	10.9	14.5	61.4
16	BUS145	24	7	1964	10	20	11.7	6.6	9.9	9	109	0.3	7.2	15	38	13.2	13.6	64.8
17	BUS146	24	7	1964	11	30	9.3	3.1	10.5	9.9	106	0.12	7.6	80	28	14.6	6.4	49
18	BUS3	7	9	1960	15	0	8.6	4.4	9.6	9.6	100	8	7.25	1	32.1	14.6	10.1	56.8
19	BUS5	7	9	1960	13	30	9.6	6.8	9.2	9.2	100	7.2	7.4		28.9	13.6	20.5	63
20	BUS7	4	9	1959	9	15	9.7	4.4	9.7	9.7	100	3.2	7.65	2	44.9	18.5	11.2	74.6
21	BUS70	4	9	1959	9	15	9.7	4.4	9.7	9.7	100	0.32	7.65	2	45	18.5	17.6	81.1
22	BUS84	7	9	1960	13	30	9.6	6.8	9.2	9.2	100	0.72	7.4	1	33.7	49.6		
23	CL1	8	9	1958	10	30	9.4	5	9.8	9.6	103	4	7.5	6	28.9	31.1	19.3	79.3
24	CL11	28	8	1961	13	0	16.1	22	7.8	6.6	118	4.8	0		44.9	21.4	3.9	70.2
25	CL13	28	8	1961	13	45	17.29	6.4	9.1	9.2	99	5.6	0		38.1	25.5	8.3	71.9
26	CL15	28	8	1961	15	30	18.29	5.5	9.6	9.4	102	4.2	0	1	33.7	23.3	4.1	61.1
27	CL3	8	9	1958	12	30	8.4	4.3	10.1	9.7	104	4.8	7.6	8	33.7	42.8	2.1	78.6
28	CL5	8	9	1958	14	20	14.6	4.6	9.5	9.7	98	5	7.6	5	36.9	26.3	3	66.2
29	CL7	8	9	1958	15	15	11.7	5	9.5	9.6	99	4	7.6	6	36.9	23.8	8	68.7

Abb. 5: Erfasste Parameter von Schmassmann

Eine solche einheitliche Erfassung und Struktur soll mit der Quelldatenbank dieser Arbeit in der Zukunft angestrebt werden. Wie in Kapitel 8 beschrieben, sollen in Zukunft auch alle neu erhobenen Quelldaten in einem einheitlichen, vorgegebenen Dokument erfasst werden. Das Ziel ist die Vereinheitlichung der Daten und die vereinfachte Datenmigration im SNP.

Nach der Analyse der Daten wurden die jeweiligen Parameter in der passenden Entität (Tabelle) der Datenbank erfasst und mit den Tabellen «Arbeit» und «Quelle» in Verbindung gebracht. Eine Entität ist ein Objekt, welches über einen Schlüssel in der Datenbank identifizierbar ist. Wie die Quelldatenbank aufgebaut und die Beziehungen zwischen den einzelnen Entitäten funktioniert wird in Kapitel 7.2 verbal und mittels zweier Entity–Relationship Models vertieft erklärt. Da bei gewissen Arbeiten sehr viele Parameter aufgenommen wurden (S. SCHMASSMANN, 1955), besteht die Datenbank aus sehr vielen Entitäten mit zum Teil nur wenigen Messwerten. Aufgrund der Maxime des möglichst geringen Informationsverlusts wurden trotzdem alle Daten übernommen.

7. Funktionsweise der Quelldatenbank

7.1. Datenaggregation

Die Daten werden in einer immer gleichen Grundstruktur erfasst. Die einzelnen Parameter werden jeweils in Entitäten abgespeichert. Wie in Abbildung 6 zu sehen ist, sind es in diesem Fall die einzelnen Tabellen, in denen die Informationen abgespeichert werden (SCHICKER, 2017).

	Calcium_ID	Quelle_ID	Arbeit_ID	Calcium	Erfassungsjahr	Erfassungsmonat	Erfassungstag	Erfassungszeit	ErfasserIN
1	62	425	3	34.100	1955	8	1	18:15:00.0000000	Schmassmann
2	63	428	3	42.100	1955	7	31	12:00:00.0000000	Schmassmann
3	64	429	3	43.100	1955	7	31	12:10:00.0000000	Schmassmann
4	65	430	3	32.100	1955	7	31	11:30:00.0000000	Schmassmann
5	66	432	3	48.100	1955	7	31	12:40:00.0000000	Schmassmann
6	67	433	3	20.000	1955	8	1	16:25:00.0000000	Schmassmann
7	68	436	3	19.000	1955	8	1	07:45:00.0000000	Schmassmann
8	69	438	3	17.000	1955	7	27	17:30:00.0000000	Schmassmann
9	70	451	3	16.000	1955	7	27	16:40:00.0000000	Schmassmann
10	71	452	3	16.000	1955	7	27	16:00:00.0000000	Schmassmann
11	72	454	3	13.000	1955	7	27	15:15:00.0000000	Schmassmann
12	73	455	3	13.000	1955	7	27	14:30:00.0000000	Schmassmann
13	74	440	4	35.300	1957	10	1	15:40:00.0000000	Schmassmann
14	75	441	4	33.700	1957	10	1	15:15:00.0000000	Schmassmann
15	76	442	4	33.700	1957	10	1	14:00:00.0000000	Schmassmann
16	77	444	4	38.500	1957	10	1	14:00:00.0000000	Schmassmann
17	78	447	4	40.100	1957	10	1	10:00:00.0000000	Schmassmann
18	79	505	4	20.800	1957	10	2	11:25:00.0000000	Schmassmann
19	80	420	6	36.900	1958	9	8	15:15:00.0000000	Schmassmann
20	81	532	6	20.800	1958	9	11	13:45:00.0000000	Schmassmann
21	82	534	6	16.000	1958	9	11	14:30:00.0000000	Schmassmann
22	83	424	7	67.300	1959	9	1	12:00:00.0000000	Schmassmann
23	84	426	7	36.900	1959	9	1	14:00:00.0000000	Schmassmann
24	85	427	7	48.100	1959	9	1	10:00:00.0000000	Schmassmann
25	86	434	7	30.500	1959	9	2	17:10:00.0000000	Schmassmann
26	87	435	7	40.100	1959	9	2	15:00:00.0000000	Schmassmann
27	88	457	7	44.900	1959	9	2	16:40:00.0000000	Schmassmann
28	89	460	7	35.200	1959	8	31	10:00:00.0000000	Schmassmann
29	90	461	7	36.900	1959	8	31	11:00:00.0000000	Schmassmann
30	91	462	7	35.200	1959	8	31	11:45:00.0000000	Schmassmann
31	92	463	7	46.500	1959	8	31	14:20:00.0000000	Schmassmann
32	93	464	7	36.900	1959	8	31	13:45:00.0000000	Schmassmann
33	94	465	7	40.100	1959	9	2	12:45:00.0000000	Schmassmann
34	95	466	7	81.800	1959	9	2	10:30:00.0000000	Schmassmann
35	96	467	7	33.700	1959	9	3	15:45:00.0000000	Schmassmann
36	97	468	7	33.700	1959	9	3	15:45:00.0000000	Schmassmann
37	98	470	7	35.300	1959	9	3	15:00:00.0000000	Schmassmann
38	99	477	7	25.700	1959	9	4	15:15:00.0000000	Schmassmann
39	100	478	7	35.300	1959	9	3	14:10:00.0000000	Schmassmann
40	101	479	7	34.900	1959	9	4	14:15:00.0000000	Schmassmann
41	102	480	7	32.100	1959	9	10	16:50:00.0000000	Schmassmann

Abb. 6: Die Entität «Calcium» (RUGGLI, 2017)

In der Entität «Quellen» werden die Grundparameter ID, X, Y, Z, ErfasserIn und Quellname erfasst, während in der Entität «Arbeit» Titel der Arbeit, Publikationsjahr und AutorIn gespeichert werden. Danach werden die restlichen Parameter wie Wassertemperatur, Abflussmenge, pH-Wert etc. in jeweils eigenen Entitäten erfasst. Diese haben jeweils eine «Quell_ID» und eine «Arbeit_ID». Die «Quell_ID» weist einen Messwert (z.B. Calcium) eindeutig einer Quelle zu, während die «Arbeit_ID» die Quelle, als auch die Messwerte der Arbeit zuweist, in der diese aufgenommen wurden. Der Grund für diese Aufteilung ist es, möglichst wenig Redundanz zu erzeugen.

Quellen, welche mehrmals beprobt wurden, erhalten bei den jeweiligen Parametern eine neue ID des Parameters, haben jedoch eine identische «Quelle_ID». Somit kann gewährleistet werden, dass mehrere Messwerte einer Quelle zugeteilt werden können. Messwerte welche innerhalb einer Arbeit erfasst wurden besitzen die gleiche «Arbeit_ID».

7.2. Konzeptuelles Datenmodell

Ein konzeptuelles Datenbankschema ist eine formelle Beschreibung der zu erstellenden Datenbank. Darin sind sowohl Struktur, als auch Beziehungen zwischen den einzelnen Entitäten beschrieben. Zur graphischen Beschreibung wird in Kapitel 7.2.1 und 7.2.2 ein Entity–Relationship (ER) Modell benutzt.

7.2.1. Strukturelle Parameter

Das untenstehende ER–Modell (Abbildung 7) zeigt die Beziehungen zwischen den Entitäten der einzelnen Parameter und den Entitäten «Arbeit» und «Quelle». Für eine bessere Übersicht über das Diagramm wurden nicht alle Entitäten dargestellt. Parameter, welche nicht in der Grafik vorkommen, werden in identischer Form erstellt.

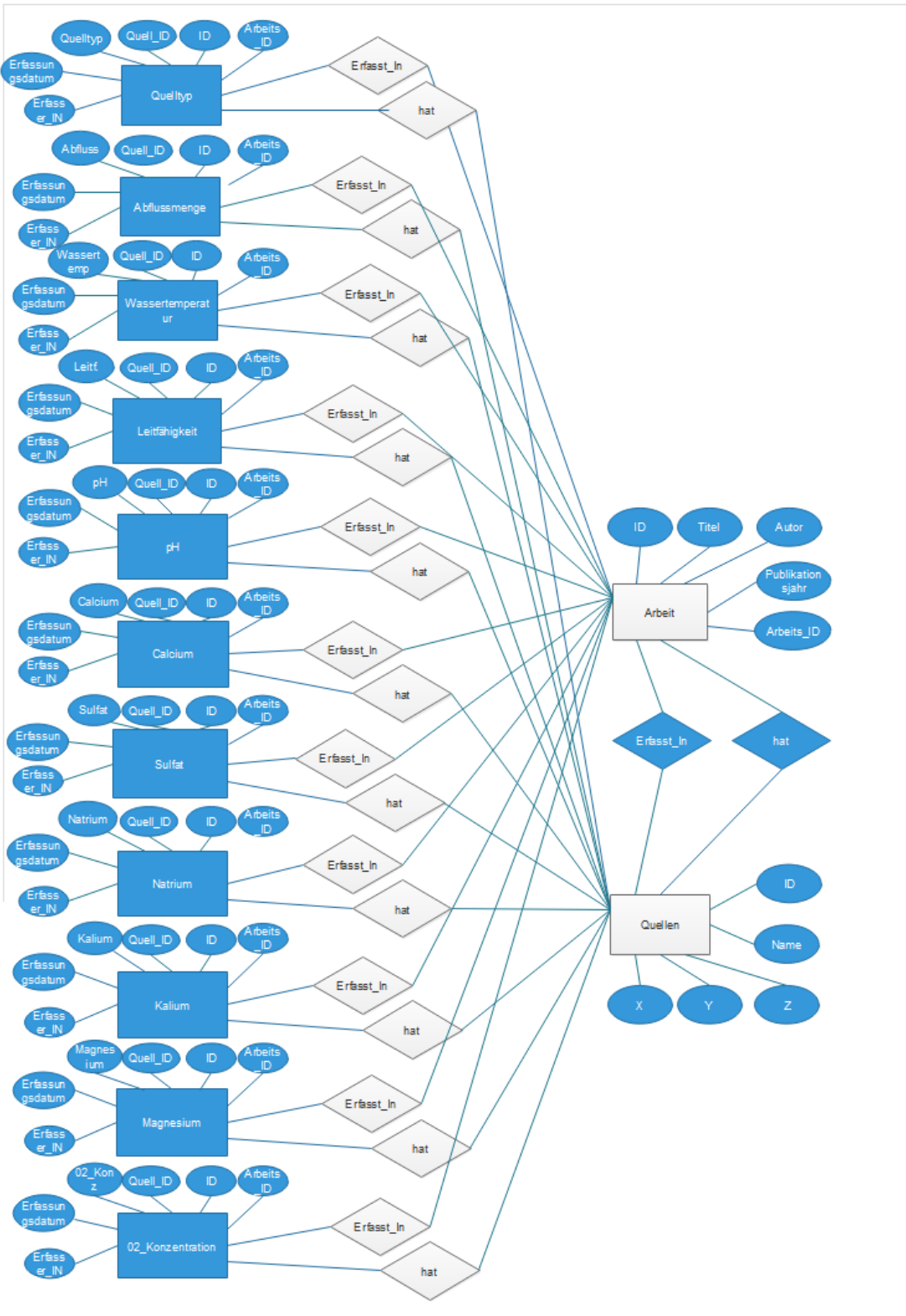


Abb. 7: Entity-Relationship Modell der strukturellen Parameter

7.2.2. Artlisten

Bei gewissen Quellen (Abbildung 8) wurde neben den physiko–chemischen Parametern auch eine faunistische Beprobung durchgeführt. Diese Daten werden in Entitäten gespeichert, welche aufgrund des anderen Datenaufbaus, anders aufgebaut sind als die Entitäten der strukturellen Parameter. Es gibt pro Ordnung eine Entität in welcher auch, falls vorhanden, Familie, Gattung und Art erfasst werden. Diese Struktur wurde gewählt, da es teilweise grosse Unterschiede in den Bestimmungslevels gibt. Einfluss auf die Bestimmungslevels können die Saison, in welchem die Beprobung durchgeführt wurde, der Zeitpunkt im Studium (Bachelor-, Master- oder Doktorarbeit) oder der Fokus der Arbeit sein. Der Nachteil dieser Struktur ist die erhöhte Redundanz in den Daten. Es muss bei einer Veränderung der schon vorhandenen Daten sehr genau darauf geachtet werden, dass alle redundanten Daten konsistent erneuert werden.

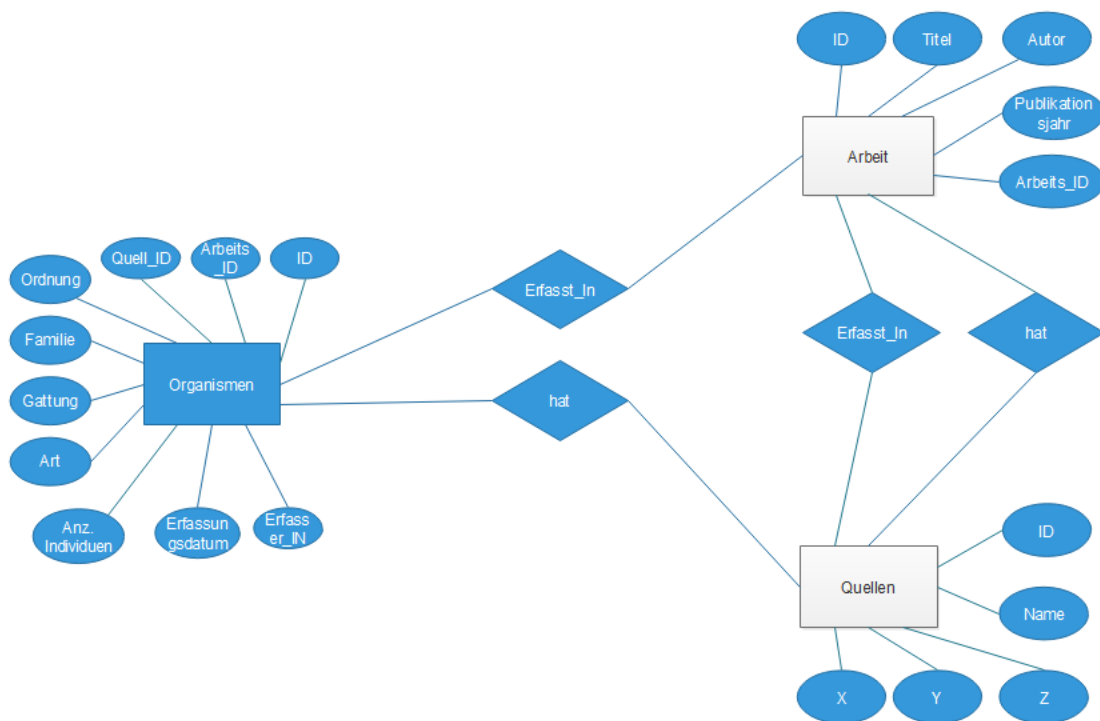


Abb. 8: Entity–Relationship Model der faunistischen Parameter

8. Dokumentation zur Neuerfassung von Daten

Der der Arbeit beigelegte Datenträger, enthält eine Excel Tabelle mit dem Namen «Datenerfassung_Template». Dieses Excel Template, ist eine Vorlage für die Form, in welcher die in Zukunft erfassten Daten und Parameter einheitlich erfasst werden sollten. Dabei steht im Vordergrund, dass Daten immer gleich und in einem bestimmten Format erfasst werden sollen. So wird die Konsistenz der Daten und eine immer gleichbleibende Struktur erhalten.

Die Datenerfassung ist in zwei Schritte aufgeteilt: Der erste Schritt ist die Datenerfassung, welche die Erfasserin/der Erfasser macht (Kapitel 9.2.1). Der zweite Schritt ist die Datenmigration, welche vom SNP durchgeführt wird (Kapitel 9.2.2).

8.1. Datenerfassung

Das Ziel dieser Erfassungsstruktur ist es, eine möglichst einfache Gestaltung zu erreichen und durch die vorgegebene Form klar und verständlich zu halten.

In einem ersten Schritt werden die Kopfdaten in der Tabelle «Parameter» ausgefüllt. Diese beinhalten «Arbeits_ID» (wird von der verantwortlichen Person im SNP mitgeteilt), «Quell_ID» (wird von der verantwortlichen Person im SNP mitgeteilt), Koordinaten, ErfasserIn, Titel der Arbeit, Quellname und Publikationsjahr.

In einem nächsten Schritt werden die gemessenen chemisch-physikalischen Parameter in der jeweiligen Spalte eingefügt und das dazugehörige Messdatum erfasst. Im Anhang findet sich ein Beispiel für eine richtig ausgefüllte Tabelle.

Nachdem die Tabelle korrekt ausgefüllt wurde, kann diese nun der verantwortlichen Person im SNP abgegeben werden. Damit ist die Arbeit für die Erfasserin/den Erfasser abgeschlossen.

Wenn ein neuer Parameter erfasst wird, muss für diesen eine neue Entität erstellt werden. Danach können die Daten nach dem allgemein gültigen Schema abgefüllt werden.

8.2. Datenmigration

8.2.1. Vorarbeit

Die Migration aus der Excelliste in die SQL Datenbank wird von einer verantwortlichen Person des SNP durchgeführt. Dadurch, dass die Person die Daten migriert, kann die Stabilität und die Konsistenz der Daten innerhalb der Datenbank gesichert werden.

Vor der Beprobung muss die verantwortliche Person im SNP die neue Arbeit in der Tabelle «Arbeit» erfassen. In dieser kann der Titel der Arbeit, das Publikationsjahr und die Autorin/der

Autor gespeichert werden. Aus diesem neuen Eintrag in der Tabelle ergibt sich auch die «Arbeit_ID», welche der Erfasserin/dem Erfasser abgegeben werden kann. Nach der Erfassung der «Arbeit_ID» muss abgeklärt werden, ob die Quelle schon erfasst wurde oder um es sich um eine Neuerfassung handelt. Wenn die Quelle schon erfasst ist, muss die «Quelle_ID» festgestellt werden. Die Quelle, bzw. deren ID kann in der Datenbank mittels dem LIKE Operator über den Quellnamen oder die Koordinaten gesucht und gefunden werden. Der Grund für die Angabe der ID ist, dass mit der identischen «Quelle_ID» Messwerte einer schon früher erfassten Quelle zugeordnet werden können. Mit der identischen «Quelle_ID», aber unterschiedlichen Erfassungsdaten und «Arbeits_ID» sind Zeitreihenanalysen möglich. Falls eine Quelle noch nicht erfasst ist, können fortlaufende ID's für neue Quellen genutzt werden.

8.2.2. Migration

In der zweiten Exceltabelle des Templates mit dem Namen «Statements» werden die Daten für die einzelnen Tabellen verkettet und als SQL Statement ausgegeben. Ein solches Verkettungskommando sieht für den Parameter «Wassertemperatur» folgendermassen aus:

```
=VERKETTEN("Insert into Wassertemperatur (Quelle_ID, Arbeit_ID, Wassertemperatur, Erfassungsjahr, Erfassungsmonat, Erfassungstag, Erfassungszeit, ErfasserIn) Values (";Parameter!A2;"";Parameter!B2;"";Parameter!O2;"";Parameter!I2;"";Parameter!J2;"";Parameter!K2;"";Parameter!L2;"";Parameter!H2;"")")
```

Die Schreibweise und die Reihenfolge der Spalten müssen, wie in Abbildung 9 zu sehen ist, identisch zu der SQL Tabelle sein.

	Wassertemperatur_ID	Quelle_ID	Arbeit_ID	Wassertemperatur	Erfassungsjahr	Erfassungsmonat	Erfassungstag	Erfassungszeit	ErfasserIN
1	1	17	1	2.100	2001	8	2	NULL	Strasky / Heammig
2	2	19	2	2.200	2001	8	2	NULL	Schmassmann, H.
3	3	20	1	5.200	2001	8	11	NULL	Strasky / Heammig
4	4	21	1	5.400	2001	9	3	NULL	Strasky / Heammig
5	5	22	1	6.000	2001	9	3	NULL	Strasky / Heammig
6	7	23	1	7.200	2001	9	3	NULL	Strasky / Heammig
7	8	24	1	7.700	2001	8	11	NULL	Strasky / Heammig
8	9	25	1	7.900	2001	9	3	NULL	Strasky / Heammig
9	10	42	1	9.800	2001	9	3	NULL	Strasky / Heammig
10	12	55	15	3.490	2015	NULL	NULL	NULL	Forlin, L.
11	13	57	15	3.900	2015	NULL	NULL	NULL	Forlin, L.
12	14	58	15	4.300	2015	NULL	NULL	NULL	Forlin, L.
13	15	59	15	4.540	2015	NULL	NULL	NULL	Forlin, L.
14	16	60	15	5.110	2015	NULL	NULL	NULL	Forlin, L.
15	17	76	2	4.500	1961	8	31	NULL	Schmassmann
16	18	77	2	5.200	1959	9	6	NULL	Schmassmann
17	19	78	2	5.800	1955	7	27	NULL	Schmassmann
18	20	79	2	5.500	1959	8	31	NULL	Schmassmann
19	21	80	2	5.300	1959	8	31	NULL	Schmassmann
20	22	81	2	3.800	1959	9	4	NULL	Schmassmann
21	23	82	2	5.900	1955	7	27	NULL	Schmassmann
22	24	83	2	4.700	1959	9	3	NULL	Schmassmann
23	25	84	2	4.700	1959	9	10	NULL	Schmassmann
24	26	85	2	7.100	1958	9	11	NULL	Schmassmann
25	27	86	2	4.400	1957	10	1	NULL	Schmassmann
26	28	87	2	6.800	1964	7	22	NULL	Schmassmann
27	29	88	2	4.400	1957	10	1	NULL	Schmassmann
28	30	89	2	6.000	1957	10	1	NULL	Schmassmann
29	31	90	2	5.600	1957	10	1	NULL	Schmassmann
30	32	91	2	5.700	1960	9	4	NULL	Schmassmann
31	33	92	2	5.500	1957	10	1	NULL	Schmassmann

Abb. 9: SQL Tabelle Wassertemperatur

Die SQL Statements von einem erfassten Parameter können dann per «copy-paste» als Querys in MS SQL Server eingefügt und ausgeführt werden. Nachdem diese ausgeführt sind, sind die neuen Daten in der Tabelle vorhanden. Eine Anleitung mit den einzelnen Schritten und weiteren Detaillierungen ist im Anhang abgedruckt und digital als PDF auf dem beiliegenden USB-Stick verfügbar.

9. Umsetzung der Quelldatenbank

Die Datenbank ist wie in Kapitel 6 beschrieben aufgebaut. Für jeden Parameter wird eine Tabelle erstellt, in der die Messwerte erfasst sind. Des Weiteren gibt es eine Tabelle in welcher die Quellen mit Koordinaten gespeichert sind und eine Tabelle, in welcher die einzelnen Arbeiten erfasst sind.

Nach dem Erstellen der jeweiligen Tabellen wurden die Daten chronologisch abgefüllt. Der Grund für diese Reihenfolge ist die Namensgebung der Quellen. So kann garantiert werden, dass der Quellname des Ersterfassers bestehen bleibt. Die restlichen Parameter wurden zuerst auf das Format und das Mass überprüft. Unterschiedliche Masseinheiten wurden umgerechnet und angepasst. Die bereinigten Daten wurden dann in das Template zur Datenerfassung eingetragen.

Bei einer Neuerfassung werden in einem ersten Schritt die Basisdaten der Quelle in die Datenbank übertragen. Die jeweiligen ID's der neuen Quellen werden im Template eingetragen. Für eine korrekte Verknüpfung zwischen den Arbeiten und der Quelle wird in einem nächsten Schritt die SQL Tabelle «Arbeit_zu_Quelle» wieder mittels Statements aus der Exceltabelle «Datenerfassung_Template» abgefüllt. Dort ist gespeichert, welche Quelle in welcher Arbeit erfasst wurde. Zuletzt werden die erfassten Parameter wieder in die passenden Tabellen eingetragen.

Falls die Quelle schon zu einem früheren Zeitpunkt erfasst wurde, es jedoch neue Messwerte für dieselbe Quelle gibt, müssen die Basisdaten der Quelle nicht neu erfasst werden. Es müssen hingegen wieder die ID's der schon erfassten Quellen eingetragen werden und damit wieder die SQL Tabelle «Arbeit_zu_Quelle» abgefüllt werden. So können einer Quelle gleichzeitig mehrere Messwerte zugeordnet werden, während die einzelnen Messwert eindeutig auf eine Arbeit verweisen.

Neben den einzelnen Tabellen für jeden Parameter wurden simultan sogenannte «Views» erstellt. Diese Views ermöglichen eine bedeutend einfachere Darstellung der Daten in einem Geoinformationssystem. Dabei werden in der Datenbank direkt die jeweiligen Parameter mit den Koordinaten der Quellen und den Informationen aus der Tabelle «Arbeit» verknüpft. Ohne «Views» müssten die einzelnen Tabellen im GIS in einem komplizierten Prozess mittels eines «Joins» verknüpft werden.

Bei der Datenanalyse zeigte sich, dass es grosse Diskrepanzen in der Anzahl der erfassten Parameter gibt. Neben SCHMASSMANN (1952), der zusätzlich zu den Basisdaten wie Koordinaten und Quellnamen weitere 29 Parameter erfasste, gibt es mehrere Erfassungsreihen in

welchen nur die Koordinaten aufgenommen wurden. So nahmen zum Beispiel LUDER (1912) und CLAUSEN (2001) zum Teil nur die Koordinaten der Quellen auf.

Sowohl VETTER (1992), als auch HAEMMIG (2003) haben während ihren Arbeiten Quellen mehrfach beprobt. Daraus entstanden Zeitreihen von 82 unterschiedlichen Quellen. Auch bei diesen einzelnen Zeitreihen gibt es grosse Unterschiede. Einerseits in der Häufigkeit der Besuche und andererseits in der Anzahl erfasster Parameter. In der Abbildung 10 ist ein Beispiel von zwei Quellen zu sehen, welche sehr ausführlich beprobt wurden. Beide wurden zwischen 1991 (Quelle BF0: 1999) und 2005 jeweils 14 Mal besucht. Während diesen Beprobungen wurden das Wetter, pH, Wassertemperatur, Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, das Redoxpotential, Alkalinität, Chlor-, Nitrat-, Fluorid-, Sulfat-, Natrium-, Magnesium- und der Calciumgehalt gemessen.

ID	spring	di	mon	yes	ho	m	pH	temj	cond	o2cont	red	carbonat	tot	dis	weather	remarks	fluori	chlorid	niti	sulfate	sodiu	potassi	magnesium
26 GS8	18	8	1991				8.04	11.3	376					5									
471 GS8	10	10	1999				8.49	5.1	384			4.8	2.7	14		o2saturatio		470	180	13810	920	540	33950
474 GS8	22	9	2000				8.49	6.3	368			4.1	2.3	24				350	130	17150	1050	580	34030
473 GS8	25	7	2000	15	20		8.16	8.1	368				2.2	30				330	130	15660	970	580	30630
472 GS8	6	6	2000				8.46	7.5	386				2.1	12		o2saturatio		610	330	14030	990	520	30290
224 GS8	20	10	2001				8.42	6.2	393	13.91		4.4	2.3	12	stark bewölkt		20	419	208	19937	1015	526	27281
223 GS8	3	9	2001				8.45	7.9	387	14.04		5.1	2.6	20	schön		28	415	0	17156	980	560	26558
226 GS8	13	8	2002				8.31	7.8	384	9.4	168	4.4	2.5	7	stark bewölkt		44.3333	478.6667	202.5	19186.67	1277.5	720	30366.5
225 GS8	2	7	2002				8.45	8.1	382	9.05	260	3.9	2.2	8	stark bewölkt		26	474.5	0	18827.5	1150	837	29811
228 GS8	20	10	2003				8.74	4.3	339	8.61	280	4.4	2.2	10	Schneefall		27.8	370.9	460.6	22213.6	1007.4	533.4	26803.9
227 GS8	7	7	2003	11	30		8.27	8.2	386	9.56	155	4.2	2.4	5	schön		28.8	302.5	184.4	21578.6	1035.4	568.7	27438.1
231 GS8	26	10	2004	11	35		8.21	6	395	8.38	64	4.2	2.3	7	stark bewölkt		27.2	344.2	305	20296	1170.9	584.6	29361.4
230 GS8	25	8	2004	12	5		8.36	8.7	401		165	4.3	2.3	5	schön		342.4	145.1	211.7	49930	1160.6	619.7	28828.9
229 GS8	17	6	2004	11	10		8.43	6.3	358	9.51	183	3.9	2.6	5	sonnig		30	315.9	142.7	16933.1	1087.7	585.6	28243.1
(Neu)	0	0	0	0	0									0									
I97 BF0			816550			169792			1975	Quelle/horizont						Pointner		Strasky/Haemi	Margreth		Steiner		
ID	spring	di	mon	yes	ho	m	pH	temj	cond	o2cont	red	carbonat	tot	dis	weather	remarks	fluori	chlorid	niti	sulfate	sodiu	potassi	magnesium
443 BF0	12	10	1999				7.8	3.9	425			4.7	2.6					530	650	21320	580	550	26250
446 BF0	21	9	2000				7.54	5.6	425			5	2.6	1				530	1570	4590	350	1230	32180
445 BF0	26	7	2000	9	40		7.44	5.7	439				2.8	3				370	3430	3430	300	1090	30680
444 BF0	6	6	2000				7.88	5.6	487				2.7	3		o2saturatio		540	540	15800	540	2210	29930
170 BF0	20	10	2001				7.61	5.2	377	12.43		4.7	2.4	1	stark bewölkt		31	381	621	3811	237	950	18899
169 BF0	3	9	2001				7.75	6	366	11.47		5.2	2.2	12	schön		37	439	832	3401	232	1029	19635
172 BF0	13	8	2002				7.64	6	417	8.24	185	5.1	2.6	0	stark bewölkt		83	868	888	4899.5	624	1551	26181.5
171 BF0	2	7	2002				7.7	5.3	433	7.94	255	5.5	2.7	3	stark bewölkt		13	845	994.5	6141.5	624	1993.5	27171
174 BF0	22	10	2003				7.78	5.4	310		85	4.8	3.1	2	sonnig	Schnee	32.5	438.5	1165	4971.9	295	994	23174.8
173 BF0	4	7	2003				7.28	5.3	427	9.22	227	5	2.7	1	regnerisch		31.9	487	1043	4522.7	368	1184.4	24503.9
177 BF0	25	10	2004	9	0		7.5	5.3	394	8.54	190	4.6	2.3	3	leicht bewölkt		33.3	452.6	1287	4509.1	302.6	1115	22060.2
176 BF0	24	8	2004	13	10		8.01	6.9	398		180	4.6	2.4	4	stark bewölkt		42.1	406.3	1190	4096.9	320.4	1219.1	22876.6
175 BF0	16	6	2004	16	0		7.94	5.2	446	9.45	282	5.2	2.6	2	bedeckt	Filter verstc	39.5	587.6	1598	5943.1	431	1271	25854.8
178 BF0	16	4	2005	18	40		6.84	1.8	277	6.33	214	3.3	1.7	1	Schneefall		63	796.1	1007	3627.9	265.8	975	14215.9

Abb. 10: Die Quellen GS8 und BF0 (STEINER, 2005)

Nicht alle Zeitreihen wurden jedoch in einer solchen Regelmässigkeit über eine so lange Zeitdauer besucht. Die Datenauswertung zeigt, dass 63 von 82 Quellen maximal vier Mal besucht wurden, während die restlichen 19 Quellen zwischen 5 und 14 Mal besucht wurden.

Bei den faunistischen Daten wurde ein anderer Ansatz gewählt. Wie in Kapitel 7.2.2 beschrieben, gibt es pro Ordnung eine Entität. In dieser Entität wurden alle gefundenen Arten aufgeführt. Insgesamt wurden 56 Quellen faunistisch erfasst. Dabei wurden die Dipteren mit 223 Mal am meisten genannt, während die Bivalvia mit nur 16 Mal am wenigsten erwähnt wurden.

Auf die Diversität der einzelnen Quellen und deren Gründe, wird in Kapitel 11.4.1 und in der Ergebnisdiskussion (Kapitel 13) vertieft eingegangen.

Teil III: Räumliche Analysen

10. Methodik

Für die räumliche Analyse wurden die Daten mittels den Programmen GeoMedia von Hexagon Geospatial und dem Programm ArcGIS von Esri ausgewertet. Der Grund für die Auswertung in zwei unterschiedlichen Geoinformationsprogrammen war, dass so praktisch überprüft werden konnte, ob die Datenbank auf verschiedenen Plattformen funktioniert.

Das Ziel der Datenanalyse war es, einerseits die Datenbank praktisch auf ihre Funktionalität zu testen und andererseits, Analysen durchzuführen, welche aufgrund der neuen Datenbank bedeutend einfacher ausgeführt werden können. Für diese Analysen wurden vier Fragestellungen ausgewählt:

Hitzesommer 2003: Dabei wurde untersucht, ob extreme klimatische Ereignisse wie der Hitzesommer 2003, in den Daten sichtbar werden. Dieses Einzelereignis sollte vor allem in einer verminderten Abflussmenge oder einem kompletten Trockenfallen der Quellen sichtbar sein. Für diese Analyse wurden die Daten über die Wassertemperatur und des Abflusses aller Quellen ausgewertet, welche zwischen 2002 und 2005 mindestens einmal im Jahr beprobt wurden.

Räumliche Korrelationen: Dabei wurde untersucht, ob es Unterschiede in den chemisch-physikalischen Parametern zwischen verschiedenen Tälern des SNP und zwischen zwei unterschiedlich exponierten Bergflanken gibt. Ziel dieser Analysen war die Auswertung, ob es geographisch kleinräumige Unterschiede gibt und zu erklären, wodurch diese ausgelöst werden. Diese Analyse wurde mit einer Principal Components Analysis (PCA) durchgeführt. Als Hauptkomponenten wurden alle Parameter genutzt, welche in den jeweiligen Quellen erfasst wurden. Der Grund dafür war, dass sich aufgrund dem Mehr an Daten auch mehr Informationen ergeben hatten. Die PCA wurden mit Canoco 5 durchgeführt.

Korrelationsanalyse zwischen der Fauna und der Physikochemie: Dabei wurde untersucht, ob eine mögliche Korrelationen zwischen der vorhandenen Fauna und den gemessenen chemisch-physikalischen Parametern zu finden und zu erklären ist. Exemplarisch sollen dabei die drei Quellen mit den meisten Taxa und den wenigsten Taxa verglichen werden.

Hervorhebung einzelner Quellen für Monitoringprojekte: Dabei wurde untersucht, ob Quellen zu finden und hervorzuheben sind, welche sich für Monitoringprojekte eignen würden. Gründe für diese Hervorhebung können aussergewöhnliche chemische Parameter, das Vorhandensein einer überaus diversen Fauna oder die Erfassung in Zeitreihen sein.

Für alle statistischen Analysen wurden die Daten zuerst mittels Microsoft Excel aufbereitet und dann, wenn nicht anders erwähnt, mittels R Studio weiterverarbeitet und ausgewertet.

11. Ergebnisse

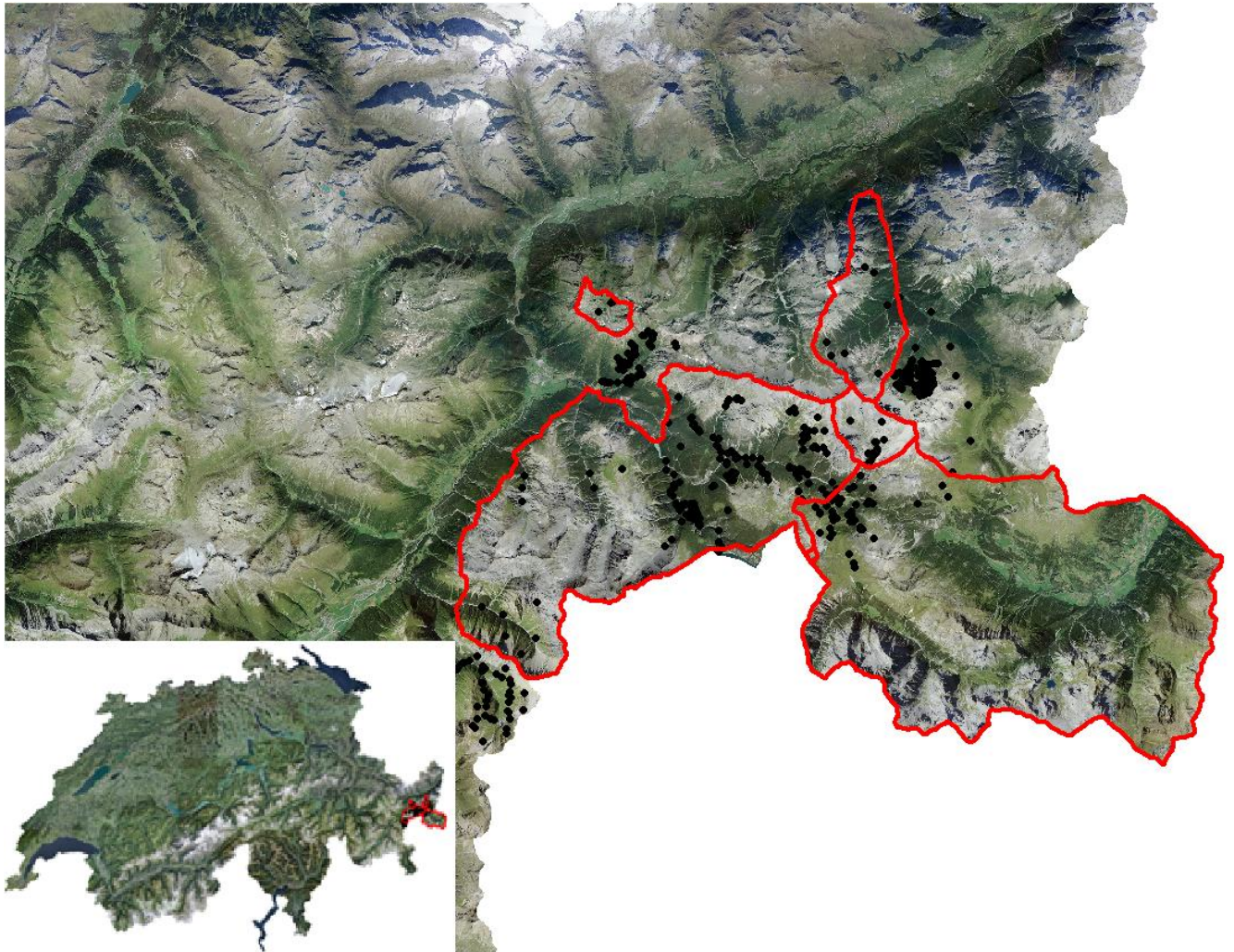


Abb. 11: Übersicht über die erfassten Quellen im Schweizerischen Nationalpark

Durch die Zusammenfassung der Daten ergab sich eine sehr gute Übersicht über die erfassten Quellen im SNP. Seit dem Anfang der Forschung wurden 739 Quellen erfasst. Wie in Abbildung 11 zu sehen ist, sind die erfassten Quellen über den ganzen Nationalpark verteilt. Trotzdem ist eine gewisse Aggregation von Quellen erkennbar. Es ist auffällig, dass keine Quellen im Osten des Parks erfasst wurden, während in der Region von Zernez und Susch, als auch entlang dem Val dal Spöl sehr viele Quellen beprobt sind. Dabei handelt es sich nicht um die natürliche Verteilung der Quellen, sondern nur um ein Abbild der erfassten Quellen. Es existieren auch im östlichen Teil des Parks Quellen, diese wurden jedoch noch nicht erfasst (HALLER ET AL, 2013). In der Abbildung 11 sind auch Quellen angezeigt, welche nicht auf dem Gebiet von SNP liegen. Sie wurden trotzdem in die neue Datenbank übernommen, da die Datenbasis durch die grössere Anzahl an Daten wächst und die Quellen zudem derzeit schon beim Datacenter des SNP erfasst sind.

11.1. Hitzesommer 2003

Der Sommer 2003 war in ganz Mitteleuropa ein Jahrhundertsommer. In der Schweiz waren die Monate Juni, Juli und August bis zu 5 Grad über dem langjährigen Mittel (Z'GRAGGEN, 2006). Dieses Extremereignis wird auch in den Temperatur- und Niederschlagswerten der Station Segl-Maria sichtbar. Die Temperaturwerte waren auch an dieser Station im Sommer 2003 bis zu 4 Grad Celsius über den Werten der letzten Jahre.

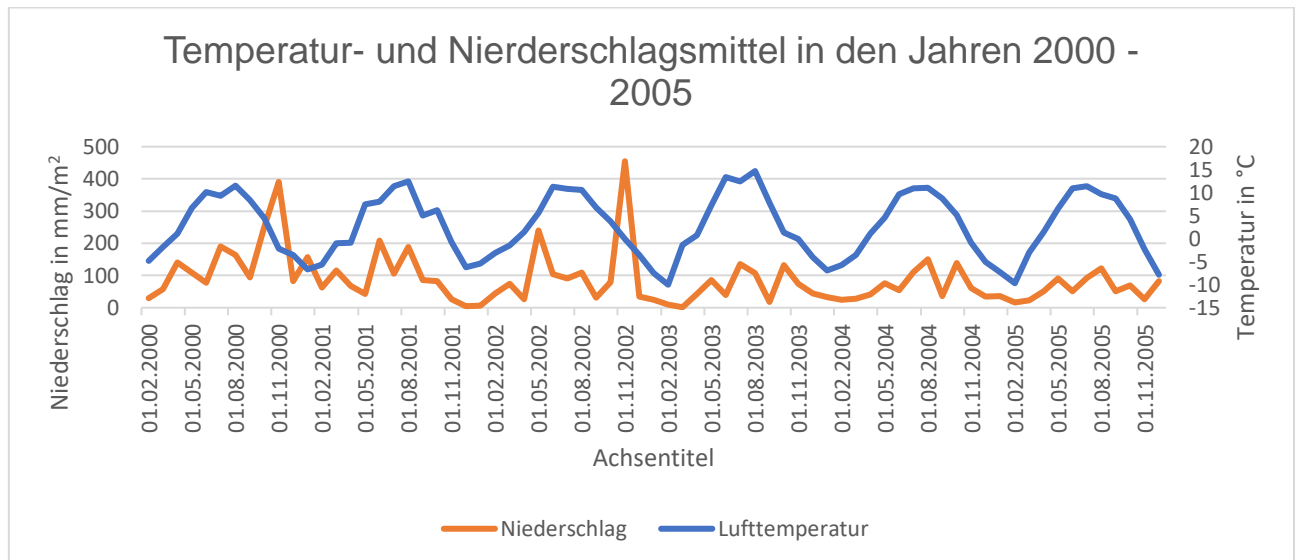


Abb. 12: Temperatur- und Niederschlagsmitte der Station Segl-Maria. Meteoschweiz.ch, 2017 (Verändert durch RUGGLI, 2017)

Im Folgenden soll untersucht werden, ob und wie sich diese extreme Hitze und auch der tiefe Niederschlag auf die Abflussmenge und die Wassertemperatur der unterschiedlichen Quellen ausgewirkt hat. Die Abflussdaten der hier analysierten Quellen zeigen, dass der Sommer 2003 auch auf Quellen einen Einfluss hatte. In den Quellen CS1, GS8, JL3 und PP10 wurde ein verminderter Abfluss gemessen. Die Quelle PG3 fiel sogar komplett trocken. In den Abbildungen 14-19 wird auch sichtbar, dass der Abfluss bei mehreren Quellen schon 2002 oftmals vermindert war. In den Abbildungen 14, 15, 17 und 18 wird dieser Rückgang gut sichtbar.

Die Daten zeigen aber auch, dass sich der Abfluss oftmals sehr schnell wieder erholt. So wiesen die Quellen im Jahre 2004 wieder einen durchschnittlichen Abfluss auf.

Die Auswertung der Wassertemperaturen in den Sommermonaten von 2003 zeigt, dass die Wassertemperaturen im Vergleich zu den vorherigen Jahren sehr ähnlich sind und somit nur

minim von den heißen Lufttemperaturen beeinflusst wurden. Die Quellen L3 und PP10 wiesen bei der Erfassung im Juli 2003 sogar eine tiefere Wassertemperatur als im August 2002 auf.

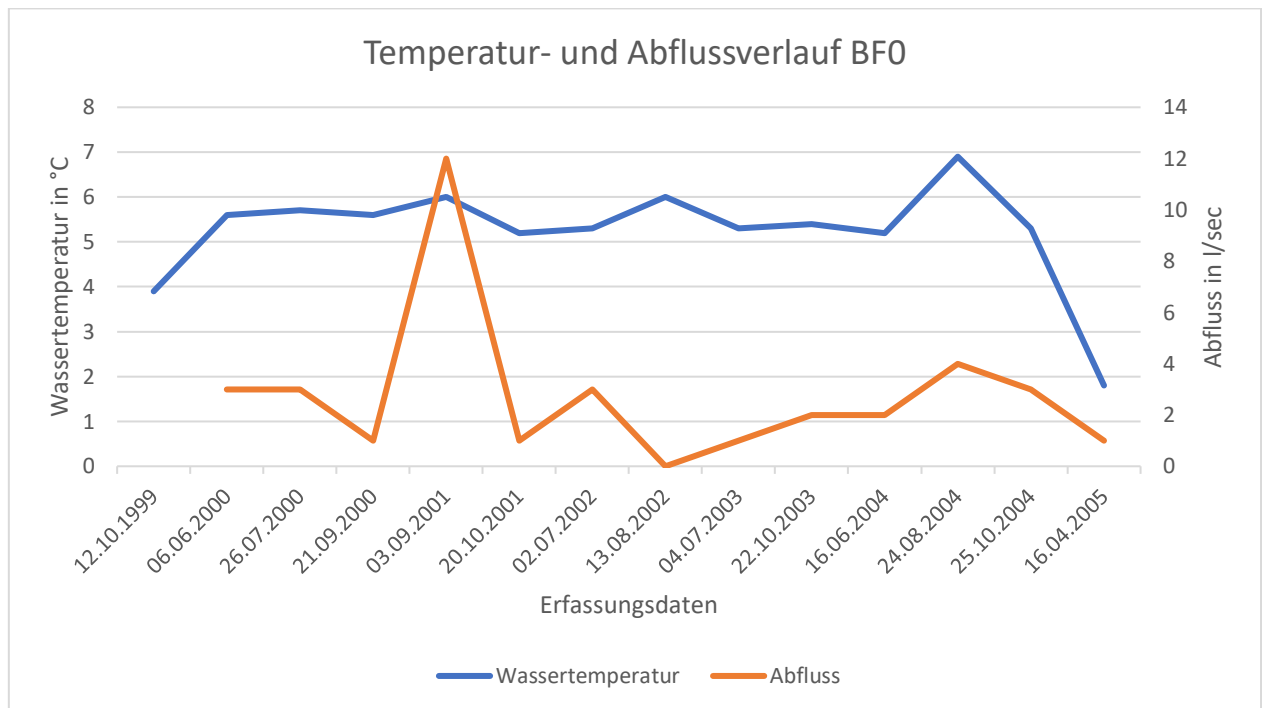


Abb. 13: Abflussmenge und Temperaturverlauf der Quelle BF0

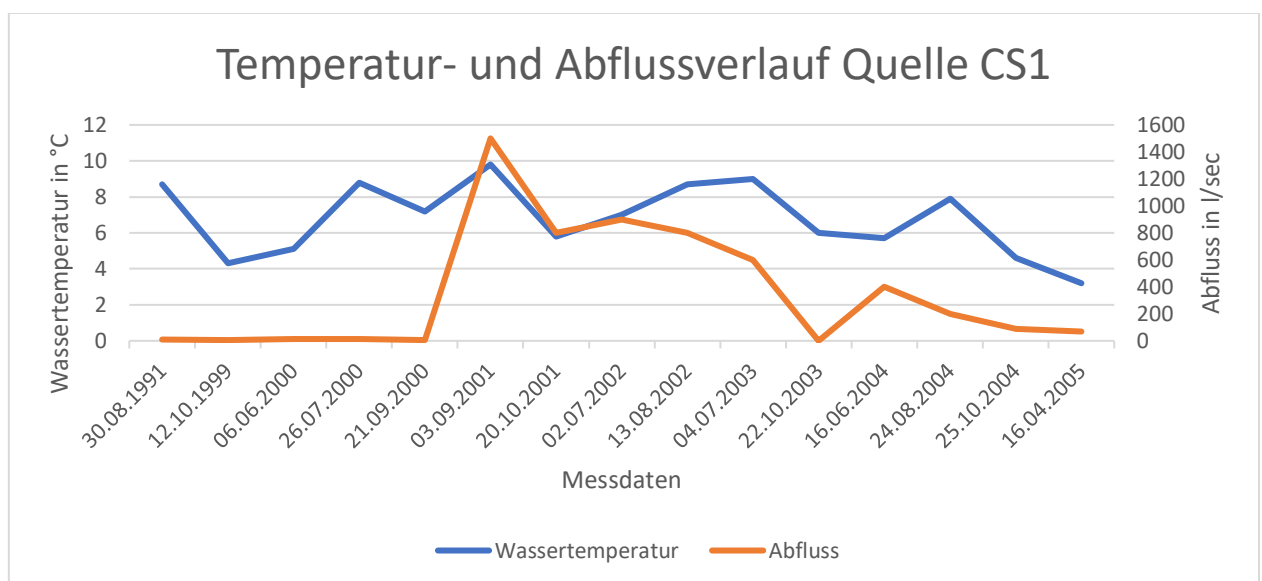


Abb. 14: Abflussmenge und Temperaturverlauf der Quelle CS1

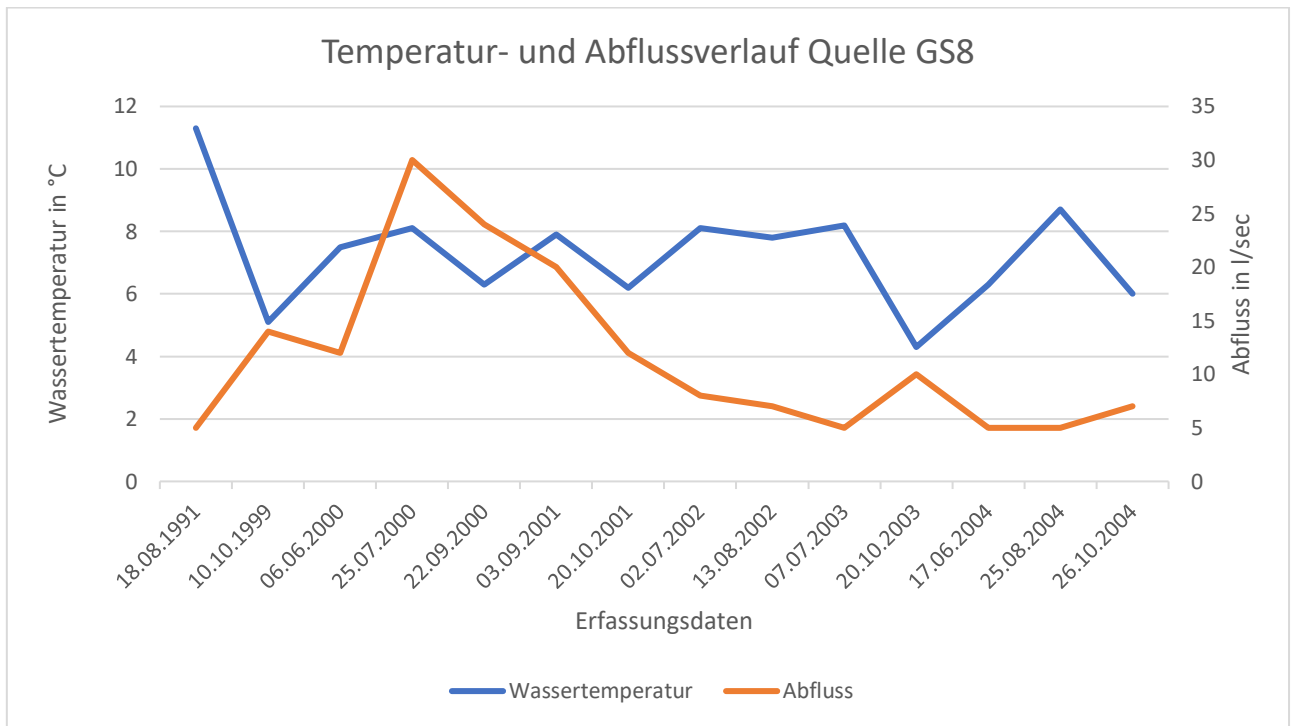


Abb. 15: Abflussmenge und Temperaturverlauf der Quelle GS8

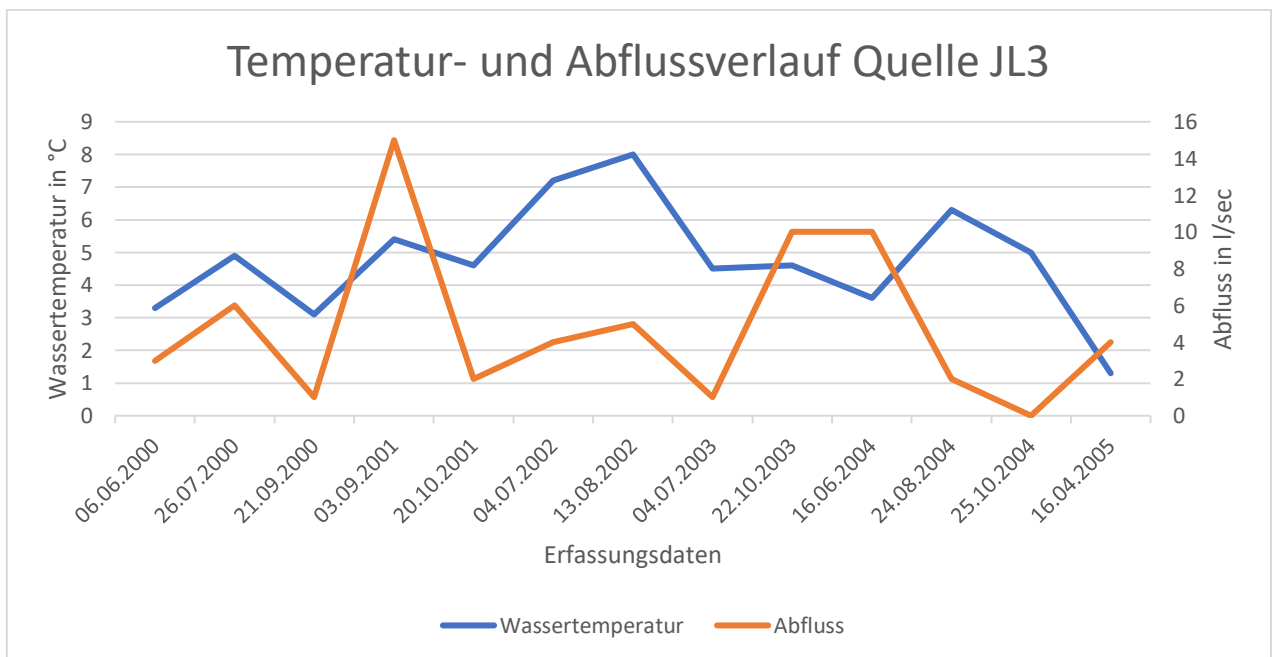


Abb. 16: Abflussmenge und Temperaturverlauf der Quelle JL3

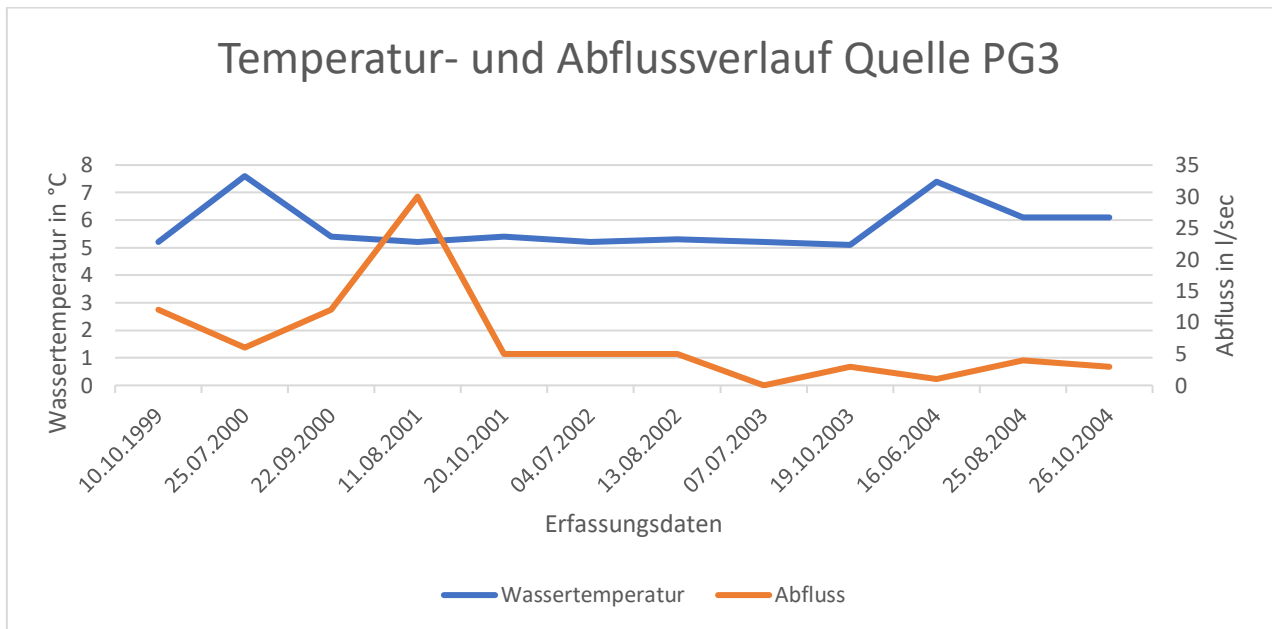


Abb. 17: Abflussmenge und Temperaturverlauf der Quelle PG3

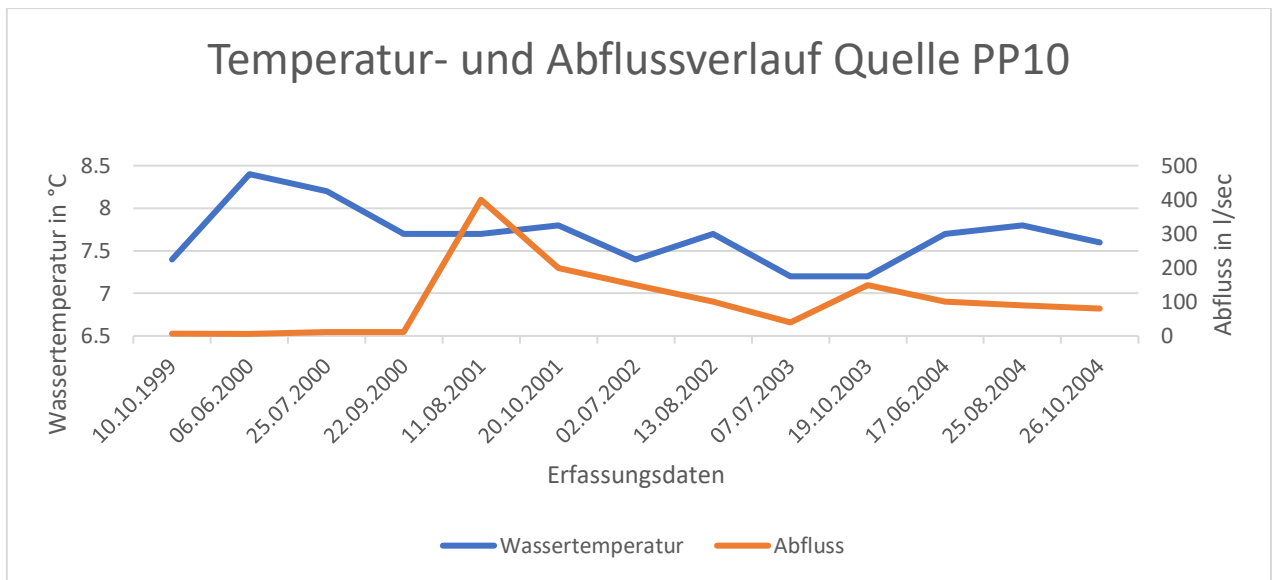


Abb. 18: Abflussmenge und Temperaturverlauf der Quelle PP10

11.2. Räumliche Korrelationen

Im folgenden Teil soll untersucht werden, ob es räumliche Korrelationen zwischen zwei Bergflanken und zwischen zwei Tälern gibt.

In der Auswertung der Daten der ost- bzw. westgerichteten Bergflanken des Val Chaschauna geht es darum, herauszufinden, ob es kleinräumige Unterschiede in den chemisch-physikalischen Parametern gibt, welche sich aufgrund der Exposition erklären lassen. Die PCA dieser Quellen zeigt, dass sich die Werte der Quellen in einem sehr ähnlichen Mass bewegen und somit nicht aufgrund ihrer chemisch-physikalischen Parametern in west- und ostgerichtete Quellen aufgeteilt werden können.

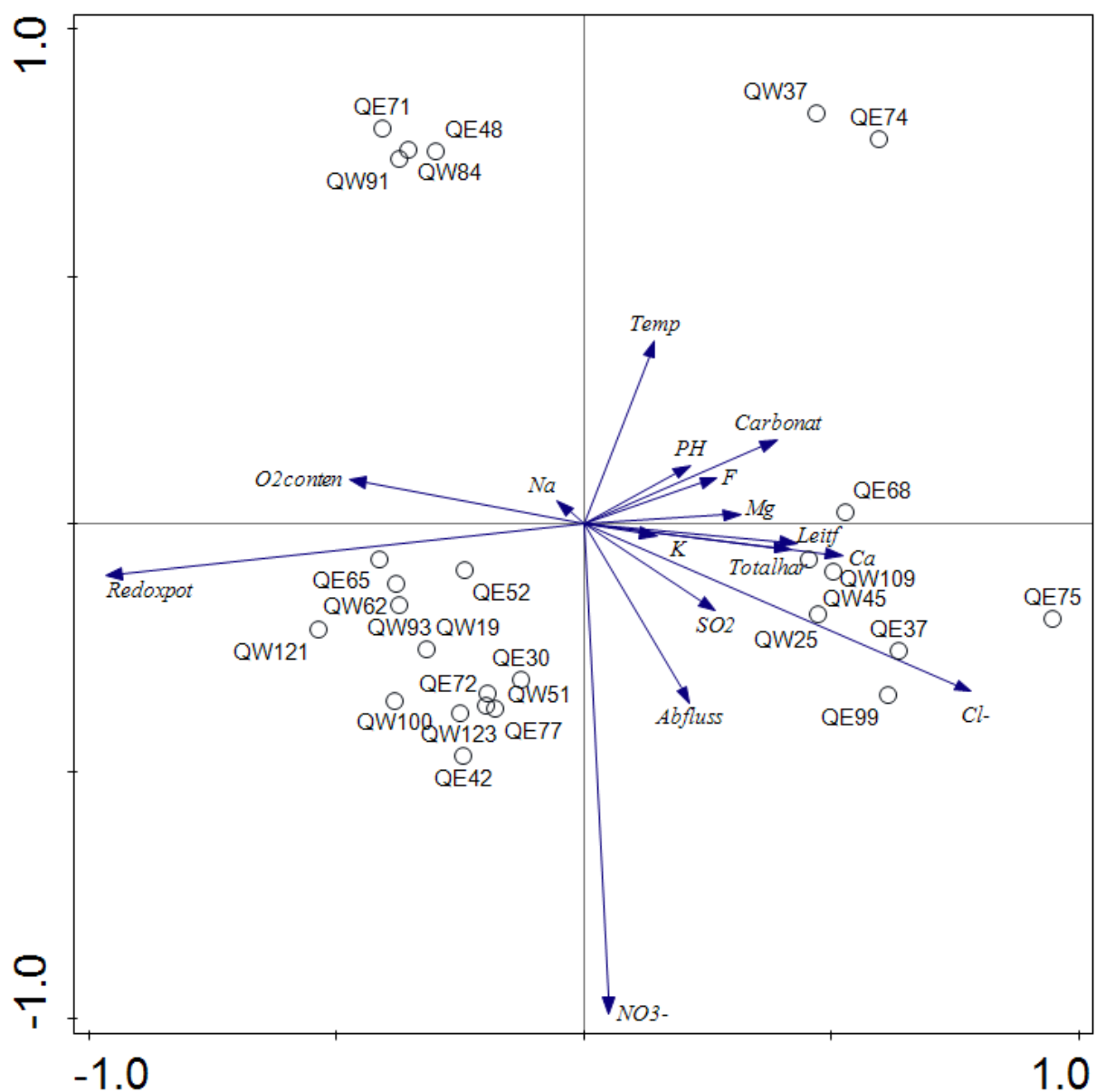


Abb. 19: PCA der ost- bzw. westgerichteten Bergflanken des Val Chaschauna

Die PCA der Quellen des Vallatsch und des Macun zeigen eine klare Verteilung der Quellen. Auf der X-Achse zeigt sich, dass nur die Leitfähigkeit eine hohe positive Ladung hat, während die restlichen Parameter eine negative Ladung besitzen. Die stärkste negative Ladung weist die Sauerstoffkonzentration auf (O2%). Auf der Y-Achse ist der Sauerstoffgehalt auffällig, welcher eine starke negative Ladung aufweist.

Während die Quellen aus dem Vallatsch (Benennung mit QE) von der Leitfähigkeit beeinflusst sind, werden die Quellen der Macunseenplatte (Benennung mit Q) von der Temperatur, pH und Sauerstoff beeinflusst.

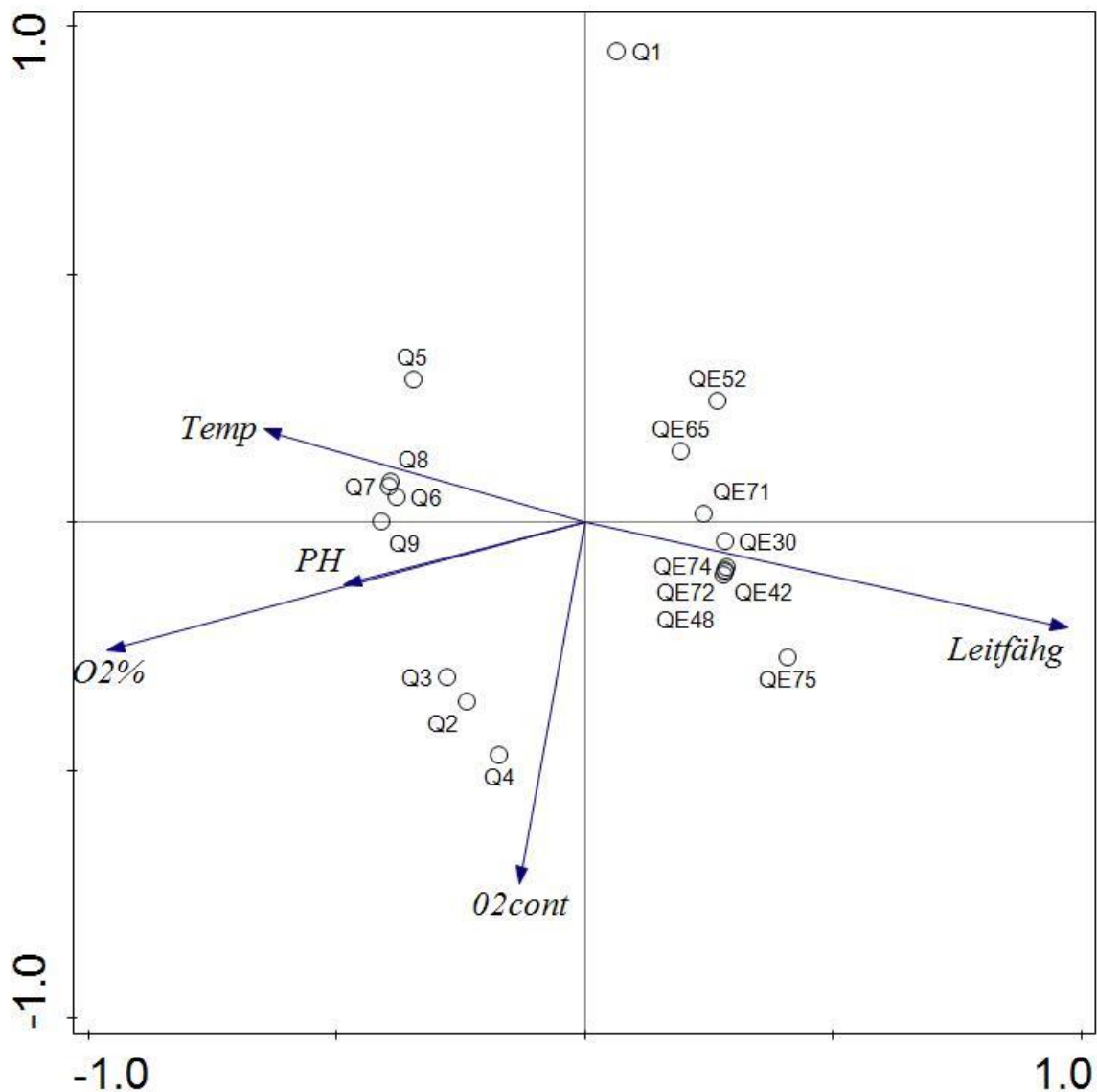
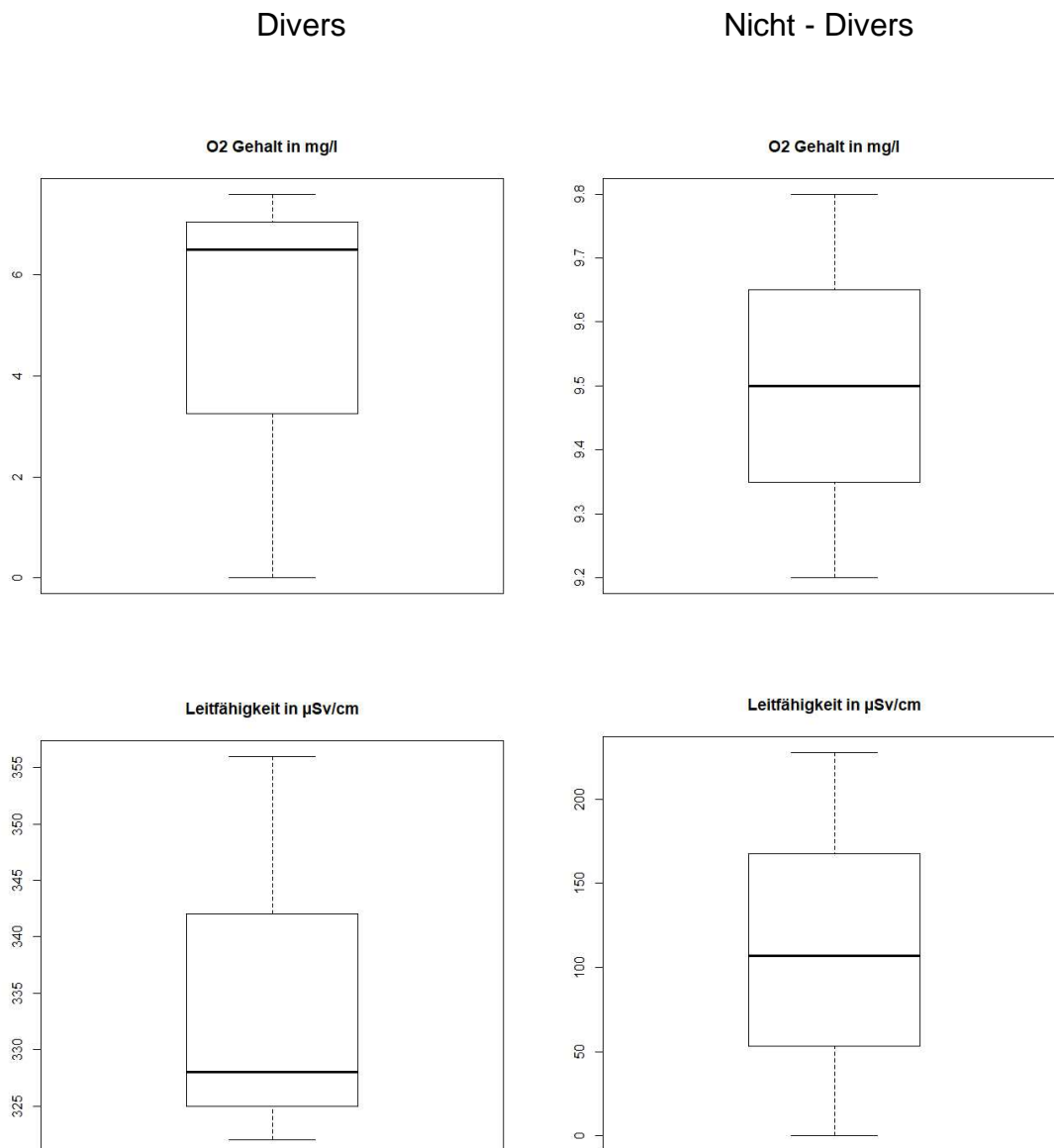


Abb. 20: PCA der Quellen des Vallatsch und des Macuns

11.3. Korrelationen zwischen der Fauna und den chemisch-physikalischen Parametern

Für die Überprüfung einer Korrelation zwischen der faunistischen Diversität und den chemisch-physikalischen Parametern, wurden die drei Quellen mit der höchsten und die drei Quellen mit der tiefsten Diversität verglichen.

Die Ergebnisse dieser Analyse zeigen, dass in den Quellen mit der höchsten Diversität sowohl die Leitfähigkeit, als auch die Wassertemperatur höher waren, als in den Quellen mit der tiefsten Diversität. Die Boxplots zeigen auch, dass in den weniger diversen Quellen sowohl der Sauerstoffgehalt, als auch der pH-Wert höher waren.



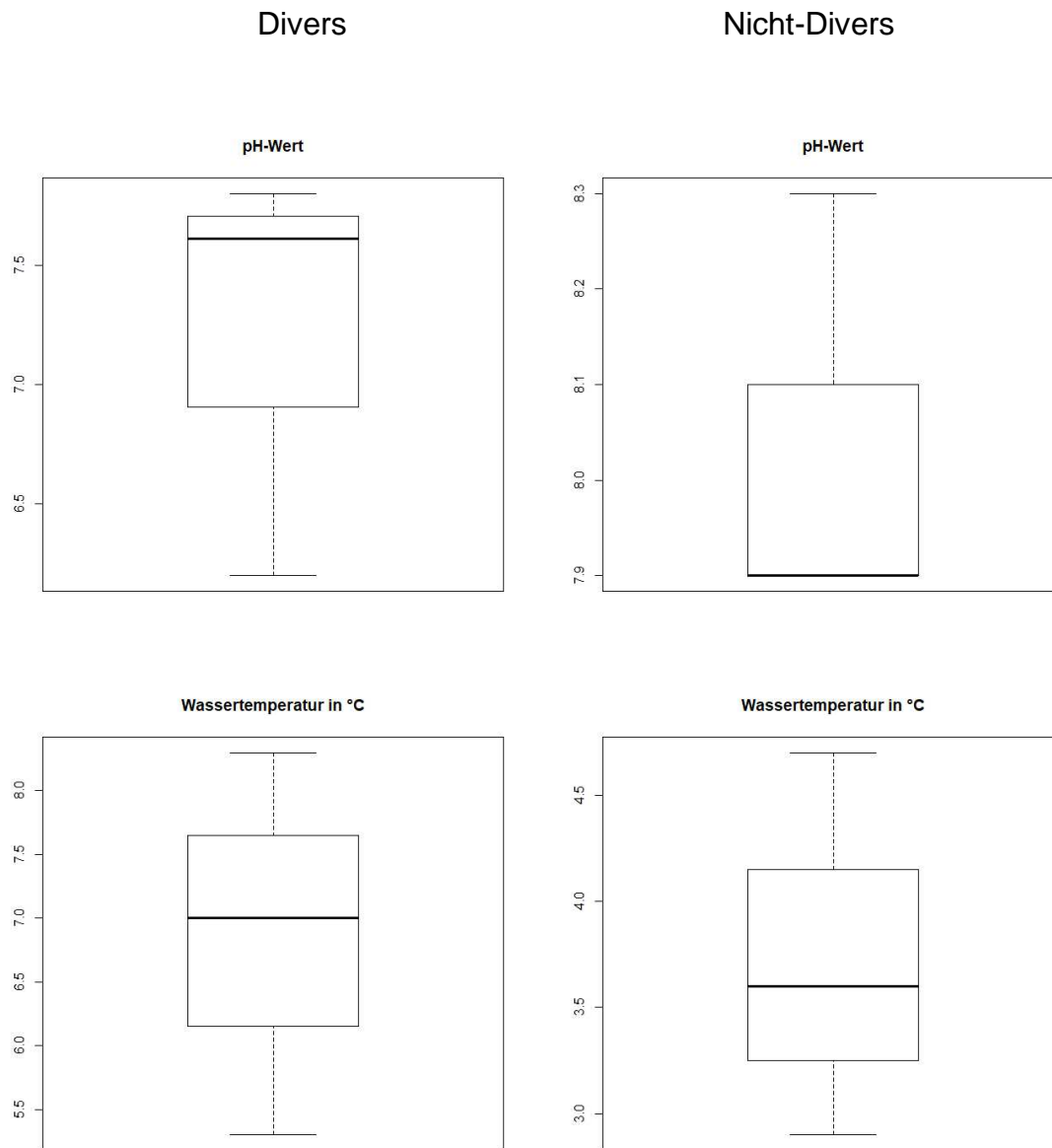


Abb. 21: Boxplot der diversesten (links) und am wenigsten diversen Quellen (rechts)

11.4. Hervorhebung einzelner Quellen für Monitoringprojekte

Wie in der Methodik beschrieben, wurden für die Identifikation von besonderen Quellen die diversesten Quellen und Quellen, welche in einer Zeitreihe erfasst wurden gesucht. Des Weiteren werden die Quellen hervorgehoben, welche die extremsten Werte der chemischen Parameter aufweisen.

11.4.1. Faunistik

Die Auswertung der faunistischen Daten zeigt, dass die Quelle VS2 an den Koordinaten 814746 / 172232 der Standort ist, in welchem am meisten Taxa gefunden wurden. Insgesamt wurden nur in dieser Quelle 31 Spezies erfasst. Die Ergebnisse aller Quellen zeigt, dass in 22 von 56 faunistisch erfassten Quellen mindestens 20 Spezies gefunden wurden. Die Aufstellung der Daten in Tabelle 1 zeigt, dass Dipteren in allen erfassten Quellen mit 298 Mal am meisten genannt wurden. Bivalvia wurde mit 16 Funden am wenigsten genannt.

Tabelle 1: Zusammenfassung aller faunistischen Daten

Quelle_ID	Div_Acari	Div_Bivalvia	Div_Ephemeroptera	Div_Turbellaria	Div_Oligochaeta	Div_Gastropoda	Div_Ostracoda	Div_Plecoptera	Div_Coleoptera	Div_Trichoptera	Div_Diptera	Div_ALL
600	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	1	4
464	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	5
1341	0	0	0	0	0	1	0	0	2	1	3	7
592	0	0	0	1	1	0	0	2	0	2	2	8
473	0	0	0	0	0	1	0	3	0	1	4	9
514	0	1	0	1	1	2	0	3	0	0	1	9
596	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	6	9
1340	0	0	0	0	1	1	0	3	0	1	4	10
1184	0	0	0	0	0	1	1	6	0	1	3	12
505	0	0	1	1	1	0	0	4	0	3	3	13
593	0	0	2	1	1	0	0	3	0	2	4	13
594	2	0	0	1	1	1	1	3	0	2	2	13
551	0	0	2	0	0	0	0	4	0	3	5	14
588	0	0	1	1	0	0	0	2	0	3	7	14
591	0	0	1	1	0	0	0	4	0	4	4	14
1180	2	0	0	1	1	1	0	4	1	0	4	14
601	0	1	0	1	1	1	1	2	0	1	7	15
450	2	2	1	1	1	1	1	2	0	3	2	16
469	1	0	1	0	0	1	0	2	0	4	7	16
471	1	0	0	0	0	0	0	2	2	1	10	16
549	4	0	1	0	0	1	0	3	0	4	3	16
595	2	2	0	1	1	1	1	1	0	3	4	16
1347	4	0	0	1	0	1	1	5	0	0	4	16
487	1	0	1	0	0	0	0	4	1	3	7	17
563	1	0	1	0	1	1	0	8	0	1	4	17
589	0	0	1	1	1	3	0	3	0	3	5	17

1338	1	0	0	1	0	0	0	2	2	1	10	17
1339	1	0	1	1	0	1	0	2	0	4	7	17
597	0	1	1	1	1	1	1	3	2	2	5	18
598	0	1	1	1	1	0	1	4	0	2	7	18
1186	6	0	2	0	0	0	1	6	0	0	3	18
1342	2	0	1	0	0	3	0	2	3	1	6	18
1352	1	0	1	1	0	0	0	4	1	3	7	18
548	5	0	1	0	0	0	1	3	1	4	4	19
489	6	0	0	0	0	1	0	5	1	1	6	20
569	7	0	1	0	0	1	1	5	0	2	3	20
590	0	0	0	1	1	0	0	2	1	4	11	20
1179	2	0	1	1	0	0	0	5	0	4	7	20
493	5	0	0	0	0	1	0	6	1	1	7	21
550	3	0	0	0	0	0	0	3	1	5	9	21
1346	4	0	0	0	0	1	0	6	2	0	8	21
540	0	0	2	1	1	0	1	4	1	4	8	22
1176	3	0	1	1	1	1	0	6	1	2	6	22
1344	4	0	1	1	0	0	0	7	3	1	5	22
1350	5	0	0	1	0	1	0	6	1	1	7	22
497	2	0	2	0	0	2	0	6	0	5	6	23
599	0	0	0	1	1	1	1	6	1	1	11	23
1348	2	0	2	1	0	2	0	6	0	4	6	23
1351	6	0	0	1	0	3	0	5	1	1	6	23
1324	7	0	2	0	0	0	1	7	1	2	4	24
1396	2	0	0	1	1	0	0	9	0	6	5	24
1343	8	2	0	0	0	2	0	3	0	2	9	26
555	6	1	1	0	0	2	1	6	3	2	5	27
568	9	1	1	0	0	1	1	8	0	2	4	27
1345	8	2	0	0	1	2	1	4	3	2	4	27
1349	6	1	1	1	0	4	1	6	3	3	5	31

11.4.2. Zeitreihen

Für die Identifikation der Quellen, welche mehrfach beprobt wurden, wurde ein GIS Layer für eine vereinfachte Übersicht erstellt. Dies soll die Planung von zukünftigen Arbeiten vereinfachen und übersichtlicher gestalten. Insgesamt wurden 82 Quellen im SNP mehrfach beprobt. Dabei gibt es jedoch grosse Unterschiede in der Anzahl der Beprobungen. Nach der Analyse zeigte sich, dass nur 18 von 82 Quellen mehr als viermal beprobt wurden. Zudem gibt es grosse Unterschiede in der Anzahl erfasster Parameter. So erfasste POINTER (1955) 19 Parameter, während bei anderen Quellen von anderen Wissenschaftlern nur die Wassertemperatur, der pH-Wert und die Abflussmenge gemessen wurden.

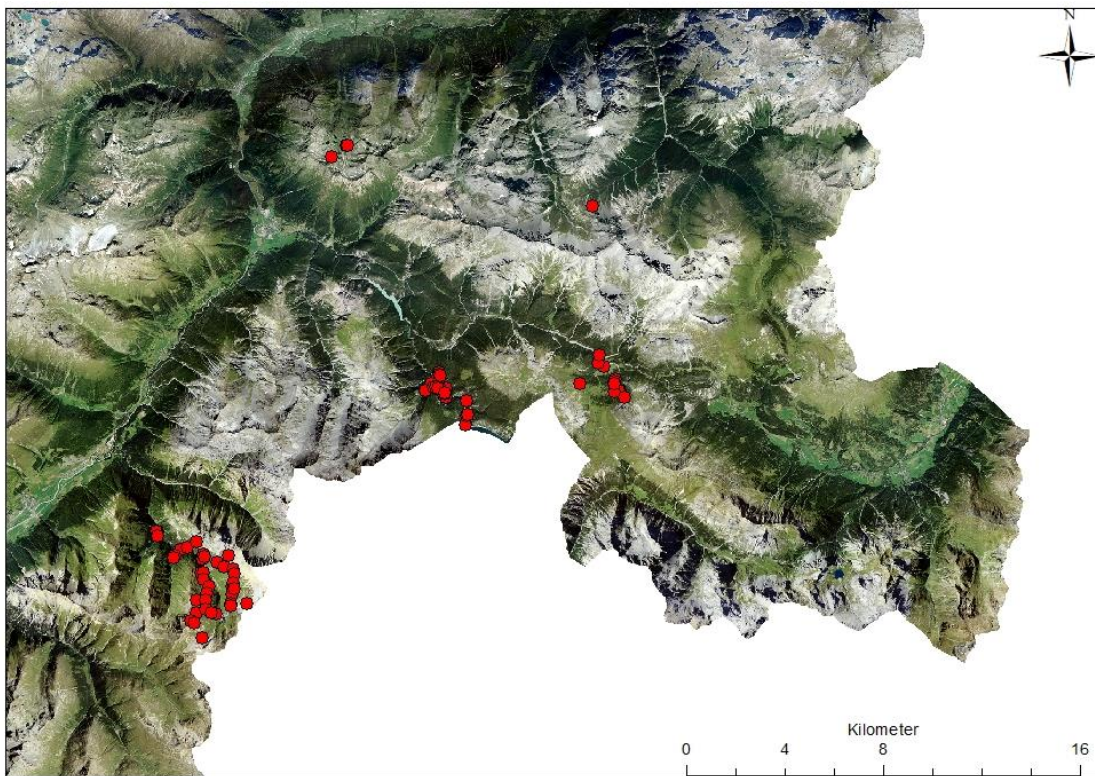


Abb. 22: Übersichtskarte aller mehrfach erfassten Quellen im SNP

11.4.3. Chemische Parameter

Die Zusammenfassung der Maxima und Minima der erfassten chemischen Parameter zeigt sehr gut die grosse Diversität der Quellen auf dem Gebiet des Schweizerischen Nationalparks. Die Ergebnisse zeigen, dass mehrere Extremwerte in der gleichen Quelle gemessen wurden. So wurde in der Quelle 499 sowohl die höchste Alkalinität als auch am meisten Chlor gemessen. In der Quelle 466 wurden die höchsten Calcium-, HCO₃- und Siliciumdioxidwerte gemessen. Bei den negativen Extrema zeigt sich ein ähnliches Bild. So wurde bei der Quelle 454 der tiefste Calcium-, HCO₃- und Siliciumdioxidwert gemessen,

Tabelle 2. Maxima und Minima die erfassten chemischen Parameter

Parameter	Maximum	Quelle_ID_Max	Minimum	Quelle_ID_Min
Alkalinität	25.8	499	0.92	510
Calcium	81.8 mg/l	466	13 mg/l	454
Chlor	10mg/l	499	0.1 mg/l	798
Fluorid	1247 mg/l	806	0 mg/l	810
HCO ₃	308.8 mg/l	466	58 mg/l	454
Kalium	0.605 mg/l	800	0.1 mg/l	798
Leitfähigkeit	1758 µSv / cm	777	0 µSv / cm	441
Magnesium	49.6 mg/l	514	1.2 mg/l	535
Natrium	1.595 mg/l	800	3.825 mg/l	799
Nitrat	1557 mg/l	815	0 mg/l	805
pH	9.8	1414	5.9	416
Siliciumdioxid	9 mg/l	466	0.5 mg/l	454
Sulfat	93.2 mg/l	431	1.9 mg/l	479

Teil IV: Diskussion und Ausblick

12. Methodendiskussion

Bevor die Quelldaten aggregiert wurden, wurden alle Datensätze durchgesehen und ausgewertet. Während dieser Aufarbeitung der Daten fiel auf, dass ein gewisser Teil der vorhandenen Daten nicht auf dem Gebiet des SNP liegen. Der Grund dafür ist wahrscheinlich, dass diese Arbeiten zwar in territorialer Hinsicht nicht auf dem Gebiet des SNP geforscht haben, trotzdem aber in Zusammenarbeit mit dem Nationalpark gemacht wurden und somit auch die Metadaten an den SNP abgegeben wurden. Dies macht dahingehend Sinn, dass in einem anderen Fall die Daten sehr wahrscheinlich nicht an einer zentralen Stelle gespeichert worden wären. Aus diesem Grund wurden auch in dieser Arbeit die genannten Quellen miterfasst.

Während der Homogenisierung fiel auf, dass nur in wenigen Arbeiten die Einheiten der Messwerte angegeben sind. Wahrscheinlich wurde vom Autor erwartet, dass der Leser die Einheiten der jeweiligen Parameter kennt. Dies kann jedoch zu Problemen führen, wenn sich, wie im nächsten Absatz beschrieben, die Standardmasseinheiten ändern.

Bei der Durchsicht zeigte sich, dass in älteren Arbeiten noch mit der Einheit Val, bzw. Mval gearbeitet wurde. Ein Val steht für diejenige Stoffmenge eines Stoffes, die ein Mol Wasserstoff zu binden oder in Verbindungen zu ersetzen vermag. Die Einheit wurde am 01.01.1978 abgeschafft und durch die SI-Einheit Mol ersetzt. Bei diesen Werten stellt sich die Frage, ob sie umgerechnet werden sollen oder beibehalten werden. In dieser Arbeit wurden die Daten jedoch in Val übernommen, da die Daten einerseits nur in einer Arbeit in Val beschrieben waren und andererseits, die Umrechnung den Rahmen der vorliegenden Arbeit gesprengt hätten.

Bei der Auswertung der Daten für die Analyse des Hitzesommers 2003 zeigte sich, dass es zwar viele Quellen gibt, welche mehrfach beprobt wurden, jedoch nur wenige im gefragten Zeitraum zwischen 2002 und 2004 mehrfach besucht wurden. Aus diesem Grund konnten nur fünf Quellen für die Analyse über den Einfluss des Hitzesommers genutzt werden. Da die Ergebnisse der Quellen eindeutig sind, können trotz der wenigen vorhandenen Daten, die erhöhten Lufttemperaturen und der verminderte Niederschlag als Ursachen für die gemessenen Werte ausgemacht werden.

Wie bei der Analyse des Hitzesommers 2003 litt auch die räumliche Analyse unter der dünnen Datenbasis. Aufgrund der geographischen Verteilung der Quellen konnten nur bestimmte Gebiete verglichen werden. Dies führte dazu, dass die Vergleiche zwischen den einzelnen Gebieten weniger aussagekräftig wurden wie erhofft.

Die Hervorhebung einzelner Quellen für eine weitere Beobachtung zeigte, dass sich aus unterschiedlichen Blickwinkeln sehr viele Quellen für ein Monitoringprojekt qualifizieren. Die Kategorien der diversesten Quellen, der Quellen in Zeitreihen und der Quellen mit den extremsten Messwerten wurden gewählt, um die Quellen zu kategorisieren, sie aus verschiedenen Blickwinkel zu beleuchten und für zukünftige Forschungsfragen zu identifizieren. Jedoch führte diese reine Hervorhebung auch dazu, dass die Aussagekraft eher gering bleibt, da sie eine Planungshilfe für die Zukunft sein soll und nicht die Hauptfragestellung in dieser Arbeit ist.

Bei der faunistischen Bewertung der Quellen wurden nur die Nennungen der Quellen genutzt und nicht die Individuenzahlen. Der Grund dafür ist, dass nicht alle Quellen identisch beprobt wurden und zum Teil nur «presence and absence» festgestellt wurde. Somit konnte für die Auswertung nur ein solches Schema genutzt werden. Wenn nur die Quellen genutzt worden wären, bei welchen die Individuenzahlen erfasst worden waren, wäre die Datenbasis so klein gewesen, dass keine aussagekräftige Analyse mehr möglich gewesen wäre.

Bei der Weiterführung der Zeitreihen muss beachtet werden, dass nicht alle Quellen gleich lang, den gleichen Abständen und nach einheitlichen Gesichtspunkten besucht und bewertet wurden. Somit gibt es zwar eine Vielzahl (82) an Quellen welche mehrfach beprobt wurden, jedoch nur wenige, welche langfristig und regelmässig besucht wurden. Somit müssen bei der Auswahl für zukünftige Quellbeprobungen einerseits die Zeitabstände und andererseits die erfassten Parameter beachtet werden. Nur so können die Quellen sinnvoll verglichen und daraus aussagekräftige Analysen gemacht werden.

13. Ergebnisdiskussion

Die in dieser Arbeit erstellte Datenbank zeigt, dass Datenbanken sich sehr gut in ein naturwissenschaftliches Umfeld integrieren lassen. Eine thematische Datenbank würde auch bei nur wenigen vorhandenen Daten, die Verwaltung bedeutend vereinfachen. Wie in dieser Arbeit gezeigt, kann eine Datenbank schlank aufgebaut sein und trotzdem ohne Probleme funktionieren und von Nutzen sein. Ein weiterer Vorteil einer solchen Datenhaltung ist es, dass der komplette Datensatz einfach und platzsparend verschickt werden kann.

Die Schlankheit der Datenbank offenbart aber auch gewisse Mängel. So müssen gewisse Funktionen und Abfragen der Daten immer noch manuell durchgeführt werden. Ein Beispiel dafür ist die Datenerfassung: Es wäre technisch möglich den kompletten Importvorgang von neuen Daten mit allen Verknüpfungen via SQL Server Data Transformation Services (DTS) aus einer Exceldatei durchzuführen. Jedoch würde dies auch bedeuten, dass die Datenerfassung gewissen Formatvorgaben folgen müsste. Dies würde die Dateneingabe für die ErfasserInnen bedeutend verkomplizieren. Die hier vorliegende Datenbank soll ein möglichst guter Kompromiss zwischen Benutzerfreundlichkeit und Datensicherheit sein.

Die erfassten Daten der untersuchten Quellen zeigen, dass der Sommer 2003 einen grossen Einfluss auf die Quellen hatte. Die Analyse der Zeitreihen machte sichtbar, dass bei allen untersuchten Quellen der Abfluss vermindert war, jedoch die Wassertemperaturen in den Quellen nur minim beeinflusst wurden.

Bei der Analyse der Abflussmengen zeigte sich, dass sich dieser aufgrund des verminderten Niederschlags nicht nur verkleinerte, sondern dass gewisse Quellen komplett trockenfielen. Dieses Trockenfallen stellt ein Extremereignis für die stenöke Quellfauna dar (WIGGER, 2014). Der ausbleibende Abfluss bedeutet meistens den Tod der Quellfauna. Jedoch können Quellen zum Teil innerhalb eines Jahres aus benachbarten Quellen wiederbesiedelt werden (VON FUMETTI, 2016). Wie gut trockengefallene Quellen im SNP wiederbesiedelt werden können, müsste jedoch für jede Quelle einzeln untersucht werden. Gerade bei isolierten Quellen, welche keine «stepping-stone» Habitats in der Nähe aufweisen, dauert die Wiederbesiedlung bedeutend länger als bei gut vernetzten Quellen.

Anders als erwartet veränderte sich die Wassertemperatur in den Quellen nur sehr gering. Es wurde erwartet, dass sich die Wassertemperaturen aufgrund der erhöhten Lufttemperaturen langsam, aber stetig erhöhen. Die Analyse zeigte jedoch bei keiner der ausgewerteten Quellen eine starke Erhöhung ($>1^{\circ}\text{C}$) der gemessenen Wassertemperaturen. Der Grund für diese Nicht-Erwärmung liegt in der Trägheit des Bodens und des Grundwasserkörpers bei der Erwärmung. Gerade das Grundwasser ist von den saisonalen Temperaturen entkoppelt und

widerspiegelt die mittlere Jahreslufttemperatur einer Region (SCHÖNBORN ET AL, 2013). Somit ist die Quellwassertemperatur über das ganze Jahr konstant und wird nicht durch saisonale Extremereignisse beeinflusst. Bei wiederkehrenden Hitzewellen, welche das lokale Klima verändern würden, wäre es theoretisch denkbar, dass sich die Grundwassertemperatur erhöht.

Da sich der Abfluss im nächsten Jahr wieder im Mittel der letzten Jahre bewegte, kann mit grosser Sicherheit gesagt werden, dass diese Werte durch diesen Jahrhundertssummer ausgelöst wurden. Die Analyse zeigte jedoch auch, dass der Abfluss, beziehungsweise der ausbleibende Niederschlag, einen viel grösseren Einfluss auf die Quellen hat, als die Temperaturen. Während sich die Temperaturen nur gering veränderten, ging der Abfluss bei allen Quellen stark zurück oder fiel sogar komplett trocken. Dies zeigt, dass bei zukünftigen Analysen von Hitzesommern der Fokus bei der Quellforschung auf dem Niederschlag und dem damit verbundenen Abfluss liegen sollte.

Die Ergebnisse der PCA der Quellen des Val Chaschauna, welche gegen Osten und Westen, zugewandt sind, zeigen, dass die Unterschiede trotz verschiedenen Expositionen gering sind. Es wurde erwartet, dass sich sowohl der Abfluss, als auch die Wassertemperatur aufgrund der unterschiedlichen Sonneneinstrahlung und unterschiedlichem Niederschlag in ihren Messwerten unterscheiden. Die grundsätzliche Datenanalyse zeigt jedoch, dass der Abfluss der verschiedenen Quellen gleich gross ist (2 l/sec) und die Wassertemperatur sich lediglich um 1° Celsius unterscheidet.

Der Grund für diese geringen Unterschiede liegen in der Kleinräumigkeit des untersuchten Gebiets. Auf einem Areal von nur 3 Quadratkilometern sind sowohl die meteorologischen, als auch die geologischen Unterschiede zu klein um signifikante Unterschiede aufzuzeigen. Die PCA zeigt weiter, dass viele unterschiedlichen Parameter einen Einfluss auf die Quellen haben und diese nicht geographisch voneinander abhängig sind. Dies zeigt sich dadurch, dass es bei jedem erfassten Parameter sowohl Quellen von der West-, als auch von der Ostflanke hat.

Im Gegensatz zu der PCA des Val Chaschauna zeigt die PCA des Macuns und des Vallatscha eine klare Verteilung. Es wurde sichtbar, dass die Leitfähigkeit und der Sauerstoffgehalt die wichtigsten abiotischen Einflussfaktoren sind. Der klare Unterschied der geographischen Areale lässt sich damit erklären, dass die Quellen des Macun in einem kristallinen Gebiet entspringen (HALLER ET AL., 2013). Dieses Ergebnis über die Unterschiede zwischen dem Macun und dem restlichen geologisch homogenen Nationalpark stimmt mit den Ergebnissen von STEINER (2005) überein, welcher die grossen Unterschiede in seiner Arbeit «Hydrogeologie und -geochemie von ausgewählten Quellen im Schweizerischen Nationalpark.» bereits festgestellt hatte.

Die physikalischen und chemischen Vergleiche zwischen den Quellen mit der höchsten und tiefsten Diversität zeigen Unterschiede in den Messwerten. So war der Median in den diversesten Quellen fast doppelt so hoch (7°C) wie in den Quellen mit der tiefsten Diversität (3.6°C). Dieser Unterschied lässt sich mit den unterschiedlichen Höhenlagen der Quellen erklären. So befinden sich die Quellen mit der tiefsten Diversität auf 2255 und 2266 Metern über Meer (M.ü.M.) Dabei wurde die Höhe bei einer Quelle nicht erfasst. Die diversesten Quellen liegen wiederum auf 2038, 2072 und 1725 M.ü.M. Bei Vergleichen zwischen Quellen auf unterschiedlichen Höhenlagen zeigte sich, dass sich die Quellwassertemperatur um bis zu 1,5°C pro 100 Höhenmeter unterscheiden kann (BREHM, 1973). Diese Veränderung der Temperatur über die Höhe kann auch eine Erklärung für die unterschiedliche Diversität sein. Aufgrund der tieferen Temperaturen ist die ökologische Nische kleiner und somit für weniger Arten passend. Arten welche neu in eine Quelle kommen können sich somit nur schwer etablieren.

Anders als erwartet folgt nur die Leitfähigkeit und nicht der pH-Wert den Beobachtungen von BREHM (1974). Er beobachtete ein Absinken sowohl von der Leitfähigkeit, als auch dem pH-Wert mit zunehmender Höhe über Meer. Da die Quellen in unterschiedlichen Gebieten liegen und es somit keine geologische Komponente gibt, beeinflussen andere Bestandteile, welche bei diesen Beprobungen leider nicht aufgenommen wurden, wie HCO₃, organische Säuren oder Salze den pH-Wert der Quellen. Wie bei der Wassertemperatur verkleinert sich die ökologische Nische aufgrund des basischeren Milieus in den weniger diversen Quellen. Diese, wenn auch kleine Veränderung, kann für pH-sensitive Organismen einen erheblichen Unterschied machen.

Die Analyse der Maxima und Minima zeigt, dass einzelne Quellen mehrere Extremwerte in einer Quelle aufweisen. So wurde in der Quelle 499 (BUS117) sowohl die höchste Alkalinität (25.8), als auch mit 10mg/l am meisten Chlor im Quellwasser gemessen. Des Weiteren wurde in der Quelle 466 (VCh1) nicht nur am meisten Calcium (81.1 mg/l) sondern auch das Maximum an HCO₃ (308.8 mg/l) gemessen. Da Hydrogencarbonate ein Sammelbegriff für mehrere Carbonate ist, kann nicht klar gesagt werden, welches für dieses Maximum verantwortlich ist. In Zusammenhang mit dem sehr hohen Calciumwert, liegt aber der Schluss nahe, dass es sich hier um Calciumhydrogencarbonat handelt, welches sich bei der Erosion von Kalkstein bildet (FALBE, 1999). Diese Schlussfolgerung lässt sich auch auf die Quelle 454 (VF1) übertragen, welche ein Minimum an HCO₃ (58 mg/l) und Calcium (13 mg/l) aufweist. Auch dies führt zu der Schlussfolgerung, dass es sich hier um Calciumhydrogencarbonat handelt. Jedoch besteht hier der Untergrund im Gegensatz zu der Quelle VCh1 aus einem Minimum an Kalkstein (HALLER ET AL., 2013).

14. Ausblick

Für die Zukunft gibt es mehrere Projekte, welche im Zusammenhang mit der im Rahmen der vorliegenden Arbeit erstellten Datenbank, verfolgt werden können.

Hohe Priorität sollte die Weiterführung der bisher schon vorhandenen Zeitreihen und die Implementierung dieser Daten in die Quelldatenbank haben. Nur so lassen sich die Daten in einen grösseren Kontext setzen und Umweltveränderungen, welche sich seit 1914 abgespielt haben, darstellen. Für eine grössere Konsistenz der Messwerte wäre es ideal, wenn die Quellen zu einem immer gleichen Zeitpunkt im Jahr besucht und beprobt werden würden. So würde die Vergleichbarkeit der einzelnen Messwerte steigen. Realistischerweise wird eine solche Beprobung mangels Personal nicht durchführbar sein.

Ein anderes wichtiges Projekt, welches zu einer verbesserten Datenbasis führen würde, wäre die Ergänzung von nicht vorhandenen Basisdaten bei schon erfassten Quellen. So sind in den Arbeiten von LUDER (1912) und CLAUSEN (2001) nur die Koordinaten der Quellen erfasst und keine weiteren Parameter. Dort wäre es gewiss von Vorteil, wenn zumindest Basisparameter wie Wassertemperatur, Leitfähigkeit, pH – Wert oder die Schüttung ergänzend erfasst werden würden. Bei einer solchen Beprobung könnte ausserdem überprüft werden, ob die Quellen noch bestehen. In der Arbeit von MÜHLEMANN (2017) zeigt sich, dass Quellen nach extremen Wetterereignissen sehr schnell verschwinden können. Eine generelle Überprüfung aller bisher erfassten Quellen wäre somit angebracht. Letztlich würde die Erfassung der aktuellen Koordinaten aller Quelle bei einer erneuten Beprobung einen grossen Vorteil bringen. Gerade bei Quellen, welche seit längerem nicht besucht wurden, würde sich eine erneute Messung des Standorts mit einem Gerät der neusten Generation sicherlich lohnen.

Bezüglich der Datenbank und der verbesserten Dateneingabe wäre eine weitere Automatisierung der Datenerfassung angebracht. So wäre es denkbar, dass es in Zukunft ein Graphical User Interface (GUI) geben würde, in welchem die Daten direkt und ohne Aufwand für den SNP in die Datenbank eingefügt werden können. Eine andere Möglichkeit wäre es, dass die Quellparameter direkt im Feld elektronisch erfasst werden und dann per WIFI oder Kabel direkt in die Datenbank eingespeist werden. All diese Methoden würden die Übersichtlichkeit und Zuverlässigkeit von erfassten Daten aus dem SNP stärken und dazu beitragen, dass erhobene Daten schneller und zuverlässiger miteinander verglichen werden können. Dies führt zu zielführenderen und aussagekräftigeren Vergleichen und Prognosen.

Literaturverzeichnis

Barquín et al., 2008. Management and conservation strategies for coldwater springs. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 18(5), 580-591.

Brehm, J., 1973. Hydrologische und chemische Übersichtsuntersuchungen an den Fliessgewässern des Schlitzerlandes. I. Quelltemperaturen. In: *Beiträge zur Naturkunde in Osthessen*, Heft 5/6, S.121-139.

Brehm, J., 1974. Hydrologische und chemische Übersichtsuntersuchungen an den Fliessgewässern des Schlitzerlandes. II. Elektrolyte in Quellwässern. In: *Beiträge zur Naturkunde in Osthessen*, Heft 7/8, S.78-93.

Brehm, J., 1985. Der pH-Wert von Buntsandsteinquellen und -bächen. II. Der Waldquell-pH-wert nach Höhenlage der Wasseraustritte und der Hangneigungsrichtung der Quelleinzugsgebiete im Knüllgebirge. In: *Beiträge zur Naturkunde in Osthessen*, Band 21, S.53-66.

Brendelberger et al., 2016. Grundwassergeprägte Lebensräume. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 60(2). Schweizerbart.

Buechler et al., 1993. Massnahmen zum Quellschutz (Measures for spring protection). *Crunoecia*, 2, 79-84.

Cantonati, M. et al., 2006. Springs of the Alps—sensitive ecosystems to environmental change: from biodiversity assessments to long-term studies. *Hydrobiologia*, 562(1), 59-96.

Clausen, M., 2001. Quartär- und Hydrogeologie in der Val Laschadura (GR). Universität Bern.

Erman, N. A., 2002. Lessons from a long-term study of springs and spring invertebrates (Sierra Nevada, California, USA) and implications for conservation and management. In *Conference proceedings. Spring-fed wetlands: important scientific and cultural resources of the Intermountain Region*.

Falbe et al., 1999. *Römpp-Lexikon Chemie*. Thieme.

Gerecke et al., 2002. Fünf Jahre Quellforschung im Nationalpark Berchtesgaden. *Forschungsberichte-Nationalpark Berchtesgaden*, 1(46), 67-72.

Haemmig et al. 2003. Quartär- und Hydrogeologie in der Val Trupchun und Umgebung. SNP.

Härder et al., 1983. Principles of transaction-oriented database recovery. ACM Computing Surveys (CSUR), 15(4), 287-317.

Horn et al., 2001. Lehr- und Übungsbuch Informatik, Bd.1, Grundlagen und Überblick. Fachbuchverlag Leipzig.

Jarosch, H., 2016. Grundkurs Datenbankentwurf. Springer.

Lubini et al., 2014. Bewertung von Quell-Lebensräumen in der Schweiz. Entwurf für ein strukturelles und faunistisches Verfahren. BAFU.

Luder, B., 1912. Landeshydrologie. BAFU.

Margreth, A., 2002. Quartaergeologische Untersuchungen im Unterengadin, GR. SNP.

Menetrey et al., 2005. Looking for metrics to assess the trophic state of ponds. Macro-invertebrates and amphibians. SNP.

Mühlemann, L. 2017. Quellen und Wasseraustritte im Tal der Clemgia im Unterengadin (GR). Institut für Natur-, Landschafts- und Umweltschutz. Universität Basel.

Murawski et al., 1992. Geologisches Wörterbuch. Springer.

Pfiffner, O. A., 2010. Geologie der Alpen. UTB.

Pointner, E., 2002. Quellhydrologie im SNP. SNP.

Postel, J. et al., 1985. File Transfer Protocol. Internet Engineering Task Force. RFC 959.

Schassmann, H., 1952. Quelleninventar SNP. SNP.

Schassmann, H., 1955. Chemische Untersuchungen in der Ova da Val Ftur im schweizerischen Nationalpark. Schweizerische Naturforschenden Gesellschaft zur wissenschaftlichen Erforschung des Nationalparks.

Schicker, E., 2017. Datenbanken und SQL. Springer.

Schindler, H., 2004. Bewertung der Auswirkungen von Umweltfaktoren auf die Struktur und Lebensgemeinschaften von Quellen in Rheinland – Pfalz. Dissertation. Abteilung Biologie, Universität Koblenz – Landau.

- Schönborn et al., 2013. Lehrbuch der Limnologie. Schweizerbart.
- Steiner, B., 2005. Hydrogeologie und -geochemie von ausgewählten Quellen im Schweizerischen Nationalpark. Diplomarbeit, Universität Bern.
- Strayer, D. L., 2006. Challenges for freshwater invertebrate conservation. *Journal of the North American Benthological Society*, 25(2), 271-287.
- Thienemann, A. 1907. Die Tierwelt der kalten Bäche und Quellen auf Rügen. (nebst einem Beitrag zur Bachfauna von Bornholm). *Mitt. Naturw. Ver. Vorpommern & Rügen*, 38(1906), 74-104.
- Townshend, J. R. G., 1991. Environmental databases and GIS. *Geographical information systems*, 2, 201-16.
- Trepp et al., 1932. Vegetation Map.
- Vetter et al., 1992. Quartär-, Aktuo- und Hydrogeologie im Val dal Spöl (Schweizerischer Nationalpark). *Geologische Grundlagen für langfristige Beobachtungen*. SNP.
- Voigt, K., 1998. Environmental information databases. *Encyclopedia of Computational Chemistry*.
- Von Fumetti et al., 2016. Wiederbesiedlung von Quellen im Südschwarzwald nach einem Austrocknungsereignis. *Handbuch Angewandte Limnologie: Grundlagen - Gewässerbelastung - Restaurierung - Aquatische Ökotoxikologie - Bewertung - Gewässerschutz*. V:10:2:1-7.
- Wigger, F. et al., 2013. Quellen und ihre Lebensgemeinschaften in den Berner Alpen. *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern*, 117-131.
- Zollhöfer, J., 1997. Quellen die unbekanntes Biotop: Erfassen, bewerten, schützen. *Bristol – Stiftung*.
- Zollhöfer, J., 1999. Quellen – bedrohte Biotop für Spezialisten. *Umwelt Aargau* 7. 11-14.
- Z'graggen, L. 2006. Die Maximaltemperaturen im Hitzesommer 2003 und Vergleich zu früheren Extremtemperaturen. *Meteoschweiz*.

Internetquellen

Admin, 2017. Bundesgesetz über den Schweizerischen Nationalpark im Kanton Graubünden (SR 454). Online verfügbar. URL: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19800379/index.html> (zuletzt besucht: 05.05.2017).

Meteoschweiz.ch, Klimanormwerte Buffalora. Online verfügbar. URL: http://www.meteoschweiz.admin.ch/product/output/climate-data/climate-diagrams-normal-values-station-processing/BUF/climsheet_BUF_np6190_d.pdf (zuletzt besucht: 16.05.2017).

Nationalpark.ch, Besonderheiten. Online verfügbar. URL: <http://www.nationalpark.ch/de/about/ueber-uns/naturoase/besonderheiten/> (zuletzt besucht: 01.05.2017).

Iucn.org, Category Ia: Strict Nature Reserve. Online verfügbar. URL: <https://www.iucn.org/theme/protected-areas/about/protected-areas-categories/category-ia-strict-nature-reserve> (zuletzt besucht: 19.05.2017).

Anhang

Redlichkeitserklärung

UNIVERSITÄT BASEL

PHILOSOPHISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE FAKULTÄT

Erklärung zur wissenschaftlichen Redlichkeit (beinhaltet Erklärung zu Plagiat und Betrug)

Bachelorarbeit / Masterarbeit *(nicht Zutreffendes bitte streichen)*

Titel der Arbeit *(Druckschrift)*:

Datenaggregation und Analyse aus 100 Jahren

Quellforschung im Schweizerischen Nationalpark

Name, Vorname *(Druckschrift)*:

Ruggli, Christoph

Name, Vorname (Druckschrift)

Matrikelnummer:

12-054-375

Hiermit erkläre ich, dass mir bei der Abfassung dieser Arbeit nur die darin angegebene Hilfe zuteil wurde und dass ich sie nur mit den in der Arbeit angegebenen Hilfsmitteln verfasst habe.

Ich habe sämtliche verwendeten Quellen erwähnt und gemäss anerkannten wissenschaftlichen Regeln zitiert.

Diese Erklärung wird ergänzt durch eine separat abgeschlossene Vereinbarung bezüglich der Veröffentlichung oder öffentlichen Zugänglichkeit dieser Arbeit.

ja nein

Ort, Datum:

Basel, 24.07.2017

Unterschrift: _____

Dieses Blatt ist in die Bachelor-, resp. Masterarbeit einzufügen.



Anleitung zur Quellerfassen und Datenmigration

Für DatenerfasserInnen

1. Kopfdaten abfüllen
2. Quelle_ID: Ist vom SNP vorgegeben
3. Arbeit_ID: Ist von SNP vorgegeben
4. X, Y, Z Koordinaten: in LV03
5. Titel der Arbeit: Muss identisch mit dem Titel sein, welcher an den SNP übermittelt wurde.
6. ErfasserIN: Nur der Nachname
7. Quellname: Fall Quelle schon erfasst: Muss identisch mit dem schon vorhandenen Namen sein
8. Gemessene Daten in die Tabelle abfüllen.
9. Bitte keine Kommas, sondern nur Punkte verwenden.
10. Bitte nichts an der Formatierung ändern!

Für Datenmigration

Vor der Migration

1. Arbeit mit Titel, Publikationsjahr und Erfasserin in der Tabelle «Arbeit» erfassen.
2. Die «Arbeits_ID» der DatenerfasserIn / dem Datenerfasser mitteilen
3. Fall die Quelle schon erfasst ist: «Quell_ID» mitteilen

Datenmigration

1. SQL Statement mit den Stammdaten (Spalte A) in eine neue SQL Query einfüge und ausführen.
2. SQL Statements aus der Exceltabelle «Quelle_Arbeit» in eine neue SQL Query einfügen und ausführen.
3. SQL Statements mit den erfassten Parametern in eine neue SQL Query einfügen und ausführen.
4. Schritt 3 solange wiederholen bis alle Parameter erfasst sind.

Beispiel einer ausgefüllten Datenerfassungstabelle

1	Quell_ID	Arbeits_ID	X	Y	Z	Titel_Arbeit	Publikationsjahr	Erfasser_IN	Erfassungsjahr	Erfassungsmonat	Erfassungstag	Erfassungszeit	QuelleName	Fassungsart	Wassertemp.	Leitfähigkeit	pH	O2 Konz.	Ca	SOD	NO3
2	76	2	811750	170970	2000	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1961	8	31	Null	008S		4.5		7.35	9.6	33.7	64.4	0
3	77	2	811700	170980	1990	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1959	9	6	Null	008S		5.2		7.3	9.5	38.5	19.2	0
4	78	2	811620	171000	1970	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1955	7	27	Null	010S		5.8		7.4	9.4	36.9	48	0
5	79	2	811670	170650	2120	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1959	8	31	Null	011S		5.5		7.4	9.5	57.5	59.6	0
6	80	2	811590	170630	2110	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1959	8	31	Null	012S		5.3		7.8	9.6	67.3	143.4	0
7	81	2	811500	170630	2080	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1959	9	4	Null	013S		3.8		7.45	9.8	43.3	91.2	0
8	82	2	815660	170240	2040	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1955	7	27	Null	014S		5.9		7.7	9.4	48.1	77	0
9	83	2	815070	170520	1760	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1959	9	3	Null	015S		4.7		7.6	9.7	36.9	52.8	0
10	84	2	814760	168770	2270	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1959	9	10	Null	016S		4.7		7.65	9.4	34.9	1.9	0
11	85	2	814640	169710	2310	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1958	9	11	Null	017S		7.1		7.35	8.8	25.7	48	0
12	86	2	816150	168200	2120	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1957	10	1	Null	018S		4.4		7.25	9.6	32.1	14.4	0
13	87	2	810060	168450	2060	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1964	7	22	Null	019S		6.8		7.4	9.2	28.9	46.1	0
14	88	2	815900	170000	1990	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1957	10	1	Null	020S		4.4		7.65	9.7	44.9	52.8	0
15	89	2	811670	171850	1770	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1957	10	1	Null	021S		6		7.8	9.6	40.1	65	0.6
16	90	2	811580	171950	1810	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1957	10	1	Null	022S		5.6		7.8	9.7	33.7	45	0.3
17	91	2	811590	171945	1810	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1960	9	4	Null	023S		5.7		7.8	9.7	38.5	51	0.3
18	92	2	811540	171970	1820	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1957	10	1	Null	024S		5.5		7.8	9.8	33.7	46	0.3
19	93	2	811530	171910	1790	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1955	7	31	Null	025S		5.9		7.8	9.6	35.3	46	0.4
20	94	2	810390	171900	1800	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1959	9	12	Null	026S		6.3		7.65	9.5	44.1	115.2	0
21	95	2	816120	170560	1960	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1959	9	4	Null	027S		3.8		7.85	10	20.8	21	0.2
22	96	2	815040	170890	1920	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1958	9	7	Null	028S		8		7.5	9	32.1	96.1	0
23	97	2	814705	171080	1900	Quellwänaer SNP	1952	'Schmassmann'	1958	9	9	Null	029S		7.8		5.9	9.1	24	67.2	0

Abb. 23: Ausgefüllte Tabelle Parameter