



Master Thesis

im Rahmen des
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“
(UNIGIS MSc) am Interfakultären Fachbereich für GeoInformatik (Z_GIS)
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

„Torf als Treibhausgassenke“

Modellierung von Flächen, die das Potential haben die Konzentration von Treibhausgasen zu reduzieren

vorgelegt von

MSc Sebastiano Meier
u1383, UNIGIS MSc Jahrgang 2021

Betreuer/in:
Prof. J. Strobl

Zur Erlangung des Grades
„Master of Science – MSc“

Dietikon, 25.März 2022

Danksagung

Diese Master Thesis konnte nur mit der wertvollen Unterstützung von mehreren Personen durchgeführt werden. Allen voran Chloé Wüst-Galley und Andreas Grünig von Agroscope in Zürich. Sie haben sehr viel Zeit investiert, um meine Fragen zu beantworten und mir das Grundwissen über Moore und über das schweizerische Treibhausgasinventar zu vermitteln. Auch das Team der nationalen Bodenbeobachtung hat mich unterstützt. Sie haben mir die gescannten Bodenkarten über die Nutzungseignung für die Landwirtschaft zur Verfügung gestellt und mir beim Verständnis über die Bodenkartierung geholfen. Urs Gimmi und Annina Battaglia, die früher bei der WSL in Birmensdorf gearbeitet haben, haben mich bei der ersten Phase mit der Lieferung von Karten und Daten geholfen. Rainer Kündig und Andreas Baumeler von der früheren schweizerischen geotechnischen Kommission haben mir in die Geheimnisse der Erstellung von geologischen Karten eingeführt.

Prof Strobl möchte ich für die Betreuung meiner Arbeit bedanken. Mit wertvollen Tipps konnte er auf meine Fragen antworten. Dem ganzen UNIGIS-Team in Salzburg möchte ich mein Danke übermitteln. Ich konnte sehr viel lernen und ich wurde während der ganzen Studienzeit für die administrative Planung und Organisation unterstützt. Dazu konnten sie mich immer gut motivieren, das war sicher schwierig für sie.

Ein Dank an meiner Familie, die direkt und indirekt mich immer während den einfachen und schwierigen Phasen des Studiums unterstützt hat. Es war schwierig, das Familienleben mit dem Studium und die Arbeit zu kombinieren, ich habe mein bestes gegeben und hoffe, dass es für euch nicht eine zu schwierige Zeit war.

Allen ein grosses Dankeschön!

Eigenständigkeitserklärung

«Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt ist. Alle Ausführungen der Arbeit die wörtlich oder sinngemäss übernommen wurden, sind entsprechend gekennzeichnet.»

Dietikon (Schweiz), 25. März 2022



Ort, Datum

Sebastiano Meier

Zusammenfassung

Kontext: Die Master Thesis befasst sich mit der Veränderung der räumlichen Ausdehnung von Mooren und Feuchtgebieten seit dem Beginn der Erstellung von Landeskarten in der Schweiz. Moore speichern im Torf Treibhausgase, die aus der Atmosphäre entzogen werden. Diese Reduktion leistet einen Beitrag für die Minderung der Effekte des Klimawandels. Durch die Ratifizierung der «United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)» und des Kyotoprotokolls verpflichtet sich die Schweiz, eine jährliche Statistik über die Emissionen von Treibhausgasen zu erstellen, das nationale Treibhausgasinventar. Durch das Wissen über die Mengen an Treibhausgasen die in Torf gespeichert werden, kann das Treibhausgasinventar die Stoffflüsse genauer abbilden.

Forschungsfrage: Das Ziel der Master Thesis ist die Berechnung der Flächengrösse von bestehenden Torfflächen und von Feuchtgebieten, summiert mit den Flächen die als solche auf historische topografische Karten, auf thematische Karten und in Forschungsergebnisse ausgewiesen sind, um sie mit der Flächengrösse der entsprechenden Klassen des Treibhausgasinventars zu vergleichen. Die berechnete Flächengrösse entspricht der Fläche, die durch Schutzmassnahmen Treibhausgase weiterhin speichern kann oder durch Renaturierungen das Potential hat, um Torf zu bilden und neue Mengen an Treibhausgasen zu speichern. Diese Berechnungen werden für den Perimeter der Kartenblätter 1132 Einsiedeln und 1152 Ibergeregge der Landeskarte der Schweiz durchgeführt.

Methode: Für die Modellierung der Potentialflächen wurden historische und aktuelle topografische Karten, thematische Karten, Daten von Vegetations- und Bodenkartierungen verwendet. Anhand des Formats mussten einzelne Karten zuerst georeferenziert und die Flächen digitalisiert werden. Die in digitaler Form zur Verfügung stehende Daten konnten direkt modelliert werden. Die modellierten Flächen wurden zuerst topologisch überprüft, anschliessend thematisch in Zwischenergebnisse zusammengeführt und im letzten Schritt zum Endergebnis zusammengeführt. Für die Modellierung wurden die Werkzeuge und Tools von der Software QGIS angewendet.

Resultate: Für den berücksichtigten Studienperimeter decken die Torfflächen und die Feuchtgebiete 6528 ha Boden. Der Anteil an historische und aktuelle Torfflächen beträgt 4048 ha. Die Flächen der entsprechenden Kategorie des Treibhausgasinventars decken 742 ha fürs Jahr 2012 und 1037 ha fürs Jahr 2015.

Fazit, Ausblick: Das Endergebnis der Modellierung zeigt, dass der Flächenanteil des Studienperimeters, der im Treibhausgasinventar als Treibhausgasspeicher ausgewiesen werden kann, grösser ist. Für diese Fragestellung wurde eine quantitative Analyse der Daten durchgeführt. In einem nächsten Schritt ist eine qualitative Analyse notwendig, um definieren zu können welcher Anteil des Resultats durch Schutz- und Renaturierungsmassnahmen Torf produzieren kann, somit einen zusätzlichen Beitrag für den Klimaschutz leistet und ins Treibhausgasinventar aufgenommen werden kann.

Stichwörter: Torf, Moore, Treibhausgase, drainierte Moore, Torfextraktion, Landschaftsgeschichte

Abstract

Context: The Master Thesis studies the changes in the spatial extent of peatlands and wetlands since the beginning of the production of national maps in Switzerland. Mires store greenhouse gases in the peat, which are removed from the atmosphere. This reduction contributes to mitigating the effects of climate change. By ratifying the «United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)» and the Kyoto Protocol, Switzerland has committed itself to compiling annual statistics on greenhouse gas emissions, the national greenhouse gas inventory. By knowing the quantities of greenhouse gases that are stored in peat, the greenhouse gas inventory can provide a more accurate picture of material flows.

Research question: The aim of the Master Thesis is to calculate the area of existing peatlands and wetlands, summed with the areas shown as such on historical topographic maps, on thematic maps and in research results, in order to compare them with the area of the corresponding classes of the greenhouse gas inventory. The calculated area size corresponds to the area that can continue to store greenhouse gases, or through protective measures has the potential to form peat and store new amounts of greenhouse gases through renaturation. These calculations are carried out for the perimeter of map sheets 1132 Einsiedeln and 1152 Ibergereggen of the National Map of Switzerland.

Method: Historical and current topographic maps, thematic maps, vegetation and soil mapping data were used to model the potential areas. Due to the format, individual maps first had to be georeferenced and the areas digitised. The data available in digital form could be modelled directly. The modelled areas were first checked topologically, then thematically merged into intermediate results and in the last step merged into the final result. The QGIS software tools were used for the modelling.

Results: For the study perimeter considered, peatlands and wetlands cover 6528 ha of soil. The share of historical and current peat areas is 4048 ha. The areas of the corresponding category of the greenhouse gas inventory cover 742 ha for the year 2012 and 1037 ha for the year 2015.

Conclusions, outlook: The final result of the modelling shows that the proportion of the area of the study perimeter that can be designated to stock greenhouse gases in the greenhouse gas inventory is larger. A quantitative analysis of the data was carried out to address this issue. In a next step, a qualitative analysis is necessary in order to define which part of the result can produce peat through protection and renaturation measures, thus making an additional contribution to climate protection and can be included in the greenhouse gas inventory.

Keywords: peat, peatlands, greenhouse gases, drained peatlands, peat extraction, landscape history

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	11
Tabellenverzeichnis.....	15
Abkürzungen.....	16
1 Einleitung.....	17
1.1 Motivation.....	17
1.2 Themenfeld und Relevanz.....	18
1.3 Forschungsfrage.....	18
1.4 Literaturüberblick.....	19
1.5 Abgrenzung.....	22
1.6 Theoretische Grundlagen.....	22
1.6.1 Bedeutung der Moore für Mensch und Natur.....	22
1.6.2 Bedeutung der Moore in der Klimadebatte.....	23
1.6.3 Das schweizerische Treibhausgasinventar.....	25
2 Methode und Daten.....	27
2.1 Studienperimeter.....	27
2.2 Methode.....	31
2.3 Software und Werkzeuge.....	31
2.4 Daten.....	32
2.4.1 Die historische Landeskarten der Schweiz.....	32
2.4.2 Die historische Karten der Feuchtgebiete.....	35
2.4.3 Karten und Daten aus der Literatur.....	36
2.4.4 Vegetations- und Nutzungseignungskarten für landwirtschaftliche Zwecke.....	38
2.4.5 Geologischer Atlas der Schweiz.....	40
2.4.6 Die Inventare der Hoch- und Flachmoore der Schweiz.....	42
2.4.7 Die Bodenkarten der landwirtschaftlichen Nutzungsflächen.....	43
2.4.8 Karten über den Wandel der Kulturlandschaft in der Schweiz.....	44
2.4.9 Meliorationskataster des Kantons Zürich.....	46
2.4.10 Die Geomorphologische Karte des Kantons Zug.....	47
2.4.11 Die Daten der kantonalen Land- und Forstwirtschaftsämter.....	47
2.4.12 Digitaler Datensatz der Landeskarte im Massstab 1:10'000, Vector10.....	48
2.4.13 Das Treibhausgasinventar vom Jahr 2012.....	48

2.4.14	Das Treibhausgasinventar vom Jahr 2015.....	51
2.4.15	Zusammenstellung der Datenquellen.....	53
3	Ergebnisse.....	55
3.1	Flächen aus den historischen topographischen Karten.....	55
3.1.1	Torf- und Feuchtgebietsflächen aus der Siegfriedkarte.....	55
3.1.2	Torfflächen aus der Dufourkarte.....	56
3.1.3	Automatisierter Auszug der Feuchtgebiete aus der Siegfriedkarte.....	57
3.1.4	Daten der historischen Karten.....	58
3.2	Flächen aus den Karten der historischen Feuchtgebieten.....	59
3.3	Flächen der Karten und der Daten aus der Literatur.....	60
3.4	Flächen aus den Vegetations- und Nutzungseignungskarten für die Landwirtschaft.....	63
3.5	Digitalisierung und Selektion der Flächen aus den geologischen Karten.....	65
3.6	Polygone der Flach- und Hochmoorinventare.....	67
3.6.1	Inventare der Moore von nationaler Bedeutung.....	67
3.6.2	Inventare der Moore von regionaler Bedeutung.....	70
3.7	Vektordaten der Bodenkarten der Kantone Zug und Zürich.....	71
3.8	Meliorationskataster vom Kanton Zürich und Karte über den Kulturwandel.....	73
3.9	Datensätze des Kantons Zug.....	75
3.10	Datensätze vom Kanton Schwyz.....	76
3.10.1	Datensatz der Flächen aus dem Natur- und Heimatschutzgesetz.....	76
3.10.2	Vegetationsaufnahmen von Waldstandorte.....	77
3.10.3	Bewirtschafteterpläne der Landwirtschaftszonen.....	79
3.11	Digitalisierung der Feuchtgebiete aus dem Vector10-Datensatz.....	81
3.12	Daten des Treibhausgasinventars vom Jahr 2012.....	82
3.13	Daten des Treibhausgasinventars vom Jahr 2015.....	85
3.14	Schlussresultat der Modellierung der Potentialflächen.....	87
4	Diskussion.....	92
5	Fazit und Ausblick.....	95
6	Literaturverzeichnis.....	96
	Anhang.....	101
	Anhang A: Beziehung zwischen Moore und Klima.....	101
	Anhang B: Protokolle der Georeferenzierung.....	103

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Die Klimawirksamkeit von Moorböden, bestimmt durch Entwässerung, Nutzung und Klima (Trepel, 2008).....	24
Abb. 2.2: Übersichtskarte des Studienperimeters. Hintergrundkarte: Landeskarte 1:200'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2018).....	28
Abb. 2.3: Das Sihltal im Jahr 1910 auf einem Foto von Karl Hensler (Saurer, 2003).....	30
Abb. 2.4: Das Sihltal im Jahr 2000 auf einem Foto von Karl Rosenberg (Saurer, 2003).....	30
Abb. 2.5: Das Tal der Biber mit der Moorlandschaft Rothenturm im Herbst (Grünig, 1994).....	30
Abb. 2.6: Ausschnitt aus der Dufourkarte, Kartenblatt IX, Originalmassstab 1:100'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 1845).....	33
Abb. 2.7: Ausschnitt aus der Siegfriedkarte, erste Ausgabe (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 1870).....	34
Abb. 2.8: Reproduktion der Karte aus der Publikation von Früh und Schröter (Früh and Schröter, 1904).....	36
Abb. 2.9: Reproduktion der Karte aus der Publikation von Düggele, Originalmassstab: 1:25'000 (Düggele, 1903).....	37
Abb. 2.10: Ausschnitt aus der Nutzungseignungskarte der Alp Altmatt, Originalmassstab: 1:5'000 (Brühlmann, 1990a).....	38
Abb. 2.11: Legende zur Nutzungseignungskarte der Alp Altmatt (Brühlmann, 1990a).....	39
Abb. 2.12: Ausschnitt aus der Vegetationskarte der Skipisten im Gebiet Hochstuckli, Originalmassstab 1:2'000 (von Suri, 2006).....	40
Abb. 2.13: Ausschnitt aus der Geologischen Karte vom Kanton Zürich und der angrenzenden Regionen, Originalmassstab: 1:50'000 (Hantke, 1967).....	41
Abb. 2.14: Ausschnitt aus dem Kartenblatt „Einsiedeln 1132“ der Publikation von Ewald (1978).....	45
Abb. 2.15: Legende zur Karte „Einsiedeln 1132“ aus der Publikation von Ewald (1978).....	46
Abb. 2.16: Definition der Klassen für die einzelnen Polygone und dessen Eignung für die Verwendung im Treibhausgasinventar (Wüst-Galley et al., 2015).....	53
Abb. 3.1: Digitalisierte Feuchtgebiete aus der ersten Ausgabe der Siegfriedkarte (Hintergrundkarte) (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 1870).....	56
Abb. 3.2: Digitalisierte Torfflächen aus der Dufourkarte (Hintergrundkarte) (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 1845).....	57
Abb. 3.3: Darstellung des Ablaufs für die Zusammenführung der Daten aus den historischen Karten.....	58
Abb. 3.4: Darstellung der Modellierung für die Daten der historischen Feuchtgebiete.....	59

Abb. 3.5: Digitalisierte Flächen aus der Karte der Alp Altmatt der Autoren Früh und Schröter, in der Abb. als Hintergrundkarte (Früh and Schröter, 1904).....	60
Abb. 3.6: Digitalisierte Flächen Aus der Vegetationskarte des Sihltals von Max Düggele, in der Abbildung als Hintergrundkarte (Düggele, 1903).....	61
Abb. 3.7: Digitalisierte Polygone anhand von Vegetationsaufnahmen (Höhn, 1936) und Swisimage als Hintergrundkarte (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022a).....	62
Abb.3.8: Darstellung der Modellierung der Daten aus der Literatur.....	62
Abb. 3.9: Ausschnitt der digitalisierten Flächen der Vegetationskarte vom Skigebiet Hochstuckli (von Suri, 2006).....	64
Abb.3.10: Ablauf der Digitalisierung der Flächen aus der Nutzungseignung- und Vegetationskarte.....	64
Abb. 3.11: Digitalisierte Sumpfflächen aus der geologischen Karte vom Kanton Zürich und benachbarte Gebiete (Hantke, 1967).....	66
Abb. 3.12: Ablauf der Arbeitsschritte für die Modellierung der Flächen aus den geologischen Karten.....	66
Abb. 3.13: Objekt „Altmatt-Biberbrugg“ aus dem nationalen Hochmoorinventar (Bundesamt für Umwelt / Abteilung Arten, Ökosysteme, Landschaften, 2017), Hintergrundkarte: Landeskarte 1:25'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022b).....	68
Abb. 3.14: Objekt „Schwantenau“ aus dem nationalen Flachmoorinventar (Bundesamt für Umwelt / Abteilung Biodiversität und Landschaft, 2020), Hintergrundkarte: Landeskarte 1:25'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022b).....	69
Abb. 3.15: Ablauf der Arbeitsschritte für die Modellierung der Flächen aus den Hoch- und Flachmoorinventare von nationaler Bedeutung.....	69
Abb. 3.16: Darstellung vom Ablauf der Arbeitsschritte für die Modellierung der Vektordaten aus den Inventaren von regionaler Bedeutung.....	70
Abb. 3.17: Objekte aus den Inventaren der Moore von regionaler Bedeutung (Swiss Federal Research Institute WSL / BAFU, 2011b). Hintergrundkarte: Landeskarte 1:25'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022b).....	71
Abb. 3.18: Bodenkarte Kanton Zürich, Teil des Studienperimeters mit den selektierten Flächen (ALN Amt für Landschaft und Natur, Fachstelle Bodenschutz, 2008). Hintergrundkarte: Landeskarte 1:25'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022b).....	72
Abb. 3.19: Darstellung vom Ablauf der Arbeitsschritte für die Modellierung der landwirtschaftlichen Bodenkarten der Kantone ZG und ZH.....	73
Abb. 3.20: Digitalisierte Flächen aus Ewald (1978). Hintergrundkarte: Ausschnitt aus Kartenblatt Einsiedeln 1132 (Ewald, 1978).....	74

Abb. 3.21: Darstellung vom Ablauf der Arbeitsschritte für die Modellierung der Daten des Meliorationskatasters (Kanton Zürich, Amt für Landschaft und Natur, 2011) und aus der Karte über den Landschaftswandel (Ewald, 1978).....	75
Abb. 3.22: Darstellung vom Ablauf der Arbeitsschritte für die Modellierung der Daten der Geomorphologie (Amt für Grundbuch und Geoinformation des Kantons Zug, 2011) und der Vertragsflächen vom Kanton Zug (Amt für Landwirtschaft Kanton Zug, 2011).....	76
Abb. 3.23: Flächen unter Schutz des NHG, Kanton SZ (Amt für Natur, Jagd und Fischerei, Abteilung Natur- und Landschaftsschutz, Kanton Schwyz, 2011). Hintergrundkarte: Landeskarte 1:25'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022b).....	77
Abb. 3.24: Ausschnitt vom Studienperimeter mit selektierten Waldstandorte (Preiswerk, 2000). Hintergrundkarte: Landeskarte 1:25'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022b).	78
Abb. 3.25: Arbeitsschritte für die Modellierung der Daten der Naturschutzgebiete und der Waldstandortkartierungen.....	79
Abb. 3.26: Bewirtschafterpläne mit digitalisierten Parzellen mit Streuwiesen (Amt für Landwirtschaft (AFL), Kanton Schwyz, 2011).....	80
Abb. 3.27: Ablauf der Digitalisierung der Parzellen mit Streuwiesen des Kantons SZ.....	80
Abb. 3.28: Teil des Studienperimeters mit den Sumpfsymbole aus dem Datensatz Vector10 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2013), den in QGIS generierten Sumpfflächen. Hintergrundkarte: Vector10 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2013).....	81
Abb. 3.30: Organische Böden die im Treibhausgasinventar vom Jahr 2012 als Speicher von C ausgewiesen sind (Rihm, 2012) Hintergrundkarte: Landeskarte 1:25'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022b).....	84
Abb. 3.31: Organische Böden die im Treibhausgasinventar vom Jahr 2015 als Speicher von C ausgewiesen sind (Wüst-Galley et al., 2015). Hintergrundkarte: Landeskarte 1:25'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022b).....	86
Abb. 3.32: Darstellung der Arbeitsschritte für die Zusammenführung aller Datensätze um die Summe der Potentialflächen zu erhalten.....	89
Abb. 3.33: Endergebnis der Zusammenführung der Potentialflächen.....	90
Abb. 4.1: Potentialflächen (in blau) für die Ortschaft Samstagen, Kanton Zürich. Gebäude aus der Amtlichen Vermessung (Geografisches Informationssystem des Kantons Zürich (GIS-ZH), 2018a), Hintergrundkarte Landeskarte LK25 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022b).....	94
Abb. 4.2: Zonenplan der Ortschaft Samstagen, Kanton Zürich, (Geografisches Informationssystem des Kantons Zürich (GIS-ZH), 2018b). Gebäude aus der Amtlichen Vermessung (Geografisches Informationssystem des	

Kantons Zürich (GIS-ZH), 2018a). Hintergrundkarte Landeskarte LK25 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022b).....94

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1: Konflikte und Synergien, die bei der Nutzung von Moore entstehen (Joosten et al., 2012).....	25
Tab. 2.2: Ausgaben der Siegfriedkarte und Publikationsjahr der einzelnen Kartenblätter im Studienperimeter (Battaglia, 2010).....	34
Tab. 2.3: Kategorien und Unterkategorien der Landnutzung wie sie im Treibhausgasinventar benutzt werden (Filliger et al., 2012).....	50
Tab. 2.4: Zusammenstellung der Datenquellen, die für die Berechnungen verwendet wurden.....	54
Tab. 3.1: Primäre und sekundäre Standorteinheiten der Vegetationskarte der Alp Altmatt, die den digitalisierten Flächen entsprechen.....	63
Tab. 3.2: Namen der Layer und Attributwerte der Polygone aus der geologischen Karte „Einsiedeln 1132“ die für die Modellierung verwendet wurden (Hantke et al., 2009).....	65
Tab. 3.3: Die 3 Kategorien von Waldstandorte, dessen Flächen selektiert wurden.....	77
Tab. 3.4: Endergebnis der Modellierung der Potentialflächen und die Werte der Treibhausgasinventare.....	91
Tabelle A.1: Zusammenstellung der Emissionen von Treibhausgase in der Schweiz für die Jahre 1990 und 2008. Diese Emissionen sind durch die Nutzung der Moore und vom Torf entstanden (Joosten, 2009)	101
Tab. A.2: Zusammenfassung der Emissionsfaktoren für Moore in Funktion ihrer Nutzung und ihrer klimatischen Zuordnung (Couwenberg, 2009).....	102
Tab. B.1: Export aus QGIS des Resultats der Georeferenzierung der Karte aus der Publikation von Früh und Schröter (Früh and Schröter, 1904).....	103
Tab. B.2: Export aus QGIS des Resultats der Georeferenzierung der Nutzungseignungskarte der Alp Altmatt (Brühlmann, 1990a).....	103
Tab. B.3: Export aus QGIS des Resultats der Georeferenzierung der Vegetationskarte eines Teilperimeters vom Skigebiet Hochstuckli (von Suri, 2006).....	104

Abkürzungen

AGFF	Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Futterbaus
Agroscope	Forschungseinheit des Schweizerischen Bundesamtes für Landwirtschaft
BAFU	Schweizerisches Bundesamt für Umwelt, früher BUWAL
BGS	Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz
BUWAL	Schweizerisches Bundesamt für Umwelt (neu: BAFU)
C	Kohlenstoff oder Carbon
CAD	Computer-aided Design
CO ₂	Kohlenstoffdioxid oder Kohlendioxid
EPSG	European Petroleum Survey Group Geodesy
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
FAO	the Food and Agriculture Organization of the United Nations
GIS	Geographisches Informationssystem
IEEP	Institute for European Environmental Policy
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LU	Kanton Luzern (Schweiz)
LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry
N	Stickstoff
NHG	Natur- und Heimatschutzgesetz
QGIS	Quantum GIS Open Source Software
SZ	Kanton Schwyz
SGTK	Schweizerische Geotechnische Kommission
SVIL	Schweizerische Vereinigung für Innenkolonisation und industrielle Landwirtschaft
swisstopo	Schweizerisches Bundesamt für Landestopographie
SBN	Schweizerischen Bund für Naturschutz, heute Pro Natura
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
UNO	United Nations, Vereinten Nationen
WSL	Eidgenössisches Forschungsinstitut für Wald, Schnee und Landschaft
WWF	World Wildlife Fund For Nature
ZG	Kanton Zug
ZH	Kanton Zürich

1 Einleitung

1.1 Motivation

„Rechts des Fussessteiges ist eine Art von natürlichem Wall, hinter dem die Sihl herfließt. Dem ersten Anblick nach sollte es an einigen Stellen keine grosse Mühe und Kosten erfordern, den Hügel mit einem Stollen zu durchbohren und so viel Wasser als man wollte zu Wässerung und Werken in die unterhalb liegende Gegend zu leiten; ein Unternehmen, das freilich in einem demokratischen Canton und bei der Complication der Grundstücke, die es betreffen würde, nicht denkbar ist“ (Goethe, 1797; zit. n. Bingisser, 2003). Dieser Eintrag schreibt Goethe am 28. September 1797, als er in Einsiedeln eintraf und gibt so ein Bild über seine Gedanken zur wirtschaftlichen Nutzung von natürlichen Ressourcen.

Aufgrund der Verfassung ist die Schweiz verpflichtet, ihren Restmoorbestand besonders streng zu schützen. Arbeiten im Bereich Moorschutz, welche an der Forschungsanstalt Agroscope, an der Forschungsanstalt WSL sowie an der damaligen Schweizerischen Geotechnischen Kommission (SGTK) durchgeführt werden, haben schon früh mein Interesse geweckt, meine Masterarbeit über Fragestellungen zur Entwicklung der Moore durchzuführen. Durch mein Studium der Geografie und meine beruflichen Erfahrungen im Bereich nachhaltige Entwicklung, finde ich die Analysen über die Beziehungen zwischen Naturschutz und wirtschaftliche Entwicklung auf lokaler oder globaler Skala sehr interessant.

In der Schweiz sind die Nachfolgeverträge zum Kyoto-Protokoll und das Übereinkommen von Paris vom Jahr 2015 in der politischen und wissenschaftlichen Agenda aktuell. Für den Aufbau der rechtlichen Grundlagen des CO₂-Emissionshandels in der Schweiz möchte man den Istzustand und das Potential für die Speicherung von Kohlenstoff und Stickstoff in Mooren, landwirtschaftlich genutzten Böden und Wäldern bestimmen.

1.2 Themenfeld und Relevanz

Die Master Thesis befasst sich mit der Veränderung der räumlichen Ausdehnung von Mooren seit dem Beginn der Erstellung von Landeskarten in der Schweiz. Aus dem historischen Kartenmaterial kann man sehen, auf welche Flächen Moore in der Vergangenheit verbreitet waren. Durch das Verständnis über die aktuellen Eigenschaften der Böden und der Geologie kann definiert werden, ob auf diesen Flächen die noch bestehende Moore in Zukunft erhalten bleiben können und ob es möglich ist Flächen zu Renaturieren, um die Ökosysteme reaktivieren zu können, wo diese nicht mehr vorhanden sind. Eine Reaktivierung kann zur Bildung von Tiefmoore und Torf führen, langfristig zur Bildung von Hochmoore.

Das Potential des Moorschutzes und der Renaturierung von Moore, für die Reaktivierung der Torfbildung, interessiert mehrere Forschungsfelder. Die Ökologen und der Naturschutz wollen die Erhaltung der Biodiversität. Die Geologen und die Geomorphologen wollen, dass die hydrologische Systeme nicht zerstört werden. In Zusammenhang mit diesen Tätigkeiten wird auch das Forschungsfeld der Moore und dessen Zusammenhang mit dem Klimawandel vertieft. Moore speichern im Torf Treibhausgase, die langfristig aus der Atmosphäre entzogen werden. Dies leistet einen Beitrag zur Reduktion der Effekte des Klimawandels. Die Ergänzung der historischen Daten mit aktuellen thematischen Karten zeigt, ob Moore auf Flächen vorhanden sind, wo am Anfang der Kartierungsperiode keine dokumentiert waren. Diese Flächen haben auch die Fähigkeit Treibhausgase zu speichern und sollen geschützt werden. Auf politischer Ebene kann dieses Wissen den Aufbau der Gesetze für den Handel mit CO₂-Zertifikate unterstützen.

1.3 Forschungsfrage

Das Ziel der Master Thesis ist die Berechnung der Flächengrösse von bestehenden Torfflächen und Feuchtgebiete, summiert mit den Flächen die als solche auf historische topografische Karten, auf thematische Karten und in Forschungsergebnisse dokumentiert sind, um sie mit der Flächengrösse der entsprechenden Kategorien des Treibhausgasinventars zu vergleichen. Die berechnete Flächengrösse entspricht der Fläche, die durch Schutzmassnahmen Treibhausgase weiterhin speichern kann, oder durch Renaturierungen das Potential hat um Torf zu bilden und neue Mengen an Treibhausgase zu speichern. Die berechnete Flächengrösse, die nicht im Treibhausgasinventar ausgewiesen ist, entspricht der Fläche die gesetzlich geschützt und ins Treibhausgasinventar aufgenommen werden kann. Somit können die Daten des Treibhausgasinventars räumlich und bezüglich der Menge von gespeichertem Kohlenstoff und Stickstoff ergänzt werden und dadurch

die Massnahmen, die von der Schweiz definiert wurden um die festgelegten Ziele für den Klimaschutz zu erreichen, besser zu definieren.

Der historische Vergleich von topografischen Karten zeigt, dass Moore auch als Feuchtgebiete kartiert wurden und dass Torf nicht auf allen Karten dargestellt ist. Aus diesem Grund werden in dieser Arbeit nicht nur Moorflächen modelliert, sondern auch die Flächen der Feuchtgebiete. Aus ökologischer Sicht ist es auch möglich, dass in Feuchtgebiete sich Tiefmoore bilden und so auch das Potential haben um Treibhausgase zu speichern.

Diese Berechnungen werden für den Perimeter der Kartenblätter 1132 Einsiedeln und 1152 Ibergeregge der Landeskarte der Schweiz durchgeführt. In einem ersten Schritt wird nach historischen und aktuellen topografischen und thematischen Karten recherchiert. Das Kartenmaterial wird mit einer Literaturrecherche ergänzt, in der nach räumlich definierbare Daten über Vegetationsaufnahmen und Bodenklassifikationen gesucht wird. Im zweiten Schritt werden die Karten und die Daten ins GIS importiert. Die Karten, die zum ersten Mal in einem GIS verwendet werden, müssen georeferenziert werden. Im dritten Arbeitsschritt werden die Flächen digitalisiert oder selektiert, die für die Beantwortung der Forschungsfrage notwendig sind. Im vierten Arbeitsschritt werden die Flächen aller Quellen in einem Polygonlayer zusammengefügt, damit die totale Flächengrösse berechnet werden kann und diese im letzten Arbeitsschritt mit der entsprechenden Flächengrösse des Treibhausgasinventars verglichen werden kann.

Die Struktur der Arbeit ist in folgenden Kapiteln gegliedert. Im Kapitel 1 werden ein Literaturüberblick, die Abgrenzung der Arbeitsschritte und die wichtigsten Aspekte der theoretischen Grundlagen präsentiert. Im Kapitel 2 wird der Studienperimeter präsentiert, die angewendete Methode und die benutzten Werkzeuge beschrieben. Dieser Kapitel wird mit der Beschreibung der modellierten Daten und Karten abgeschlossen. In Kapitel 3 werden die Ergebnisse der Modellierung und die Darstellungen der Daten des Treibhausgasinventars abgebildet. Die Diskussion der Resultate wird in Kapitel 4 präsentiert, und der Kapitel 5 schliesst die Arbeit mit dem Fazit und einen Ausblick ab.

1.4 Literaturüberblick

Das Wissen über die Ausdehnung von Moore und Feuchtgebiete in der Vergangenheit hilft uns bei der Umsetzung von Massnahmen zur Renaturierung dieser Gebiete, zur Förderung des Naturschutzes, der Biodiversität und bei der Minderung der Effekte des Klimawandels. Die Resultate dieser Arbeit interessieren aus naturwissenschaftlicher Sicht bis zur politischen Diskussion über den Emissionshandel von CO₂-Zertifikate.

1 Einleitung

Diese Arbeit befasst sich mit der Digitalisierung von räumlichen Daten aus historischen und aktuellen Quellen. Der Fokus liegt auf altem Kartenmaterial auf dem Moore und Feuchtgebiete kartiert wurden, wie zum Beispiel die Dufourkarte (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 1845) und alle Ausgaben der Siegfriedkarte (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 1870). So kann die historische Ausdehnung der erforschten Gebiete visualisiert werden. Ergänzt werden diese Daten mit Resultaten aus Forschungsarbeiten über die Vegetation, die in unserem Studienperimeter durchgeführt wurden, besonders vor und während der Planung des Stausees im Sihltal. Die Resultate der Arbeiten von Düggeli (1903) und von Höhn (1936) werden in dieser Master Thesis verwendet. Mit der Dokumentation von Vegetationsaufnahmen die typisch für Moore sind, wurden auch die entsprechende Standorte dokumentiert. Die Übernahme von Daten aus aktuellen Landeskarten oder aus den Bundesinventaren der Moore von nationaler und regionaler Bedeutung ergänzen die Visualisierung der Potentialflächen.

Das Vorgehen über die Digitalisierung von Flächen aus historischen Karten wurde in Zusammenarbeit mit Annina Battaglia und Marc Weiss besprochen, die ihre Master Thesen bei der WSL durchgeführt haben. Battaglia befasst sich mit der Digitalisierung von Flächen, auf denen Torf gestochen wurde und auf alten Landeskarten kartiert wurden (Battaglia, 2010). Die Daten dieser Arbeit wurden für die Beantwortung der Forschungsfrage verwendet. Weiss befasst sich mit der Entwicklung eines Simulationsmodells, das die historische Ausdehnung von Feuchtgebieten abbildet (Weiss, 2008). Als Daten wird historisches Kartenmaterial verwendet, das mit Daten über Topografie, Böden und Klima in Zusammenhang gebracht wird. An der WSL wurde ein Forschungsprojekt durchgeführt, in dem eine Methode für die automatisierte Extraktion aus historischen Karten von Feuchtgebietsflächen entwickelt wurde (Boesch and Leyk, 2010). Für die Beantwortung der Forschungsfrage wurde ein Datensatz aus dieser Arbeit zur Verfügung gestellt.

Das Paper „*Mapping landscape-scale peatland degradation using airborne lidar and multispectral data*“ (Carless et al., 2019) befasst sich mit der räumlichen Identifikation von Elementen, die verantwortlich für die Zerstörung von Mooren sind. Wenn bekannt ist wo und wie das hydrologische System von Moore und Torf zerstört wurde, ist es möglich diese gezielt für ökologische Zwecke zu renaturieren und so auch die Sequestrierung von Kohlenstoff in Torf zu fördern. So wird die Forschungsfrage der Arbeit im Paper beschrieben „*The aim of this study was to assess the utility of fine-grained remote sensing data for mapping both natural and anthropogenic peatland features. Specific objectives were to develop an integrated approach which could identify and quantify multiple types of peatland degradation across the moorland extent of Dartmoor National Park*“ (Carless et al., 2019).

Resultate von Studien über die Sequestrierung von Kohlenstoff in Torf und den Böden von Feuchtgebieten können in den Papern mit den Titeln „*Carbon stocks in Swiss agricultural soils predicted by land-use, soil*

characteristics, and altitude“ (Leifeld et al., 2005) und *“Estimating the carbon stock of a blanket peat region using a peat depth inference model”* (Holden and Connolly, 2011) konsultiert werden. Parry hat mit seinem Team das Paper *„Evaluating approaches for estimating peat depth“* im Jahr 2014 veröffentlicht (Parry et al., 2014). Wie wichtig die Schätzung der Tiefe von Torf ist, wird so beschrieben: *„Estimates of peat depth are required to inform understanding of peatland development, functioning, and ecosystem services such as carbon storage“* (Parry et al., 2014).

Der Verlust von Moorflächen und Torf in der Schweiz während den letzten Jahrhunderten hat zu einer Erhöhung der Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre gebracht. Das Paper *„Land use-driven historical soil carbon losses in Swiss peatlands“* der Autoren Wüst-Galley et al. (2020) zeigt, wie die Veränderung der Landnutzung zum Verlust von Moorflächen geführt hat und somit zum Verlust von Kohlenstoff in Torf. Ein Ziel der Forschungsarbeit ist die räumliche Identifikation von Eingriffen, die zur Austrocknung der Moore geführt hat. Nur wenn diese Eingriffe rückgängig gemacht werden, kann das hydrologische System der betroffenen Mooren wieder hergestellt werden und die Emissionen von Treibhausgasen gestoppt werden. Wie wichtig der Moorschutz für den Klimaschutz ist, kann in den Papern *„Peatland protection and restoration are key for climate change mitigation“* (Humpenöder et al., 2020) und *„The underappreciated potential of peatlands in global climate change mitigation strategies“* (Leifeld and Menichetti, 2018). Folgender Teil der Einführung von Leifeld und Menichetti (2018) zeigt, wie wichtig Torf in der Klimadebatte ist: *„Peatlands only account for ~3% of the terrestrial surface, predominately occurring in boreal and temperate ecosystems, with a smaller proportion in tropical regions. Nevertheless, they may store ~644 Gt of C or 21% of the global total soil organic C stock of ~3000 Gt (0–3 m). In addition, peatlands are large stores of organic N: Northern peatlands, characterized by wide C/N ratios between 12 and 217, have accumulated 8–15 Gt N, whereas the N stock in tropical peatlands has not yet been reviewed“* (Leifeld and Menichetti, 2018).

In der Literatur werden weitere Methoden dargestellt, um die Klassifizierung der Böden und der Vegetation in Feuchtgebiete durchführen zu können. Dies kann unter anderem mit der Nutzung von LiDAR – Daten (Carless et al., 2021) oder durch die Analyse des Zusammenhangs zwischen der Interpretation der Vegetation auf Luftbildern und der Nutzung von digitalen Höhenmodellen (Küchler et al., 2004). Küchler et al. (2004) nutzten für die Forschungsarbeit *„high resolution spectral and topographical data sets of 50 cm pixel size and below to simulate fine-scale vegetation properties at the very local scale of Swiss mire sites“* (Küchler et al., 2004). Ziel ist *„to sample the entire variety of Swiss mire ecosystems and to provide fine-scale mapping results that are relevant to the given monitoring and conservation tasks“* (Küchler et al., 2004).

1 Einleitung

Die aktuellsten Daten der Schweiz zum Treibhausgasinventar wurden im Jahr 2021 im Bericht „*Switzerland’s Greenhouse Gas Inventory 1990–2019: National Inventory Report and reporting tables (CRF)*“ (FOEN, 2021) veröffentlicht. Nachdem das BAFU diesen Bericht veröffentlicht hat, erstellt das Sekretariat des UNFCCC den zusammenfassende Status-Bericht „*Status report of the annual inventory of Switzerland*“ (United Nations, Framework Convention on Climate Change, 2021a) und die Ergänzung „*Aggregate information on greenhouse gas emissions by sources and removals by sinks for Parties included in Annex I to the Convention*“ (United Nations, Framework Convention on Climate Change, 2021b).

1.5 Abgrenzung

Um eine Antwort auf die Forschungsfrage geben zu können, wird existierendes Kartenmaterial und Forschungsergebnisse benutzt. Es werden keine neuen Daten in Feldarbeiten oder z. B. aus der Interpretation von Luftbildern verwendet. Mit den Daten und den Karten die verwendet werden, wurden keine Qualitätsanalysen durchgeführt. Das Ziel ist die Verwendung aller Karten und Daten, die während der Recherche zum Studienperimeter gefunden wurden. Die Forschungsfrage erlaubt nicht eine qualitative Aussage über die Potentialflächen die aus der Modellierung entstehen. Das Resultat der Modellierung ist eine quantitative Aussage für unser Studienperimeter, die nicht auf die Gesamtfläche der Schweiz extrapoliert werden kann. Die Beantwortung der Forschungsfrage macht einerseits keine Aussage über die technische Machbarkeit einer Renaturierung der beschädigten Moorflächen, andererseits über die gesetzlichen Elemente der Raumplanung, die eine Renaturierung von Flächen verhindern können.

1.6 Theoretische Grundlagen

1.6.1 Bedeutung der Moore für Mensch und Natur

Parish et al. (2008) definieren die Bedeutung der Moore für die Naturwissenschaften und die Wirtschaftswissenschaften folgenderweise: *“Peatlands are important natural ecosystems with high value for biodiversity conservation, climate regulation and human welfare”*. Eine Publikation von Wetlands International fasst den Wert von Mooren folgenderweise zusammen: *„Peatlands support millions of people around the world, store twice as much carbon as all forests worldwide, and are home to many threatened species of plants and animals. Peatland degradation has devastating economic and social consequences“* (Wetlands International, n.d.).

Baumgartner (2002) beschreibt wie die Fauna und die Flora der Moore aus spezialisierten Arten besteht, die die Biodiversität der Biotope fördern und auch die angrenzende Lebensräume beeinflussen. Im gleichen Bericht findet man auch eine Auflistung der Pflanzenarten, die in Flach-, Übergangs- und Hochmoore leben (Baumgartner, 2002).

Grünig und seine Kollegen beschreiben, dass Moore wirtschaftlich als landwirtschaftliche Nutzfläche, zum Sammeln von Nahrungsmitteln und zum Jagen oder Fischen benutzen werden (Grünig et al., 1986). In der Schweiz ist die Nutzung der Tief- und Hochmoore als Wiese oder Weideland sehr verbreitet. Als wirtschaftliche Ressource wird Torf extrahiert und als Brennstoff oder als Dünger verwendet. Die Nutzung wird durch Austrocknung und den Bau eines Drainagesystems unterstützt, die eine grosse Veränderung des Ökosystems hervorbringen. Archäologen und Historiker haben bewiesen, dass diese Tätigkeiten seit Jahrhunderte von den Gesellschaften durchgeführt werden. Die Beweise wurden im Torf gefunden, weil die Ablagerungen darin gut konserviert werden, zum Beispiel Blütenstaub, Samen von Pflanzen und Arbeitsutensilien (Grünig et al., 1986).

Moore und Feuchtgebiete spielen eine Rolle als Speicher von Wasser oder als Regulator des Grundwasserspiegels in einem hydrologischen System. Eine Nutzung aus wirtschaftlichen Gründen der Moore kann das natürliche Gleichgewicht modifizieren und so auch die Funktionen der Moore zerstören. Eine Beschreibung der Funktionen, die Moore für die Menschen und die Umwelt erfüllen, findet man im Kapitel 3 „*Values and functions of mires and peatlands*“ der Publikation „*Wise use of mires and peatlands*“ von Hans Joosten (Joosten, 2002).

1.6.2 Bedeutung der Moore in der Klimadebatte

Moore als Kohlenstoffspeicher

Trepel (2008) fasst den Zusammenhang zwischen Moore und Klima folgenderweise: „*Die Bedeutung der Moore in der Klimadebatte beruht auf ihrer Fähigkeit, unter naturnahen hydrologischen Verhältnissen Kohlenstoff zu akkumulieren, beziehungsweise bei Entwässerung freizusetzen*“. Wie wichtig Moore als Speicher von Kohlenstoff sind, kann man anhand der absoluten Zahlen für die Landoberfläche der Erde darstellen: „*Moorböden decken 400 Mio ha, oder 3 %, der Landoberfläche und speichern langfristig 150 bis 250 Gt CO₂ pro Jahr. Diese Menge entspricht ca. einem Drittel der insgesamt in Böden gebundenen Kohlenstoffvorräte, oder knapp Zweidrittel der in der Atmosphäre vorkommenden Vorräte*“ (Trepel, 2008). Laut Trepel (2008) wachsen Moore weltweit im Durchschnitt 1 mm pro Jahr, mit einer Unsicherheit von +/- 0.8 mm, in die Höhe.

1 Einleitung

Diese Unsicherheit basiert auf die Abhängigkeit des Torfwachstums vom Klima, der regional sehr unterschiedlich sein kann. Bis zu einem Zeithorizont von 100 Jahren werden die Moore als klimaneutral definiert, denn die Speicherung von CO₂ im Torf kompensiert die Emissionen von Methan. Erst im längeren Zeithorizont wirken die Moore als klimakühlend.

Moore als CO₂ – Quelle

Moore werden auch als grosse „Klimaschänder“ bezeichnet, weil bei dessen Austrocknung, dessen Zerstörung oder durch grossflächige Brände, nach Emissionskategorie gemessen, grosse Mengen an Treibhausgasen emittiert werden. In der Abbildung 2.1 wird die Klimawirksamkeit der Moore, anhand dessen Nutzung und den klimatischen Bedingungen dargestellt.

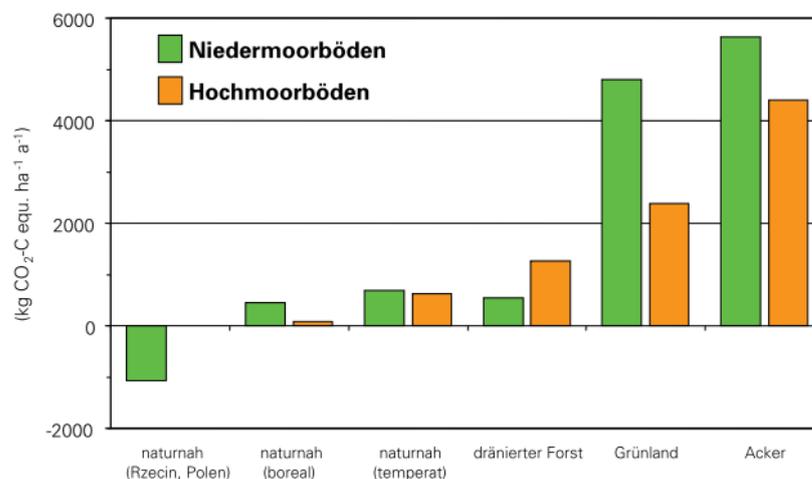


Abb. 2.1: Die Klimawirksamkeit von Moorböden, bestimmt durch Entwässerung, Nutzung und Klima (Trepel, 2008)

Die Organisation Wetlands International hat im Jahr 2009 eine Zusammenstellung der Emissionen von Treibhausgasen für alle Länder der Welt erstellt, die durch die Nutzung der Moore und von Torf entstanden sind. In der Tabelle A.1 vom Anhang A sind die Werte der Jahre 1990 und 2008 die der Schweiz zugeordnet wurden dargestellt (Joosten, 2009).

Couwenberg, (2009) hat für das IPCC eine Zusammenfassung der Emissionsfaktoren erstellt, die für die Torf- und Moornutzung verwendet werden. Die Austrocknung der Moore ergibt weltweit Emissionen von ca. 2 bis 3 Gt CO₂ – Äquivalente pro Jahr. In der Tabelle A.2 vom Anhang A findet man eine Zusammenstellung dieser Werte.

Renaturierung und Schutz der Moore für den Klimaschutz

Die Emissionen von Treibhausgasen durch drainierte Moore sind kontinuierlich in der Zeit, beginnen mit dem Anfang der Austrocknung und begleiten diesen Prozess für Jahre. Darum ist es für die Reduktion der Treibhausgase in der Atmosphäre wichtig, den Prozess der Austrocknung durch eine Renaturierung zu stoppen. In der internationalen Literatur wird immer häufiger auf die Konflikte zwischen Naturschutz und die weitere Landnutzung der Moore und Feuchtgebiete hingewiesen. Es ist nötig ein Gleichgewicht zwischen Schutz, die landwirtschaftliche Nutzung, die Nutzung als Siedlungsgebiet und z. B. den Erhalt als Erholungsraum zu finden. Die Tabelle 2.1 zeigt die Synergien und die Konflikte, die beider Nutzung von Mooren entstehen.

Tab. 2.1: Konflikte und Synergien, die bei der Nutzung von Mooren entstehen (Joosten et al., 2012).

Utilisation option	Aim			
	Production	Biodiversity conservation	Climate change mitigation	Fire hazard reduction
Paludiculture	Synergy	Synergy	synergy	synergy
Conservation	Conflict	Synergy	synergy	synergy
Rewetting	Conflict	Synergy	synergy	synergy
Peat extraction	Synergy	Conflict	conflict	synergy
Conventional agriculture	Synergy	Conflict	conflict	synergy
Conventional forestry	Synergy	Conflict	conflict	synergy
Abandonment	Conflict	Conflict	conflict	conflict

1.6.3 Das schweizerische Treibhausgasinventar

Die Konvention «United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)» wurde an der Konferenz von Rio im Jahr 1992 ins Leben gerufen und von der Schweiz im Jahr 1993 ratifiziert. Diese Konvention setzt sich als Ziel „die Treibhausgaskonzentrationen auf einem Niveau zu stabilisieren, auf dem eine gefährliche Störung des Klimasystems durch den Menschen verhindert wird“ (Hoffmann, 2009). Der Autor beschreibt, dass dieses Ziel durch eine jährliche Reduktion vom pro Kopf - Austoss von Treibhausgasen von 6 t auf 1 bis 1,5 t erreicht werden kann (Hoffmann, 2009).

1 Einleitung

Die konkreten Massnahmen, um dieses Ziel erreichen zu können, wurden im Jahr 1997 im Kyoto-Protokoll durch 38 Industriestaaten festgelegt und von der Schweiz im Jahr 2003 ratifiziert. In Folge dieses Protokolls hat die Schweiz ein System für die Erhebung der Emissionen von Treibhausgasen und für die Redaktion eines Berichtes unter der Verantwortung des BAFU erstellen müssen (Filliger et al., 2012). Die Politik hat auch zusätzliche politische und wirtschaftliche Instrumente entwickelt, um die Effekte des Klimawandels minimieren zu können. Darunter findet man den Handel mit Emissionsrechten von Treibhausgasen zwischen Staaten (Bucheli et al., 2013).

Für die Inventarisierung der Emissionen, die in Zusammenhang mit der UNFCCC – Konvention stehen, hat die Schweiz das „CO₂ – Gesetz“ erstellt. Dieses Gesetz bestimmt, dass alle Emissionen vom Treibhausgas CO₂ in einer Statistik aufgenommen werden müssen, „die durch die Nutzung von fossiler Brenn- und Treibstoffe entstanden sind“ (BAFU, Abteilung Klima, 2014). Die Ratifizierung des Kyoto-Protokolls bedingt, dass die Schweiz auch Emissionen weiterer Treibhausgase registrieren und in Form eines Inventars, das nationale Treibhausgasinventar, veröffentlichen muss (*Verknüpfung CO₂-Statistik nach CO₂-Gesetz mit Treibhausgasinventar*, 2012). Das Treibhausgasinventar enthält die Mengen an Emissionen aller Treibhausgase, die vom Menschen verursacht wurden, unter anderem die Emissionen die durch die Landwirtschaftlichen Tätigkeiten und die Veränderungen in der Landnutzung entstehen. Diese Emissionen werden im Kyoto-Protokoll unter der Kategorie „Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF)“ zusammengefasst (Filliger et al., 2012). Das Treibhausgasinventar enthält auch die Dokumentation über die Erhebungsmethoden, das Qualitätsmanagement und eine Analyse der Evolution der emittierten Mengen an Treibhausgasen.

2 Methode und Daten

2.1 Studienperimeter

Die räumliche Ausdehnung des Studienperimeters ist durch die Abdeckung der Kartenblätter „1132 Einsiedeln“ („Einsiedeln, Blatt 1132,“ 2008) und „1152 Ibergereg“ („Ibergereg, Blatt 1152,“ 2009) der schweizerischen Landeskarte im Massstab 1:25'000 definiert (s. Abbildung 2.2). Folgende Faktoren haben diese Abgrenzung beeinflusst:

- a. inventarisierte Hoch- und Flachmoore: In diesem Perimeter findet man aus den nationalen Inventaren 23 Hochmoore und 89 Flachmoore, in den Inventaren regionaler Bedeutung 2 Hochmoore und 115 Flachmoore (Bundesamt für Umwelt / Abteilung Arten, Ökosysteme, Landschaften, 2017) (Bundesamt für Umwelt / Abteilung Biodiversität und Landschaft, 2020) (Swiss Federal Research Institute WSL / BAFU, 2011a) (Swiss Federal Research Institute WSL / BAFU, 2011b) . Diese Moorflächen sind vom Gesetz aus als besonders schutzwürdig definiert.
- b. Intensive Torfextraktion: In der Literatur ist die Torfextraktion durch sogenannte „Torfstiche“ im Sihltal gut dokumentiert (Saurer, 2003).
- c. Vegetationskartierungen: Wegen der ökologisch wertvollen Moorvegetation wurden sehr viele Vegetationsaufnahmen und -Kartierungen durchgeführt (Höhn, 1936).
- d. Planung des Stausees: Die Planung des Stausees im Sihltal hat zu zusätzliche Forschungsarbeiten und Feldarbeiten geführt. Ziel dieser Arbeiten ist die Möglichkeit, die Resultate auf weitere ähnlichen Flächen extrapolieren zu können. Als Beispiel ist hier die Forschungsarbeit von Düggeli (1903).
- e. Die geografische Vielfalt des Gebietes: Geografisch deckt der Perimeter die Alpen im Süden und das Mittelland mit dem Zürichsee im Norden. Diese topografische Vielfalt bringt somit unterschiedliche klimatische und meteorologische Bedingungen mit sich, die einen Einfluss auf die Entwicklung der Vegetation und der Moore auf lokaler Skala haben.

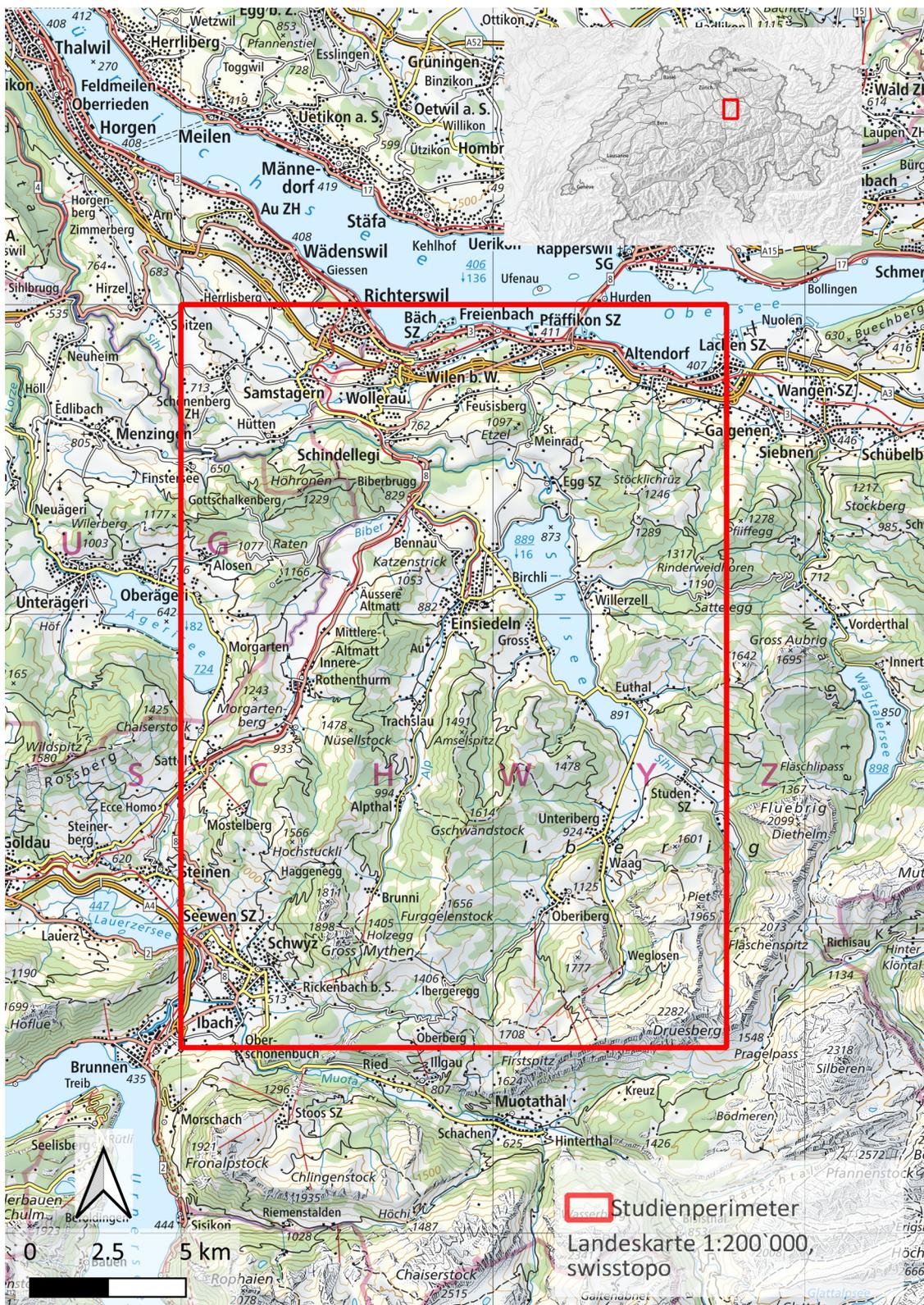


Abb. 2.2: Übersichtskarte des Studienperimeters. Hintergrundkarte: Landeskarte 1:200'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2018)

Professor Früh (1883) hat die erste Publikation über Torf und Moore im Sihltal veröffentlicht. Max Düggeli (Düggeli, 1903) veröffentlicht nur wenige Jahre später die Resultate seiner Zusammenstellung über die Vegetation und über Torfprofile. Die Professoren Früh und Schröter (1904) publizieren in einem Sammelwerk die Beschreibung der Moore aus ihren Feldarbeiten ein Jahr später.

Den Anfang der Ausgrabungen von Torf, auch „Torfstechen“ genannt, machten Personen im 18. Jahrhundert, die dafür von ausserhalb des Sihltals angereist waren. Nach mehreren Proben hat man die Qualitäten von Torf als Brennstoffs erkannt und das Interesse der Städte im Flachland stieg in kurzer Zeit. Karl Saurer (Saurer, 2003) beschreibt wie Torf gestochen, getrocknet und für den Transport vorbereitet wurde. Der Torf wurde auch für den Eigenverbrauch als Brenn- und Isolationsmaterial benutzt, so dass die grosse Nachfrage für ein wichtiges Wirtschaftswachstum in der Region Einsiedeln sorgte (Hensler and Kälin, 2003).

Das erste Projekt für den Bau eines Staudammes und eines Elektrizitätswerkes im Sihltal wurde im Jahr 1897 im Auftrag der Maschinenfabrik Oerlikon bearbeitet. Die Anfrage für eine Konzession wurde der Regierung vom Kanton Schwyz eingereicht. Während den Ersten Weltkrieg wurde das Projekt vorerst gestoppt, bis die Knappheit an energetische Ressourcen sich verbreitete und das Bedürfnis an der Stromproduktion für die Bahnen und der Industrie entstand. Nach dem Ersten Weltkrieg wurden somit neue Konzessionen bei den Kantonen Zürich, Zug und Schwyz eingeholt. Für die Bewohner der Gemeinden um Einsiedeln bedeutete die Realisierung des Staudammes einen enormen Verlust von landwirtschaftlichen Nutzflächen und von Siedlungen. Das Projekt sah vor, dass 11,6 Mio m² Land permanent überschwemmt werden und dass circa 600 Einwohner ihre 130 Häuser verlassen mussten. Heute beträgt der Nutzinhalt vom Sihlsee 92 Mio m³ Wasser (Schwager, 2003). Auf den Fotos der Abbildungen 2.3 und 2.4 wird das Tal zweimal aus dem gleichen Standpunkt und in gleicher Richtung vor und nach dem Bau der Staumauer dargestellt.

Während des Ersten Weltkriegs haben die Planer des Stausees realisiert, dass man die Umsiedlung der betroffenen Bewohner durch eine Organisation unterstützen soll. Die Knappheit an Nahrung, Energieressourcen, dazu die Wohnungsnot, waren die Hauptgründe am Ursprung dieser Idee. Im Jahr 1918 wurde zu diesem Zweck die Schweizerische Vereinigung für Innenkolonisation und industrielle Landwirtschaft (SVIL) gegründet. Ziel war die Unterstützung der Bauer bei der Suche von neuen landwirtschaftlichen Nutzflächen im Tal und die Förderung von wirtschaftlich effizienten Betrieben. Die SVIL übernahm im Auftrag der Regierungen und der Elektrizitätswerke die Koordination für die Suche nach geeigneten Parzellen, dessen Übertrag an die neuen Besitzer und einer finanziellen Entschädigung. Wegen der vielen Parteien, die involviert waren, dauerten die Verhandlungen bis 1932 (Schwager, 2003).

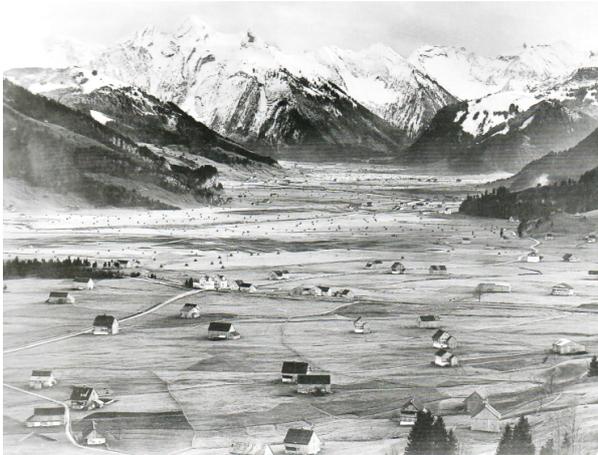


Abb. 2.3: Das Sihltal im Jahr 1910 auf einem Foto von Karl Hensler (Saurer, 2003)



Abb. 2.4: Das Sihltal im Jahr 2000 auf einem Foto von Karl Rosenberg (Saurer, 2003)

Im Perimeter befindet sich die Moorlandschaft von Rothenturm, die als „*die grösste Fläche an zusammenhängende Moore der Schweiz*“ (Grünig, 1994) definiert ist. Durch die Schutzmassnahmen werden die landwirtschaftlich genutzten Flächen extensiv bewirtschaftet und somit die Biodiversität von Flora und Fauna unterstützt. Grünig (1994) beschreibt in einer Publikation die einzelnen Moore. Die Abbildung 2.5 zeigt die Moorlandschaft im Herbst mit den typischen Farben der spezialisierten Vegetation.



Abb. 2.5: Das Tal der Biber mit der Moorlandschaft Rothenturm im Herbst (Grünig, 1994)

2.2 Methode

Der erste Arbeitsschritt befasst sich mit der Suche nach Karten und Daten die noch nicht digital zur Verfügung stehen oder schon digitalisiert wurden. Während der Recherche werden swisstopo, WSL, Agroscope und SGK nach gescannten und digitalisierten Karten auf Stufe Bund oder Kantone angefragt. Für die Karten und die Daten, die auf kantonaler Ebene erhoben oder kartiert werden, werden die respektive kantonalen Ämter kontaktiert. In einer Literaturrecherche werden Forschungsergebnisse mit räumlichem Bezug und thematische Karten gesucht.

Im zweiten Arbeitsschritt werden die Karten und die Daten ins GIS importiert. Die gescannten Karten, die zum ersten Mal als GIS-Daten verwendet werden, müssen georeferenziert werden. Die Daten aus Publikationen und Forschungsprojekten müssen räumlich anhand dessen Koordinaten lokalisiert und dargestellt werden.

Der dritte Arbeitsschritt befasst sich mit der Digitalisierung und der Selektion der Flächen, die anhand dessen Attribute, der Legende oder der zugehörigen Metadaten den Kriterien entsprechen, um die Forschungsfrage beantworten zu können. Bevor die Flächen im folgenden Arbeitsschritt modelliert werden können, ist eine topologische Überprüfung notwendig. In diesem Arbeitsschritt wird jedem Polygon ein Attributwert hinzugefügt, der definiert ob es sich um eine Fläche eines Feuchtgebietes oder ob es sich um einen Torfboden handelt.

Im vierten Arbeitsschritt werden die Flächen zuerst nach Thema gruppiert und in einem Polygonlayer zusammengeführt. Erst nachdem die Flächen in diesen Zwischenergebnissen topologisch und attributiv überprüft wurden, wird die Zusammenführung aller Polygone erstellt.

Im fünften und letzten Arbeitsschritt wird der Vergleich zwischen der modellierten Gesamtfläche und der entsprechenden Fläche vom Treibhausgasinventar durchgeführt.

2.3 Software und Werkzeuge

Das GIS wurde mit der Software QGIS, Version 3.22.1, erstellt (QGIS Association, 2022). Es werden die Funktionen und die Tools verwendet, die in der benutzten Version zur Verfügung stehen. Als Grundlage für die Georeferenzierung der Karten steht der WMS-Dienst von swisstopo, unter der URL „<https://wms.geo.admin.ch/>“, zur Verfügung. Mit diesem Dienst kann die Landeskarte im Maßstab 1:25'000

im GIS importiert werden und als Referenz benutzt werden. Die Tools für die topologische und attributive Überprüfung der Flächen, die Funktionen für die Zusammenführung der Flächen wurden mit dem Modellierungstool „Grafische Modellierung“ von QGIS angewendet. Dies erlaubt eine grafische Dokumentation des Modells, eine Korrektur von Parameter der Funktionen oder eine Anpassung der Struktur.

Die Daten der Vegetationsaufnahmen, die bei der WSL für das Projekt Moormonitoring durchgeführt wurden, werden in ein eigens programmiertes Datenbankprogramm verwaltet, dass „*VegeDaz*“ (Küchler, 2021) benannt ist. Aus dieser Software können die Daten im Format CSV exportiert und hier verwendet werden.

2.4 Daten

2.4.1 Die historische Landeskarten der Schweiz

Als erste Datenquelle wurden die historischen Kartenblätter der schweizerischen Landeskarte konsultiert. Auf diesen Karten sind die Feuchtgebiete und die Torfflächen dargestellt, die in den Jahren der Kartierung existierten. Für den Fall, dass solche Flächen durch Drainagen und Flussumleitungen später ausgetrocknet wurden, folgen wir den Grundsatz, dass sich die Geomorphologie dieser Flächen sich nicht geändert haben. Durch eine Wiederherstellung des ursprünglichen hydrologischen Systems und durch die Umsetzung von Schutzmassnahmen können die Feuchtgebiete wieder entstehen.

Die Dufourkarte

Die erste offizielle Landeskarte der Schweiz wird Dufourkarte genannt und die erste Ausgabe der Kartenblätter wurde zwischen 1845 und 1865 im Massstab 1:100'000 veröffentlicht. Die Kartierung erfolgte im Massstab 1:25'000 für die Region des Mittellandes und im Massstab 1:50'000 für das Alpengebiet. Die Kartenblätter der Dufourkarte wurden in weiteren Ausgaben nachgeführt (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, n.d.). Für unser Perimeter steht ein Ausschnitt der ersten Ausgabe des Kartenblattes IX zur Verfügung, von dem der Ausschnitt in der Abbildung 2.6 dargestellt ist (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 1845).



Abb. 2.6: Ausschnitt aus der Dufourkarte, Kartenblatt IX, Originalmassstab 1:100'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 1845)

Die Siegfriedkarte

Swisstopo veröffentlichte ab 1870 die Siegfriedkarte im Massstab 1:25'000 für die Kartenblätter des Mittellandes und des Juras, im Massstab 1:50'000 für die Kartenblätter des Alpengebiets (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, n.d.). Die Kartenblätter wurden in mehreren Auflagen bis 1949 nachgeführt. Unser Perimeter wird von den Kartenblättern 242 (Richterswil), 243 (Lachen), 244 (Altmatt), 245 (Einsiedeln), 258 (Sattel), 259 (Euthal), 260 (Schwyz), 261 (Iberg) gedeckt. Für diese Kartenblätter stehen die Ausgaben von 1888, 1894, 1907, 1920, 1937 und 1943 zur Verfügung, die in unterschiedlichen Jahren veröffentlicht wurden (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 1870). Die Tabelle 2.2 zeigt das Veröffentlichungsjahr aller

2 Methode und Daten

Kartenblätter, die für die Erstellung der Resultate benutzt wurden. Die Abbildung 2.7 zeigt ein Ausschnitt der ersten Ausgabe der Karte.

Tab. 2.2: Ausgaben der Siegfriedkarte und Publikationsjahr der einzelnen Kartenblätter im Studienperimeter (Battaglia, 2010)

Ausgabe	Jahr der Veröffentlichung							
	Blatt 242	Blatt 243	Blatt 244	Blatt 245	Blatt 258	Blatt 259	Blatt 260	Blatt 261
1888	1888	1889	1887	1889	1890	1892	1893	1892
1894	1894	1894	1894	1894	1894	1904	1904	1904
1907	1907	1907	1907	1906	1904	1920	1906	1921
1920	1920	1920	1920	1920	1920	1933	1921	1933
1937	1932	1937	1933	1937	1933	1937	1933	1943
1943	1943	1943	1943	1943	1943	1943	1943	1943



Abb. 2.7: Ausschnitt aus der Siegfriedkarte, erste Ausgabe (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 1870)

Für die Berechnungen wurden alle Ausgaben berücksichtigt, weil sich die Kartierungsmethoden mit den Jahren änderten. Am Anfang standen militärische Zwecke im Vordergrund, so wurden Feucht- und Moorgebiete nur kartiert, wenn die Pferde die militärische Maschinen nicht über dessen Fläche ziehen konnten. Mit den Jahren interessierten sich die Naturwissenschaften immer mehr für diese Flächen und so wurden ökologische Kriterien bei der Darstellung der Feuchtgebiete immer wichtiger. Der Vergleich zwischen den verschiedenen Ausgaben zeigt, dass trotz der Austrocknung von Mooren aus wirtschaftlichen Gründen in den späteren Ausgaben auch „neue“ Torfflächen kartiert wurden.

Automatisierte Extraktion der Flächen von Feuchtgebiete aus der Siegfriedkarte

Boesch und Leyk (2010) haben an der WSL ein Algorithmus entwickelt, um aus gescannten historischen Karten Polygone automatisch extrahieren zu können. Die Methode wurde spezifisch für die Digitalisierung von Feuchtgebieten auf historische topografische Karten entwickelt und stellt „ein neuartiger Ansatz zur Farbbildsegmentierung (CIS) in gescannten topografischen Archivkarten des 19. Jahrhunderts dar“ (Boesch and Leyk, 2010). Der Datensatz über die Feuchtgebiete im Studienperimeter wurde aus der ersten Ausgabe der Siegfriedkarte erstellt und für die Datenanalyse verwendet.

2.4.2 Die historische Karten der Feuchtgebiete

Die historische Feuchtgebiete vom Kanton Zürich

Die Fachstelle Naturschutz des Kantons Zürich hat für interne Projekte die Feuchtgebiete digitalisiert, die auf der ersten kantonalen topografische Karte dargestellt sind. Diese topografische Karte wurde im Jahr 1842 von der kantonalen Regierung in Auftrag gegeben, danach zwischen 1843 und 1851 unter der Leitung von Johannes Wild erstellt. Die Digitalisierung der kartografierten Feuchtgebiete wurde im Jahr 2002 von den Mitarbeitern der kantonalen Fachstelle direkt am Bildschirm ab georeferenzierte gescannte Karten durchgeführt (Fachstelle Naturschutz Kanton Zürich, 2002).

Die historische Feuchtgebiete vom Kanton Zug

Das Vermessungsamt des Kantons Zug hat ein digitaler Datensatz der Feuchtgebiete innerhalb der Kantonsgrenzen erstellt (Amt für Grundbuch und Geoinformation des Kantons Zug (AGG), 2005). Die Daten wurden im Jahr 2005 digitalisiert. Zu diesem Datensatz steht keine Dokumentation zur Verfügung.

2.4.3 Karten und Daten aus der Literatur

Karten aus den Publikationen zum Staudamm-Projekt im Sihltal

Die Autoren Früh and Schröter (1904) sowie Düggeli (1903) haben ihre Publikationen mit den Resultaten der Forschungsarbeiten mit Karten ergänzt. Die Karte von Früh und Schröter (1904) stellt die Ausdehnung der Moore vom Weiler Altmatt im Jahr 1864 dar (s. Abb. 2.8). Düggeli (1903) stellt die Pflanzengeografische Eigenschaften des Sihltals auf der Karte dar (s. Abb. 2.9).

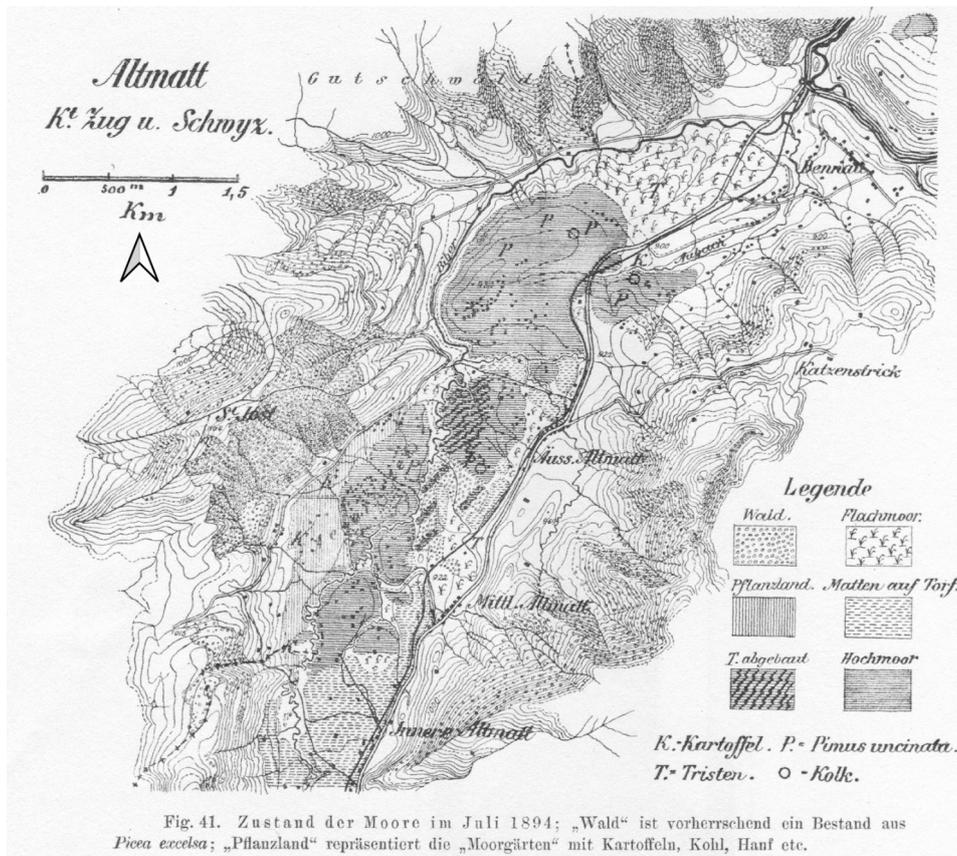


Abb. 2.8: Reproduktion der Karte aus der Publikation von Früh und Schröter (Früh and Schröter, 1904)

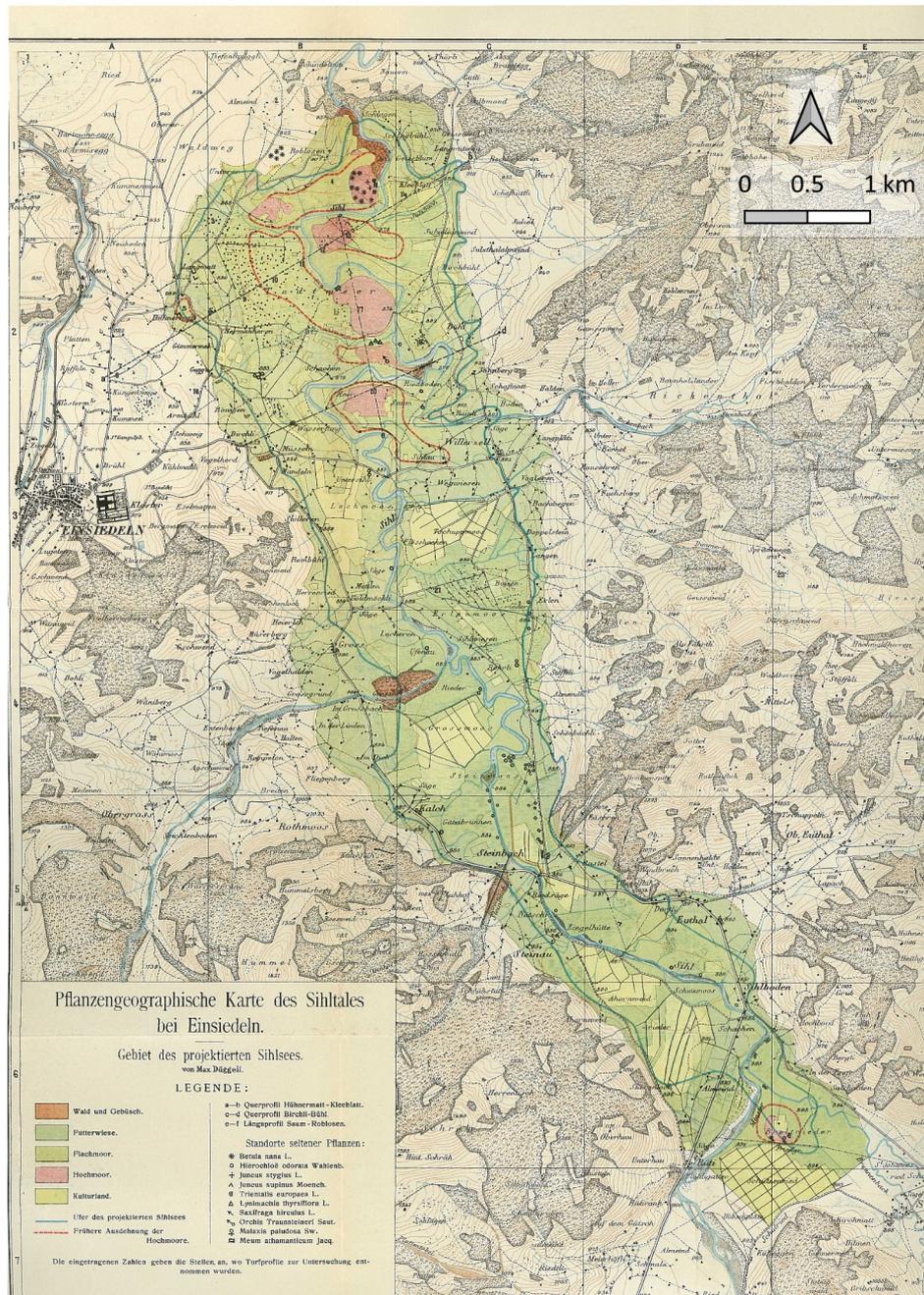


Abb. 2.9: Reproduktion der Karte aus der Publikation von Dügge, Originalmasstab: 1:25'000 (Dügge, 1903)

Räumliche Referenzierung von Vegetationsaufnahmen

Beim Forschungsinstitut WSL haben die Mitglieder des Teams „Moorinventar“ die Daten der Vegetationsaufnahmen von Walter Höhn digital bearbeitet und räumlich referenziert. Die Daten wurden im Gebiet Oberiberg, im Kanton Schwyz, erhoben und in einem Bericht der schweizerischen botanischen

Gesellschaft veröffentlicht (Höhn, 1936). Im Bericht werden die Pflanzengesellschaften der Moorflächen beschrieben. Die Pflanzenarten sind nach Gesellschaften klassifiziert, in Tabellenform aufgelistet und den Vegetationsaufnahmen zugeordnet. Die räumlichen Angaben über die Vegetationsaufnahmen sind im Text angegeben.

2.4.4 Vegetations- und Nutzungseignungskarten für landwirtschaftliche Zwecke

Nutzungseignungskarte der Alp Altmatt

Die AGFF hat die Nutzungseignungskarte der Alp Altmatt veröffentlicht, die eine kartografische Darstellung der Eignung von Vegetation für das Sömmerungsvieh beinhaltet (Brühlmann, 1990a). Die Abbildung 2.10 stellt ein Ausschnitt aus der Karte dar und die Abbildung 2.11 enthält die dazu gehörende Legende. Die Karte wurde anhand der Kartierungsanleitung von Walter Dietl (2009) erstellt (Dietl et al., 2009). Aus dieser Karte können die Bodeneigenschaften der Alpweiden interpretiert und so auch die Präsenz von Torf, Moore oder Feuchtgebiete im Allgemeinen identifiziert werden. Die Vegetationskarte der Alp Altmatt wird von einem Bericht ergänzt, in dem die Sömmerungsweiden und dessen Pflanzenbestand beschrieben sind (Brühlmann, 1990b).

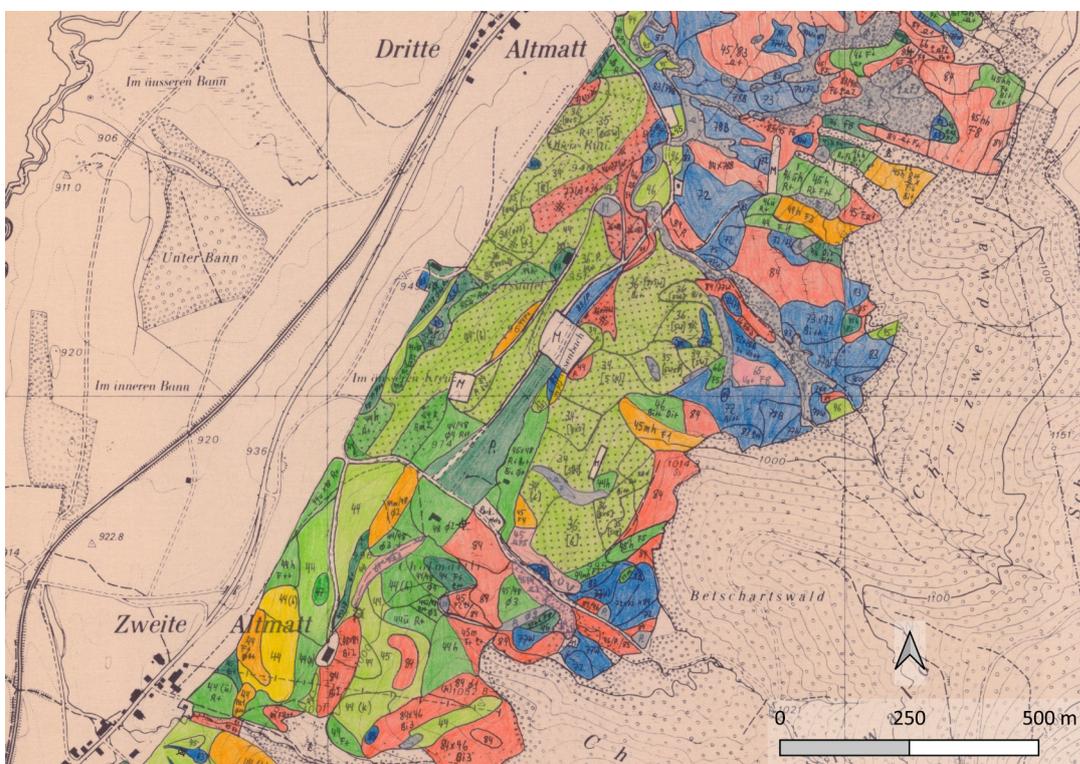


Abb. 2.10: Ausschnitt aus der Nutzungseignungskarte der Alp Altmatt, Originalmassstab: 1:5'000 (Brühlmann, 1990a)

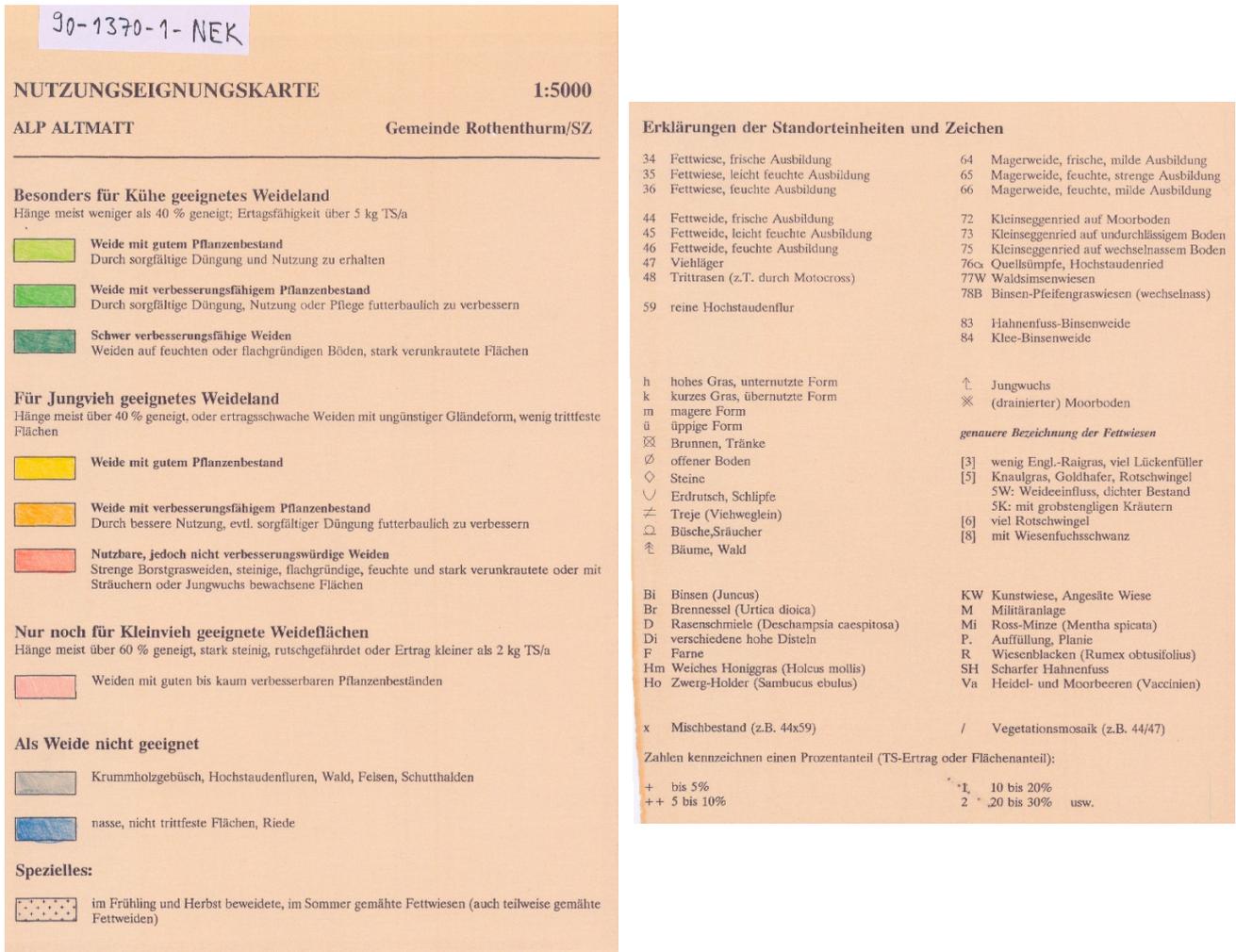


Abb. 2.11: Legende zur Nutzungseignungskarte der Alp Altmatt (Brühlmann, 1990a)

Vegetationskartierung der Skipisten von Hochstuckli

Die Firma Terra Data hat die Pisten des Skigebietes Hochstuckli vermessen und dabei auch eine Karte der Pflanzengesellschaften erstellt (s. Abbildung 2.12) (von Suri, 2006). Auch für die Erstellung dieser Karte wurde die Anleitung von Walter Dietl verwendet (Dietl et al., 2009).

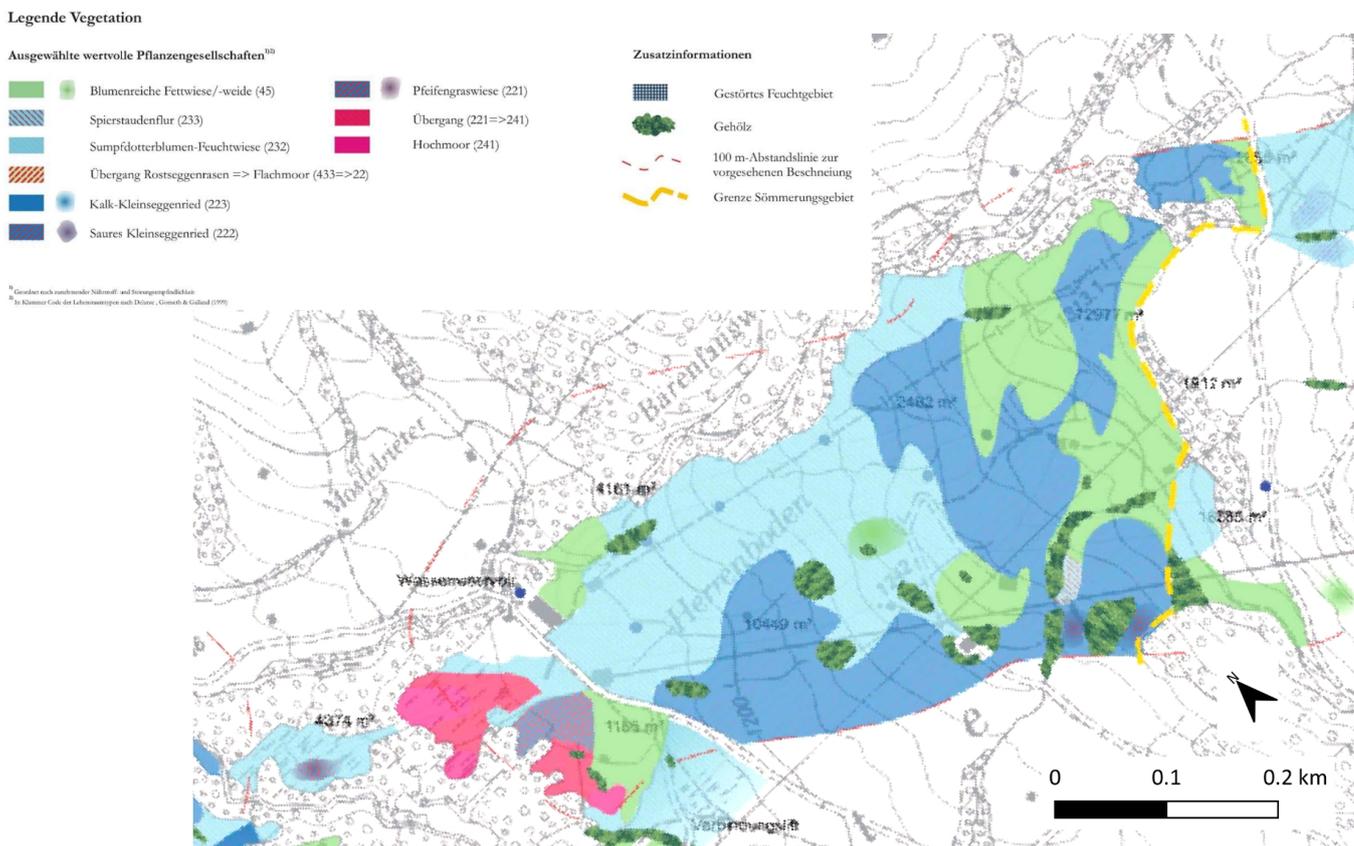


Abb. 2.12: Ausschnitt aus der Vegetationskarte der Skipisten im Gebiet Hochstuckli, Originalmassstab 1:2'000 (von Suri, 2006)

2.4.5 Geologischer Atlas der Schweiz

Swisstopo ist für die Veröffentlichung des geologischen Atlas der Schweiz im Masstab 1:25'000 verantwortlich. Die räumliche Aufteilung der Kartenblätter und dessen Nummerierung folgt die Logik der Kartenblätter der topografischen Karte im Masstab 1:25'000.

Blatt Einsiedeln 1132

Für den Perimeter dieser Arbeit steht die veröffentlichte Karte „Einsiedeln 1132“ zur Verfügung (Hantke et al., 2009). Die Karte ist mit einer Dokumentation ergänzt, die eine Erklärung über die Geologie des Perimeters und über die Entstehung der Karte enthält. Swisstopo stellt ein digitaler Datensatz im Vektor-Format des Kartenblattes online zum Download zur Verfügung.

Blatt Ibergereg

Entsprechend dem topografischen Kartenblatt Ibergereg 1152 wurde bis jetzt keine geologische Karte in der Serie des geologischen Atlas der Schweiz veröffentlicht. Die SGTK hat für die Master Thesis die gescannte Karte von Rene Hantke vom Kanton Zürich und der angrenzenden Gebiete zur Verfügung gestellt (siehe Abbildung 2.13) (Hantke, 1967).

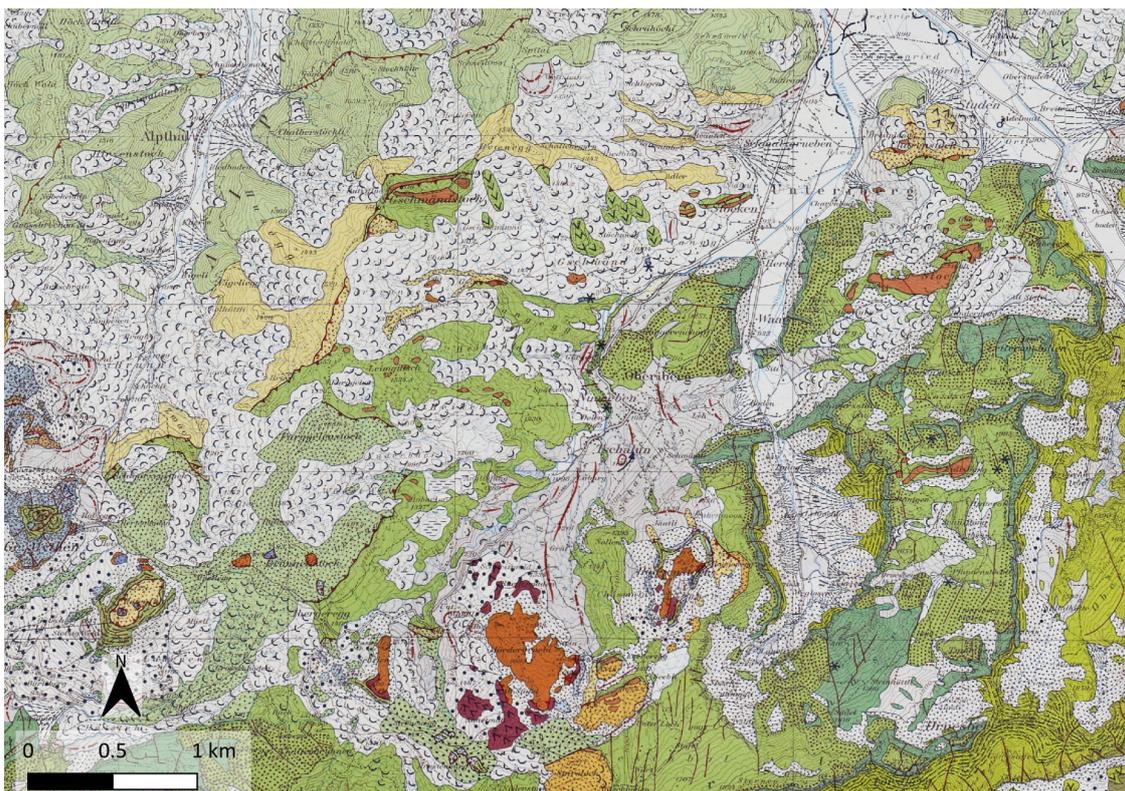


Abb. 2.13: Ausschnitt aus der Geologischen Karte vom Kanton Zürich und der angrenzenden Regionen, Originalmassstab: 1:50'000 (Hantke, 1967)

2.4.6 Die Inventare der Hoch- und Flachmoore der Schweiz

Die Erstellung eines nationalen Hoch- und Flachmoorinventars mit den zusammenhängenden Karten folgt 2 Hauptziele. Erstens, die Erfassung der schutzwürdigen Moore, die den Kriterien von Gesetz und Verordnung entsprechen. Zweitens erlaubt der Aufbau einer zusammenhängenden Datenbank die Weiterverfolgung, durch Feldbegehungen, des Zustandes der Objekte, damit die zuständigen Behörden bei Veränderungen die nötigen Schutzmassnahmen umsetzen können. Die Schutzziele wurden vom schweizerischen Bundesrat im Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz (NHG) definiert.

Das Inventar der Hoch- und Übergangsmoore von nationaler Bedeutung

Das in Kraft getretene nationale Hochmoorinventar wurde 1991 erstellt und in den folgenden Jahren ergänzt und revidiert (Info Habitat (Maillefer & Hunziker, Yverdon-les-Bains), 2017). In der Dokumentation der GIS-Daten findet man die Kriterien, die für die Aufnahme der Objekte ins Inventar und bei der Kartierung angewendet werden. Diese Kriterien sind in der folgenden Auflistung zitiert (Info Habitat (Maillefer & Hunziker, Yverdon-les-Bains), 2017):

- a. Es müssen Torfmoose vorkommen.
- b. Zusätzlich müssen entweder mindestens eine der 4 klassischen hochmoorzeigenden Gefässpflanzen oder 3 von 17 weiteren Hochmoor bewohnenden Arten vorkommen. Die entsprechende Artenliste wurde einheitlich für die ganze Schweiz festgelegt.
- c. Die zusammenhängende Hochmoorfläche muss mindestens 625 m² umfassen.

Der GIS – Datensatz wird vom BAFU herausgegeben und von swisstopo zum Download zur Verfügung gestellt (Bundesamt für Umwelt / Abteilung Arten, Ökosysteme, Landschaften, 2017). Das Datenmodell wird vom BAFU veröffentlicht und den Datennutzern zur Verfügung gestellt (Bundesamt für Umwelt BAFU /AÖL, 2017a).

Das Inventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung

Das nationale Flachmoorinventar wurde im Jahr 1994 vom schweizerischen Bundesrat in Kraft gesetzt. Die Daten wurden ab 1990 von der WSL erhoben und bis 2017 revidiert. Der GIS-Datensatz wurde von der Firma Meteotest erstellt und revidiert. In der Dokumentation der GIS-Daten werden die Kriterien aufgelistet die ein

Objekt erfüllen muss, damit es ins Inventar aufgenommen wird. In der folgenden Liste werden die Kriterien zitiert (Info Habitat (Maillefer & Hunziker, Yverdon-les-Bains), 2021):

- a. Mindestfläche von 1 ha
- b. Flachmoorflächen, die mehr als 100 m auseinanderliegen, wurden als separate Objekte erfasst
- c. mindestens 15 Punkte beim Bewertungsmass. Das Bewertungsmass "W" wird wie folgt berechnet:

$$W = N + 2D + F.$$

N = Anzahl Vegetationseinheiten, D = Anzahl Vegetationsgruppen, F = Fläche (ha)

- d. Antrag auf Aufnahme infolge Singularitäten (Besonderheiten).

Der GIS – Datensatz wird vom BAFU herausgegeben und von swisstopo zum Download zur Verfügung gestellt (Bundesamt für Umwelt / Abteilung Biodiversität und Landschaft, 2020). Das Datenmodell wird vom BAFU veröffentlicht und den Datennutzern zur Verfügung gestellt (Bundesamt für Umwelt BAFU /AÖL, 2017b).

Moorinventar regionaler Bedeutung

Die WSL hat auch ein Hoch- und Flachmoorinventar regionaler Bedeutung mit Objekten erstellt, die nach der Kartierung und einer Selektionsphase nicht in die nationalen Inventare aufgenommen wurden. Die Erhebungs- und Kartierungsmethode entsprechen die der nationalen Inventare. Für das Perimeter dieser Arbeit sind im Inventar 222 Flachmoorobjekte (Swiss Federal Research Institute WSL / BAFU, 2011b) und 2 Hochmoorobjekte (Swiss Federal Research Institute WSL / BAFU, 2011a) enthalten.

2.4.7 Die Bodenkarten der landwirtschaftlichen Nutzungsflächen

Bodenkarte vom Kanton Zug

Das Amt für Umweltschutz des Kantons Zug ist der Herausgeber der kantonalen Bodenkarte der Landwirtschaftsflächen im Massstab 1:5'000 (Amt für Umwelt des Kantons Zug, 2011). In der Dokumentation der Daten wird den Inhalt der Karte so beschrieben: „ Sie stellt die natürlichen bodenkundlichen Verhältnisse der landwirtschaftlich genutzten Böden im Kanton Zug dar und gibt Auskunft über den Bodentyp, den Wasserhaushalt des Bodens, den Bodenaufbau/-zusammensetzung und die Oberflächengestaltung. Die

2 Methode und Daten

Bodenkarte dient als Grundlage für den standort-gerechten Landbau, die Bodenbewertung, die Planung von Bodenverbesserungsmassnahmen und die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)“ (Kanton Zug, Baudirektion, Amt für Umwelt, 2019). In der hier zitierten Dokumentation steht auch die Legende und dessen Erklärung zur Verfügung.

Bodenkarte vom Kanton Zürich

Der Kantonsrat beauftragte, unter der Leitung vom Amt für Bodenschutz, im Jahr 1988 die Forschungsanstalt Agroscope mit der Erstellung der landwirtschaftlichen Bodenkarte im Massstab 1:5'000 des Kantons Zürich (Kanton Zürich, Amt für Landschaft und Natur - Bodenschutz, 1996). Die Kartierungsarbeiten erfolgten von 1989 bis 1996 und die Daten wurden anschliessend in einem GIS für die Veröffentlichung bereinigt. Die Autoren der Karte erklären in der Dokumentation, dass im ausgewählten Massstab die Bodeneigenschaften parzellenscharf definiert werden können. Es wird aber auch beschrieben, dass der Übergang zwischen verschiedene Bodentypen nicht durch eine Linie dargestellt werden kann, denn dieser kann auch einige Meter in Anspruch nehmen (Baudirektion Kanton Zürich, Fachstelle Bodenschutz, 2019). Wegen diesen Unsicherheiten wurde die kleinste Kartiereinheit mit einer Fläche von 25 Aren definiert. Zusätzlich zum Bodentyp wurden im Kanton Zürich auch weitere Eigenschaften kartiert und veröffentlicht, aus denen weitere Bodeneigenschaften abgeleitet werden können. Eine Erklärung der Legende, beziehungsweise der Bodeneigenschaften und dessen Einteilung in Klassen findet man in der online zur Verfügung stehender Dokumentation (Baudirektion Kanton Zürich, Fachstelle Bodenschutz, 2019). Das Datenmodell des GIS-Datensatzes der Bodenkarte und die angewendete Kartierungsmethode wurde von der Fachstelle Bodenschutz veröffentlicht (ALN Amt für Landschaft und Natur, Fachstelle Bodenschutz, 2008).

2.4.8 Karten über den Wandel der Kulturlandschaft in der Schweiz

Durch die Erfahrungen, die Klaus Ewald beim forschen über den Landschaftswandel und den Verlust an natürliche sowie ursprüngliche Landschaftstypen gemacht hat, musste er feststellen, dass wenige Projekte sich wissenschaftlich mit der quantitativen und qualitativen Bewertung des Landschaftswandels befassen. Ewald (1978) befasst sich mit der Definition von ursprünglicher und natürlicher Landschaft, dessen Bewertung und wie sich die Anzahl und die räumliche Verteilung von wertvollen Landschaftstypen mit der Zeit verändert haben. Seine Untersuchungsmethode befasst sich mit der Analyse von Luftbildern und topografischen Karten, ergänzt mit Feldkartierungen.

Die Resultate der Analysen wurden auf mehrere bearbeitete Kartenblätter der schweizerischen Landeskarte im Massstab 1:25'000 dargestellt, unter anderem fürs Kartenblatt „1132 Einsiedeln“. Auf dieser Karte ist eine grosse Anzahl von Feuchtgebieten dargestellt, die zwischen 1944 und 1971 verschwunden sind, Gewässer die im gleichen Zeitraum eingedolt wurden und von Entwässerungen die im Jahr 1944 operativ waren um den Torfabbau zu fördern. Es werden aber auch Wasserflächen und Feuchtgebiete dargestellt, die im gleichen Zeitintervall entstanden sind. Diese Karte ist besonders auch wegen den Feldaufnahmen über die neu entstandenen Feuchtgebiete wertvoll (Ewald, 1978). In der Abbildung 2.14 ist ein Ausschnitt aus dieser Karte dargestellt und in der Abbildung 2.15 die dazugehörige Legende.

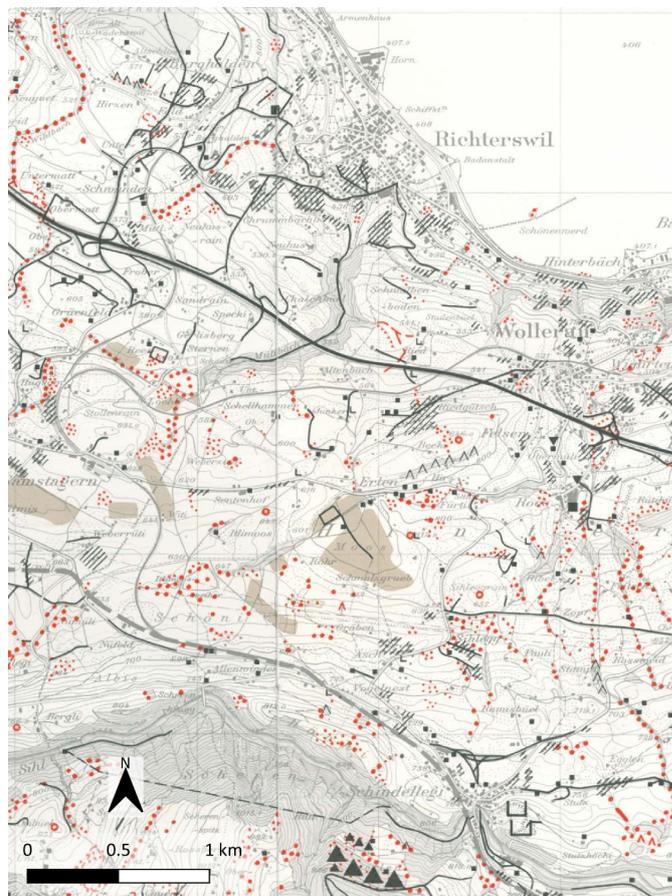


Abb.2.14: Ausschnitt aus dem Kartenblatt „Einsiedeln 1132“ der Publikation von Ewald (1978)

2 Methode und Daten

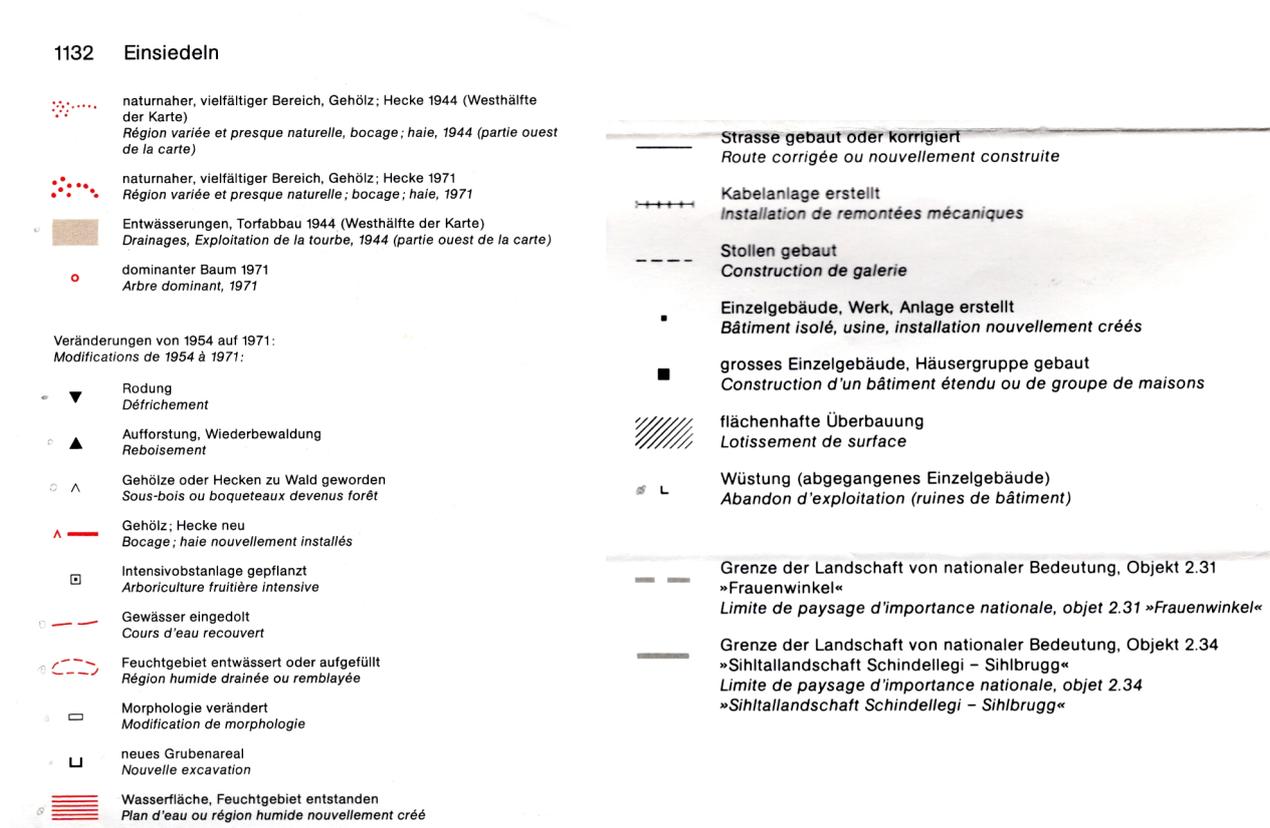


Abb. 2.15: Legende zur Karte „Einsiedeln 1132“ aus der Publikation von Ewald (1978)

2.4.9 Meliorationskataster des Kantons Zürich

Die Abteilung Landwirtschaft vom Amt für Landschaft und Natur des Kantons Zürich hat den Datensatz des Meliorationskatasters für die landwirtschaftlich genutzten Flächen erstellt (Kanton Zürich, Amt für Landschaft und Natur, 2011). Es beinhaltet alle landwirtschaftliche Flächen, die durch staatlich geförderte Meliorationsmassnahmen entwässert wurden. Die Durchführung von Massnahmen beweisen, dass diese Perimeter früher mit Feuchtgebieten oder Moore bedeckt waren. In der Dokumentation zum Geodatensatz findet man folgende Beschreibung: „Der Meliorationskataster ist als Übersicht konzipiert und beinhaltet die generalisierte geografische Darstellung von sämtlichen, je mit staatlicher Unterstützung ausgeführten Unternehmen der landwirtschaftlichen Strukturverbesserungen im Kanton Zürich in den Bereichen Hoch- und Tiefbau seit der Gründung des kantonalen Meliorations- und Vermessungsamtes anno 1890“ (Kanton Zürich, Amt für Landschaft und Natur, 2011).

2.4.10 Die Geomorphologische Karte des Kantons Zug

Das Grundbuch- und Vermessungsamt vom Kanton Zug hat den digitalen Datensatz der geomorphologischen Karte veröffentlicht (Amt für Grundbuch und Geoinformation des Kantons Zug, 2011). Diese Daten enthalten die schützenswerten Landschaften und Objekte im Kanton Zug und dienen hauptsächlich als Grundlage für die internen Projekte der Amtsstellen.

2.4.11 Die Daten der kantonalen Land- und Forstwirtschaftsämter

Die Daten vom Amt für Landwirtschaft des Kantons Zug

Das Amt für Landwirtschaft des Kantons Zug hat uns einen Auszug ist für die Veröffentlichung des GIS-Datensatzes über die Naturschutzgebiete verantwortlich, die nach NHG geschützt sind und für das Direktzahlungssystem des Bundes unter Vertrag stehen (Amt für Landwirtschaft Kanton Zug, 2011). Aus diesem Datensatz wurden die Flächen der extensiv genutzten Streuwiesen, die sich innerhalb unseres Studienperimeters befinden, verwendet. Streuwiesen haben eine pflanzensoziologische Zusammensetzung, die typisch für Feuchtgebiete und Flachmoore ist. Eine Beschreibung der Pflanzenarten, die in einer Streuwiese vorkommen und wie diese genutzt werden, findet man in verschiedenen Kapiteln der Publikation „Moore und Moorschutz in der Schweiz“ des BAFU (Baumgartner, 2002).

Die Daten des Kantons Schwyz

a. GIS-Daten der Naturschutzgebiete

Das Amt für Landwirtschaft ist für die Verwaltung des Datensatzes über die Naturschutzgebiete nach NHG und der unter Direktzahlungsvertrag stehenden Parzellen verantwortlich (Amt für Natur, Jagd und Fischerei, Abteilung Natur- und Landschaftsschutz, Kanton Schwyz, 2011). Aus diesem Datensatz wurden die Flächen der Moorobjekte und dessen Umgebungszonen für die Modellierung selektiert.

b. Bewirtschafterpläne der Landwirtschaftszonen

Das Amt für Landwirtschaft ist für die Erstellung der Bewirtschafterpläne der Landwirtschaftszonen zuständig (Amt für Landwirtschaft (AFL), Kanton Schwyz, 2011). Auf diesen Plänen sind die Parzellen mit der entsprechenden Nutzungsart dargestellt. Diese Pläne werden nur für amtsinterne Zwecke verwendet. Um eine

2 Methode und Daten

Antwort auf unsere Fragestellung erhalten zu können, sind die Parzellen relevant, die als Streuwiesen deklariert wurden. Die Beschreibung der Streuwiesen kann in der Publikation „Moore und Moorschutz in der Schweiz“ des BAFU gelesen werden (Baumgartner, 2002).

c. Waldkartierungen der Kantons Schwyz

Das Amt für Forstwirtschaft des Kantons Schwyz hat uns die unveröffentlichten digitalen Daten aus der Forschungsarbeit von Thomas Preiswerk über die Pflanzensoziologie von Waldstandorten des Kantons Schwyz zur Verfügung gestellt (Preiswerk, 2000). Preiswerk (2000) hat aus der gesamten Fachliteratur alle Angaben über Vegetationsaufnahmen zusammengetragen und anhand des Kartierungsschlüssels von Ellenberg und Klötzli aus dem Jahr 1972 klassifiziert. Diese Aufnahmen wurden vom Autor durch Feldbegehungen ergänzt und durch statistische Methoden neu klassifiziert. In der Dokumentation ist der neu entstandene Klassifizierungsschlüssel im Detail beschrieben und liegt in der Version 1.1 vom Jahr 2000 vor (Preiswerk, 2000).

2.4.12 Digitaler Datensatz der Landeskarte im Masstab 1:10'000, Vector10

Die Datengrundlagen für die Beantwortung unserer Fragestellung beinhaltet der GIS-Datensatz „Vector10“ der aktuellen topografischen Landeskarte im Masstab 1:10'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2013). Feuchtgebiete und Torf werden heute auch aus ökologischen und Umweltschutz – Gründen kartiert und dargestellt. So ist es möglich, dass auf aktuellen Karten Feuchtgebiete dargestellt sind, die in früheren Ausgaben nicht vorhanden waren. Die Daten, die den Kartenblättern 1132 und 1152 entsprechen, wurden im Jahr 2013 nachgeführt und werden im Masstab 1:10'000 nur in digitaler Form veröffentlicht (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2013). Diese Datensätze werden von swisstopo mit einer Open Source - Lizenz zum Download zur Verfügung gestellt.

2.4.13 Das Treibhausgasinventar vom Jahr 2012

Filliger et al. (2012) beschreiben in der Dokumentation zum Treibhausgasinventar von 2012 wie die Daten der Kategorie LULUCF anhand der Methoden des IPCC erhoben und durch länderspezifische Erhebungen ergänzt wurden. Die Klassifizierung der Landnutzung wird räumlich explizit in einem Hektar-Raster definiert. In der Tabelle 2.3 sieht man eine Zusammenstellung der Klassifikation in Kategorien, Unterkategorien und den Codes, die von den Konventionen und Protokolle definiert wurden. Die Klassifikation der Rasterzellen einer Nutzungskategorie definiert die Menge an Treibhausgase die von dieser Zelle emittiert werden. Um genauere

Schätzungen machen zu können, wurden die Nutzungskategorien zusätzlich nach Höhenzonen (3 Kategorien), nach geomorfologischen und klimatologischen Bedingungen, und nach dem Bodentyp unterteilt. Die benutzten Werte für die Emissionen und die für die Bindung von Kohlenstoff in den entsprechenden Kategorien wurden wo möglich anhand von Forschungsarbeiten bestimmt. Auch Schätzungswerte und Annahmen aus den IPCC - Berichten wurden angewendet, da flächendeckende Auswertungen in 2012 noch nicht zur Verfügung standen (Filliger et al., 2012).

Die Zuordnung einer Hektar-Fläche an einer Kategorie basiert auf der Arealstatistik, die vom schweizerischen Bundesamt für Statistik geführt wird. Diese Methode beruht auf die Zuordnung der Hektar – Rasterzellen (Total: 4'128 kha) den 46 Landnutzungs- und 27 Landbedeckungskategorien. Die Klassifizierung wird anhand der Interpretation von Luftbildern durchgeführt. Um die Veränderungen in der Landnutzung darstellen zu können, wurden Bilder aus 3 Zeitphasen verwendet. Die Bilder der 3 Phasen stammen aus den Zeiträumen 1979 – 1985 (AREA 1), 1992 – 1997 (AREA 2) und 2004 – 2009 (AREA 3). Weil die Interpretationsarbeit noch nicht abgeschlossen ist, hat man Daten aus älteren Erhebungen für die Klassifikation verwendet.

2 Methode und Daten

Tab. 2.3: Kategorien und Unterkategorien der Landnutzung wie sie im Treibhausgasinventar benutzt werden (Filliger et al., 2012)

CC Main category	CC Sub-division	Remarks	Terminology in CRF tables	CC code
A. Forest Land	Afforestations	areas converted to forest by active measures, e.g. planting	afforestation	11
	Productive Forest	dense and open forest meeting the criteria of forest land	productive	12
	Unproductive Forest	brush forest and forest on unproductive areas meeting the criteria of forest land	unproductive	13
B. Cropland		arable and tillage land (annual crops and leys in arable rotations)		21
C. Grassland	Permanent Grassland	meadows, pastures (low-land and alpine)	permanent	31
	Shrub Vegetation	agricultural and unproductive areas predominantly covered by shrubs	woody, shrub	32
	Vineyards, Low-Stem Orchards, Tree Nurseries	perennial agricultural plants with woody biomass (no trees)	woody, vine	33
	Copse	agricultural and unproductive areas covered by perennial woody biomass including trees	woody, copse	34
	Orchards	permanent grassland with fruit trees	woody, orchard	35
	Stony Grassland	grass, herbs and shrubs on stony surfaces	unproductive, stony	36
	Unproductive Grassland	unmanaged grass vegetation	unproductive	37
D. Wetlands	Surface Waters	lakes and rivers	surface	41
	Unproductive Wetland	reed, unmanaged wetland	unproductive	42
E. Settlements	Buildings and Constructions	areas without vegetation such as houses, roads, construction sites, dumps	building	51
	Herbaceous Biomass in Settlements	areas with low vegetation, e.g. lawns	herb	52
	Shrubs in Settlements	areas with perennial woody biomass (no trees)	shrub	53
	Trees in Settlements	areas with perennial woody biomass including trees	tree	54
F. Other Land		areas without soil and vegetation: rocks, sand, scree, glaciers		61

Die Kategorie CC42 „Unproductive Wetland“ des Treibhausgasinventars wird anhand der räumlichen Daten des nationalen Hochmoorinventars und der schweizerischen Bodenkarte im Massstab 1:200'000 definiert. Die Daten enthalten das Attribut „Orgsoil3“ mit den Werten 0 für mineral soil, 1 für „organic soil aufgrund Bodeneignungskarte 1:200'000“ und 2 für „organic soil aufgrund des Hochmoor-Inventars.“ (Rihm, 2012). Filliger et al. (2012) beschreiben die Daten für die Kategorie CC42 folgenderweise: „Die Landnutzung der Kategorie CC42, unproduktive Feuchtgebiete, enthält die Flächen der per Gesetz geschützten Moore und die in den nationalen Moorinventaren aufgenommen wurden. Diesen Flächen werden 240 t C ha⁻¹ als Carbon stock, für eine Mächtigkeit bis 30 cm Tiefe, zugewiesen. Diesen Wert gilt für Moore auf organische Böden. Den Mooren über mineralische Böden wird einen durchschnittlichen Wert von 68.23 t C ha⁻¹ als Carbon stock, mit einer Tiefe bis 30 cm, zugewiesen“.

2.4.14 Das Treibhausgasinventar vom Jahr 2015

Das Team Chloé Wüst-Galley, Andreas Grünig und Jens Leifeld (2015) von Agroscope hat in einer Forschungsarbeit die Datengrundlagen der organischen Böden der Schweiz für das Treibhausgasinventar überarbeitet. Ziel der Arbeit ist eine genauere Schätzung über die Fläche der organischen Böden in der Schweiz. Die Schätzung, die für die Daten von 2012 verwendet wurde, ist ihrer Meinung nach zu ungenau (Wüst-Galley et al., 2015). *„Ziel ihrer Arbeit ist die Erstellung einer digitalen Karte der organischen Böden die Torf enthalten. Diese Karte wird anschliessend in einer 1 ha Karte transformiert, die für das Treibhausgasinventar benutzt werden kann“* (Wüst-Galley et al., 2015) und der Klassifikation entspricht, die im vorgehenden Kapitel dargestellt wird. Es wurden auch Qualitätskriterien erstellt, die von den Datensätzen und Karten respektiert werden müssen, damit diese verwendet werden können (Wüst-Galley et al., 2015):

1. Die Polygone müssen einen Wert enthalten, der definiert wie hoch die Möglichkeit ist, dass sie Torf enthalten.
2. Die Methode für die Erstellung nutzt bestehende Datensätze, sollte aber offen sein, um Daten aus neuen Quellen hinzufügen zu können.
3. Die Karte soll reproduzierbar sein und die Erstellungsmethode transparent.
4. Die Karte wird mit einer Liste ergänzt, die Angaben über die Kantone enthält, für denen Kartengrundlagen fehlen.
5. Die Autoren wollen auch Vorschläge machen, um in Zukunft die Genauigkeit der Schätzung steigern zu können.

Für die Erstellung der Karte wurden Daten mit folgenden Kriterien mit Priorität ausgewählt (Wüst-Galley et al., 2015):

1. Die Daten und die Karten von Bundesquellen sollten die gesamte Fläche der Schweiz abdecken oder die Daten der Kantone sollten die kantonale Fläche abdecken.
2. Die Karten müssen räumlich genaue Polygone enthalten oder dessen Digitalisierung mit genauen Abgrenzungen ermöglichen.
3. Der Kartenmassstab muss genügend gross sein, damit die Bodeneinheiten kartiert werden können und im 100 x 100 m Raster des Treibhausgasinventars konvertiert werden können. Dies entspricht „einer Erfassungsgröße von 100 m bis 200 m“ (Wüst-Galley et al., 2015). Die Grösse der Flächen auf einer heterogenen Topografie der Schweiz müssen berücksichtigt werden, da sie einen Einfluss auf die Generalisierung der Karte haben.

2 Methode und Daten

Datensätze mit folgendem Inhalt wurden als Quellen für die Erreichung der Objektivität und die Erstellung des Datensatzes über die organischen Böden des Treibhausgasinventars angewendet (Wüst-Galley et al., 2015):

1. Bodenkarten: für Teile der landwirtschaftlichen Nutzungsflächen der Kantone
2. Inventare der Flach- und Hochmoore mit nationaler Bedeutung
3. Inventare der Flach- und Hochmoore mit regionaler Bedeutung
4. Auengebiete von nationaler Bedeutung (Aueninventar)
5. Inventare auf kantonaler Ebene
6. Waldstandortkarten
7. Vegetationskarten
8. Karten der ökologischen Ausgleichsflächen: Landwirtschaftliche Nutzungsflächen die aus ökologischen Gründen vertraglich geschützt sind und Direktzahlungen erhalten
9. Geologische und hydrologische Karten
10. Dokumentierte Flächen in der Literatur

Alle Datensätze und im Detail alle selektierten Flächen wurden anhand der erwähnten Kriterien qualitativ klassifiziert. Es wurden 8 Klassen definiert und in der folgenden Abbildung wird die Eignung der Klassen für die Nutzung der Flächen im Treibhausgasinventar dargestellt (s. Abbildung 2.16). Die Daten enthalten auch ein Attribut bezüglich der Unsicherheiten, die nach der Bestimmung der räumlichen Flächen und nach dessen Attributierung durch die Qualitätskontrolle definiert wurden. Um eine Antwort auf die Forschungsfrage geben zu können, wurde die vom Projekt resultierende Vektorkarte verwendet, mit den Flächen der Klassen I bis V und den Wert 0 für das Attribut „conflict“, der die Abwesenheit von Unsicherheiten definiert (Wüst-Galley, 2021).

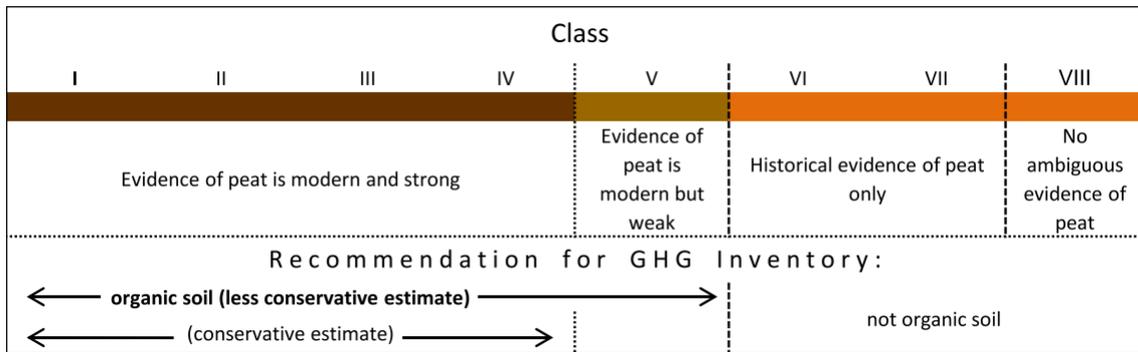


Abb. 2.16: Definition der Klassen für die einzelnen Polygone und dessen Eignung für die Verwendung im Treibhausgasinventar (Wüst-Galley et al., 2015)

2.4.15 Zusammenstellung der Datenquellen

In der Tabelle 2.4 wird eine Zusammenfassung der verwendeten Daten und Karten dargestellt.

Tab. 2.4: Zusammenstellung der Datenquellen, die für die Berechnungen verwendet wurden

Karte	Ausgabe, Autoren	Perimeter der Karte	erhaltenes Kartenformat	räumlicher Typ der digitalen Objekte
Dufourkarte	erste Ausgabe (zwischen 1845 und 1865)	ganzes Studienperimeter	georeferenziertes Raster	
Siegfriedkarte	1888	ganzes Studienperimeter	georeferenziertes Raster	
	1894	ganzes Studienperimeter	digitaler Datensatz	Polygon
	1907	ganzes Studienperimeter	digitaler Datensatz	Polygon
	1920	ganzes Studienperimeter	digitaler Datensatz	Polygon
	1937	ganzes Studienperimeter	digitaler Datensatz	Polygon
Automatisierter Auszug aus der Siegfriedkarte (1. Ausgabe)	R. Bösch, WSL	ganzes Studienperimeter	digitaler Datensatz	Polygon
Vector10, Landeskarte 1:10'000	aktuelle Ausgabe, 2013	ganzes Studienperimeter	digitaler Datensatz	Polygon, Linie, Punkt
Historische Feuchtgebiete	Kanton Zürich	Kanton Zürich	digitaler Datensatz	Polygon
	Kanton Zug	Kanton Zug	digitaler Datensatz	Polygon
Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000 (*)	swisstopo	1132, Blatt Einsiedeln	digitaler Datensatz	Polygon, Linie, Punkt
	Hantke (1967)	1152, Blatt Ibergereg (Teil der veröff. Karte)	georeferenziertes Raster	
Geomorphologische Karte	Kanton Zug	Kanton Zug	digitaler Datensatz	Polygon, Linie, Punkt
Vegetations- und Nutzungseignungs-karten	Früh und Schröter	Alp Altmatt, Rothenthurm	gescannte Karte	
	Düggeli	Sihltal	gescannte Karte	
	Höhn-Ochsner	Oberiberg, Kanton Schwyz	Daten in Tabelle	Punktkoordinaten als Attribut
	Brühlmann, AGFF	Alp Altmatt	gescannte Karte	
	Terra Data	Pistenbereich Hochstuckli	gescannte Karte	
Moorinventare	nationales Hochmoorinventar	ganzes Studienperimeter	digitaler Datensatz	Polygon
	nationales Flachmoorinventar	ganzes Studienperimeter	digitaler Datensatz	Polygon
	regionales Flachmoorinventar	ganzes Studienperimeter	digitaler Datensatz	Polygon
	regionales Hochmoorinventar	ganzes Studienperimeter	digitaler Datensatz	Polygon
Vegetationsaufnahmen für Moorinventare	WSL	Kanton Schwyz, Schwerpunkt Alptal	Daten in Tabelle	Punktkoordinaten als Attribut
Bodenkarten	Kanton Zug	Kanton Zug	digitaler Datensatz	Polygon
	Kanton Zürich	Kanton Zürich	digitaler Datensatz	Polygon
Meliorationskataster	Kanton Zürich, Stand 2011	Kanton Zürich	digitaler Datensatz	Polygon
Naturschutzgebiete, Vertragsflächen	Amt für Land- und Forstwirtschaft, Kanton Zug	Kanton Zug	digitaler Datensatz	Polygon
	Amt für Land- und Forstwirtschaft, Kanton Schwyz	Kanton Schwyz	digitaler Datensatz	Polygon
Bewirtschaftungspläne	Amt für Land- und Forstwirtschaft, Kanton Schwyz	Kanton Schwyz	gescannte Karte	
Waldstandortkarte	Amt für Land- und Forstwirtschaft Kanton Schwyz, Thomas Preiswerk	Kanton Schwyz	digitaler Datensatz	Polygon
Veränderung der Kulturlandschaft	K. Ewald	1132, Blatt Einsiedeln	gescannte Karte	
Treibhausgasinventar, 2012	Metetest	ganzes Studienperimeter	Tabelle	Punkte mit Koordinaten
Treibhausgasinventar, 2015	Agroscope	ganzes Studienperimeter	digitaler Datensatz	Polygon

3 Ergebnisse

3.1 Flächen aus den historischen topographischen Karten

3.1.1 Torf- und Feuchtgebietsflächen aus der Siegfriedkarte

Annina Battaglia hat für Ihre Masterarbeit die Torfsymbole aus allen Ausgaben der Siegfriedkarte in ein Punktlayer pro Ausgabe digitalisiert (Battaglia, 2010). Anschliessend wurden aus den Punkten zusammenfassende Flächen in ein Polygonlayer pro Ausgabe erstellt. Mit der Funktion „Vereinigungen“ aus QGIS wurde ein Polygonlayer erstellt, in dem alle Polygone zusammengefasst wurden. Die Autorin hat aus den Ausgaben 1894, 1907, 1920 und 1937 die Flächen der Feuchtgebiete digitalisiert, für jede Ausgabe ein Polygonlayer (Battaglia, 2010).

Um die Feuchtgebiete aller Ausgaben für die Modellierung berücksichtigen zu können, wurden die Flächen aus der ersten Ausgabe der Siegfriedkarte digitalisiert (siehe Abbildung 3.1). Die Digitalisierung der Flächen wurde mit den folgenden Arbeitsschritten durchgeführt:

- a. Die von Battaglia (2010) georeferenzierten Kartenblätter wurden in einem QGIS-Projekt importiert und im Massstab 1:25'000 dargestellt.
- b. Die Polygonlayer, die von Battaglia (2010) erstellt wurden, wurden im QGIS-Projekt importiert.
- c. In ein neues Polygonlayer wurden die Flächen der Feuchtgebiete digitalisiert, insofern diese in den Polygonlayern der folgenden Kartenausgaben noch nicht vorhanden sind.
- d. Mit der Funktion „Vereinigungen“ aus QGIS wurde ein zusammenfassender Polygonlayer erstellt, der die Flächen der Feuchtgebiete aus allen Ausgaben der Siegfriedkarte enthält.

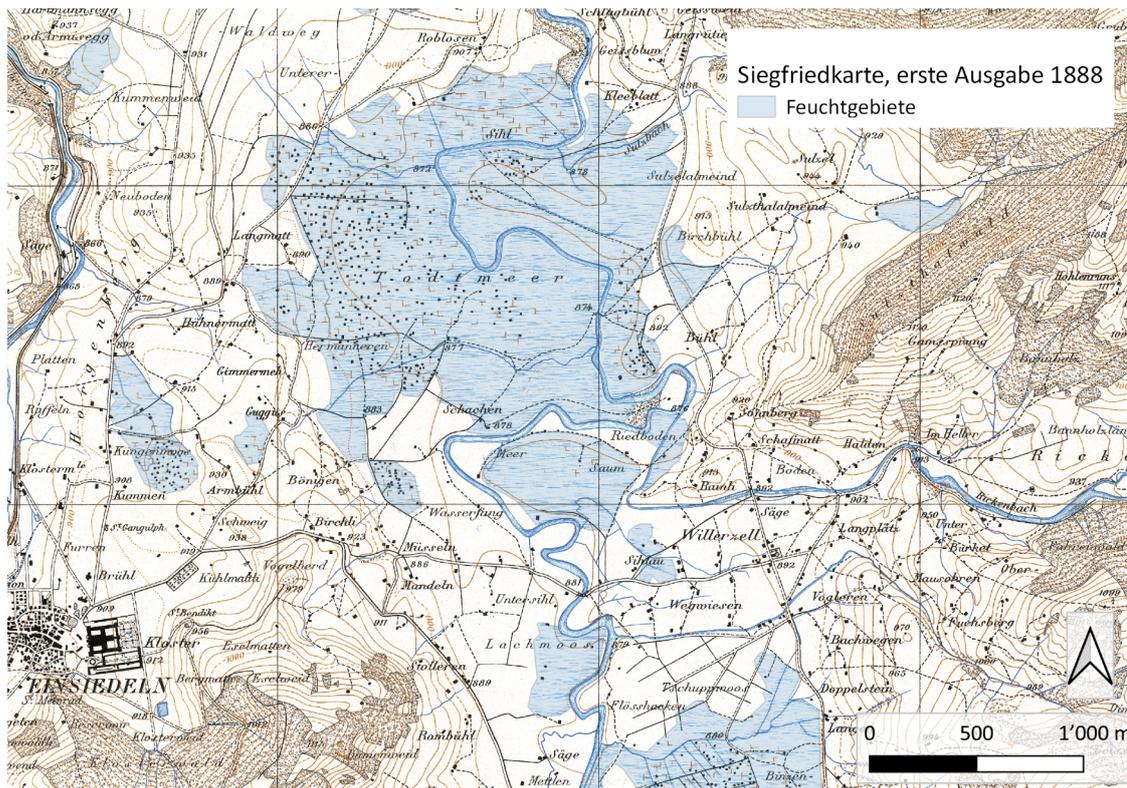


Abb. 3.1: Digitalisierte Feuchtgebiete aus der ersten Ausgabe der Siegfriedkarte (Hintergrundkarte) (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 1870)

3.1.2 Torfflächen aus der Dufourkarte

Das Studienperimeter wird von den Teilen 9 und 13 des Kartenblattes IX der Dufourkarte abgedeckt (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 1845). Die zwei Teile des Kartenblattes wurden bei der WSL gescannt und das Blatteil 13 für die Durchführung der Forschungsprojekte auch georeferenziert. Für diese Master Thesis wurde in QGIS das Blatteil 9 anhand des vorhandenen Koordinatengitters im Koordinatensystem EPSG 21781 georeferenziert.

Für die Digitalisierung der Torfflächen wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt (siehe Abbildung 3.2):

- a. Darstellungsmaßstab: Die Teile 9 und 13 des Kartenblattes IX wurden in QGIS im Maßstab 1:25'000 dargestellt. Da der Kartierungsmaßstab dieser Kartenteile nicht dokumentiert ist, wurde die Annahme getroffen, dass der nördliche Teil unseres Studienperimeters dem Mittelland zugewiesen ist und so im Maßstab 1:25'000 kartiert wurde.
- b. Digitalisierung der Torfflächen: Ein Vergleich mit der Siegfriedkarte zeigt, dass die Torfflächen hier als graue, mit einer punktierten Linie begrenzte Flächen dargestellt sind. Diese Flächen wurden in ein

Polygonlayer digitalisiert. Die schwarzen Punkte, die innerhalb dieser Flächen kartiert wurden, werden in einem Vergleich mit der Karte der Publikation von Früh und Schröter (1904) als „Torfhütten“ interpretiert.

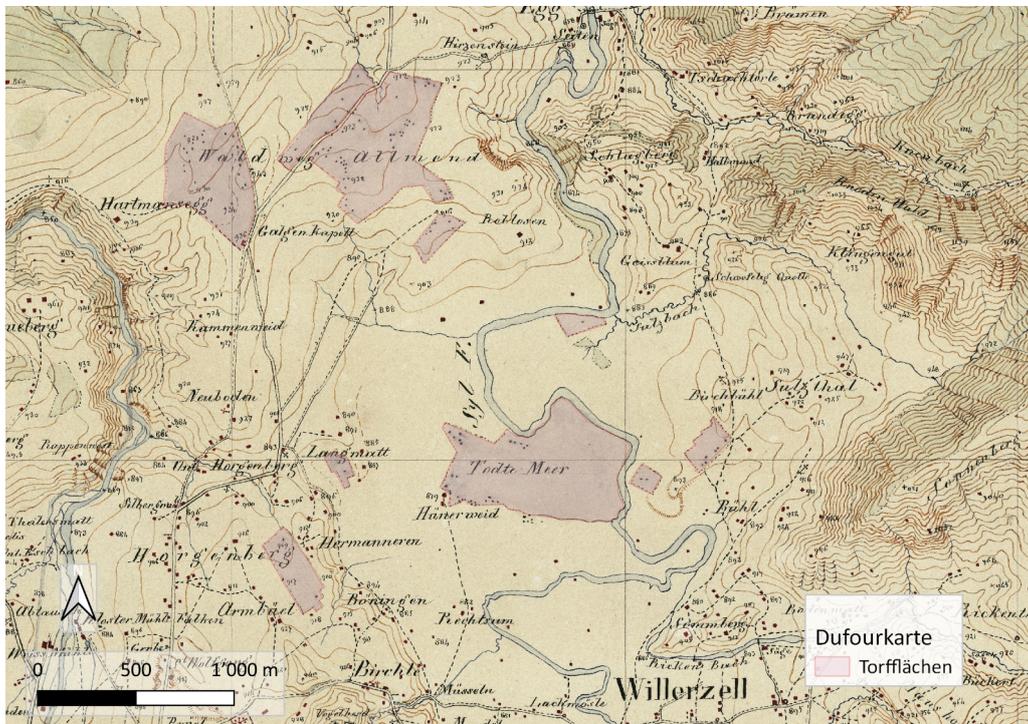


Abb. 3.2: Digitalisierte Torfflächen aus der Dufourkarte (Hintergrundkarte) (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 1845)

Die Feuchtgebiete werden auf der Dufourkarte mit blauen Schraffuren ohne Abgrenzungslinien dargestellt. Ein Vergleich mit der ersten Ausgabe der Siegfriedkarte zeigt, dass die Flächen der Feuchtgebiete auch auf Letztere dargestellt sind und so nicht zusätzlich digitalisiert wurden. Die Differenzen zwischen der Dufour- und der ersten Ausgabe der Siegfriedkarte werden als Unterschiede in der Kartierungsarbeit und der Kartenherstellung definiert.

3.1.3 Automatisierter Auszug der Feuchtgebiete aus der Siegfriedkarte

Ein Team hat an der WSL eine Methode entwickelt, um in einem automatisierten Verfahren Feuchtgebiete aus historischen topografischen Karten extrahieren zu können (Boesch and Leyk, 2010). Die Resultate für den Perimeter dieser Master Thesis wurden von den Autoren zur Verfügung gestellt und als Datenquelle wird die erste Ausgabe der Siegfriedkarte angegeben (Boesch, 2010).

3.1.4 Daten der historischen Karten

Die Polygonlayer, die aus diesem Unterkapitel beschriebenen Arbeitsschritte entstanden sind, werden in einem Layer vereint. Das angewendete Vorgehen wird in der Abbildung 3.3 dargestellt. Die verwendeten Tools werden in QGIS für die „Grafische Modellierung“ zur Verfügung gestellt. Die Tools „Geometrien reparieren“ und „Gültigkeit überprüfen“ stehen als solche zur Verfügung.

Für den Arbeitsschritt „Splitterpolygone den Nachbarpolygonen zuweisen“ wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- a. Berechnung der Polygonflächen in ein neues Attribut
- b. Selektion der Flächen bis 25 m²
- c. Zuordnung der selektierten Polygone dem Nachbarpolygon mit der längsten gemeinsamer Grenze

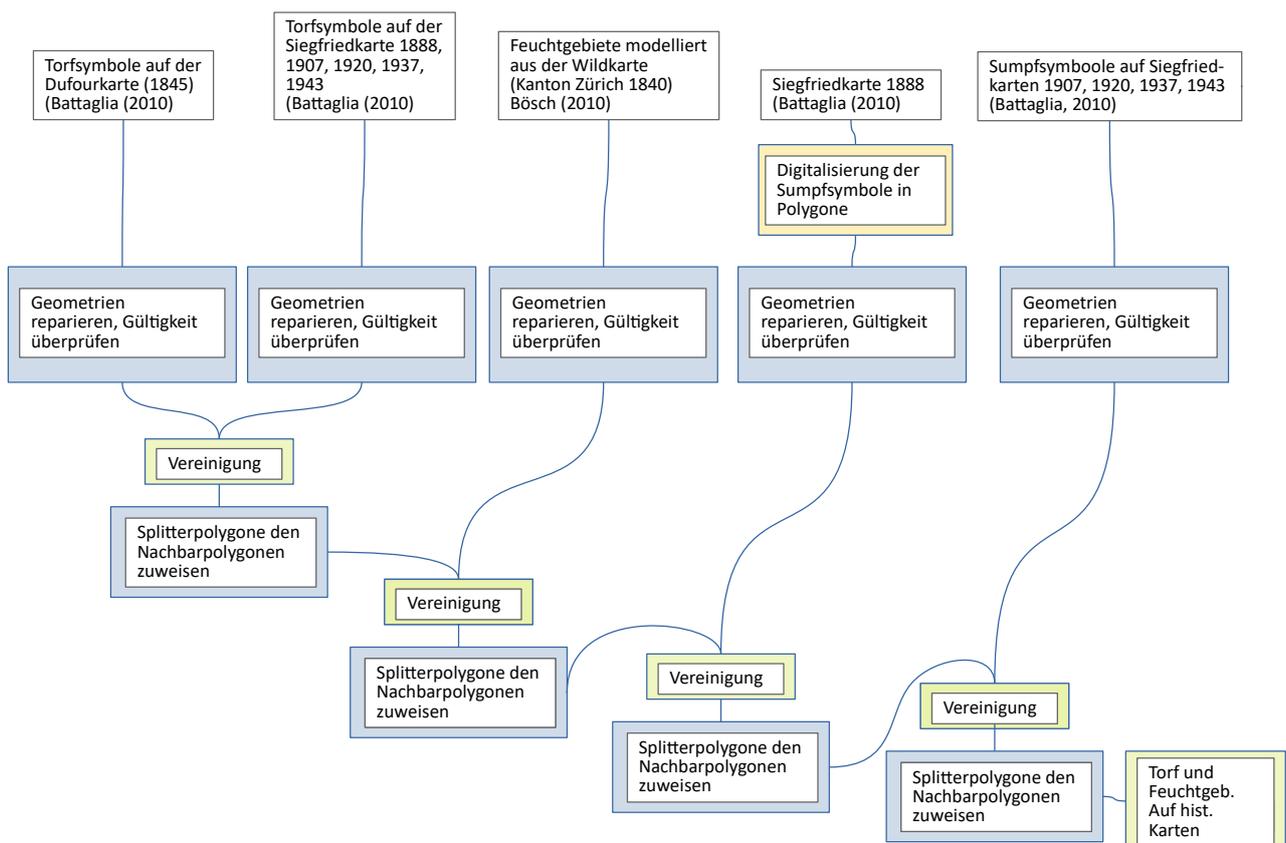


Abb. 3.3: Darstellung des Ablaufs für die Zusammenführung der Daten aus den historischen Karten

3.2 Flächen aus den Karten der historischen Feuchtgebieten

Die Flächen der historischen Feuchtgebiete wurden von den zuständigen Ämtern des Kantons Zürich (Fachstelle Naturschutz Kanton Zürich, 2002) und des Kantons Zug (Amt für Grundbuch und Geoinformation des Kantons Zug (AGG), 2005) für diese Arbeit zur Verfügung gestellt.

Nachdem die Polygonlayer in ein QGIS-Projekt geladen wurden, werden die Daten mit folgenden Arbeitsschritten modelliert (s. Abbildung 3.4):

- a. Überprüfung der Daten mit den Tools „Doppelte Stützpunkte entfernen“ und „Geometrien reparieren“.
- b. Auswahl der Flächen innerhalb des Studienperimeters mit dem Tool „Extrahieren/Beschneiden nach Ausdehnung“
- c. Zusammenführung der Flächen in ein neues Polygonlayer mit dem Tool „Vereinigung“

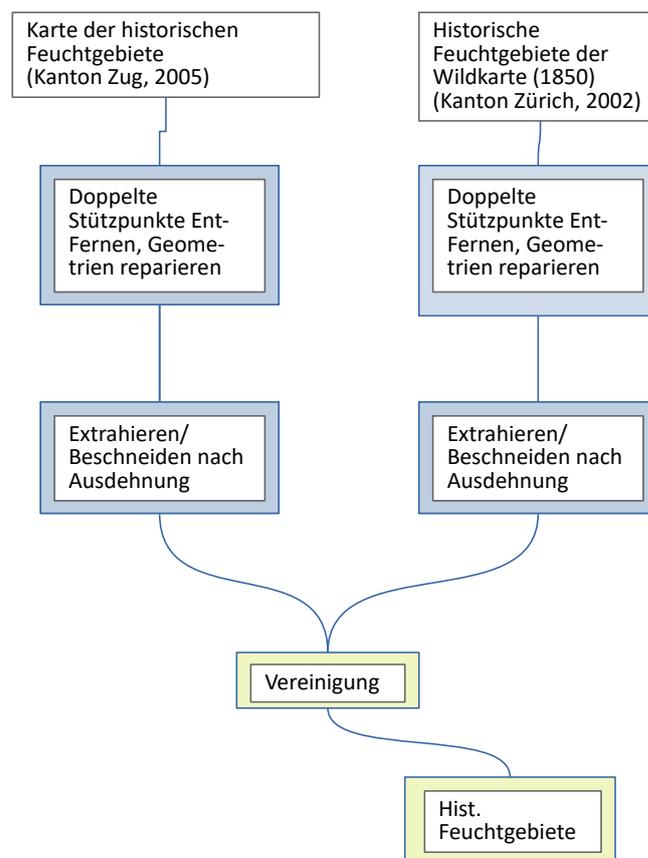


Abb. 3.4: Darstellung der Modellierung für die Daten der historischen Feuchtgebiete

3.3 Flächen der Karten und der Daten aus der Literatur

Die Karten aus den Publikationen von Früh und Schröter (Früh and Schröter, 1904) und von Düggele (Düggele, 1903) wurden an der WSL gescannt und für die Masterarbeit georeferenziert. Die Georeferenzierung der Karte des Sihltals von Düggele erfolgte anhand des dargestellten Koordinatennetzes im Koordinatensystem EPSG 21781. Die Georeferenzierung der Karte der Alp Altmatt von Früh und Schröter wurde mit der Landeskarte im Masstab 1:25'000 von swisstopo als Referenz durchgeführt. Die Karte wurde aus dem WMS-Dienst von swisstopo ins QGIS-Projekt importiert und im Koordinatensystem EPSG 21781 dargestellt. Das Protokoll des Georeferenzierungsprozesses ist in der Tabelle B.1, im Anhang B, dargestellt. Die Flächen, die digitalisiert und modelliert wurden (siehe Abbildungen 3.5 und 3.6), wurden anhand der Legenden der Karten selektioniert und der Ablauf der Arbeitsschritte ist in der Abbildung 3.8 dargestellt.

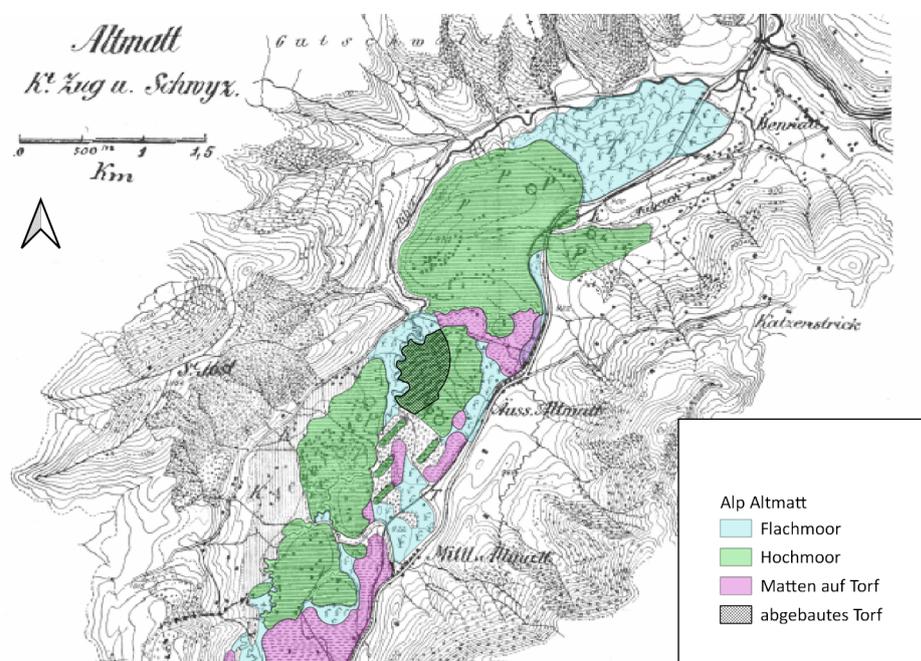


Abb. 3.5: Digitalisierte Flächen aus der Karte der Alp Altmatt der Autoren Früh und Schröter, in der Abb. als Hintergrundkarte (Früh and Schröter, 1904)

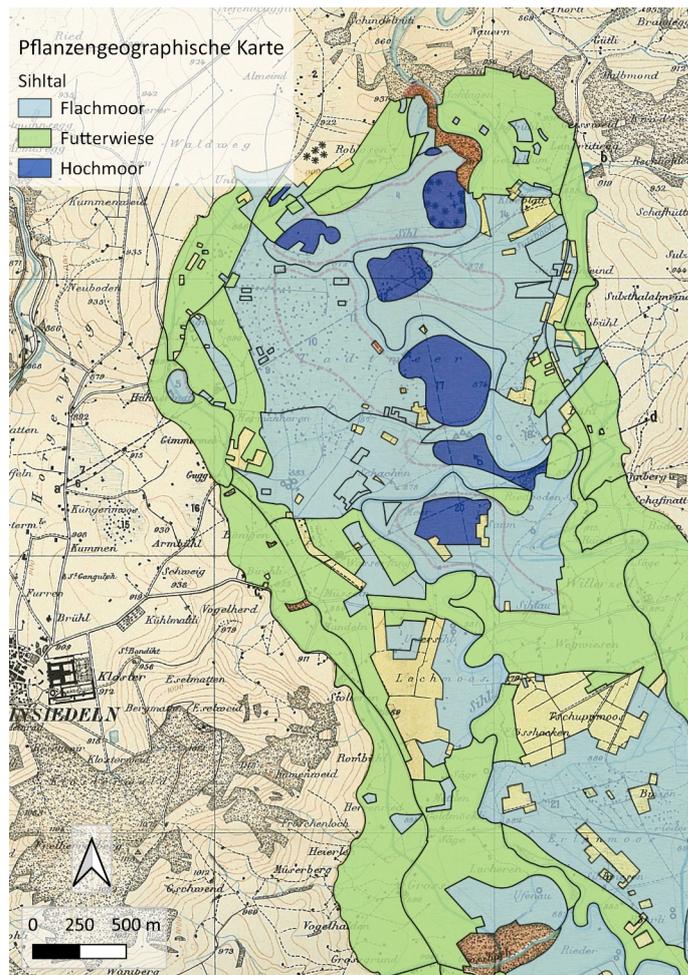


Abb. 3.6: Digitalisierte Flächen Aus der Vegetationskarte des Sihltals von Max Düggeli, in der Abbildung als Hintergrundkarte (Düggeli, 1903)

Die Vegetationsaufnahmen, die Höhn für seine Studien in Oberiberg durchgeführt hat (Höhn, 1936), wurden für das Projekt Moormonitoring bei der WSL in einer Datenbank digitalisiert und als Export für diese Master Thesis zur Verfügung gestellt. Es handelt sich um Tabellen mit den Punktkoordinaten der Vegetationsaufnahmen, ergänzt mit dessen Dokumentation in Attribute. Die Vegetationsaufnahmen wurden auf Moorflächen durchgeführt, so dass für diese Arbeit alle Aufnahmen aus dieser Quelle berücksichtigt wurden. Für die Modellierung wurden die Punkte in ein QGIS-Projekt importiert. Die Punkte, die nicht auf schon modellierten Flächen liegen, wurden für die Erstellung von Polygonen berücksichtigt. Die Digitalisierung der Polygone erfolgte mit den Luftbildern Swisstopo vom WMS-Dienst der Swisstopo als Referenz (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022a). Es wurden homogene Flächen digitalisiert, auf denen die Punkte lokalisiert sind (siehe Abbildung 3.7). Der Ablauf ist in der Abbildung 3.8 dargestellt. Die Beschreibung des Ablaufs, der für die Zuordnung der Splitterpolygone den Nachbarpolygonen durchgeführt wurde, wurde im Kapitel 3.1.4 beschrieben.

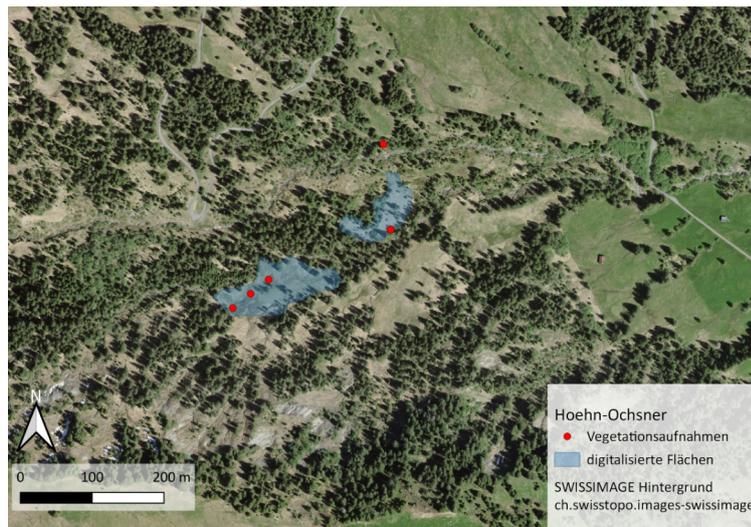


Abb. 3.7: Digitalisierte Polygone anhand von Vegetationsaufnahmen (Höhn, 1936) und Swissimage als Hintergrundkarte (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022a)

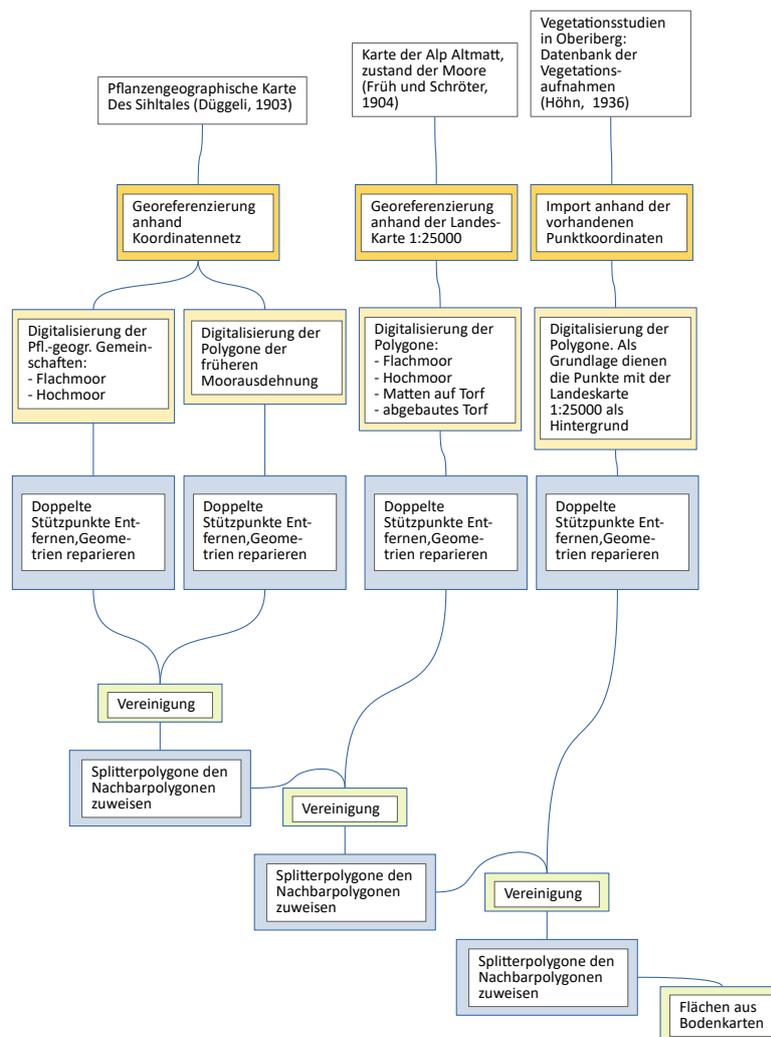


Abb.3.8: Darstellung der Modellierung der Daten aus der Literatur

3.4 Flächen aus den Vegetations- und Nutzungseignungskarten für die Landwirtschaft

Die Nutzungseignungskarte für die Landwirtschaft der Alp Altmatt (Brühlmann, 1990a) und die Vegetationskarte eines Teils des Skigebietes Hochstuckli (von Suri, 2006) wurden bei Agroscope gescannt und für die Modellierung dieser Master Thesis georeferenziert. Das wurde das Koordinatensystem EPSG 21781 verwendet, das auch für die in diesen Jahren veröffentlichten schweizerischen Landeskarten verwendet wurde. Die Protokolle der Georeferenzierung mit QGIS sind in den Tabellen B.2 und B.3 im Anhang dargestellt.

Nach der Georeferenzierung wurden die Flächen digitalisiert, die anhand der Kartenlegenden unsere Forschungsfrage beantworten werden. Anhand der Legende der Nutzungseignungskarte der Alp Altmatt (s. Abbildung 2.11) wurden die Flächen mit den primären und sekundären Standorteinheiten selektiert, die in der Tabelle 3.1 dargestellt sind. Für die Vegetationskarte vom Skigebiet Hochstuckli wurden die Flächen digitalisiert, die anhand der Legende (siehe Abbildung 2.12) selektiert wurden (siehe Abbildung 3.9). Der Ablauf der Modellierung dieser thematischen Karten ist in der Abbildung 3.10 dargestellt.

Tab. 3.1: Primäre und sekundäre Standorteinheiten der Vegetationskarte der Alp Altmatt, die den digitalisierten Flächen entsprechen

Attribut	Wert	Beschreibung
d_staoeinh (primäre Einheit)	72	Kleinseggenried auf Moorboden
	73	Kleinseggenried auf undurchlässigen Boden
staoeinh_2 (sekundäre Einheit)	75	Kleinseggenried auf wechsellassen Boden
	76cx	Quellsümpfe, Hochstaudenried
	77W	Waldsimosenwiesen
	78B	Binsen-Pfeifengraswiesen
	83	Hahnenfuss-Binsenweide
	84	Klee-Binsenweide

3 Ergebnisse

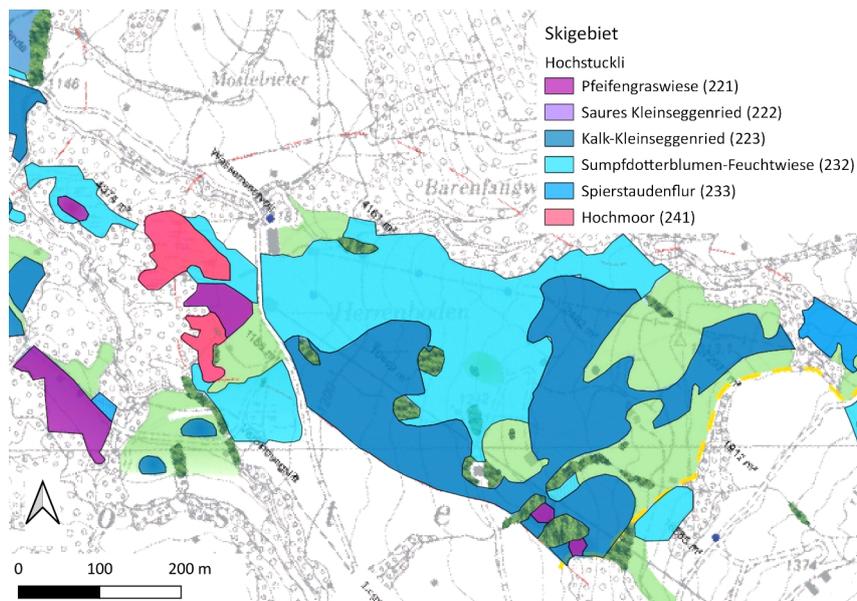


Abb. 3.9: Ausschnitt der digitalisierten Flächen der Vegetationskarte vom Skigebiet Hochstuckli (von Suri, 2006)

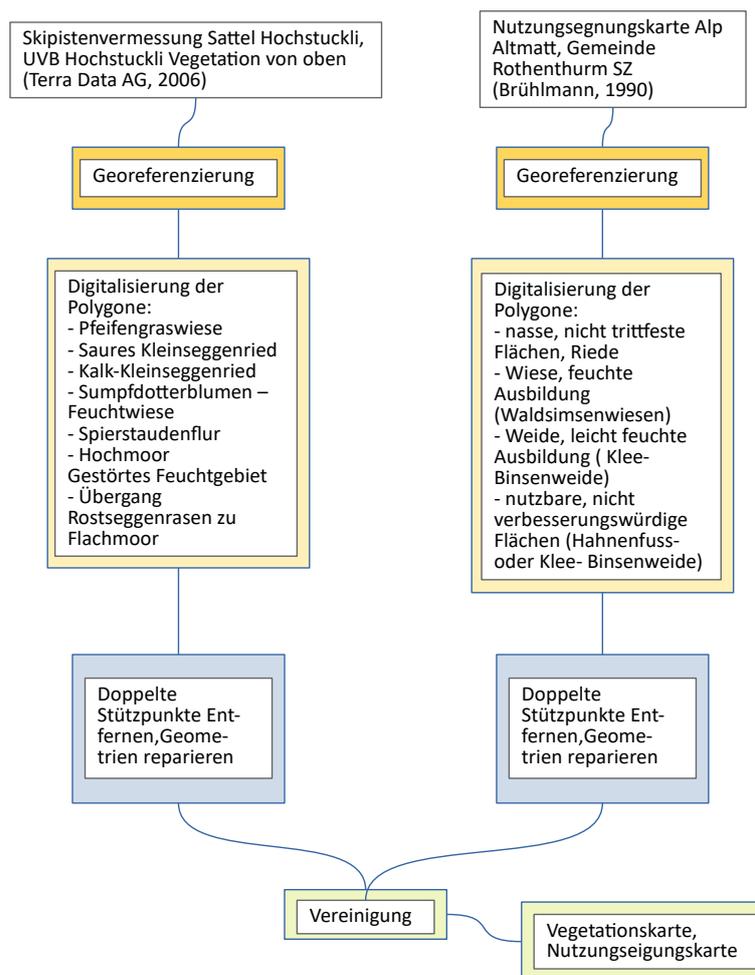


Abb.3.10: Ablauf der Digitalisierung der Flächen aus der Nutzungsseignungs- und Vegetationskarte

3.5 Digitalisierung und Selektion der Flächen aus den geologischen Karten

Die Vektordaten des Kartenblattes „Einsiedeln 1132“ vom geologischen Atlas der Schweiz (Hantke et al., 2009) werden von swisstopo unter dem Link <https://cms.geo.admin.ch/ogd/geology/ga25-vector/products/GA25-V-129.zip> zum Download zur Verfügung gestellt. Für die Modellierung wurden die Polygone aus 2 Layer selektiert, die mit den Attributwerten definiert sind, die in der Tabelle 3.2 dargestellt sind.

Tab. 3.2: Namen der Layer und Attributwerte der Polygone aus der geologischen Karte „Einsiedeln 1132“ die für die Modellierung verwendet wurden (Hantke et al., 2009)

Layer	Attribut	Werte-Eigenschaftgen
EINSIEDELN_POLYGON_MAIN	DESCRIPT	Sumpf, Hoch- und Flachmoor
		Sumpf, Hoch- und Flachmoor drainiert
		Torfmoor
		Torfmoor drainiert
EINSIEDELN_POLYGON_AUX	DESCRIPT	Sumpf, Hoch- und Flachmoor
		Sumpf, Hoch- und Flachmoor drainiert
		Torfmoor
		Torfmoor drainiert

Die geologische Karte vom Kanton Zürich (Hantke, 1967), die den Teil „Blatt Ibergereg“ des Studienperimeters abdeckt, wurde an der SGK gescannt und georeferenziert. Diese Rasterkarte wurde in ein QGIS-Projekt importiert und im Masstab 1:50'000, dem Masstab mit dem die Karte veröffentlicht wurde, dargestellt. In ein neues Polygonlayer wurden die Flächen digitalisiert, die als Sumpfgebiete kartiert wurden (siehe Abbildung 3.11).

Die Arbeitsschritte die für die Modellierung der Daten aus den geologischen Karten verwendet wurden, sind in der Abbildung 3.12 dargestellt.

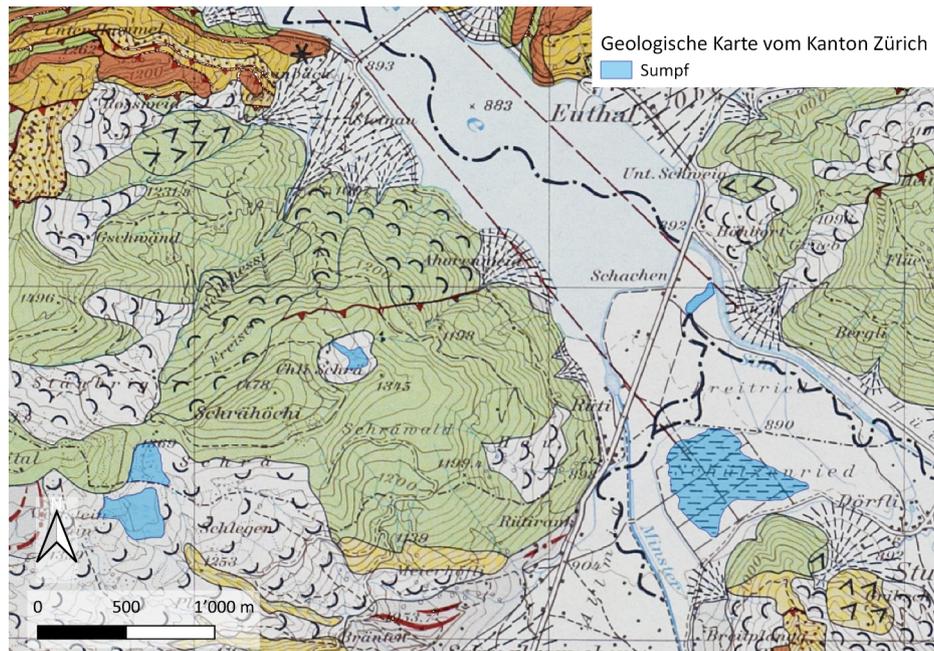


Abb. 3.11: Digitalisierte Sumpfflächen aus der geologischen Karte vom Kanton Zürich und benachbarte Gebiete (Hantke, 1967)

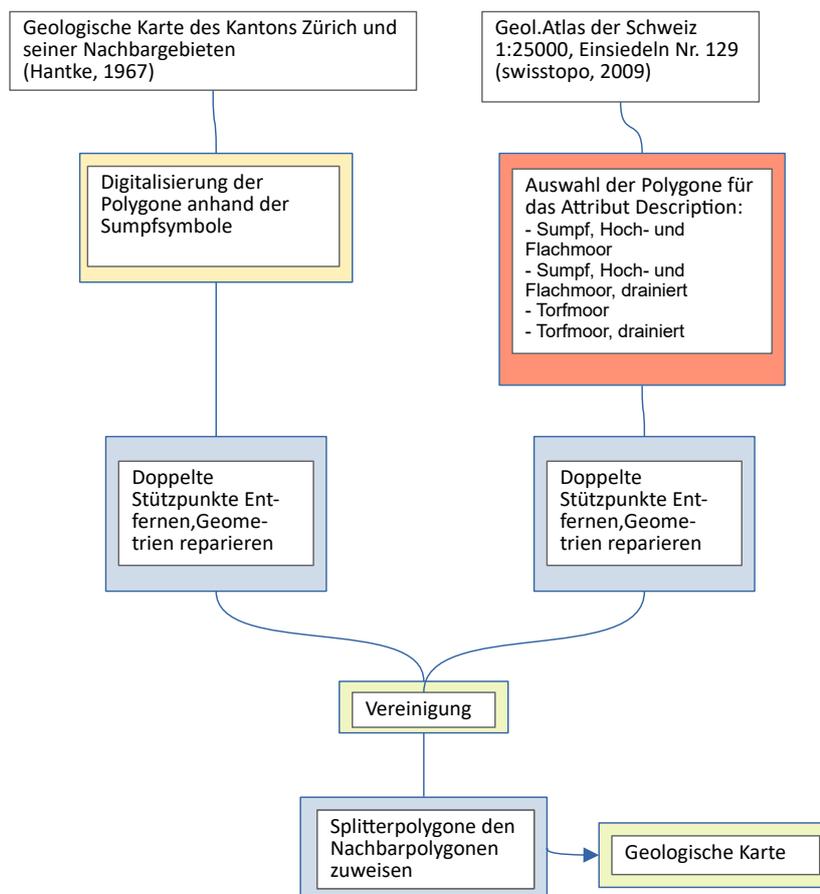


Abb. 3.12: Ablauf der Arbeitsschritte für die Modellierung der Flächen aus den geologischen Karten

3.6 Polygone der Flach- und Hochmoorinventare

3.6.1 Inventare der Moore von nationaler Bedeutung

Die Vektordaten vom Bundesinventar der Hoch- und Übergangsmoore von nationaler Bedeutung werden von swisstopo unter der URL <https://data.geo.admin.ch/ch.bafu.bundesinventare-hochmoore/data.zip> zum Download und zur Nutzung zur Verfügung gestellt. Wie die Polygone digitalisiert wurden, ist im Dokument mit den Metadaten beschrieben (Info Habitat (Maillefer & Hunziker, Yverdon-les-Bains), 2017). In der Abbildung 3.13 wird als Beispiel das Inventar-Objekt „Altmatt-Biberbrugg“ dargestellt.

Auch die Vektordaten vom Bundesinventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung werden von swisstopo zum Download unter der URL <https://data.geo.admin.ch/ch.bafu.bundesinventare-flachmoore/data.zip> zur Verfügung gestellt. Das Dokument der Metadaten enthält die Beschreibung über dessen Digitalisierung (Info Habitat (Maillefer & Hunziker, Yverdon-les-Bains), 2021). In der Abbildung 3.14 wird das Inventar-Objekt „Schwantenau“ dargestellt.

Der Ablauf der Arbeitsschritte, die für die Modellierung dieser Vektor-Daten benutzt wurden, sind in der Abbildung 3.15 dargestellt.

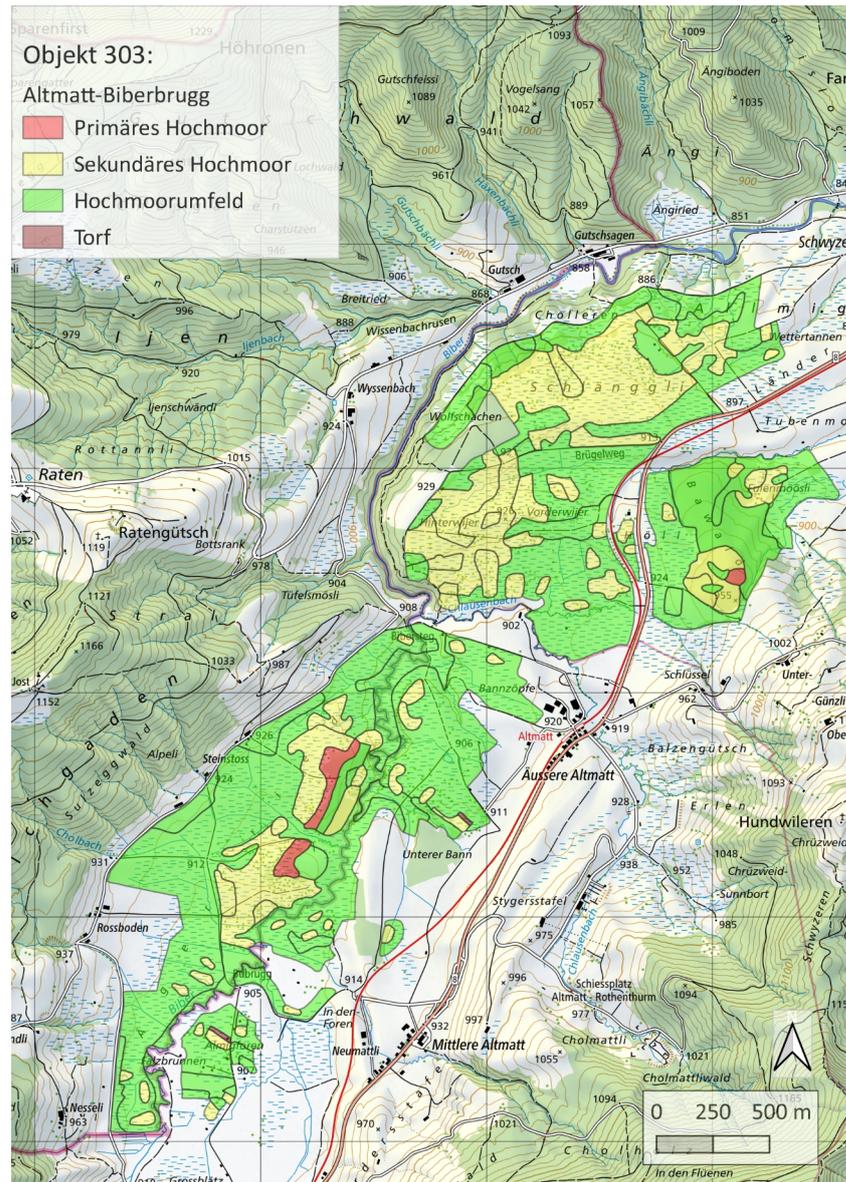


Abb. 3.13: Objekt „Altmatt-Biberbrugg“ aus dem nationalen Hochmoorinventar (Bundesamt für Umwelt / Abteilung Arten, Ökosysteme, Landschaften, 2017), Hintergrundkarte: Landeskarte 1:25'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022b)

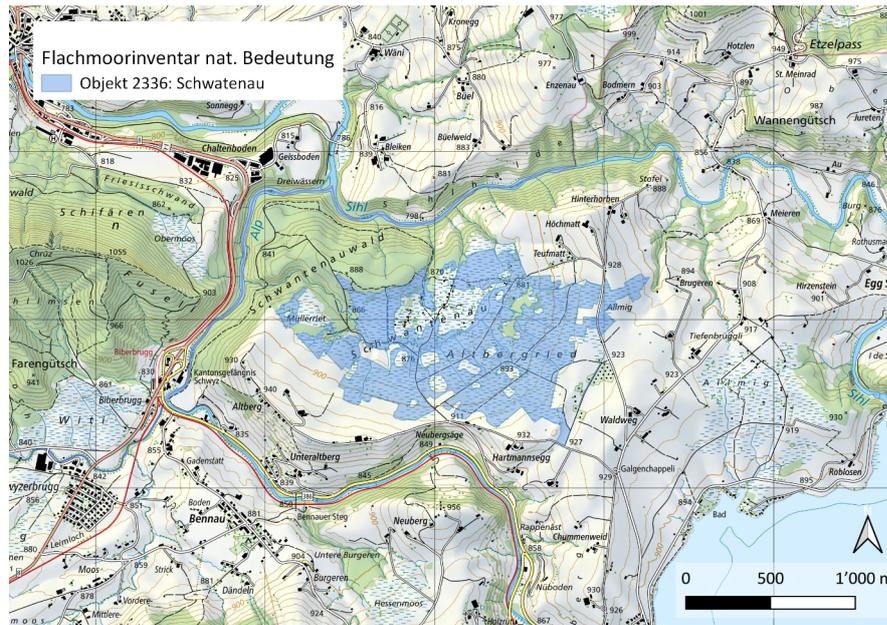


Abb. 3.14: Objekt „Schwantenau“ aus dem nationalen Flachmoorinventar (Bundesamt für Umwelt / Abteilung Biodiversität und Landschaft, 2020), Hintergrundkarte: Landeskarte 1:25'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022b)

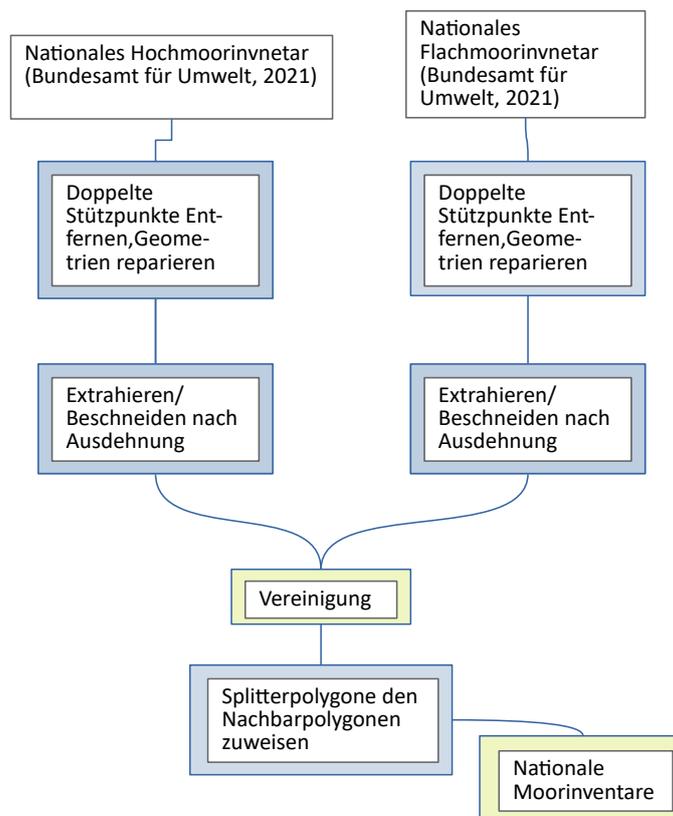


Abb. 3.15: Ablauf der Arbeitsschritte für die Modellierung der Flächen aus den Hoch- und Flachmoorinventare von nationaler Bedeutung

3.6.2 Inventare der Moore von regionaler Bedeutung

Die Vektordaten der Moore von regionaler Bedeutung wurden an der WSL erstellt und für die Modellierung zur Verfügung gestellt. In der Abbildung 3.16 wird der Ablauf der Arbeitsschritte dargestellt, die für die Modellierung dieser Daten angewendet wurden. In der Abbildung 3.17 ist ein Ausschnitt des Studienperimeters mit Flach- und Hochmoorobjekte aus diesen Inventaren dargestellt.

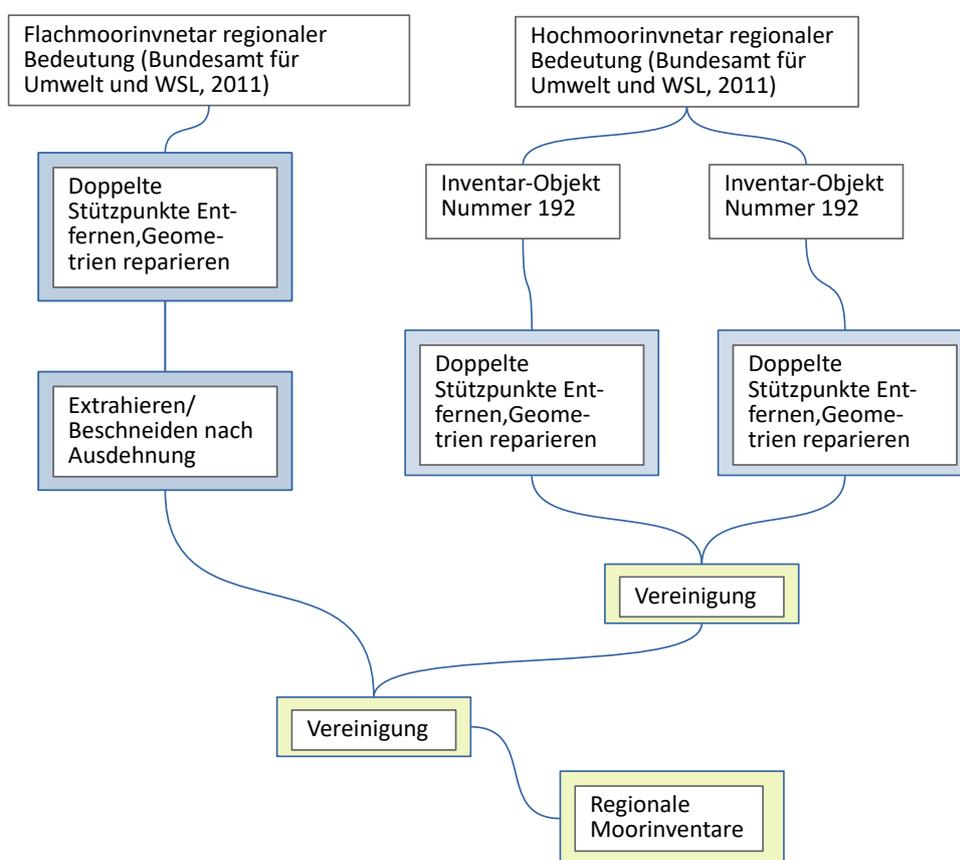


Abb. 3.16: Darstellung vom Ablauf der Arbeitsschritte für die Modellierung der Vektordaten aus den Inventaren von regionaler Bedeutung

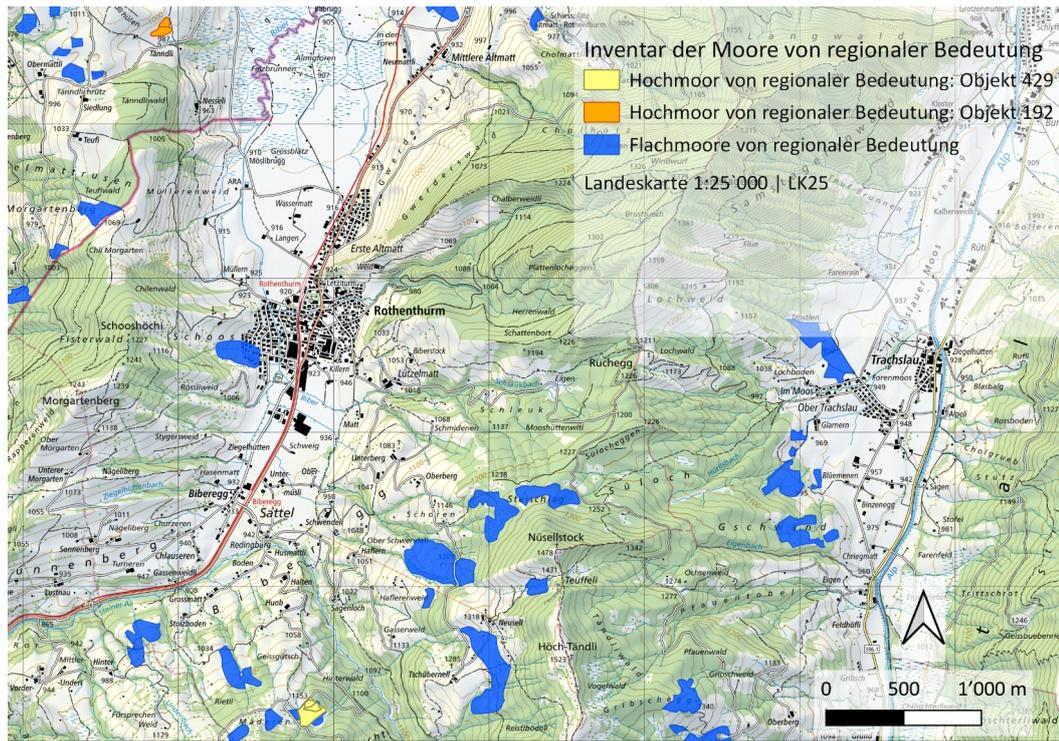


Abb. 3.17: Objekte aus den Inventaren der Moore von regionaler Bedeutung (Swiss Federal Research Institute WSL / BAFU, 2011b). Hintergrundkarte: Landeskarte 1:25'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022b)

3.7 Vektordaten der Bodenkarten der Kantone Zug und Zürich

Das Amt für Umwelt vom Kanton Zug hat für diese Master Thesis die Daten der Bodenkarte für das Studienperimeter zur Verfügung gestellt (Amt für Umwelt des Kantons Zug, 2011). Die Polygone enthalten das Attribut Bodentyp, der für die Selektion der Flächen verwendet wurde. Es wurden die Polygone mit den Attributwerten „Halbmoor“, „Hochmoor“ und „Moor“ selektiert. In der Abbildung 3.19 ist der Ablauf der Arbeitsschritte dargestellt.

Bei der Fachstelle Bodenschutz vom Kanton Zürich wurde die digitale Bodenkarte der landwirtschaftlichen Nutzungsflächen bestellt. In ein QGIS-Projekt wurden die Daten in einem ersten Arbeitsschritt mit dem Layer des Studienperimeters verschnitten. Für die Modellierung der Daten wurden die Attribute „limnek_bez“ (Limitierender Standortfaktor für Nutzungseignungsklasse) und „limris_bez“ (Limitierender Standortfaktor für Risikostufe) berücksichtigt. Es wurden die Polygone selektiert, die für diese Attribute die Werte „Fremdnässe“ oder „Staubnässe“ enthalten. In der Abbildung 3.18 ist ein Auszug aus dem Studienperimeter mit den selektierten Flächen dargestellt. Der Ablauf der Arbeitsschritte ist in der Abbildung 3.19 dargestellt.

3 Ergebnisse

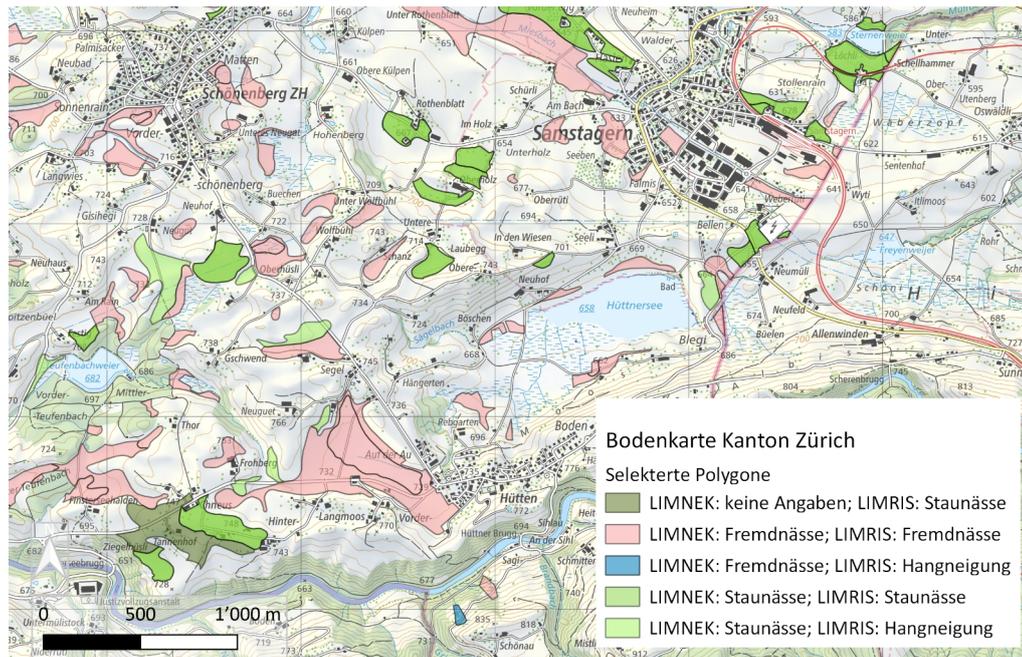


Abb. 3.18: Bodenkarte Kanton Zürich, Teil des Studienperimeters mit den selektierten Flächen (ALN Amt für Landschaft und Natur, Fachstelle Bodenschutz, 2008). Hintergrundkarte: Landeskarte 1:25'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022b)

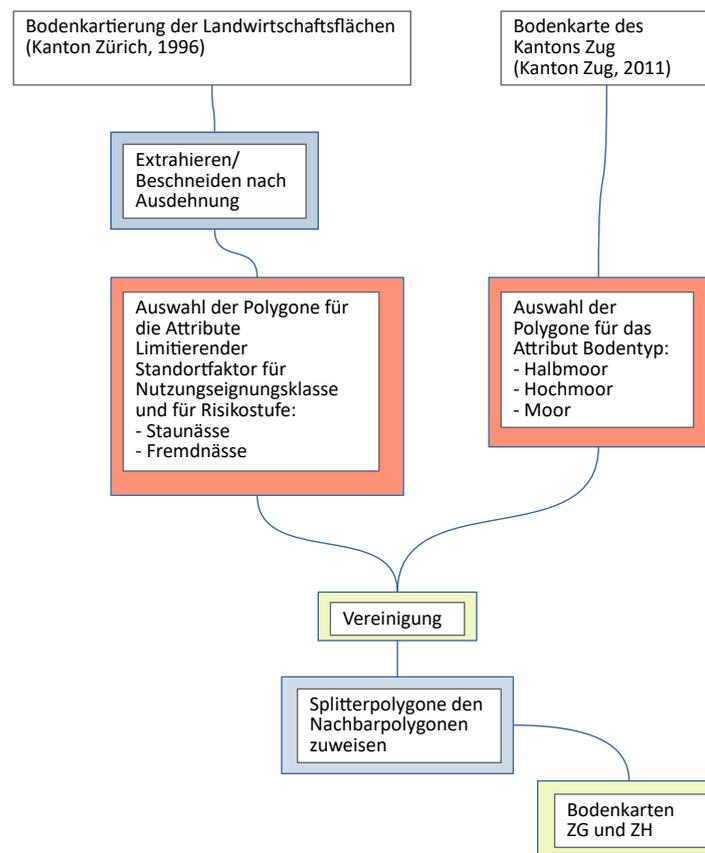


Abb. 3.19: Darstellung vom Ablauf der Arbeitsschritte für die Modellierung der landwirtschaftlichen Bodenkarten der Kantone ZG und ZH

3.8 Meliorationskataster vom Kanton Zürich und Karte über den Kulturwandel

Der Geodatensatz vom Meliorationskataster des Kantons Zürich wurde vom kantonalen Amt für Landschaft und Natur zur Verfügung gestellt und enthält die digitalisierten Entwässerungsflächen (Kanton Zürich, Amt für Landschaft und Natur, 2011). Der Datensatz wurde im ersten Arbeitsschritt mit den Tools „Geometrien reparieren“ und „Gültigkeit überprüfen“ auf topologische Fehler überprüft. In einem zweiten Schritt wurden die Entwässerungsflächen, die sich innerhalb des Studienperimeters befinden, extrahiert. Der Ablauf ist in der Abbildung 3.21 dargestellt.

Das Kartenblatt „Einsiedeln 1132“ von Ewald (1978) mit der Kartierung über den Kulturwandel wurde zuerst gescannt und anschliessend in ein QGIS-Projekt georeferenziert. Das Koordinatengitter im Koordinatensystem EPSG 21781 der Karte wurde als Referenz für die Georeferenzierung benutzt. Mit der

3 Ergebnisse

Darstellung im Massstab 1:25'000 wurden die Flächen digitalisiert, die für die Modellierung von Interesse sind (siehe Abbildung 3.20). Der Ablauf der Arbeitsschritte ist in der Abbildung 3.21 dargestellt.

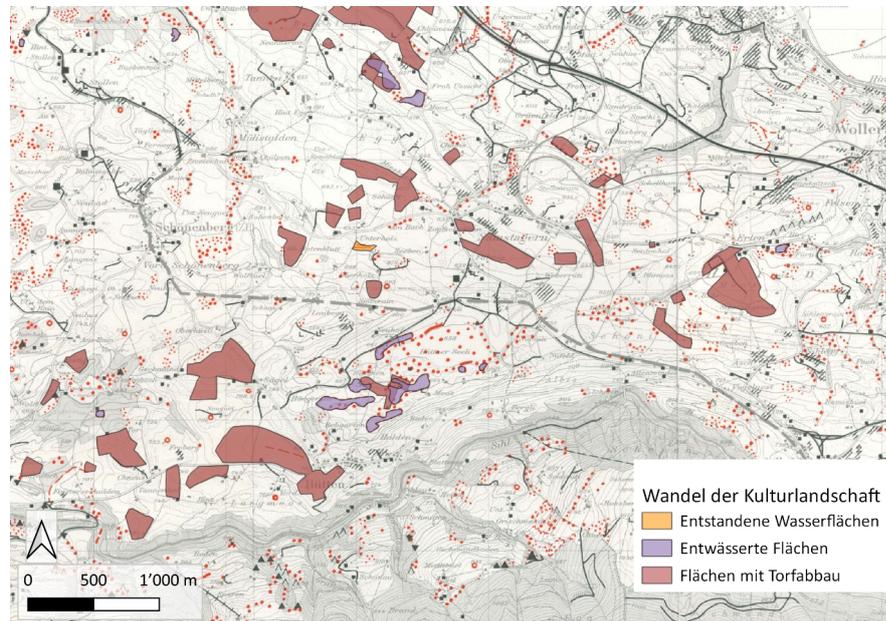


Abb. 3.20: Digitalisierte Flächen aus Ewald (1978). Hintergrundkarte: Ausschnitt aus Kartenblatt Einsiedeln 1132 (Ewald, 1978)

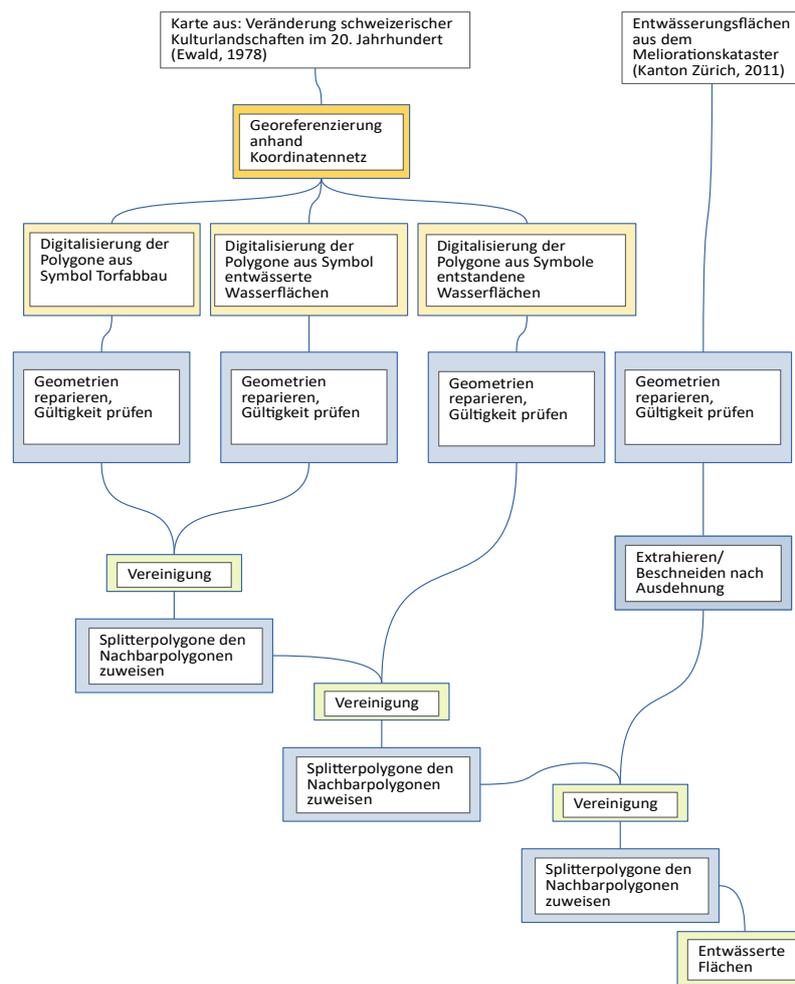


Abb. 3.21: Darstellung vom Ablauf der Arbeitsschritte für die Modellierung der Daten des Meliorationskatasters (Kanton Zürich, Amt für Landschaft und Natur, 2011) und aus der Karte über den Landschaftswandel (Ewald, 1978)

3.9 Datensätze des Kantons Zug

Aus dem Datensatz der Geomorphologischen Karte des Kantons Zug (Amt für Grundbuch und Geoinformation des Kantons Zug, 2011) wurden die Flächen innerhalb des Studienperimeters selektiert, die fürs Attribut „Objektart“ den Wert „Ried, Sump, Torfmoor“ besitzen. Aus dem Datensatz der kantonalen landwirtschaftlichen Vertragsflächen (Amt für Landwirtschaft Kanton Zug, 2011) wurden die Flächen selektiert, die als „Streuwiesen“ definiert sind. Der Ablauf für die Selektion und die Modellierung der Flächen ist in der Abbildung 3.22 dargestellt.

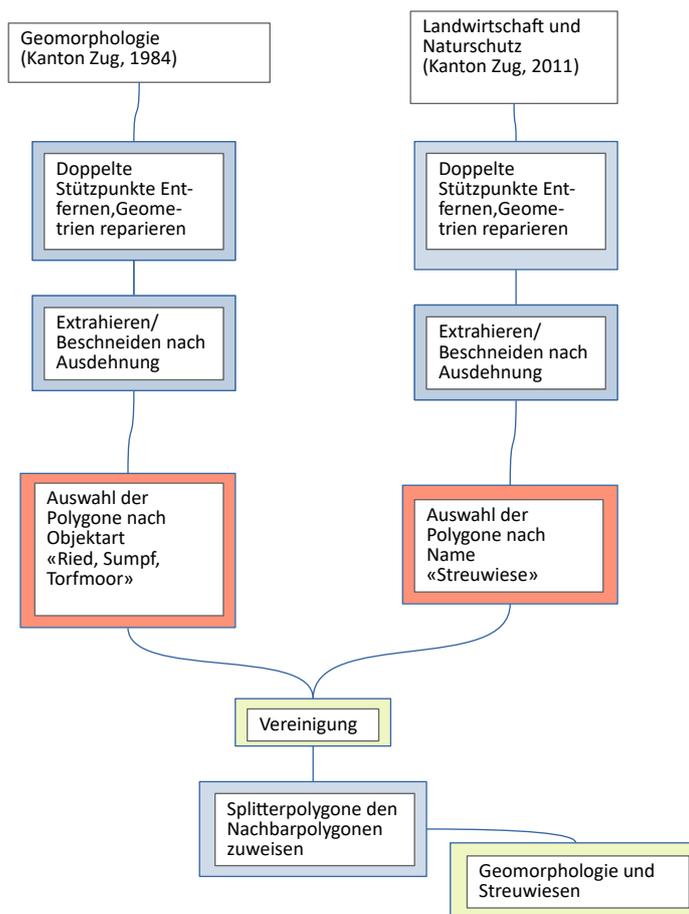


Abb. 3.22: Darstellung vom Ablauf der Arbeitsschritte für die Modellierung der Daten der Geomorphologie (Amt für Grundbuch und Geoinformation des Kantons Zug, 2011) und der Vertragsflächen vom Kanton Zug (Amt für Landwirtschaft Kanton Zug, 2011)

3.10 Datensätze vom Kanton Schwyz

3.10.1 Datensatz der Flächen aus dem Natur- und Heimatschutzgesetz

Aus dem Datensatz der Flächen, die durch das Natur- und Heimatschutzgesetz unter Schutz stehen, wurden die Polygone selektiert, die als Moorobjekte und dessen Umgebung definiert sind (Amt für Natur, Jagd und Fischerei, Abteilung Natur- und Landschaftsschutz, Kanton Schwyz, 2011). In der Abbildung 3.23 wird ein Teil des Perimeters mit diesen Polygonen dargestellt.

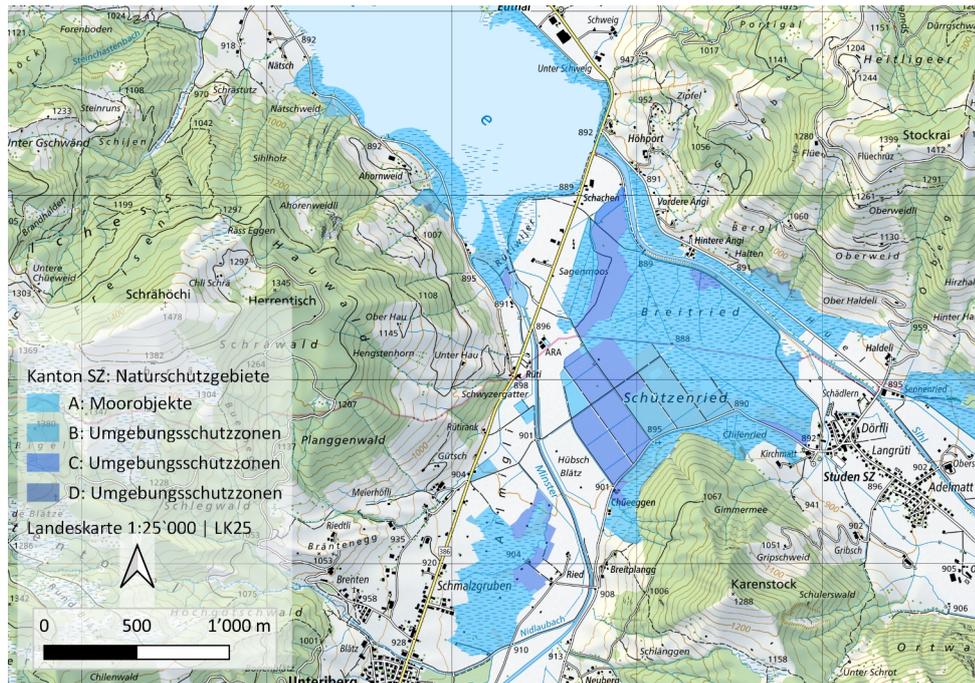


Abb. 3.23: Flächen unter Schutz des NHG, Kanton SZ (Amt für Natur, Jagd und Fischerei, Abteilung Natur- und Landschaftsschutz, Kanton Schwyz, 2011). Hintergrundkarte: Landeskarte 1:25'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022b)

3.10.2 Vegetationsaufnahmen von Waldstandorte

Der digitale Datensatz aus der Forschungsarbeit von Preiswerk (2000) wurde vom Amt für Forstwirtschaft des Kantons Schwyz für diese Master Thesis zur Verfügung gestellt. Es handelt sich um eine Zusammenstellung von Vegetationsaufnahmen von Waldstandorten aus verschiedenen Quellen, die die Studie der Pflanzensoziologie als Schwerpunkt haben (Preiswerk, 2000). Die Dokumentation zu den Daten enthält die Beschreibung der Klassifikation. In der Tabelle 3.3 werden die 3 Kategorien dargestellt, die für die Selektion der Flächen berücksichtigt wurden. In der Abbildung 3.24 ist ein Teil des Studienperimeters mit selektierten Flächen dargestellt.

Tab. 3.3: Die 3 Kategorien von Waldstandorte, dessen Flächen selektiert wurden

Kategorie	Waldgemeinschaft Code	Name der Waldgesellschaft
1	71	Torfmoos-Bergföhrenwald
2	(71)	Torfmoos-Bergföhrenwald
3	56	Moorrand-Fichtenwald

3 Ergebnisse

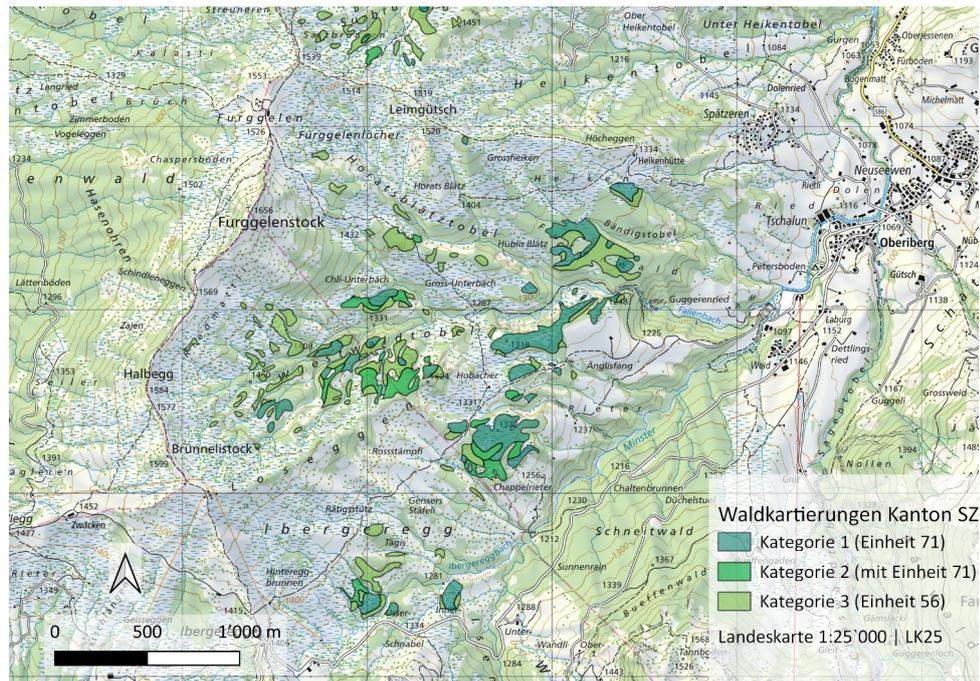


Abb. 3.24: Ausschnitt vom Studienperimeter mit selektierten Waldstandorte (Preiswerk, 2000). Hintergrundkarte: Landeskarte 1:25'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst, 2022b))

Die Arbeitsschritte, die für die Modellierung der Daten dieses Unterkapitels angewendet wurden, sind in der Abbildung 3.25 dargestellt.

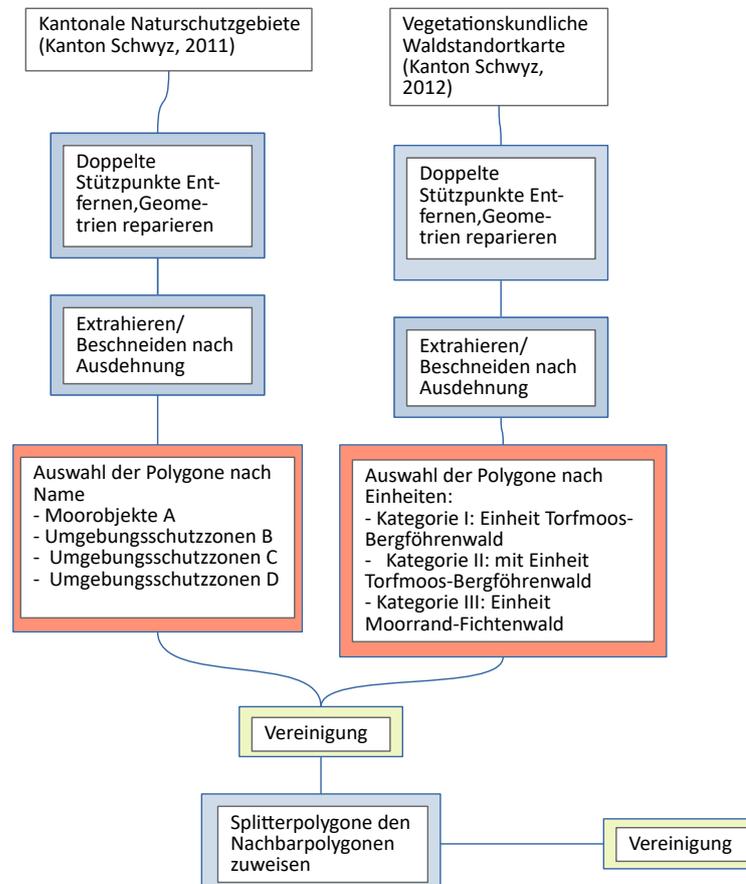


Abb. 3.25: Arbeitsschritte für die Modellierung der Daten der Naturschutzgebiete und der Waldstandortkartierungen

3.10.3 Bewirtschafterspläne der Landwirtschaftszonen

Die Bewirtschafterspläne werden vom Amt für Landwirtschaft für interne Zwecke verwendet und enthalten Angaben über die Bewirtschaftung auf Parzellenstufe (Amt für Landwirtschaft (AFL), Kanton Schwyz, 2011). Für diese Arbeit interessieren die Parzellen, die als Streuwiesen mit einem „S“ definiert sind. Das Amt für Landwirtschaft hat die Pläne gescannt und uns für die Digitalisierung der Parzellen zur Verfügung gestellt. Die Georeferenzierung erfolgte anhand des Koordinatennetzes im Koordinatensystem EPSG 21781. Die Parzellen, die als Streuwiesen definiert sind und dessen Flächen noch nicht durch andere Datensätze für die Modellierung selektioniert wurden, wurden im Massstab 1:5'000 digitalisiert. In der Abbildung 3.26 ist ein Ausschnitt der Parzellenpläne dargestellt. Die Darstellung vom Ablauf der Digitalisierung der Parzellenpläne ist in der Abbildung 3.27 dargestellt.

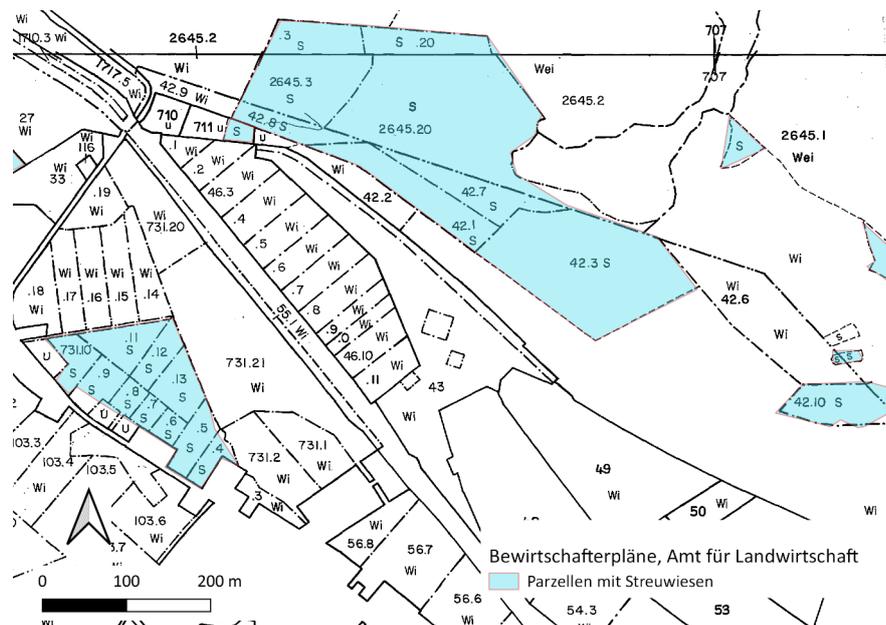


Abb. 3.26: Bewirtschaftungspläne mit digitalisierten Parzellen mit Streuwiesen (Amt für Landwirtschaft (AFL), Kanton Schwyz, 2011)

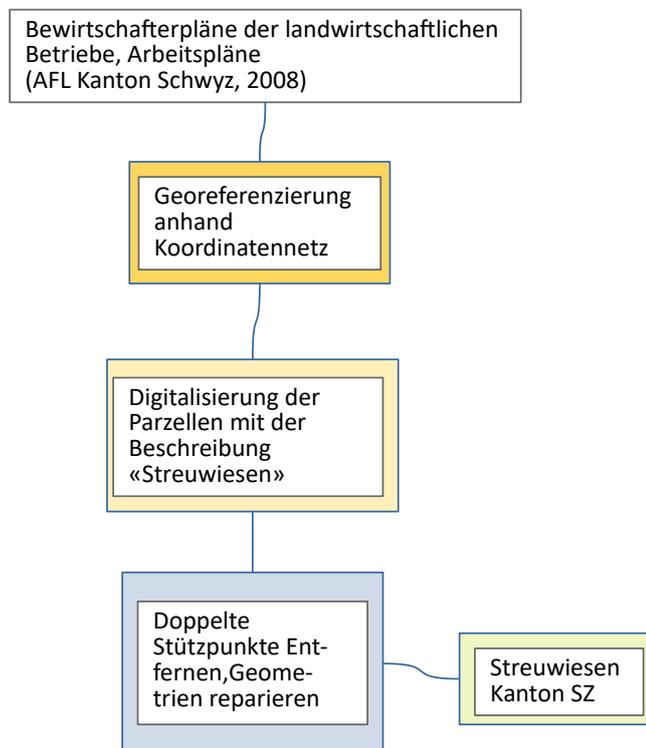


Abb. 3.27: Ablauf der Digitalisierung der Parzellen mit Streuwiesen des Kantons SZ

3.11 Digitalisierung der Feuchtgebiete aus dem Vector10-Datensatz

Die Layer vom Produkt Vector10 von swisstopo wurden in ein QGIS-Projekt importiert und anhand der mitgelieferten Layout-Datei mit dem Koordinatensystem EPSG 2056 dargestellt. Die Feuchtgebiete werden im Layer „T43_DKM10_BODENBEDECKUNG_SYMB“ als Punkte geliefert und mit einer blauen Linie kartografisch dargestellt. Für die Verwendung der Daten im Modell wurden die Punkte visuell in zusammenhängende Flächen selektiert und anhand des Tools „Konvexe Hülle (k-nächster Nachbar)“ wurden Polygone generiert. Der benutzte Wert für den Parameter „Anzahl zu betrachtender benachbarter Punkte“ ist 3. Für die weitere Modellierung wurden diese Polygone in ein neuer Layer zusammengeführt. In der Abbildung 3.28 ist ein Teil des Perimeters mit den erstellten Polygonen dargestellt. Der Ablauf ist in der Abbildung 3.29 dargestellt.

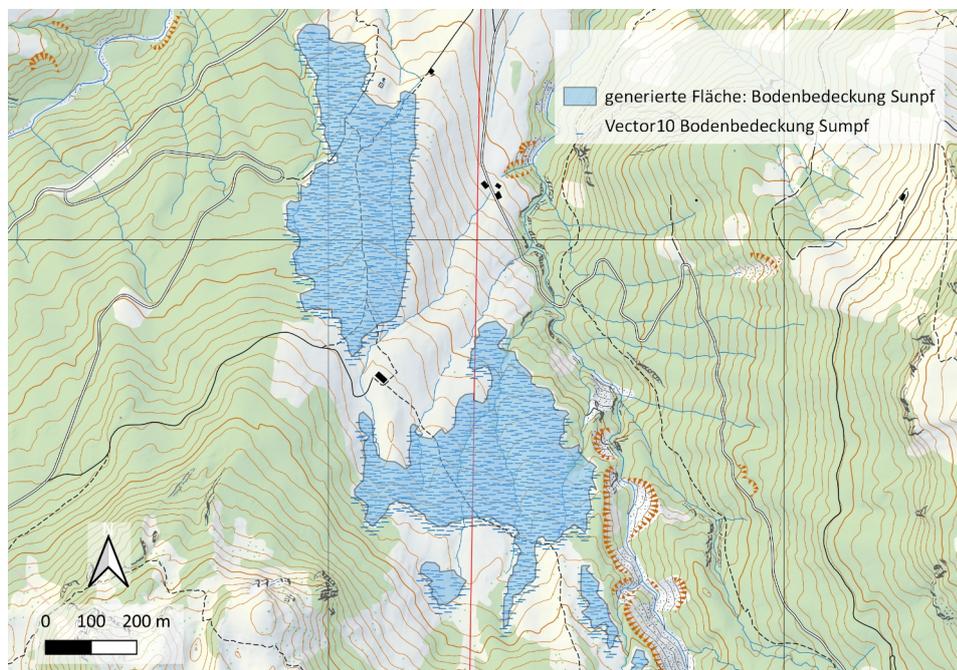


Abb. 3.28: Teil des Studienperimeters mit den Sumpfsymbolen aus dem Datensatz Vector10 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2013), den in QGIS generierten Sumpfflächen. Hintergrundkarte: Vector10 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2013)

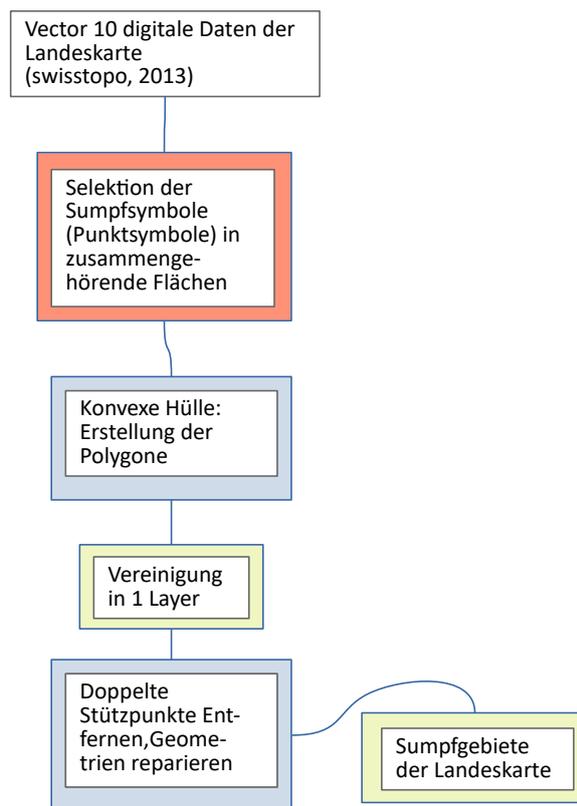


Abb. 3.29: Arbeitsschritte für die Modellierung der Sumpfsymbole aus dem Datensatz Vector10

3.12 Daten des Treibhausgasinventars vom Jahr 2012

Die Daten des Treibhausgasinventars vom Jahr 2012 wurden in ein Punktlayer in ein QGIS-Projekt importiert und im zugehörigen Koordinatensystem EPSG 21781 dargestellt. In einem ersten Schritt wurde der Punktlayer mit der Fläche des Studienperimeters verschnitten. Danach wurden die Punkte selektiert, die sich innerhalb des Studienperimeters befinden und für das Attribut „orgsoil3“ die Werte 1, für die organischen Böden aus der Bodeneignungskarte 1:200'000 der Schweiz, oder 2, für die organischen Böden aus dem Inventar der Hochmoore von nationaler Bedeutung, besitzen (Rihm, 2012).

Um die Flächengröße erhalten zu können, wurde in einem zweiten Schritt ein Gitter aus Polygone erstellt, für den die Punktdaten das Zentrum der Polygone entspricht. Die Größe der Polygone ist 1 ha und entspricht der Größe der Flächen der Arealstatistik die als Grundlage fürs Treibhausgas verwendet wird (Filliger et al., 2012).

Folgende Einstellungen wurden fürs Tool „Gitter erzeugen“ von QGIS verwendet:

Gittertyp: Rechteck (Polygon)

Gitterausdehnung: 689950, 707550, 205950, 230050 [EPSG:21781]

Horizontaler Abstand: 100 m

Vertikaler Abstand: 100 m

Gitter-KBS: EPSG 21781 (CH1903 / LV03)

Mit dem Tool „Punkte in Polygon zählen“ wurden den einzelnen Polygonen einen Wert zugewiesen für den Fall, dass ein selektierter Punkt sich in dessen Fläche befindet. Somit resultiert eine Fläche von 742 ha innerhalb des Studienperimeters, die im Treibhausgasinventar als Speicher von C ausgewiesen ist. In der Abbildung 3.30 ist das Resultat der Modellierung dargestellt.

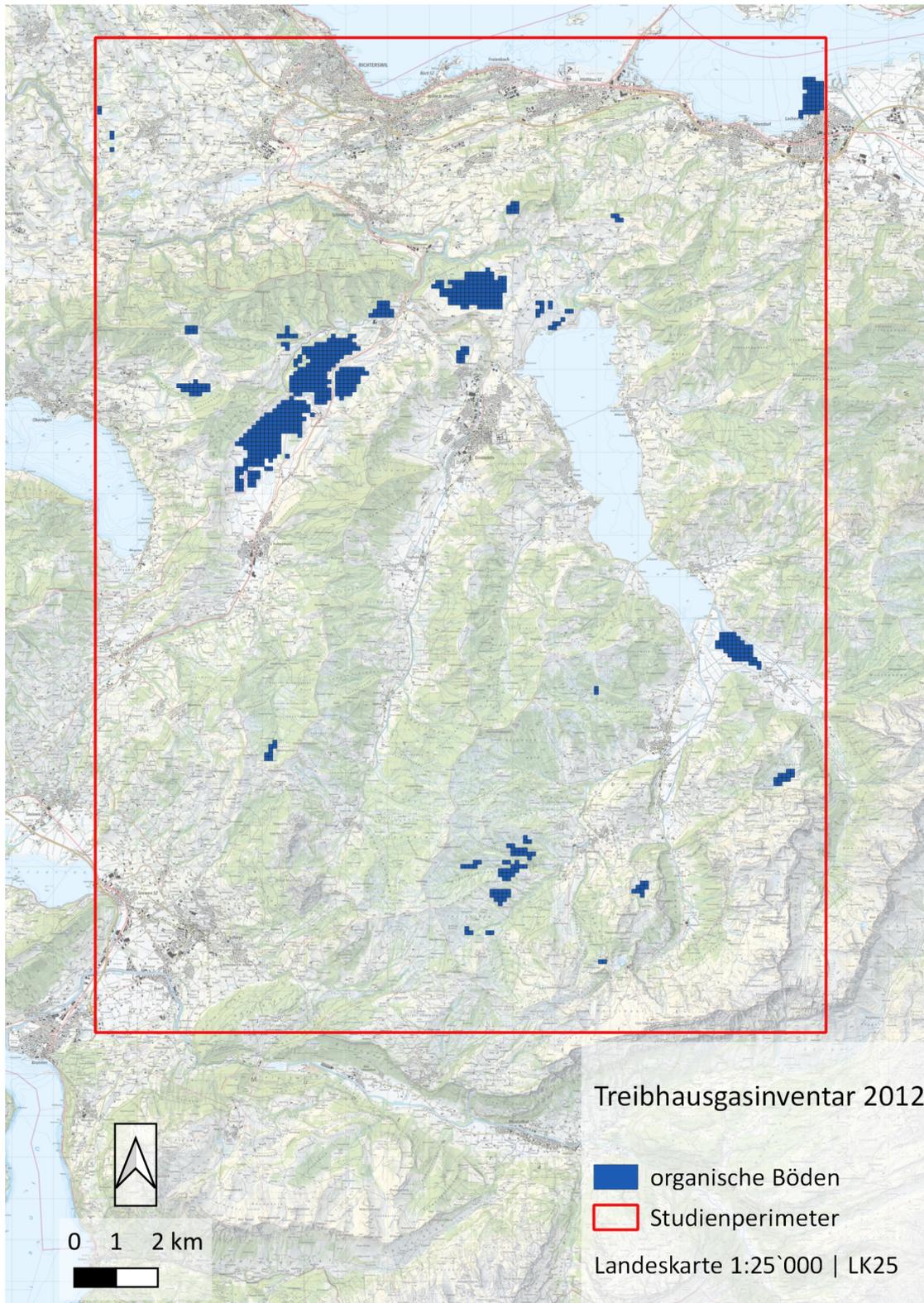


Abb. 3.30: Organische Böden die im Treibhausgasinventar vom Jahr 2012 als Speicher von C ausgewiesen sind (Rihm, 2012) Hintergrundkarte: Landeskarte 1:25'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022b)

3.13 Daten des Treibhausgasinventars vom Jahr 2015

Für das Treibhausgasinventar von 2015 wurden die Daten über die organischen Böden, die als Speicher für Treibhausgasinventare ausgewiesen werden, neu berechnet. Die Kriterien, die für die Selektion der Daten und dessen Qualität definiert wurden, sind im Kapitel 2.4.14 beschrieben. (Wüst-Galley et al., 2015).

Anhand der Beschreibung im Bericht und den vorhandenen Angaben der Autoren (Wüst-Galley, 2021), wurde der Datensatz folgenderweise für die Master Thesis modelliert:

- a. Der Polygonlayer wurde in ein QGIS-Projekt importiert und im Koordinatensystem EPSG 21781 dargestellt.
- b. Der Polygonlayer wurde mit dem Polygon des Studienperimeters verschnitten.
- c. Für die Polygone innerhalb des Perimeters wurden folgende Attributselektion durchgeführt:
 - „conflict“ = 0
 - „Klasse“ in (1,2,3,4,5)

Die selektierten Polygone entsprechen der Fläche, die im Treibhausgasinventar vom Jahr 2015 als Speicher von C ausgewiesen ist und hat eine Grösse von 1037 ha. In der Abbildung 3.31 sind diese Flächen dargestellt.

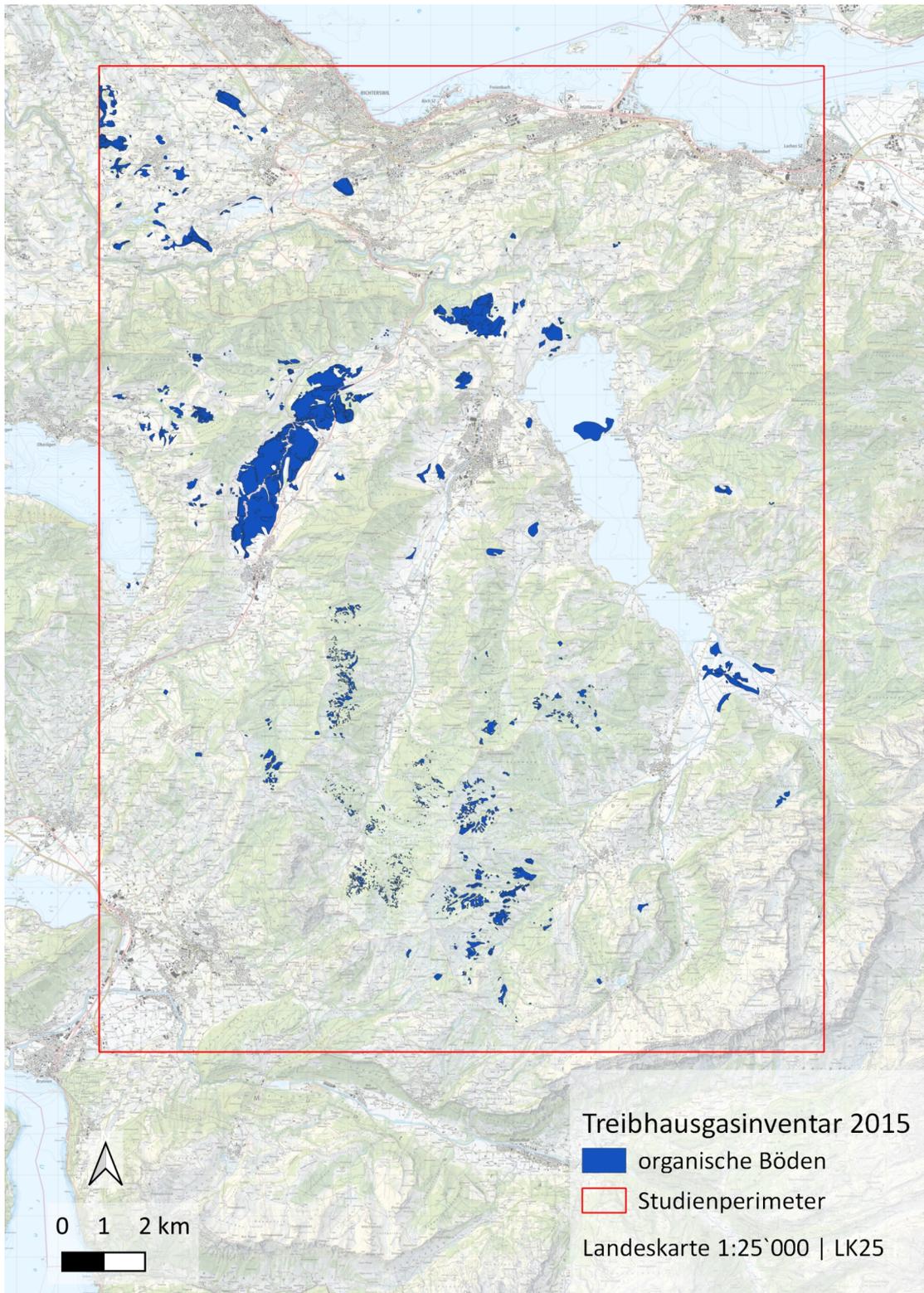


Abb. 3.31: Organische Böden die im Treibhausgasinventar vom Jahr 2015 als Speicher von C ausgewiesen sind (Wüst-Galley et al., 2015). Hintergrundkarte: Landeskarte 1:25'000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022b)

3.14 Schlussergebnis der Modellierung der Potentialflächen

Für die Berechnung der Summe der Potentialflächen aus den Karten und Daten, die in den vorherigen Unterkapitel beschrieben sind, wurden die Arbeitsschritte durchgeführt, die in der folgenden Auflistung beschrieben sind. Die Zusammenführung der Polygonlayer erfolgte in einzelnen Schritten, dies um die Geometrie- und topologische Fehler mit den Tools der „Grafischen Modellierung“ von QGIS in den einzelnen Layer korrigieren zu können. Der Ablauf ist hier beschrieben und in der Abbildung 3.32 dargestellt.

- a. Import der Polygonlayer mit den Zwischenresultaten, die in den Unterkapiteln beschrieben sind, in ein QGIS-Projekt. Die Darstellung erfolgt mit dem Koordinatensystem EPSG 21781 (CH1903 / LV03).
- b. Aus den Zwischenresultaten der historischen Karten und der Bodenkarten aus der Literatur wurde die Differenz berechnet. Ein neuer Layer mit den Flächen aus den Bodenkarten, die sich ausserhalb der digitalisierten Flächen aus den historischen Karten, wurde erstellt. Dieser DifferenzLayer wurde mit den Flächen aus den historischen Karten zusammengeführt.
- c. Das Resultat wurde auf Fehler in der Geometrie überprüft. Die Tools „Doppelte Stützpunkte entfernen“, „Geometrien reparieren“ und „Gültigkeit überprüfen“ der grafischen Modellierung von QGIS wurden angewendet.
- d. Die resultierenden Flächen aus Punkt c wurden verwendet, um die Polygone des Kulturwandels hinzuzufügen. Um dies zu durchführen, wurden die in Punkt b beschriebenen Schritte durchgeführt.
- e. die Weiteren Zwischenresultate wurden in folgender Sequenz hinzugefügt und wie oben modelliert:
 - Flächen aus dem Moorinventar von nationaler Bedeutung
 - Flächen aus dem Moorinventar von regionaler Bedeutung
 - Flächen aus den Bodeneignungskarten für die landwirtschaftliche Nutzung
 - Historische Feuchtgebiete der Kantone ZG und ZH
 - Geomorphologische Daten vom Kanton ZG
 - Streuwiesen der Parzellenpläne vom Kanton SZ
 - Bodenkarten der Landwirtschaftlichen Nutzungsflächen der Kantone ZG und ZH
 - Waldstandortkarten und Daten des NHG vom Kanton SZ-
 - Sumpf-Flächen aus dem Datensatz Vector10 der Landesskarte
 - Flächen aus den geologischen Karten

3 Ergebnisse

f. Dem Ergebnis wurden die Flächen der natürlichen Seen aus dem Datensatz Vector10 extrahiert. Die angewendete Hypothese bezeichnet die Flächen der Seen als Elemente des hydrologischen Systems die sich nur in einer langfristigen Zeitskala verändern. Die Potentialflächen, die auf der Fläche vom Stausee des Sihlsees lokalisiert sind, wurden für die Berechnung der totalen Flächengrösse berücksichtigt. Dies, weil diese Flächen auch im Datenmodell des Treibhausgasinventars von 2015 berücksichtigt werden (Wüst-Galley et al., 2015), so wie diese in der Abbildung 3.31 dargestellt sind.

Das Resultat der Modellierung ist in der Abbildung 3.33 dargestellt und entspricht einer Fläche von 6528 ha. Bei der Digitalisierung von Karten und der Selektion von Flächendaten für die Zwischenresultate wurde ein Attribut definiert ob es sich um Torfflächen oder Flächen von Feuchtgebieten handelt. Daraus kann aus dem Endergebnis berechnet werden, dass die Potentialflächen aus 4048 ha Torfflächen bestehen.

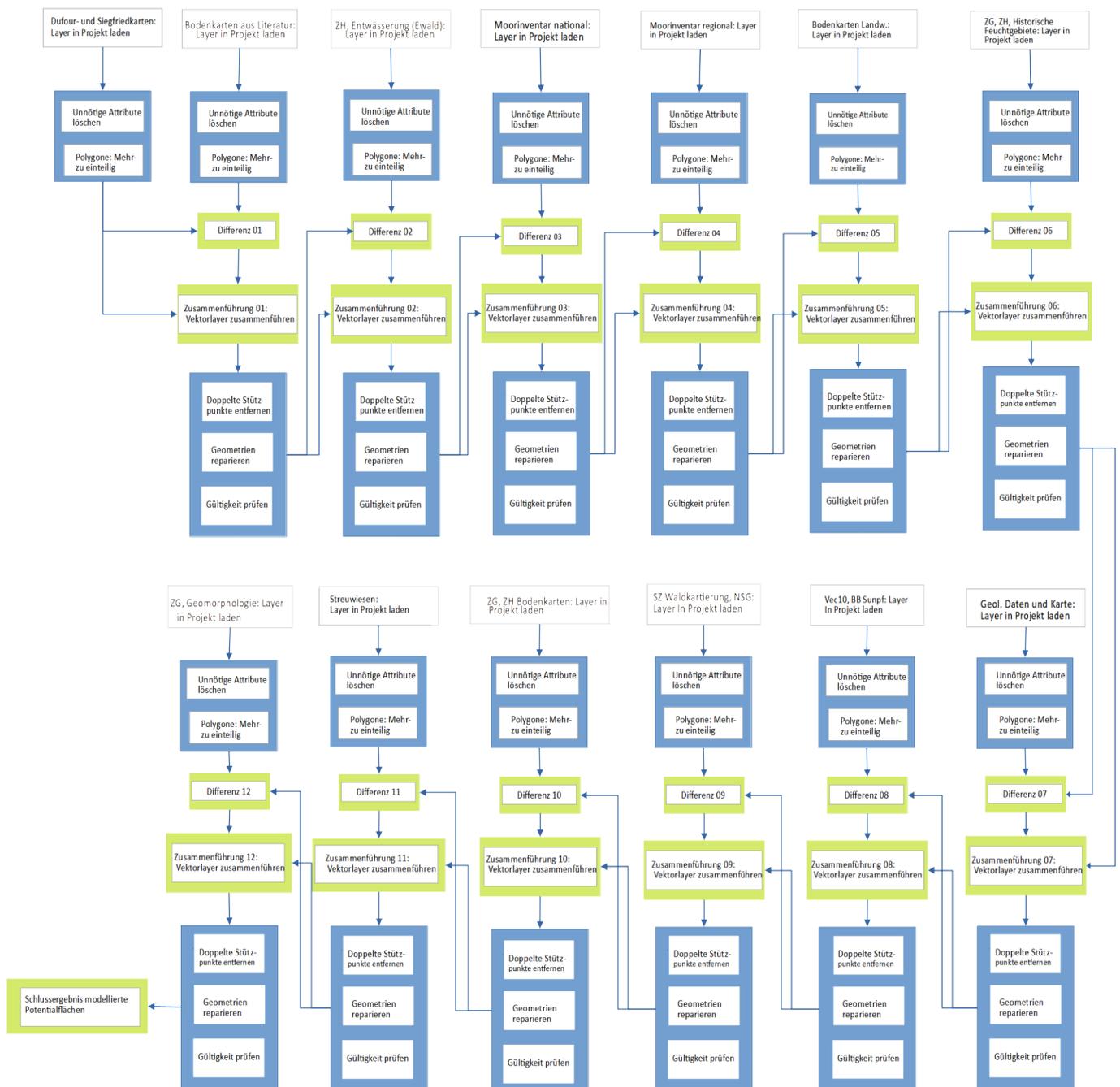


Abb. 3.32: Darstellung der Arbeitsschritte für die Zusammenführung aller Datensätze um die Summe der Potentialflächen zu erhalten

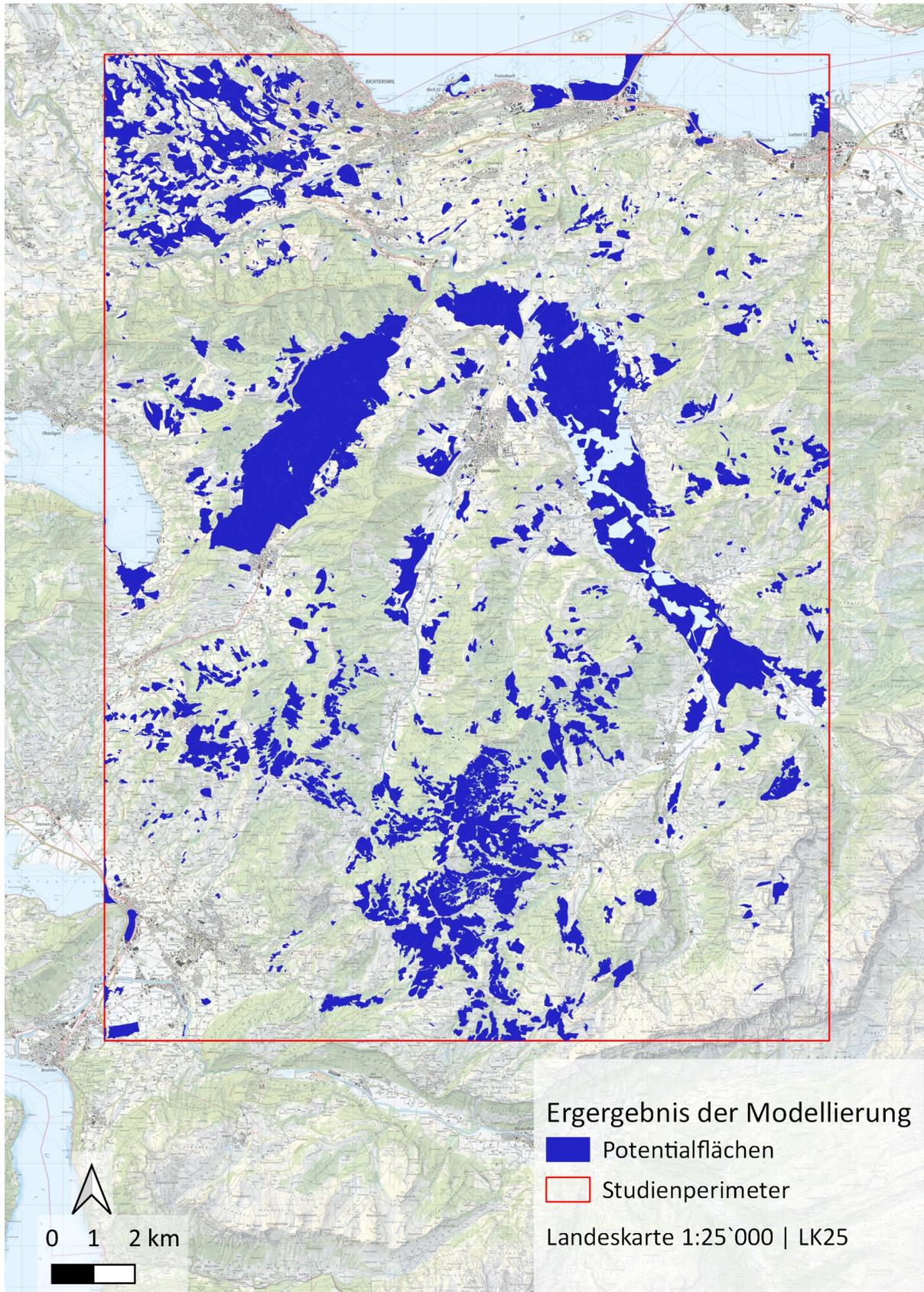


Abb. 3.33: Endergebnis der Zusammenführung der Potentialflächen

Für die Beantwortung der Forschungsfrage werden die Ergebnisse aus der Modellierung und der Daten der Treibhausgasinventare der Jahre 2012 und 2015 in der Tabelle 3.4 zusammengefasst. Im Vergleich zu den Flächen des Treibhausgasinventars des Jahres 2012 sind die Potentialflächen 5786 ha grösser und 5491 ha grösser als die ausgewiesenen Flächen des Treibhausgasinventars von 2015. Es ist somit möglich, dass die Schweiz innerhalb des Studienperimeters einen grösseren Flächenanteil im Treibhausgasinventar ausweisen kann. Die verantwortlichen Stellen können dieser grössere Anteil von Flächen unter Schutz stellen, damit dieser langfristig eine grössere Menge von Treibhausgasen aus der Atmosphäre speichern kann und dessen Anteil an C in Torf sequestrieren kann.

Tab. 3.4: Endergebnis der Modellierung der Potentialflächen und die Werte der Treibhausgasinventare

Daten	Fläche (ha)	Davon Torfflächen (ha)	Flächenunterschied zwischen Potentialflächen und Treibhausgasinventare (ha)
Berechnete Potentialflächen	6528	4048	
Treibhausgasinventar 2012	742		5786
Treibhausgasinventar 2015	1037		5491

4 Diskussion

Das Resultat der angewendeten Methode, die für die Selektion der Flächen im Treibhausgasinventar vom Jahr 2015 verwendet wurde, ist dem Resultat der Modellierung dieser Arbeit näher als die Flächen des Inventars von 2012. Durch die Anwendung der qualitativen Analyse und durch eine andere Sichtweise über die Berücksichtigung von historischen Daten ist der ausgewiesene Flächenanteil in diesem Perimeter kleiner als der hier modellierte Flächenanteil.

Anhand der Abgrenzungen, die im ersten Kapitel beschrieben sind, kann mit dieser Methode nicht definiert werden, ob die resultierenden Flächen auch aus kartografischer und naturwissenschaftlicher Sicht qualitativ geeignet sind, um ins Treibhausgasinventar aufgenommen zu werden. Auch weitere Kriterien müssen angewendet werden, um bestimmen zu können ob diese ins Inventar aufgenommen werden können. Erlauben es Gesetze im Bereich des Naturschutzes, über die landwirtschaftliche Nutzung und über die Raumplanung diese Flächen für die Reduktion der Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre zu schützen? Diese Frage sollte in einem nächsten Schritt beantwortet werden. In den folgenden Abbildungen sind für die Ortschaft Samstagern im Kanton Zürich die modellierten Potentialflächen in blau (s. Abbildung 4.1) und den Zonenplan für Wohn-, Gewerbe- und Industriezonen (s. Abbildung 4.2) dargestellt. Eine Diskussion über die Bestimmung von Landnutzung bringt viel Konfliktpotenzial hervor. Wie kann man Naturschutz, Klimaschutz, Siedlungsentwicklung und wirtschaftliche Entwicklung in Einklang bringen?

Fragen über die Entwicklung von naturwissenschaftlichen Faktoren beeinflussen auch den Entscheid über die Umsetzung von Renaturierungsmassnahmen. Kann ein hydrologisches System so wieder hergestellt werden wie es in der Vergangenheit vorhanden war, um die Aktivitäten der Moore zu fördern? Sind die klimatologischen Bedingungen auch die gleichen wie in der Vergangenheit um genügend Niederschläge zu geben, dazu übers Jahr so verteilt, dass die Moore mit genügend Mengen an Wasser versorgt werden können?

Das Modell hat ergeben, dass innerhalb des Studienperimeters 4048 ha Torf in aktuellen oder historischen Daten vorhanden sind. In einem weiteren Schritt ist es notwendig, den Flächenanteil an Torfflächen zu berechnen, der aktuell vorhanden ist, denn dieser Anteil kann durch Wachstum Kohlenstoff aus CO₂ und CH₄ in der Atmosphäre entziehen. Für den Flächenanteil aus historischen Daten ist es notwendig zu überprüfen ob Torf noch vorhanden ist, dass durch die aktuelle Nutzung nicht Kohlenstoff in die Atmosphäre abgibt und ob es möglich ist dieser zu schützen, damit ein aktives Moor bestehen oder wieder entstehen kann. Falls Torfflächen aus historischen Quellen nicht landwirtschaftlich genutzt werden und nicht in Siedlungszonen umgewandelt wurden, sind diese als C-Speicher im Treibhausgasinventar auszuweisen. Weil in der Modellierung auch

Flächen von historischen und aktuellen Feuchtgebieten berücksichtigt wurden, ist es notwendig zu Beurteilen ob diese durch Schutzmassnahmen sich in Flachmoore entwickeln können, darauf sich Torf bilden kann oder nicht.

Die Berechnungen über die Mengen an C, die in den ausgewiesenen Torfflächen gespeichert werden können, ist von verschiedenen Faktoren abhängig, die für diese Potentialflächen nicht bekannt sind. Die in Torf gespeicherte Menge an C ist abhängig von der Fläche der Moore, von der Tiefe der Torfschicht, der Torfmächtigkeit, und von der Densität von Kohlenstoff im Torf (Wüst-Galley et al., 2020). Da diese Faktoren für die Torfflächen des Studienperimeters nicht bekannt sind, sind weitere Forschungsarbeiten notwendig, um eine Antwort auf diese Frage geben zu können. Die Daten und die Karten, die für die Modellierung zur Verfügung stehen, erlauben keine absolute Zuordnung der Torfböden zu Tiefmoore oder Hochmoore. Diese Zuordnung kann relevant sein, falls die Sequenzierung von Kohlenstoff in unterschiedlicher Form, Konzentration und Zeitintervall erfolgt.

Die unterschiedliche räumliche Verteilung der verwendeten Daten und Karten hat einen Einfluss auf das Endergebnis, da unser Studienperimeter die Flächen von 3 Kantone abdeckt. Nur die Daten, die von Bundesämtern erstellt werden, sind durch einheitliche Kartierungsmethoden entstanden und decken alle Kantone ab. Die Daten, die unter der Verantwortung der Kantone erhoben oder kartiert wurden, müssen anhand der angewendeten Methode zuerst harmonisiert werden. So kann man das Resultat zwischen den kantonalen Flächen auch qualitativ vergleichen. Die Tabelle mit der Zusammenfassung der verwendeten Daten zeigt (s. Abbildung 2.4), dass nicht alle Kantone die gleichen Karten und Datensätze erstellen, einerseits weil die gesetzlichen Grundlagen unterschiedlich sind, andererseits weil die Kantone unterschiedliche Zeithorizonte für die Bearbeitung und Veröffentlichung von Daten haben.

Die Berücksichtigung der Potentialflächen, die sich innerhalb des Perimeters des Stausees befinden, muss analysiert werden. Die Modellierung des Treibhausgasinventars vom Jahr 2015 berücksichtigt diese Flächen. Somit wurden diese im Endergebnis der Modellierung berücksichtigt. Man kann annehmen, dass ein Stausee den Abfluss von organischem Material verhindert und Sedimente bilden kann, die zur Entstehung von Torf und Moore führen kann. Es ist auch möglich, dass die Nutzung des Wassers für die Produktion von Strom gestoppt wird und dass der Stausee zurückgebaut wird. Nach einem Rückbau des Staudamms bleiben die Sedimente, ein Feuchtgebiet und ein Tiefmoor können entstehen und sich entwickeln.

Für die Modellierung der Daten wurde die Software QGIS, Version 3.22.1, mit den zur Verfügung stehenden Funktionen aus dem Werkzeug „Graphische Modellierung“ verwendet. Die Abläufe für die Erstellung der

4 Diskussion

Zwischenresultate und des Endergebnisses können überprüft werden um zu analysieren ob diese optimiert werden können.

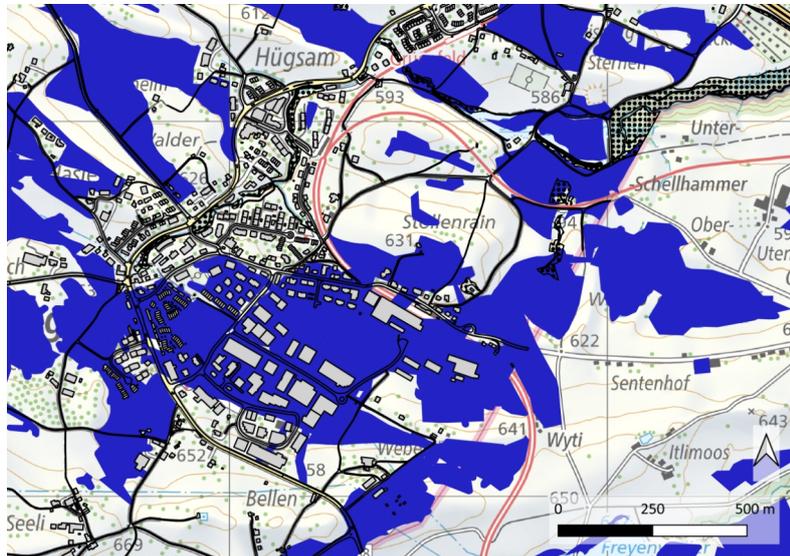


Abb. 4.1: Potentialflächen (in blau) für die Ortschaft Samstagern, Kanton Zürich. Gebäude aus der Amtlichen Vermessung (Geografisches Informationssystem des Kantons Zürich (GIS-ZH), 2018a), Hintergrundkarte Landeskarte LK25 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022b)

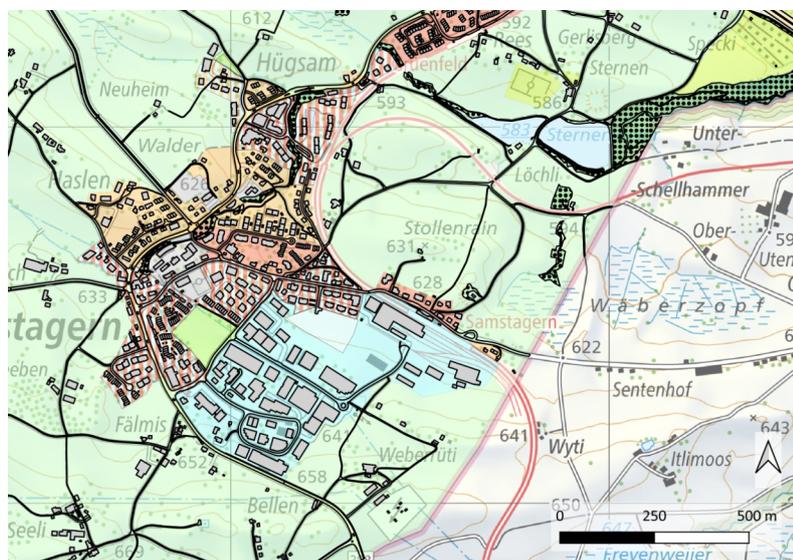


Abb. 4.2: Zonenplan der Ortschaft Samstagern, Kanton Zürich, (Geografisches Informationssystem des Kantons Zürich (GIS-ZH), 2018b). Gebäude aus der Amtlichen Vermessung (Geografisches Informationssystem des Kantons Zürich (GIS-ZH), 2018a). Hintergrundkarte Landeskarte LK25 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022b)

5 Fazit und Ausblick

Die für diese Master Thesis verwendeten räumlichen Daten und die angewendete Methode erlauben eine Antwort auf die Forschungsfrage zu geben. Das Endergebnis der Modellierung zeigt, dass ein grösserer Flächenanteil des Studienperimeters aus bodenkundlicher und naturwissenschaftlicher Sicht in der Kategorie der organischen Böden des Treibhausgasinventars ausgewiesen werden kann. Es sind 6528 ha Potentialflächen die aus der Modellierung resultieren, gegenüber den ausgewiesenen Flächen von 742 ha fürs Treibhausgasinventar von 2012 und 1037 ha fürs Treibhausgasinventar von 2015. Dies bedeutet, dass in diesem Perimeter die heute kartierten und in der Vergangenheit existierenden Torfflächen der Grösse von 4048 ha einen grösseren Beitrag zur Reduktion von Treibhausgasen in der Atmosphäre und zum Klimaschutz leisten als es vom Gesetz her bekannt ist.

Die offenen Fragen gehen in Richtung qualitative Analyse des Resultats. Welche Flächen entsprechen Moore, die aktiv wachsen und zur Sequestrierung von C beitragen? Welche Moore müssen durch Massnahmen geschützt oder renaturiert werden, damit sie wieder aktiv wachsen können? Welche Feuchtgebiete haben das Potential um sich in Tiefmoore zu entwickeln und so Torf zu bilden? Wie sollen die verantwortlichen Stellen mit den historischen Daten umgehen, die sich innerhalb der Perimeter von Stauseen befinden? Die kantonalen Unterschiede über die zur Verfügung stehende Daten und Karten zeigen, dass eine harmonisierte Modellierung für die gesamte Fläche der Schweiz schwierig ist. Wie soll die Harmonisierung durchgeführt werden. Eine Forschungsgruppe arbeitet seit mehreren Jahren am Projekt „NABODAT“, der Digitalisierung aller Bodenkarten und bodenkundlicher Daten der Schweiz. Für dieses Projekt wurde ein Datenmodell entwickelt. Die Erfahrungen, die das Team gemacht hat, können auch in diesem Bereich sehr hilfreich sein.

Die gesetzliche Bestimmung über die Zuordnung von einer Fläche an einer Nutzungskategorie ist das Resultat von langen Diskussionen für Politik und Wirtschaft. Die wirtschaftlichen Interessen spielen eine wichtige Rolle. Die Diskussionen über den Zusammenhang zwischen Treibhausgasinventar und der Definition von CO₂ – Zertifikate müssen weiterverfolgt werden. Dies erlaubt der Sequestrierung von Kohlenstoff einen monetären Wert zu geben, aus dem einen wirtschaftlichen Wert und einen Markt entstehen kann. Aus naturwissenschaftlicher Sicht kann man auch dem ökologischen Wert einen finanzieller Wert geben. Moore sind ökologisch wertvoll und ein finanzieller Wert kann eine positive Auswirkung auf die Umsetzung von Schutzmassnahmen haben.

6 Literaturverzeichnis

- ALN Amt für Landschaft und Natur, Fachstelle Bodenschutz, 2008. Landw. Bodenkarte 1:5'000 Kt. Zürich, Datenprodukt „Bodenkarte Klartext“. Zürich.
- Amt für Grundbuch und Geoinformation des Kantons Zug, 2011. Geomorphologie.
- Amt für Grundbuch und Geoinformation des Kantons Zug (AGG), 2005. Kanton Zug, historische Gewässer, Vektordaten.
- Amt für Landwirtschaft (AFL), Kanton Schwyz, 2011. Bewirtschaftungspläne der landwirtschaftlichen Betriebe, Arbeitspläne.
- Amt für Landwirtschaft Kanton Zug, 2011. Landwirtschaft und Naturschutz.
- Amt für Natur, Jagd und Fischerei, Abteilung Natur- und Landschaftsschutz, Kanton Schwyz, 2011. GIS-Daten zu den kantonalen Naturschutzgebieten und den kantonalen Vertragsobjekten.
- Amt für Umwelt des Kantons Zug, 2011. Bodenkarte des Kantons Zug.
- BAFU, Abteilung Klima (Ed.), 2014. Emissionen nach CO₂-Gesetz und Kyoto-Protokoll. Bern.
- Battaglia, A., 2010. Geschichte der Torfnutzung im Gebiet von Einsiedeln und Rothenthurm während des 20. Jahrhunderts. ETH Zurich, Department of Environmental Sciences, Zürich.
- Baudirektion Kanton Zürich, Fachstelle Bodenschutz, 2019. Bodenkartierung der Landwirtschaftsflächen des Kantons Zürich, Erläuterungen und Glossar [WWW Document]. URL <https://maps.zh.ch/system/docs/nekzh/Glossar/Glossar-Bodenkarte.htm> (accessed 1.10.22).
- Baumgartner, H., 2002. Moore und Moorschutz in der Schweiz. BUWAL, Bern.
- Bingisser, H., 2003. Das “Sihl-Alp-See-Projekt” von Pater Cölestin Muff, OSB und die Rolle des Klosters beim Etzelwerkprojekt, in: Saurer, K. (Ed.), Der Sihlsee : Eine Landschaft Ändert Ihr Gesicht. Offizin, Zürich, pp. 13–26.
- Boesch, R., 2010. Sumpf auf Siegfriedkarten.
- Boesch, R., Leyk, S., 2010. Colors of the past: color image segmentation in historical topographic maps based on homogeneity. *Geoinformatica* 14, 1–21.
- Brühlmann, M., 1990a. Nutzungsseignungskarte Alp Altmatt, Gemeinde Rothenthurm SZ.
- Brühlmann, M., 1990b. Standortuntersuchung und Weideplanung, Alp Altmatt Gemeinde Rothenthurm / SZ. Zürich Reckenholz.
- Bucheli, T., Keckeis, Y., Bucher, R., Docourt, M., Echensperger, J., Kohler, M., Mortier, L., Scholten, L., Nägeli, B., 2013. Emissionshandelssystem EHS : Ein Modul der Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde zur CO₂-Verordnung, Emissionshandelssystem EHS Ein Modul der Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde zur CO₂-Verordnung, Umwelt-Vollzug 1317 Klima und CO₂. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2013. Vector 10, Kartenblätter 1132 und 1152. Swiss Map Vector.
- Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 1870. Siegfriedkarten : Topographischer Atlas der Schweiz.
- Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 1845. Topographische Karte der Schweiz (Dufourkarte).

- Bundesamt für Landestopografie swisstopo, n.d. Hintergrundinformationen zur Dufourkarte [WWW Document]. URL https://www.swisstopo.admin.ch/de/wissen-fakten/geschichte-sammlungen/historische-kartenwerke/dufourkarte.html#publikationen_dokume (accessed 1.6.22a).
- Bundesamt für Landestopografie swisstopo, n.d. Hintergrundinformationen zur Siegfriedkarte [WWW Document]. URL <https://www.swisstopo.admin.ch/de/wissen-fakten/geschichte-sammlungen/historische-kartenwerke/siegfriedkarte.html> (accessed 1.6.22b).
- Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022a. SWISSIMAGE: Das digitale Orthophotomosaik der Schweiz.
- Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2022b. Landeskarte 1:25'000 | LK25.
- Bundesamt für Landestopografie swisstopo (WMS-Dienst), 2018. Landeskarte 1:200'000 | LK200.
- Bundesamt für Umwelt / Abteilung Arten, Ökosysteme, Landschaften, 2017. Bundesinventar der Hoch- und Übergangsmoore von nationaler Bedeutung.
- Bundesamt für Umwelt / Abteilung Biodiversität und Landschaft, 2020. Bundesinventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung.
- Bundesamt für Umwelt BAFU /AÖL, 2017a. Bundesinventar der Hoch- und Übergangsmoore von nationaler Bedeutung, Identifikator 20.1, Version 1.1, Technische Anleitungen Geobasisdaten des Umweltschutzes. Bern.
- Bundesamt für Umwelt BAFU /AÖL, 2017b. Bundesinventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung, Identifikator 21.1, Version 1.1, Technische Anleitungen Geobasisdaten des Umweltschutzes. Bern.
- Carless, D., Kulesa, B., Booth, A.D., Drocourt, Y., Sinnadurai, P., Street-Perrott, F.A., Jansson, P., 2021. An integrated geophysical and GIS based approach improves estimation of peatland carbon stocks. *Geoderma* 402, 115176. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115176>
- Carless, D., Luscombe, D.J., Gatis, N., Anderson, K., Brazier, R.E., 2019. Mapping landscape-scale peatland degradation using airborne lidar and multispectral data. *Landscape ecology* 34, 1329–1345. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00844-5>
- Couwenberg, J., 2009. Emission factors for managed peat soils (organic soils, histosols) An analysis of IPCC default values. Greifswald University Wetlands International, Ede.
- Dietl, W., Berger, P., Ofner, M., 2009. Die Kartierung des Pflanzenstandortes und der forstbaulichen Nutzungseignung von Naturwiesen. Zürich Reckenholz.
- Düggeli, M., 1903. Pflanzengeographische und wirtschaftliche Monographie des Sihltales bei Einsiedeln : von Roblosen bis Studen (Gebiet des projektierten Sihlsees). Arbeiten aus dem Botanischen Museum des Eidgenössischen Polytechnikums in Zürich 11.
- Einsiedeln, Blatt 1132, 2008. . Landeskarte der Schweiz 1:25 000.
- Ewald, K.C., 1978. Der Landschaftswandel : zur Veränderung schweizerischer Kulturlandschaften im 20. Jahrhundert, Der Landschaftswandel zur Veränderung schweizerischer Kulturlandschaften im 20. Jahrhundert, Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen. Berichte 191. Eidgen. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf.
- Fachstelle Naturschutz Kanton Zürich, 2002. GIS-Datensatz: Historische Feuchtgebiete der Wildkarte (1850).

6 Literaturverzeichnis

- Filliger, P., Müller, B., Hoehn, S., Heldstab, J., Sommerhalder, M., Rihm, B., 2012. Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2010, National Inventory Report 2012 including reporting elements under the Kyoto Protocol. Federal Office for the Environment FOEN, Climate Division, Bern.
- FOEN, 2021. Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2019: National Inventory Report and reporting tables (CRF). Submission of April 2021 under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. Federal Office for the Environment, Bern.
- Früh, J.J., 1883. Über Torf und Dopplerit.
- Früh, J.J., Schröter, C., 1904. Die Moore der Schweiz : mit Berücksichtigung der gesamten Moorfrage, Beiträge zur Geologie der Schweiz. Geotechn. Ser. Lieferung 3. Kommission A. Francke, Bern.
- Geografisches Informationssystem des Kantons Zürich (GIS-ZH), 2018a. WMS Amtliche Vermessung (AVWMS), <https://www.geolion.zh.ch/geodatenservice/851>.
- Geografisches Informationssystem des Kantons Zürich (GIS-ZH), 2018b. WMS Aktuelle Nutzungszonen, Überlagernde Festlegungen und Abstandslinien der ÖREB (OGD), <https://www.geolion.zh.ch/geodatenservice/2231>.
- Grünig, A., 1994. Mires and man : mire conservation in a densely populated country - the Swiss experience : excursion guide and symposium proceedings of the 5th Field Symposium of the International Mire Conservation Group (IMCG) to Switzerland 1992, in: Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research (Ed.), . F. Flick-Wirth, International Booksellers for Botany and Natural Sciences, Birmensdorf.
- Grünig, A., Vetterli, L., Wildi, O., 1986. Die Hoch- und Übergangsmoore der Schweiz : eine Inventarauswertung, Berichte / Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen Nr. 281. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf.
- Hantke, R., 1967. Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete in 2 Blättern 1 : 50000.
- Hantke, R., Wyssling, G., Bollinger, D., 2009. Blatt 1132 Einsiedeln – Geol. Atlas Schweiz. Geologischer Atlas der Schweiz.
- Hensler, K., Kälin, W., 2003. Torfgewinnung und Torfverwertung, in: Saurer, K. (Ed.), Der Sihlsee : Eine Landschaft Ändert Ihr Gesicht. Offizin, Zürich, pp. 27–32.
- Hoffmann, K., 2009. Emissionshandel : eine marktwirtschaftliches Instrument im Klimaschutz, Umwelt-Wissen Nr. 09/09 Klima und CO₂. BAFU, Bern.
- Höhn, W., 1936. Vegetationsstudien in Oberiberg (Schwyz) : die hygrophilen Pflanzengesellschaften. Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft 46, 365-.
- Holden, N.M., Connolly, J., 2011. Estimating the carbon stock of a blanket peat region using a peat depth inference model. CATENA 86, 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.02.002>
- Humpenöder, F., Karstens, K., Lotze-Campen, H., Leifeld, J., Menichetti, L., Barthelmes, A., Popp, A., 2020. Peatland protection and restoration are key for climate change mitigation. Environmental research letters 15, 104093-.
- Ibergereg, Blatt 1152, 2009. . Landeskarte der Schweiz 1:25 000.
- Info Habitat (Maillefer & Hunziker, Yverdon-les-Bains), 2021. Bundesinventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung.

- Info Habitat (Maillefer & Hunziker, Yverdon-les-Bains), 2017. Bundesinventar der Hoch- und Übergangsmoore von nationaler Bedeutung.
- Joosten, H., 2009. The Global Peatland CO₂ Picture, Peatland status and drainage related emissions in all countries of the world. Greifswald University Wetlands International, Ede.
- Joosten, H., 2002. Wise use of mires and peatlands : background and principles including a framework for decision-making, Wise use of mires and peatlands background and principles including a framework for decision-making. International Mire Conservation Group, Finland.
- Joosten, H., Tapio-Biström, M.-L., Tol, S., 2012. Peatlands - guidance for climate change mitigation through conservation, rehabilitation and sustainable use, 2nd ed. ed, Mitigation of climate change in agriculture series 5. Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO and Westerland International, Rome.
- Kanton Zug, Baudirektion, Amt für Umwelt, 2019. Anleitung für die Benutzung der Bodenkarte im Kartendienst ZugMap.ch.
- Kanton Zürich, Amt für Landschaft und Natur, 2011. Geodatensatz: Meliorationskataster des Kantons Zürich.
- Kanton Zürich, Amt für Landschaft und Natur - Bodenschutz, 1996. Bodenkartierung der Landwirtschaftsflächen.
- Küchler, M., 2021. VEGEDAZ – ein Programmpaket zur Erfassung und Exploration von Vegetationsdaten. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf.
- Küchler, M., Ecker, K., Feldmeyer-Christe, E., Graf, U., Küchler, H., Waser, L.T., 2004. Combining remotely sensed spectral data and digital surface models for fine-scale modelling of mire ecosystems. *Community ecology* 5, 55–68. <https://doi.org/10.1556/ComEc.5.2004.1.6>
- Leifeld, J., Bassin, S., Fuhrer, J., 2005. Carbon stocks in Swiss agricultural soils predicted by land-use, soil characteristics, and altitude. *Agriculture, ecosystems & environment* 105, 255–266. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.03.006>
- Leifeld, J., Menichetti, L., 2018. The underappreciated potential of peatlands in global climate change mitigation strategies. *Nature communications* 9, 1071–1071.
- Parish, F., Sirin, A., Charman, D. (Eds.), 2008. Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change: Main Report. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen.
- Parry, L.E., West, L.J., Holden, J., Chapman, P.J., 2014. Evaluating approaches for estimating peat depth. *Journal of geophysical research. Biogeosciences* 119, 567–576. <https://doi.org/10.1002/2013JG002411>
- Preiswerk, T., 2000. Waldgesellschaften und Waldstandorte im Kanton Schwyz. Unter Verwendung von Aufnahmen von: M. Bichsel, H. Etter, H. U. Frey, H. Grossmann, P. Häfliger, W. Keller, D. Knecht, R. Kuoch, W. Luedi, Oeko-B, P. Schmid, F.H. Schweingruber, R. Sommerhalder, R. Sutter, W. Trepp.
- QGIS Association, 2022. QGIS.org.
- Rihm, B., 2012. Masterarbeit im Bereich renaturierungspotential von Moore, Datenexport.
- Saurer, K., 2003. Der Sihlsee : eine Landschaft ändert ihr Gesicht, 2. Aufl. ed. Offizin, Zürich.
- Schwager, G., 2003. Untergang für den Fortschritt. Das Sihlsee-Projekt, in: Saurer, K. (Ed.), *Der Sihlsee : Eine Landschaft Ändert Ihr Gesicht*. Offizin, Zürich, pp. 5–88.

6 Literaturverzeichnis

- Swiss Federal Research Institute WSL / BAFU, 2011a. GIS-Layer (Stand Vernehmlassung 88) und Sachdaten der Hochmoore nicht nationaler Bedeutung Landeskartenblätter 1132 und 1152.
- Swiss Federal Research Institute WSL / BAFU, 2011b. Sachdaten und GIS-Layer der Flachmoore nicht nationaler Bedeutung Landeskartenblätter 1132 und 1152.
- Trepel, M., 2008. Zur Bedeutung von Mooren in der Klimadebatte. Jahresbericht 2007/08 Landesamt für Natur und Umwelt.
- United Nations, Framework Convention on Climate Change, 2021a. Status report of the annual inventory of Switzerland. Bonn.
- United Nations, Framework Convention on Climate Change, 2021b. Aggregate information on greenhouse gas emissions by sources and removals by sinks for Parties included in Annex I to the Convention. Bonn.
- Verknüpfung CO₂-Statistik nach CO₂-Gesetz mit Treibhausgasinventar, 2012. . Bern.
- von Suri, R., 2006. Skipistenvermessung Sattel Hochstuckli, UVB Hochstuckli Vegetation von oben.
- Weiss, M., 2008. Simulating Historical Locations of Wetlands in Switzerland. ETH Zurich, Department of Environmental Sciences, Zürich.
- Wetlands International, n.d. Saving peatlands For Global Climate, People and Biodiversity.
- Wüst-Galley, C., 2021. Daten Treibhausgasinventar.
- Wüst-Galley, C., Grünig, A., Leifeld, J., 2020. Land use-driven historical soil carbon losses in Swiss peatlands. *Landscape ecology* 35, 173–187. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00941-5>
- Wüst-Galley, C., Grünig, A., Leifeld, J., 2015. Locating Organic Soils for the Swiss Greenhouse Gas Inventory (No. 26), *Environment Agroscope Science*. Agroscope, Federal Departement of Economic Affairs, Education and Research EAER, Zürich.

Anhang

Anhang A: Beziehung zwischen Moore und Klima

Tabelle A.1: Zusammenstellung der Emissionen von Treibhausgasen in der Schweiz für die Jahre 1990 und 2008. Diese Emissionen sind durch die Nutzung der Moore und vom Torf entstanden (Joosten, 2009) .

		1990			2008
Area of country	km ²	41'285	Area of country	km ²	41'285
Peatland area	km ²	300	Peatland area	km ²	288
Peat carbon stock	Mton C	30	Peat carbon stock	Mton C	29
Forested peatland area	km ²	10	Forested peatland area	km ²	15
Emissions from 1990 peatland drained for agriculture before 1990	Mton CO ₂ /a	0.3	Emissions from 2008 peatland drained for agriculture before 2008	Mton CO ₂ /a	0.3
Emissions in 1990 from 1990 peatland drained for forestry before 1990	Mton CO ₂ /a	0.02	Emissions in 2008 from 2008 peatland drained for forestry before 2008	Mton CO ₂ /a	0.02
Emissions in 1990 from 1990 peatland drained for peat extraction before 1990	Mton CO ₂ /a	0.03	Emissions in 2008 from 2008 peatland drained for peat extraction before 2008	Mton CO ₂ /a	0.03
Emissions in 1990 from 1990 peatland drained for other purposes before 1990	Mton CO ₂ /a	0	Emissions in 2008 from 2008 peatland drained for other purposes before 2008	Mton CO ₂ /a	0
Emissions in 1990 from peat from non-forested peatland	Mton CO ₂ /a	0.3	Emissions in 2008 from peat from non-forested peatland	Mton CO ₂ /a	0.3
Total degrading peatland area in 1990	km ²	130	Total degrading peatland area in 2008	km ²	130
Emissions from peat extracted in 1990	Not included		Emissions from peat extracted in 2008	Not included	
Total emissions in 1990 from degrading peat	Mton CO ₂ /a	0.3	Total emissions in 2008 from degrading peat	Mton CO ₂ /a	0.3
			Total technically possible future emissions	Mton CO ₂	94

Tab. A.2: Zusammenfassung der Emissionsfaktoren für Moore in Funktion ihrer Nutzung und ihrer klimatischen Zuordnung (Couwenberg, 2009).

Summary of emission factors for CO₂ and N₂O. Values in **bold** are considerably higher than IPCC (2006); values in underlined italics are considerably lower than IPCC (2006).

Climate Zone	Land use	t CO ₂ -C ha ⁻¹ yr ⁻¹ (range)		kg N ₂ O-N ha ⁻¹ yr ⁻¹ (range)		
		IPCC (2006)	This study	IPCC (2006)	This study	
Tropical	(Agro-)forestry	1.36 (0.82-3.82)	11 (8-13.5)	8 (0-24)	<u>3.4</u> (-0.5-13.4)	
	Cropland ¹	20 ± 90%	<u>11</u> (8-13.5)	16 (5-48)	107 (13-252)	
	Grassland				<u>4.6</u> (-1.1-23)	
		Peat Mining	2.0 (0.06-7.0)	8	–	–
	Temperate	Forestry, poor soils	0.68 (0.41-1.91)	–	–	0.6 (0.2-1.3)
Forestry, rich soils		6.4 (0.7-17)				
Cropland		10.0 ± 90%	<u>5.5</u> (4.1-7.6)	8 (2-24)	5.8 (-3.8-56)	
Grassland						
		Peat mining, rich soils	1.1 (0.03-2.9)	1.9² (0.1-4.4)	–	–
		Peat mining, poor soils	0.2 (0-0.6)			
Boreal	Forestry, poor soils	0.16 (0.08-1.09)	1.75 (1-4.3)	0.1 (0.02-0.3)		
	Forestry, rich soils			0.6 (0.16-2.4)		
	Cropland	5.0 ± 90%	<u>2.6</u> (-0.7-7.5)	–	6.8 (-0.8-37)	
	Grassland					
		Peat mining, rich soils	1.1 (0.03-2.9)	6.8³ (4.6-9.1)	–	2.1 ³ (2.0-2.2)
	Peat mining, poor soils	0.2 (0-0.6)				

¹ CH₄ emissions from rice paddies on peat soil fall within the IPCC (2006) default range

² refers to abandoned peat mining areas with high water levels. Emissions from active peat mining sites are likely larger than in the boreal zone;

³ includes emissions from stockpiles; CH₄ emissions (including stockpiles) amount to 68.8 (54.4-83.2) kg CH₄ ha⁻¹ yr⁻¹. Total global warming potential (using 100 year conversion factors) equals 7.3 (5.2-10.1) t CO₂-C-eq ha⁻¹ yr⁻¹

Anhang B: Protokolle der Georeferenzierung

Tab. B.1: Export aus QGIS des Resultats der Georeferenzierung der Karte aus der Publikation von Früh und Schröter (Früh and Schröter, 1904)

mapX	mapY	pixelX	pixelY	enable	dX	dY	residual
697165.9443363	222904.6677822	538.4688333098	-150.728888102	1	0.00249894	-0.16936026	0.169378696
696929.5706488	223053.9564269	517.9271732179	-136.837405738	1	-0.57890814	0.171044821	0.603648043
697729.9236607	223394.0027843	586.3501129484	-108.4633141	1	2.530702233	-1.77698361	3.09226851
697870.9184919	222792.7012986	602.4583212218	-160.186918648	1	-1.41764737	0.665003621	1.565871608
697617.9571772	221382.7529875	577.7787727662	-285.210259927	1	-1.08445562	1.239721236	1.64710435
696738.8129362	221233.4643428	498.2722034898	-299.6928692	1	1.15883346	-0.1579606	1.169549717
695921.8722971	221051.0004437	428.6670099411	-315.948859201	1	-1.40437285	-0.52343587	1.498748885
695561.0914057	220889.2710786	393.0516136668	-331.022595383	1	2.217932827	-1.44602579	2.647681363
694441.4265704	219653.492853	294.6289832986	-438.164347661	1	1.134666306	-0.45040734	1.220792527
693777.9214828	219006.5753926	236.9941096596	-494.912530936	1	-0.01617365	-1.10878162	1.108899578
693139.297836	218968.2165048	180.9848350206	-495.651439573	1	-0.40824229	1.099775049	1.173101414
693184.9138108	219884.682907	185.8616320209	-415.701525114	1	-1.71334767	0.904599849	1.937488359
693373.5980701	220268.2717857	200.7875864761	-382.007291295	1	-0.1399245	0.980325894	0.990261443
692772.2965845	220933.8503267	143.5960580189	-325.111326292	1	1.672097934	-1.66379888	2.358842555
694603.1559355	221352.6879132	309.8505012084	-287.279204108	1	-0.0369958	0.619154796	0.620259099
694377.1495151	222217.3179805	289.7521862984	-210.137142469	1	-1.56120728	0.273175844	1.584926877
694990.8917211	222735.6813302	341.1802273916	-165.211497376	1	1.737335552	-0.8771661	1.946215607
695755.9960252	223011.4506322	413.8888372132	-137.871877829	1	-2.09279207	2.221118959	3.05174509

Tab. B.2: Export aus QGIS des Resultats der Georeferenzierung der Nutzungseignungskarte der Alp Altmatt (Brühlmann, 1990a)

mapX	mapY	pixelX	pixelY	enable
693999.3644615	218001.1163031	2959.28987785715	-7310.51022662844	1
694999.6665726	218001.1163031	5332.26632047438	-7332.35633627286	1
695999.9686838	217999.5310383	7702.3563601918	-7348.1306460214	1
695999.9686838	219001.4184142	7721.08835301818	-4956.35093039973	1
694998.0813078	218999.8331494	5350.99831330076	-4938.60483193263	1
693999.3644615	218999.8331494	2980.90827358333	-4920.85873346553	1
694000.9497263	220000.1352605	2992.73900589473	-2525.13544040673	1
694999.6665726	220000.1352605	5366.77262304929	-2536.96617271814	1
695999.9686838	220000.1352605	7740.80624020385	-2554.71227118524	1
695998.383419	221000.4373717	7758.55233867096	-164.90434428214	1
694999.6665726	221000.4373717	5384.51872151639	-145.18645709647	1

Tab. B.3: Export aus QGIS des Resultats der Georeferenzierung der Vegetationskarte eines Teilperimeters vom Skigebiet Hochstuckli (von Suri, 2006)

mapX	mapY	pixelX	pixelY	enable
691820.6201	213275.9008	141.837667	-692.613509	1
691805.4184	213378.2587	92.99888334	-647.796743	1
692169.2449	213442.1057	223.6864594	-463.446909	1
692509.7622	213165.4354	480.0398879	-442.872202	1
692553.3403	213239.4168	476.4865556	-389.572218	1
693308.3564	212612.0948	1037.12343	-342.194454	1
693246.5363	213097.5346	825.1079359	-160.184877	1