LIN'eco - Dr Ph. Grosvernier écologue conseil REG A Environnement

puls

geo7 Geowissenschaftliches Büro

Wirtschafts-, Energie- und Umweltdirektion WEU
Amt für Landwirtschaft und Natur LANAT
Abteilung Naturförderung ANF
mit der Unterstützung von
Wyss Academy for Nature at the University of Berne
und Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Vorsorgeperimeter zum Wasserhaushalt der Moorbiotope des Kantons Bern

Technischer Bericht

Impressum

Mitwirkung	Projektaufgaben
LIN'eco Dr. Philippe Grosvernier, Grand-Rue 30, 2732 Reconvilier tél. +41 32 481 29 55, info@lineco.ch, www.lineco.ch	Projektleitung, Expertise Moorbiotope
puls Umweltberatung Dr. Martin Urech, Mühlemattstrasse 45, CH-3007 Bern Tel. +41 (0)31 372 20 28, info@pulsbern.ch, www.pulsbern.ch	Expertise Moorbiotope
geo7 AG, Geowissenschaftliches Büro Ursin Caduff und Peter Gsteiger Neufeldstrasse 5 – 9, 3012 Bern Tel. +41 31 300 44 33, info@geo7.ch, www.geo7.ch	Expertise GIS

Referenzierte Dokumente

[1] Bundesgerichts-Urteil BGE/ATF 124 II 19 von 1997 zu ökologisch ausreichenden Pufferzonen

[2] Bundesamt für Umwelt BAFU, 2018: Bericht zu Handen der UREK-S zu rechtlichen und sachlichen Fragen des Moorschutzes. Referenz/Aktenzeichen: R381-0969, 29. Oktober 2018.

[3] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, 1997: Pufferzonen-Schlüssel. Leitfaden zur Ermittlung von ökologisch ausreichenden Pufferzonen für Moorbiotope. 2. Auflage

[4] Klaus G. (Red.) 2007: Zustand und Entwicklung der Moore in der Schweiz. Ergebnisse der Erfolgskontrolle Moorschutz. Umwelt-Zustand Nr. 0730. Bundesamt für Umwelt, Bern. 97 S.

[5] LIN'eco, Ph. Grosvernier 2022: Erhaltung der Wasserressourcen im Einzugsgebiet von Moorbiotopen von nationaler Bedeutung. URL: https://marais.ch/ (Stand 08.11.2022)

Inhaltsverzeichnis

1 Thematische Einführung ... 3

1.1 Meilensteine ... 3
1.1.1 Zustand und Entwicklung der Moore in der Schweiz ... 3
1.1.2 Ökologisch ausreichende Pufferzonen ... 3
1.1.3 Das Verfahren «espace marais» ... 3
1.1.4 Der Moorschutz im Sachplan Biodiversität des Kantons Bern ... 4

2 Projekt ... 4

2.1 Ausgangslage ... 4
2.2 Bedarf, Herausforderungen ... 5
2.3 Zu unterstützende Anwendungen ... 5
2.4 Vorgehen und Ziele ... 6
2.5 Prozessentwicklung ... 6
2.5.1 Phase I ... 6
2.5.2 Phase II ... 7

3 Umsetzung ... 8

3.1 Grundlagendaten ... 8
3.2 Objektbildung ... 8
3.3 Gewinnung einer hydrologisch plausiblen Topographie ... 10
3.4 Hydrologisch-Topographische Typisierung der Moorkomplexe ... 13
3.5 Handhabung der Senken ... 14
3.6 Handhabung Karst ... 14
3.7 Gewinnung der Einzugsgebietstypen ... 16
3.7.1 Die Flächengliederung «espace marais» ... 16
3.7.2 Technische Umsetzung ... 16
3.7.3 Regelbasierte Gewinnung ... 17
3.8 Gutachterliche Überprüfung (QS) ... 20

4 Ergebnisse ... 22

4.1 Zielmodelle ... 22
4.1.1 Übersicht ... 22
4.1.2 Objektkataloge ... 23
4.2 Die Konsultation der Modelle im GIS ... 25
4.3 Die Verwendung der Ergebnisse ... 27
4.3.1 Der Moorkomplex ... 27
4.3.2 Der Vorsorgeperimeter Hydrologie ... 27
4.3.3 Die topographischen Einzugsgebiete der Moorkomplexe ... 28
4.3.4 Der sensitive Saum ... 29
4.4 Die Ergebnisse in Zahlen ... 29

5 Fazit 29
5.1 Ziel-Erreichung 29
5.2 Vorschläge zur planerischen Umsetzung 30
5.3 Einführung der Verfahren und Instrumente 30
5.4 Nachführung 30
5.5 Schlusswort 31

Anhang A Der Workflow «espace marais» 32

Anhang B Kriterien «Sensitiver Saum» 33

Management Summary

Anlass

Moore leben vom Wasser und müssen einen stetigen Wasserüberschuss aufweisen. Der Schutz der in den Biotopinventaren ausgewiesenen Kerngebiete kann auch Massnahmen auf angrenzenden Flächen erfordern. Gemäss den geltenden Rechtsgrundlagen (Hoch- und Flachmoorverordnung) sind deshalb die in den Inventaren des Bundes und der Kantone bezeichneten Moore um «ökologisch ausreichende Pufferzonen» zu ergänzen. Das Bundesgerichtsurteil von 1997 [1] präzisiert diesen Term und hält fest, dass hydrologische Pufferzonen Teil von ökologisch ausreichenden Pufferzonen sind.

Fachliche Verankerung

Im Rahmen des Pilotprogramms Anpassung an den Klimawandel tragen der Bund (BAFU) und 16 Kantone 2014 – 2018 ein Projekt zur Erhaltung der Wasserressourcen von Moorbiotopen nationaler Bedeutung. Im Rahmen des Projekts wird ein 2-stufiges Verfahren zur Identifikation der für den Wasserhaushalt der Moore relevanten Flächen entwickelt und als Verfahren «espace marais» dokumentiert [5]. Das Verfahren empfiehlt zur Sicherung der Wasserressourcen von Moorbiotopen ein Vorgehen in 2 Schritten:

1) Mit einer Voranalyse wird in einem ersten Schritt die Biogeozönose bestimmt, deren Gebietswasserhaushalt zu sichern ist und es werden die für den Gebietswasserhaushalt der Biogeozönose potenziell relevanten Flächen identifiziert.
2) Den zweiten Schritt und den eigentlichen Kernprozess des Verfahrens bildet die Ökohydrologische Untersuchung. Sie fokussiert auf die Abklärung der hydrologisch-funktionalen Zusammenhänge, der massgeblichen Wasserflüsse und allfälliger Störungen. Als Ergebnis der Ökohydrologischen Untersuchung werden die für die ungeschmälerte Erhaltung des Biotopkerns benötigten Flächen als Hydrologische Pufferzone festgelegt, allfällige Störungen identifiziert und Möglichkeiten zu deren Beseitigung aufgezeigt. In den Flächen der Hydrologischen Pufferzone sind keine Veränderungen zulässig, die den für den Moorschutz erforderlichen Wasserhaushalt gefährden könnten.

Das Verfahren «espace marais» wird vom BAFU als zweckmässiges Vorgehen zur Abgrenzung hydrologischer Pufferzonen zu Moorbiotopen anerkannt und es wurde bereits in mehreren Projekten erfolgreich umgesetzt.

Projekt

Mit dem hier beschriebenen Projekt wurden im Sinne der Voranalyse «espace marais» die für die planerische Sicherung des Wasserhaushalts der inventarisierten Moorbiotope des Kantons Bern vorsorglich zu berücksichtigenden Flächen identifiziert. In Phase 1 des Projekts wurden dazu wegen der grossen Anzahl an Objekten GIS-gestützte, regelbasierte Verfahren entwickelt und validiert. In Phase 2 des Projekts wurden die Prozesse für Karstgebiete und Senken präzisiert und die Flächen für alle inventarisierten Moorbiotope des Kantons Bern in dokumentierten Geodatenmodellen berechnet. Im Anschluss wurden die rechnerisch identifizierten Flächen von Moor-Experten und Gebietskennern gutachterlich validiert, in begründeten Fällen auf die lokalen Gegebenheiten angepasst und in und anwendungsspezifischen Darstellungen publiziert.

Umsetzung der Ergebnisse

Bei Planungen und Verfahren, die potenziell den Gebietswasserhaushalt von Moorbiotopen betreffen, ist sicherzustellen, dass die Leitbehörden zur Berücksichtigung der hydrologischen Verhältnisse verpflichtet werden. Im Kanton Bern ist diese Verpflichtung im Sachplan Biodiversität von 2019 verankert. Die Autoren schlagen vor, den im Sachplan formulierten Behördenauftrag zur Berücksichtigung der hydrologischen Verhältnisse mit den Projekt-Ergebnissen zu konkretisieren – räumlich sowie inhaltlich:

- Die im Projekt für alle Moorbiotope berechneten und validierten «Vorsorgeperimeter Hydrologie» bezeichnen die für den Gebietswasserhaushalt der Biogeozönose potenziell

relevanten Flächen. Der Sachplan soll den Behördenauftrag mit Geodaten und Darstellung «Vorsorgeperimeter Hydrologie» auch räumlich behördenverbindlich konkretisieren.

- Weiter soll die Ökohydrologische Untersuchung als Kernprozess des Verfahrens «espace marais» in den Massnahmenblättern des Sachplans verankert werden, indem die Massnahmenblättern die Leitbehörden anweisen, im Rahmen der Berücksichtigung der hydrologischen Verhältnisse mögliche schutzzielwidrige Auswirkungen von Vorhaben frühzeitig zu erkennen und abzuwenden. In der Erfüllung dieses Auftrags kann die Behörde eine Ökohydrologische Untersuchung veranlassen, die auf den Wirkungsraum des Vorhabens fokussiert, und dem Zweck dient, eine projektbedingte Beeinträchtigung der Wasserflüsse in das oder aus dem Moorbiotop frühzeitig zu erkennen und abzuwenden.

1 Thematische Einführung

1.1 Meilensteine

1.1.1 Zustand und Entwicklung der Moore in der Schweiz

Die Ergebnisse der Erfolgskontrolle Moorschutz von 2007 [4] zeigen, dass die Qualität der Moore deutlich abgenommen hat. Viele Moore sind trockener, torfärmer und nährstoffreicher geworden und weisen einen erhöhten Anteil an Gehölzpflanzen auf. Regenerationsmassnahmen waren erfolgreich, sind jedoch noch zu selten und zu kleinräumig, um die qualitativen Einbussen kompensieren zu können. Bei der Umsetzung und beim Vollzug der Pufferzonen gibt es noch erhebliche Lücken. In den Moorlandschaften werden nach wie vor Gebäude, Strassen und Wege erstellt, die den Schutzzielen widersprechen. Die Autoren von [4] kommen zum Schluss, dass die anhaltende Degeneration der Moore in erster Linie auf die bestehenden Gräben und Drainagesysteme sowie auf den Nährstoffeintrag aus der Umgebung und der Atmosphäre zurückzuführen ist. Die Ausscheidung von hydrologischen Pufferzonen wird als wichtiger Beitrag zur Erhaltung vieler Moorbiotope gewertet.

1.1.2 Ökologisch ausreichende Pufferzonen

Gemäss den geltenden Rechtsgrundlagen (Hoch- und Flachmoorverordnung) sind die in den Inventaren des Bundes und der Kantone bezeichneten Moore um ökologisch ausreichende Pufferzonen zu ergänzen. Der Begriff der «ökologisch ausreichenden Pufferzonen» ist vom Bundesgericht 1997 eindeutig geklärt worden [1]:

- Die hydrologische Pufferzone umfasst an Moorbiotope angrenzende Flächen, in denen keine Veränderungen des Wasserregimes zulässig sind, die den für den Moorschutz erforderlichen Wasserhaushalt gefährden könnten.
- Die trophische Pufferzone (Nährstoff-Pufferzone) umfasst bewirtschaftete landwirtschaftliche Flächen ausserhalb des zu schützenden Feuchtbiotops, welche landwirtschaftlichen Beschränkungen unterworfen sind. Sie muss die indirekte Eutrophierung von nährstoffarmen Mooren reduzieren oder verhindern.
- Biologische Pufferzonen schliesslich erstrecken sich auf Flächen, die als Lebensraum für bestimmte Pflanzen- und Tierarten in Moorbiotopen und Übergangszonen dienen.

Die Pufferzonen sind rechtlich nicht Teil des Inventarobjekts. Es ist jedoch im Einzelfall zu prüfen, ob die Nutzung oder ein geplantes Vorhaben mit den Zielen der Pufferzone vereinbar ist. Dabei ist jeweils auch zu berücksichtigen, zu welchem Zweck die Pufferzonen ausgeschieden wurde [2]. Mit dem Leitfaden zur Ermittlung von ökologisch ausreichenden Pufferzonen für Moorbiotope [3] etabliert das Bundesamt für Umwelt 1997 erstmals einen Workflow zur Ausscheidung ökologischer Pufferzonen. Im Sinne einer Vollzugshilfe liefert der Pufferzonen-Schlüssel insbesondere präzise Angaben für die Festlegung der Nährstoff-Pufferzonen im Feld.

1.1.3 Das Verfahren «espace marais»

Der Bund (BAFU) trägt 2014 – 2018 im Rahmen des Pilotprogramms Anpassung an den Klimawandel zusammen mit 16 Kantonen ein Projekt zur Erhaltung der Wasserressourcen von Moorbiotopen nationaler Bedeutung. Im Rahmen des Projekts wird ein Verfahren zur planerischen Sicherung der Wasserressourcen von Moorbiotopen erarbeitet. Die Arbeiten gründen auf einem systemischen Verständnis der Moore als funktionale biologisch-geomorphologisch definierte Biogeozönose (Moorkomplex), die im Hinblick auf die Festlegung einer hydrologischen Pufferzone zu betrachten ist.
Das im Rahmen des Projekts entwickelte Verfahren «espace marais» etabliert ein mehrstufiges Vorgehen zur Identifikation der für den Wasserhaushalt der Moore relevanten Flächen (Anhang A) und konkretisiert so die mit dem Leitfaden von 1997 [2] postulierte Gesamtbeurteilung für den Bereich der hydrologischen Pufferzonen. Das Verfahren «espace marais» ist vom BAFU als

zweckmässiges Vorgehen zur Abgrenzung hydrologischer Pufferzone zu Moorbiotopen anerkannt. Wesentliche Ergebnisse und neue planerische Werkzeuge aus dem Verfahren «espace marais» sind der Moorkomplex, der Vorsorgeperimeter Hydrologie und die Hydrologische Pufferzone.

Der Moorkomplex

Der im Hinblick auf den Gebietswasserhaushalt von Moorbiotopen zu betrachtende Raumausschnitt ist eine funktionale biologisch-geomorphologisch definierte Einheit. Diese umfasst nicht nur die in den Inventaren abgebildeten Flächen mit der charakteristischen Vegetation der Hoch- und Flachmoore; sie kann innerhalb einer Geländekammer auch angrenzende Flächen mit moorigen Wäldern, anderen feuchten Lebensräume sowie organischen Böden einschliessen. Die Gesamtheit dieser Elemente bildet zusammen die Biogeozönose, deren Wasserhaushalt ggf. mit einer hydrologischen Pufferzone zu sichern ist.

Der Vorsorgeperimeter Hydrologie

Der Vorsorgeperimeter Hydrologie bezeichnet das für die Sicherung der für Moorbiotope relevanten Wasserressourcen und -flüsse (oberirdische und oberflächennahe) zu berücksichtigende Gebiet. Im Vorsorgeperimeter gilt der in der Umweltschutz-Gesetzgebung verankerte Grundsatz wonach die Projektträgerschaft den Nachweis zu erbringen hat, dass ihr Vorhaben keine schutzzielwidrigen Auswirkungen im Sinne von Art. 4 und 5 der Flach- und Hochmoorverordnung auf das Moorbiotop im Vorsorgeperimeter hat.

Die Hydrologische Pufferzone

Die Hydrologische Pufferzone legt als rechtskräftiges Ergebnis die für die langfristige Sicherung der von den geschützten Moorbiotopen benötigten Wasserressourcen erforderlichen Massnahmen und Auflagen grundeigentümerverbindlich fest.

1.1.4 Der Moorschutz im Sachplan Biodiversität des Kantons Bern

Der Kanton Bern hat die Umsetzung des Schutzes der Moorbiotope im Sachplan Biodiversität abgebildet und konkretisiert (Massnahmen A1 und A2). Der kantonale Sachplan Biodiversität ist am 1. September 2019 in Kraft getreten. Für Behörden, Gemeinden und Organe der Regionen zeigt er verbindlich auf, wo und wie die Förderung verstärkt und der Erhalt der Biodiversität verbessert werden muss.

Der bestehende Sachplan verpflichtet Leitbehörden und Fachstellen im Bereich der Moorbiotope auch zur *Berücksichtigung der hydrologischen Verhältnisse*. Bei den Hochmooren verweist der Sachplan zudem auf die bereits abgegrenzten Vorsorgeperimeter Hydrologie, die bei der Beurteilung konkreter Planungen und Vorhaben im Sinne einer Grundlage mit Hinweischarakter konsultiert werden sollen (behördenverbindlich).

2 Projekt

2.1 Ausgangslage

Moorbiotope

Der Begriff Moorbiotope bezeichnet im vorliegenden Bericht die inventarisierten Hochmoore (105 Objekte) sowie die Flachmoore (4'953 Objekte) des Kantons Bern (Moorbiotope von nationaler und regionaler Bedeutung).

Umsetzung des Moorschutzes im Kanton Bern

Sowohl für die grundeigentümerverbindliche Umsetzung des Schutzes der Hoch- wie auch der Flachmoore von nationaler Bedeutung wie auch für die Festlegung von «ausreichenden ökologischen Pufferzonen» (Hochmoorverordnung SR 451.32, Flachmoorverordnung SR 451.33) sind die Kantone zuständig.

Über den Sachplan Biodiversität macht der Kanton Bern seine Umsetzungsaufgaben im Moorschutz behördenverbindlich sichtbar (Kapitel 1.1.4). Das Amt für Landwirtschaft und Natur, Abteilung Naturförderung ANF will als zuständige Fachbehörde eine Grundlage bereitstellen, welche die im Sachplan geforderte Berücksichtigung der hydrologischen Verhältnisse *aller inventarisierten Moorbiotope* räumlich konkretisiert. Die «Vorsorgeperimeter Hydrologie» und deren zweckmässige Verankerung in der Naturschutz-Planung sollen die zuständigen Leitbehörden zur konsequenten Berücksichtigung der hydrologischen Verhältnisse der Moorbiotope verpflichten.

2.2 Bedarf, Herausforderungen

Flach- und Hochmoorbiotope werden auch im Kanton Bern in getrennten Inventaren geführt. Die Verzahnung der Biotope und die Umsetzungsaufgaben des Moorschutzes im Bereich der für die Biotope erforderlichen Wasserressourcen legt die Verfügbarkeit eines «Vorsorgeperimeters Hydrologie» nahe, der integral für Flach- und Hochmoore gilt.

Die Fachbehörde ANF benötigt georeferenzierte «Vorsorgeperimeter Hydrologie» für alle inventarisierten Moorbiotope des Kantons Bern. Ferner ein georeferenziertes Experten-Produkt, welches die objektweise Konsultation der Vorsorgeperimeter ermöglicht und deren Gliederung in die funktionalen Teilflächen gemäss Konzept «espace marais» dokumentiert.

Der heute mit dem Sachplan Biodiversität des Kantons Bern eingeführte Vorsorgeperimeter Hydrologie für die Hochmoor-Biotope (105 Objekte) soll auch für die Flachmoore (4'953 Objekte) in der mit der Methode «espace marais» entwickelten Differenzierung bereitgestellt werden. In Anbetracht der grossen Anzahl an Objekten muss die für die Hochmoore gewählte Herangehensweise dahingehend überarbeitet werden, dass die aufwendigen, gutachterlichen Arbeitsschritte zur Ausdifferenzierung der Einzugsgebiete in funktionalen Teilflächen nach Möglichkeit durch regelbasierte GIS-Analysen ersetzt werden.

Im Rahmen der Erarbeitung der Grundlagen für hydrologische Pufferzonen zu den Hochmooren des Kantons Bern (Arbeiten 2017 / 2018 für den Sachplan Biodiversität) erwiesen sich die folgenden Arbeitsschritte als besonders arbeitsintensiv, da sie gutachterliche Entscheide und eine manuelle Bearbeitung der Grundlagen erforderten:

- Die Gewinnung der Moorkomplexe auf der Grundlage bestehender Kartierungen und FIR-Orthophotos. Der Moorkomplex ist gemäss Konzept «espace marais» die als Wasserspeicher für das Moorbiotop dienende Geländekammer.
- Die Überprüfung der für den Moorkomplex relevanten vorberechneten Einzugsgebiete. Die Elimination von Verfälschungen der natürlichen Abflusswege durch Verkehrswege. Die Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten (Karst, Dolinen, topographische Senken).
- Die gutachterliche Differenzierung der beitragenden Flächen in die hydrologisch funktionalen Typen gemäss Konzept «espace marais».
- Die Festlegung des Vorsorgeperimeters bei Moorbiotopen, deren Wasserhaushalt eng an die Wasserspiegel von Seen oder den Wasserspiegel des Grundwassers gekoppelt ist.

2.3 Zu unterstützende Anwendungen

Der im Projekt zu erarbeitende Geodatensatz «Vorsorgeperimeter Wasserhaushalt der Moorbiotope des Kantons Bern» soll Leitbehörden bei der Berücksichtigung der für die ungeschmälerte Erhaltung der Flachmoore massgeblichen hydrologischen Verhältnisse unterstützen. Mit der Visualisierung des Vorsorgeperimeters Hydrologie über einen Geodaten-Layer wird für die zuständige Behörde ersichtlich, wo ein Vorhaben potenziell den Wasserhaushalt von Moorbiotopen tangiert.

In Absprache mit der Fachbehörde ANF wird der Datensatz so aufgebaut, dass die Geodaten-Ergebnisse sowohl für Konsultationen zu Einzelobjekten (OBJNR_BE) genutzt werden kann, als auch für objektübergreifende synoptischen Ansichten aller Perimeter. Für beide Anwendungen werden esri ArcGIS-Darstellungsmodelle mit spezifischen Layer-Strukturen benötigt, welche die

Perimeter und Teilflächen grafisch distinkt und inhaltlich klar deklarieren. Die Darstellungsmodelle zeigen:

- Ansichten des Vorsorgeperimeters (Einzelobjekt, alle Objekte),
- Experten-Ansichten der Teilflächen des Vorsorgeperimeters (Einzelobjekt, alle Objekte).

Die Ansicht «alle Objekte» soll zudem für GIS-Analysen (zum Beispiel Verschnitte mit Bauzonen) als überlappungsfreier Polygon-Layer aufbereitet werden, was eine vorgängige Priorisierung der Flächen-Typen erfordert.

2.4 Vorgehen und Ziele

Das Projekt zielt darauf hin, einen kantonsweiten Geodatensatz der Vorsorgeperimeter Hydrologie zu realisieren, der den mit Kapitel 2.2 dokumentierten Bedarf der Fachstelle ANF deckt und die mit Kapitel 2.3 erfassten Anwendungen unterstützt.

Das Projekt wurde in 2 Phasen umgesetzt. Mit den Arbeiten der Phase I wurde ein regelbasiertes automatisches Berechnungsverfahren zur GIS-gestützten Gewinnung der Vorsorgeperimeter zu den Flachmooren des Kantons Bern entwickelt und bezüglich seiner Verwendbarkeit als Grundlage zur Berücksichtigung der hydrologischen Verhältnisse evaluiert (proof of concept). Das Verfahren orientiert sich an den im Projekt «espace marais» für die Berechnung eines hydrologischen Vorsorgeperimeters entwickelten Konzepten mit dem Ziel, die arbeitsintensiven händische Bearbeitungsschritte zu reduzieren und bisher gutachterlich gefällte Entscheide bestmöglich mit regelbasierten GIS-Analysen zu ersetzen.

Mit der Evaluation der Ergebnisse von Phase I durch die Fachbehörde (ANF) wurden Umsetzung und Ergebnisse im Grundsatz als zweckmässig und zielführend und die Machbarkeit als gegeben taxiert. Zugleich wurden offensichtliche Mängel identifiziert. Für die Behebung der identifizierten Mängel wurde die Arbeiten der Phase II definiert. Damit wurde der Rahmen geschaffen, spezifische Aspekte, die gutachterliche Entscheide und/oder Anpassungen der automatischen Berechnung erfordern, hinlänglich zu vertiefen und offensichtliche Mängel, die die Akzeptanz des Produkts gefährden, zu korrigieren.

2.5 Prozessentwicklung

2.5.1 Phase I

Im Rahmen von 5 vorbereiteten Sitzungen wurden anhand der Inputs von Moor- und GIS-Spezialisten unter Einbezug der Umsetzungs-Expertise des ANF iterativ Lösungsansätze und die im GIS umzusetzenden Regeln entwickelt, anschliessend vom GIS-Team umgesetzt und wiederum zur Diskussion vorgelegt. Im Rahmen der Prozessentwicklung wurden die folgenden Aspekte vertieft:

Objektbildung

- Identifikation der Objekte, deren Vorsorgeperimeter zu berechnen ist
- Handhabung Moorkomplex bei den Flachmooren des Kantons Bern (Mengengerüst)

Gewinnung einer hydrologisch plausiblen Topographie

- Möglichkeiten der Korrektur von Verfälschungen der natürlichen Abflusswege durch Verkehrswege am digitalen Höhenmodell.
- Die Korrektur der Abflusswege im digitalen Höhenmodell auf die Verläufe der Oberflächen-Fliessgewässer.

Hydrologisch-Topographische Typisierung der Objekte

- Möglichkeiten der Identifikation von Moor-Objekten an Seen, auf grossen Aquiferen und an Fliessgewässern mit grossen Einzugsgebieten.

- Möglichkeiten des Einbezugs von Karst-Grundlagendaten in die Gewinnung der Vorsorgeperimeter.

Gewinnung der Einzugsgebietstypen

- Möglichkeiten der Detektion und Deklaration natürlicher Senken in der Vorverarbeitung des digitalen Höhenmodells.
- Bedarf der Berücksichtigung von Trockenrinnen als relevante Wasserwege.
- Bedarf und Rahmenbedingungen der Berücksichtigung von nahe am Moorkomplex vorbeifliessenden Bächen.
- Regeln für die rechnerische Differenzierung des Vorsorgeperimeters in die Flächen-Typen des Konzepts «espace marais».

Unterstützung der Anwendungen ANF

- Wer konsultiert welche Ergebnisse? Identifikation der Akteure und ihrer Anwendungen
- Modellierung der Geodaten-Ergebnisse zur Unterstützung der Anwendungen des ANF.

2.5.2 Phase II

Mit 2 Sitzungen wurden die Handhabung im Bereich des Karsts, der grossen Senken sowie bei Objekten an grossen Fliessgewässern, Seen und auf Grundwasserträgern festgelegt. 2 weitere Sitzungen mit dem ANF dienten der Begründung der gewählten Handhabung, der Kommunikation zur Qualitätssicherung und der Ausgestaltung der Lieferobjekte (Geodaten-Ergebnisse, Bericht). Im Rahmen der Prozessentwicklung wurden die folgenden Aspekte vertieft:

Handhabung der grossen Senken

- Möglichkeiten der Handhabung grosser Senken.
- Deklaration grosser Senken im Ergebnis.
- Bezug zur Karst-Thematik.
- Senken in der Geländekammer und im Höhenbereich des Moorkomplexes.

Handhabung Karst

- Testen einfacher, geodatenbasierte Modellansätze zur Karst-Identifikation mit anschliessender Validierung der Ergebnisse durch eine Geologin.
- Möglichkeiten recherchebasierter Präzisierungen auf der Grundlage von Geocover (swisstopo) und Materialien der Landesgeologie.
- Recherchen zu geeigneten bestehenden Geodaten zum Karst im Kanton Bern.

Handhabung Moore an grossen Fliessgewässern

- Festlegung einer maximal zulässigen Ausdehnung der zu berechnenden Vorsorgeperimeter.

Gutachterliche Überprüfung / Korrekturen (QS)

- Objekte im Einflussbereich von Seen und grossen Fliessgewässer sowie von Objekten auf Aquiferen.
- Beitragende Flächen von Fliessgewässern, die im Nahbereich der Moorkomplexe vorbeifliessen.
- Überprüfung/Plausibilisierung grosser beitragende Flächen.

Die zu den einzelnen Fragestellungen gewählten Umsetzungen / Handhabungen sind im Kapitel 3 dokumentiert.

3 Umsetzung

Zu den mit Kapitel 2.5 eingeführten Aspekten werden die gewählten Lösungen erläutert und illustriert.

3.1 Grundlagendaten

Alle Geodaten-Ergebnisse werden auf der Grundlage hochwertiger swisstopo-Geodaten zur Topographie (swissALTI3D) und den Gewässern (swissTLM3D) berechnet. Die raster-basierten GIS-Analysen erfolgen in der Auflösung von swissALTI3D von swisstopo.

Für die Beurteilung des Vorhandenseins von Grundwasser und Karst wurden die nachgenannten Geodaten konsultiert:

- Grundwasserkarte GW25 des Kantons Bern.
- Übersichtskarte des Kantons Bern - Grundwasservorkommen, 1:100'000 aufbereitet 1998, Amt für Wasser und Abfall AWA des Kantons Bern (Grundlage für verkarstungsfähige Formationen des Kantons Bern)
- GeoKarten 500, Version 1.3, swisstopo (Grundlage für Karst ausserkantonal)
- GeoCover, Version 2, swisstopo (Grundlage zur Moränenbedeckung)

3.2 Objektbildung

Hochmoor-Moorkomplexe

Der Vorsorgeperimeter Hydrologie ist gemäss Konzept «espace marais» für den Moorkomplex zu bestimmen. Dieser bezeichnet die das Moorbiotop umfassende Biogeozönose. Der Begriff wird eingeführt mit Kapitel 1.1.3.

Im Rahmen der Arbeiten 2017 / 2018 für den Sachplan Biodiversität wurden die Moorkomplexe zu den 105 Hochmooren des Inventars gemäss Konzept «espace marais» unter Konsultation der verfügbaren Grundlagen (vegetationskundliche Erhebung, FIR Orthophoto, Luftbild- und Kartenarchiv map.geo.admin.ch und GeoCover swisstopo) abgegrenzt. Die resultierenden Flächen wurden als Geodaten gespeichert. Der resultierende Datensatz umfasst 160 Teilflächen. Diese sind nummeriert in OBJNR_BE.

Flachmoor-Moorkomplexe

Zu den Flachmooren des Kantons Bern gibt es keine präzisierenden Vegetationserhebungen. Die Perimeter der im Datensatz FEUGEB des Kantons Bern abgebildeten Flachmoore wurden ab Kartierungen im Massstab 1:5000 digitalisiert und bilden die Flachmoore mit hinlänglicher Genauigkeit ab. Die Flachmoor-Objekt-Polygone wurden im Rahmen dieses Projektes direkt als «Moorkomplex» verwendet, obschon sie den Kriterien der Biogeozönose, wie sie gemäss Konzept «espace marais» definiert ist, nicht vollständig entsprechen.

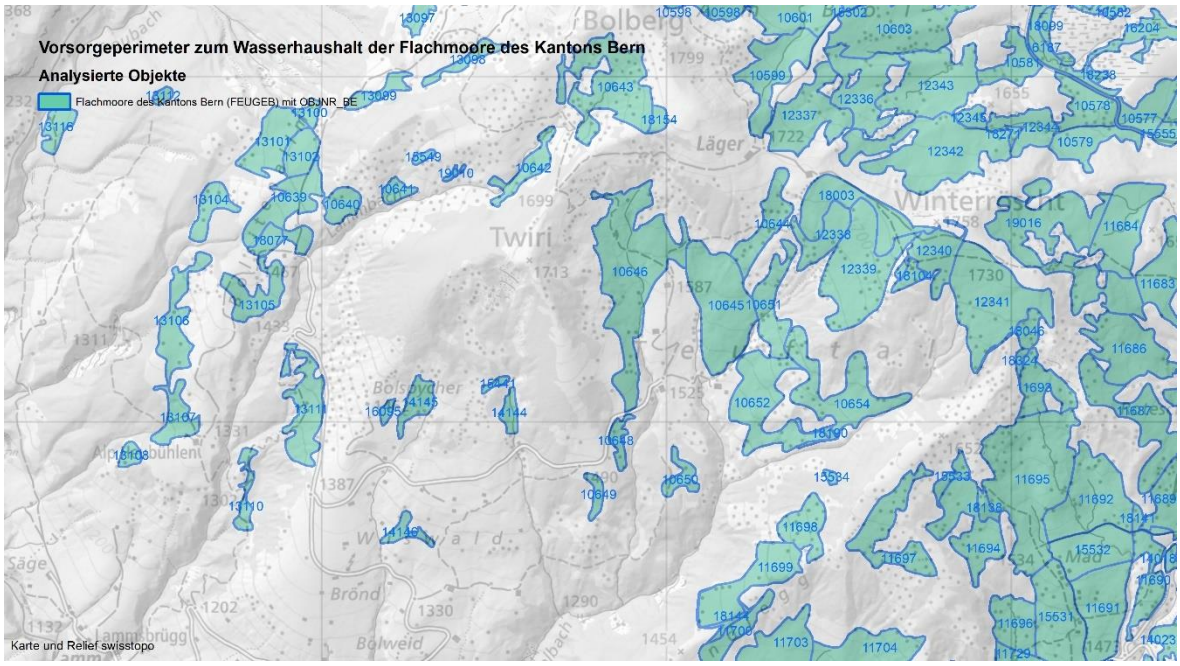


Abbildung 1: Objektbildung

Abbildung 1 zeigt, dass zahlreiche Flachmoor-Geometrien zusätzliche Unterteilungen aufweisen. Diese sind nicht vegetationskundlich begründet. Sie bilden in der Regel Eigentumsgrenzen ab. Die resultierenden Teile sind einzeln nummeriert. Zu den in OBJNR_BE nummerierten Objekten werden auch Bewirtschaftungsverträge abgeschlossen. Im Hinblick auf eine möglichst breite und flexibel handhabbare Verwendung der Ergebnisse wurde entschieden, auch die Vorsorgeperimeter zu den Flachmooren spezifisch zu jedem nummerierten Objekt zu berechnen.

Mit der gewählten Objektbildung kann der resultierende Datensatz sowohl eine objektspezifische Ansicht unterstützen, basierend auf OBJNR_BE. Dieselben Ergebnisse können aber auch als objektübergreifende synoptische Ansicht konsultiert werden.

Im Rahmen der Verfahrensentwicklung wurde im Bereich der Flachmoor-Moorkomplexe die mit Abbildung 2 dokumentierte Situation detektiert, die eine spezielle Berücksichtigung in der Verarbeitung erfordert. Im Berechnungsverfahren wurde dazu die folgende Regel etabliert und umgesetzt: Liegt ein Flachmoor in einer Geländesenke, ohne diese ganz auszufüllen (der tiefste Punkt der Senke ist jedoch im Moorkomplex selbst), muss der Moorkomplex mit den an das Flachmoor grenzenden aber tiefer liegenden Bereichen erweitert werden. Andernfalls resultieren unvollständige Vorsorgeperimeter.

So wird über GIS-Analytik sichergestellt, dass auch die Moorkomplexe der Flachmoor-Objekte zumindest topographisch die massgebliche Biogeozönose abbilden.

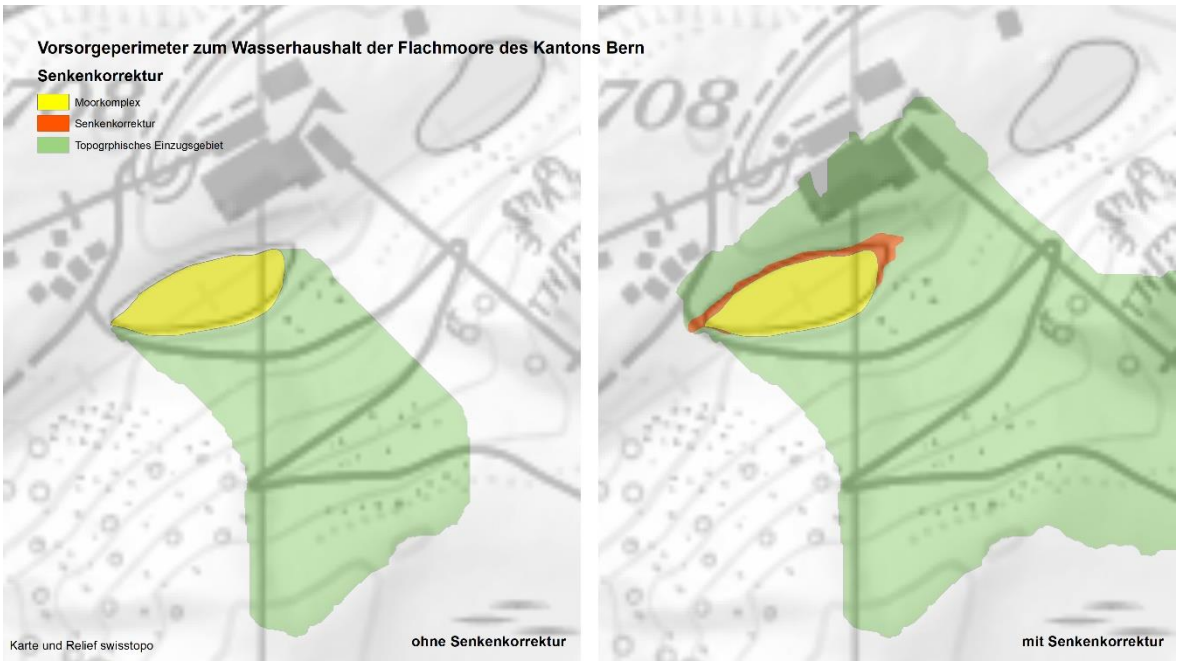


Abbildung 2: Die Auswirkungen der Senken-Korrektur.

3.3 Gewinnung einer hydrologisch plausiblen Topographie

Eine im Hinblick auf die abzugrenzenden Vorsorgeperimeter hydrologisch plausible Topographie weist die folgenden Eigenschaften auf:

- Die auf dem Höhenmodell swissALTI3D berechneten Fliesswege werden nicht von Verkehrswegen abgelenkt.
- Im Bereich der in der Geodaten Grundlage swissTLM3D dokumentierten Fliessgewässer folgen die berechneten Fliesswege den Fliessgewässerachsen.
- Kleine Senken in swissALTI3D, die zum Beispiel bewirtschaftungsbedingte Strukturen abbilden oder geringfügige Inhomogenitäten des Geländes führen keine Unterbrüche in den berechneten Fliesswegen herbei.
- Entwässerungsgräben ohne erkennbare Fliessrichtung werden in den berechneten Fliesswegen nicht berücksichtigt.
- Echte Senken wie zum Beispiel Dolinen oder grössere Vertiefungen des Geländes bleiben hingegen erhalten.

Im Berechnungsverfahren wurde dazu die folgenden Regeln umgesetzt respektive Verfahren angewendet:

DTM-Korrektur im Bereich der Verkehrswege

Im Bereich der Verkehrswege wird ein Korridor der ungefähr 3-fachen Breite des Verkehrswegs aus dem DTM gelöscht. Zwischen den Korridor-Grenzen wird die Topographie anschliessend linear interpoliert und im DTM ersetzt. Der Prozess wird auf die folgenden Verkehrswege angewendet:

- Strassen und Wege
- Eisenbahnlinien

Auf die folgenden Verkehrswege wird der Prozess nicht angewendet:

- Autobahnen
- Objektart «Raststätte», «Verbindung», «1m Wegfragment», «Markierte Spur»

- Verkehrswege mit Kunstbauten («Brücke», «Tunnel», «Galerie», «Unterführung» usw.)

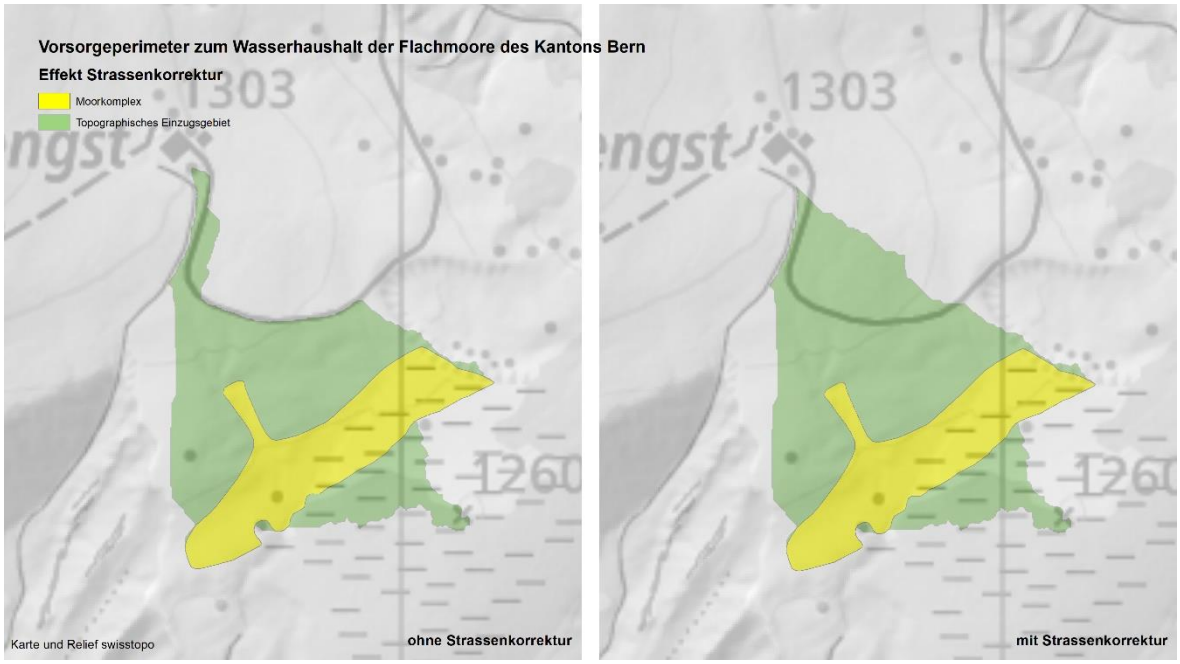


Abbildung 3: Effekt Strassenkorrektur (Flachmoor OBJNR_BE: 10151)

Abbildung 3 zeigt, wie mit der Umsetzung des gewählten Ansatzes die Beeinflussung der Fliesswege korrigiert werden kann. Die Berechnung der Vorsorgeperimeter erfolgt mit einem diesbezüglich korrigierten DTM.

Berücksichtigung der Fliessgewässer

In einem unkorrigierten DTM verlassen die berechneten Fliesswege insbesondere im Bereich von Akkumulationsformen (Kegel, Fächer, Talböden) die Fliessgewässer, wo diese gegenüber dem Umland nicht erheblich eingetieft sind (vgl. türkisfarbige Ellipse in Abbildung 4). Dies führt zu nicht plausiblen Einzugsgebieten.

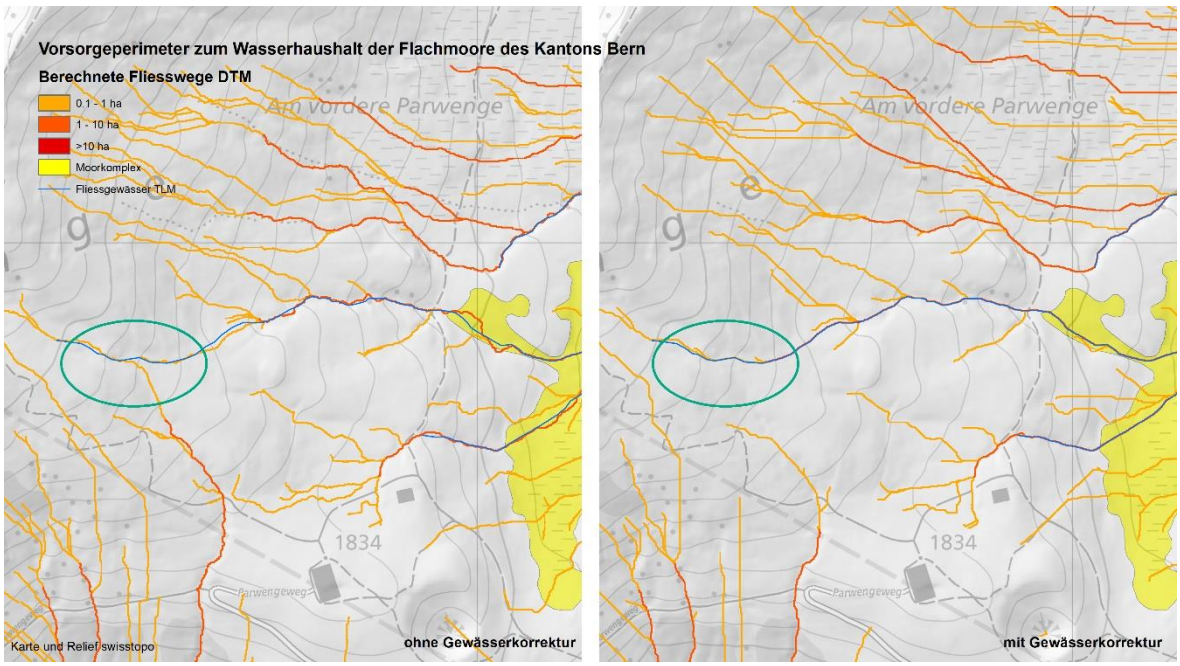


Abbildung 4: Dargestellte Fliesswege ohne (links) / mit /rechts) Fliessgewässerkorrektur.

Im Rahmen der DTM-Aufbereitung werden die Fliessgewässer der Geodaten-Grundlage swissTLM3D von swisstopo in die digitale Topographie eingetieft. Mit diesem Prozess wird

sichergestellt, dass die auf der korrigierten Topographie berechneten Fliessrichtungen den Fliessgewässern folgen.

Handhabung kleine Senken

Grundsätzlich lassen sich Senken in einem DTM mit GIS-Funktionalität detektieren (Fliessrichtungsanalyse) und gezielt auffüllen. Eine zweckmässige Handhabung der Senken im Kontext «Gewinnung Vorsorgeperimeter» erwies sich als anspruchsvoll: werden Senken zu stark gefüllt, werden hydrologisch-topographisch separierte Geländekammern zusammengefasst. Werden Senken zu vorsichtig gefüllt, resultieren lückenhafte Vorsorgeperimeter.

Für die kleinen Senken erwies sich die folgende Handhabung als umsetzbar und zweckmässig:

- Automatisches Auffüllen kleiner Senken (Tiefe < 1 m) im Rahmen der DTM-Aufbereitung.

Nicht-Berücksichtigung von Entwässerungsgräben

Entwässerungsgräben sind gebaute Entwässerungen. Sie leiten Wasser aus den Feuchtgebieten ab. Wo sie sehr geringe Gefälle aufweisen, kann ihre Eintiefung im DTM dazu führen, dass sie in der Berechnung der Gliederung des Vorsorgeperimeters als «Bach» gehandhabt werden, was unerwünscht ist, da sie keine wasserversorgenden Strukturen repräsentieren.

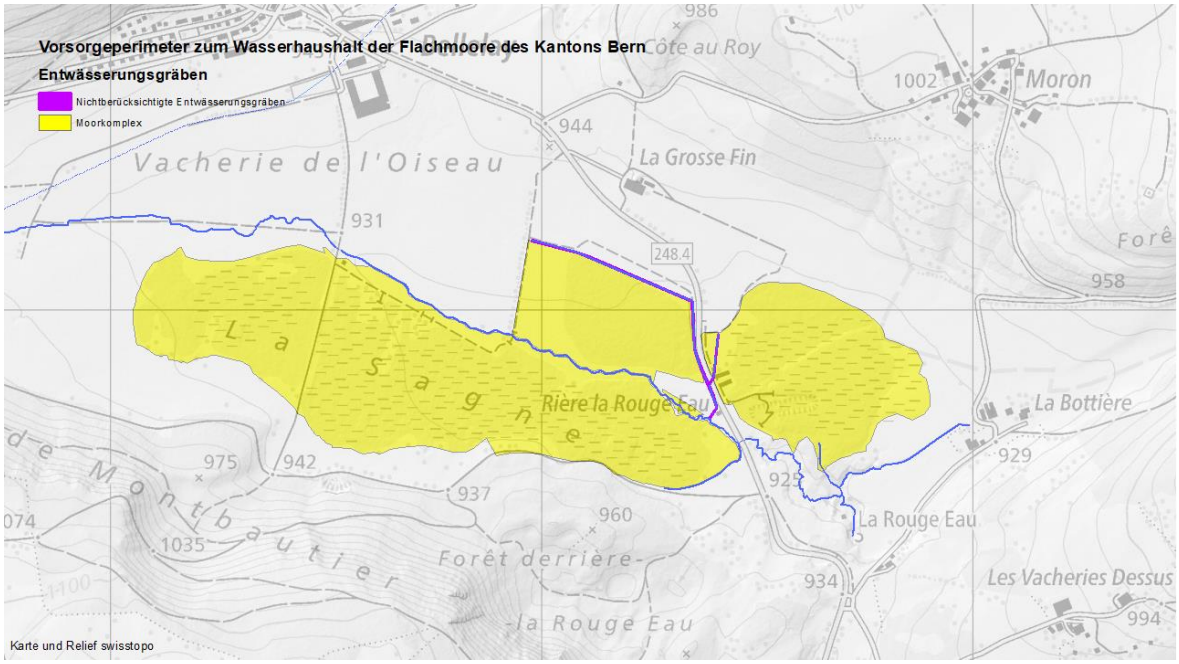


Abbildung 5: Nicht berücksichtigte, detektierte Entwässerungsgräben.

Da es im Kanton Bern zu den Entwässerungsgräben keine Geodaten gibt, wurden sie technisch auf der Grundlage der in swissTLM3D abgebildeten Fliessgewässer mit folgenden drei Parametern eingegrenzt:

- Stützpunktdichte < 40 / km
- Sohlengefälle < 4%
- Gesamtlänge Gewässer < 1000 m

Stützpunktdichte: im Vorfeld der Berechnung der Stützpunktdichte werden Stützpunkte entfernt, deren Löschung weniger als 50 cm Lageverschiebung der Gewässerlinie zur Folge hat.

Sohlengefälle: $(z_{max} - z_{min})$ / Abschnittslänge

Gesamtlänge Gewässer: die oberirdischen Gewässerabschnitte werden pro Gewässernummer zusammengehängt, dann wird deren Länge berechnet.

3.4 Hydrologisch-Topographische Typisierung der Moorkomplexe

Die heute verfügbaren hochauflösenden digitalen Geländemodelle erlauben die zuverlässige Bestimmung der topographischen Einzugsgebiete von Moorkomplexen. Damit können die Vorsorgeperimeter Hydrologie dort zuverlässig abgegrenzt werden, wo primär zuströmendes Oberflächenwasser oder Subsurface-Flow den Moorkomplex alimentiert. Lokale Gegebenheiten wie die Lage des Moors am See oder auf einem Grundwasserträger können jedoch die Bedeutung des topographisch definierten Vorsorgeperimeters Hydrologie relativieren, ebenso die Lage an grossen Fliessgewässern.
Diese unterschiedlichen Aspekte wurden im Rahmen der Prozessentwicklung mit der folgenden Handhabung berücksichtigt:

Moorkomplexe an Seeufern und im Bereich von Aquiferen des Grundwassers

Nebst den Moorbiotopen, deren Wasserbedarf durch den Zustrom von Oberflächenwasser oder Subsurface flow alimentiert wird, gibt es zahlreiche Moore, deren Wasserbedarf von einer Seespiegel-Lage oder vom Pegel eines grossen Grundwasserstroms abhängt. Diese Objekte benötigen in der Regel keinen topographisch delimitierten Vorsorgeperimeter. Liegen Teile des Objekts hingegen leicht erhöht oder in Hanglage, profitieren auch diese Bereiche von zuströmendem Hangwasser, dessen Einzugsgebiet dann wiederum Teil des Vorsorgeperimeters ist.

Die Moorkomplexe im potenziellen Einflussbereich von Seen sowie Moorkomplexe im Bereich von kartierten Grundwasservorkommen (Datenquelle vgl. Kap. 0) werden daher in einer GIS-Analyse identifiziert und in einem Attribut markiert. So können sie im Rahmen der Qualitätssicherung (Kapitel 3.8) gutachterlich abgearbeitet und bei Bedarf korrigiert werden.

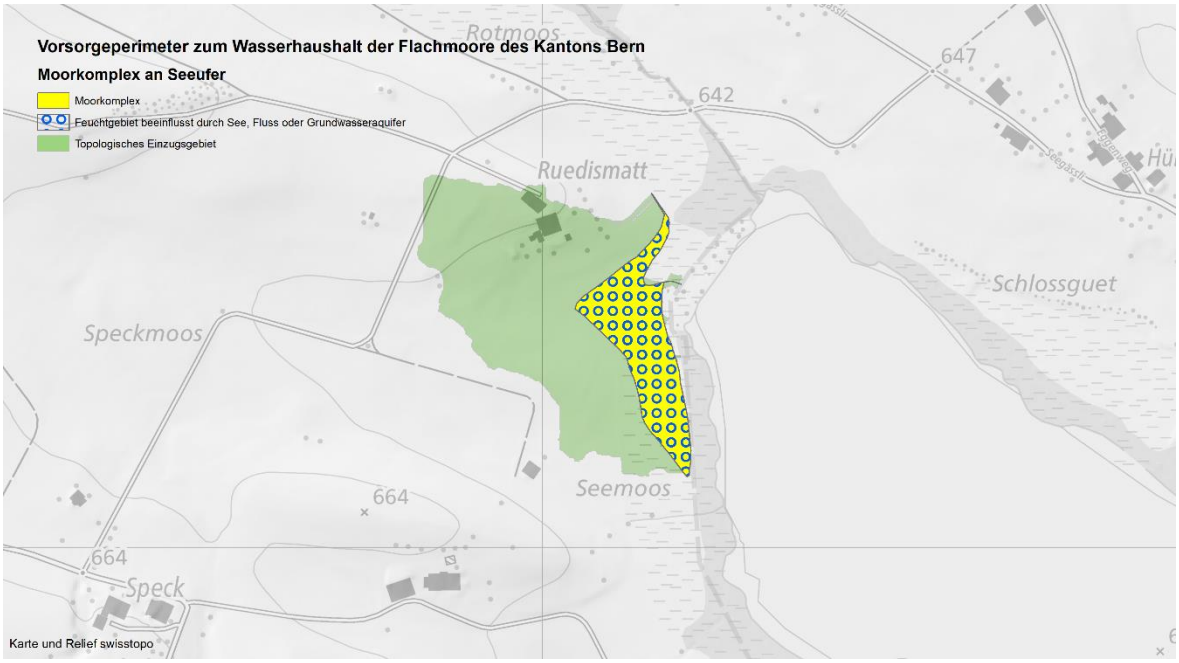


Abbildung 6: Flachmoor mit Zustrom von Hangwasser im Einflussbereich des Amsoldinger-Sees

Moorkomplexe an randlich vorbeifliessenden Fliessgewässern

In der topographischen Analyse für die rechnerische Bestimmung der Vorsorgeperimeter und die hydrologisch funktionale Differenzierung der beitragenden Flächen (eingeführt mit Kapitel 3.7) werden auch Fliessgewässer in Nahbereich der Moorkomplexe berücksichtigt, da sie den Grundwasserspiegel der Moor-Biogeozönose beeinflussen oder bestimmen. Dies führt bei grossen Fliessgewässern dazu, dass sehr grosse beitragende Areale identifiziert werden. Diese Befunde mögen inhaltlich korrekt sein, erschweren aber die Kommunikation der Ergebnisse. In einem ersten Schritt wurden die berechneten Vorsorgeperimeter auf eine Maximalgrösse von 25 km^2 begrenzt. Bei grossen Fliessgewässern liegen diese Moorkomplexe in der Regel auf einem Aquifer

und werden über die mit Kapitel 3.4 beschriebene Handhabung der gutachterlichen Qualitätssicherung zugeführt.

3.5 Handhabung der Senken

Senken sammeln Oberflächenwasser und geben nur das überlaufende Wasser oberirdisch weiter.

Seichte Senken (Tiefe < 1 m) werden im Rahmen der Aufbereitung des digitalen Höhenmodells (Kapitel 3.3) rechnerisch gefüllt. Tiefere Senken (Tiefe > 1 m) werden bei der DTM-Aufbereitung identifiziert. Dann werden die Fläche zur Kote des Überlaufs berechnet sowie die in die Senke entwässernden Flächen.

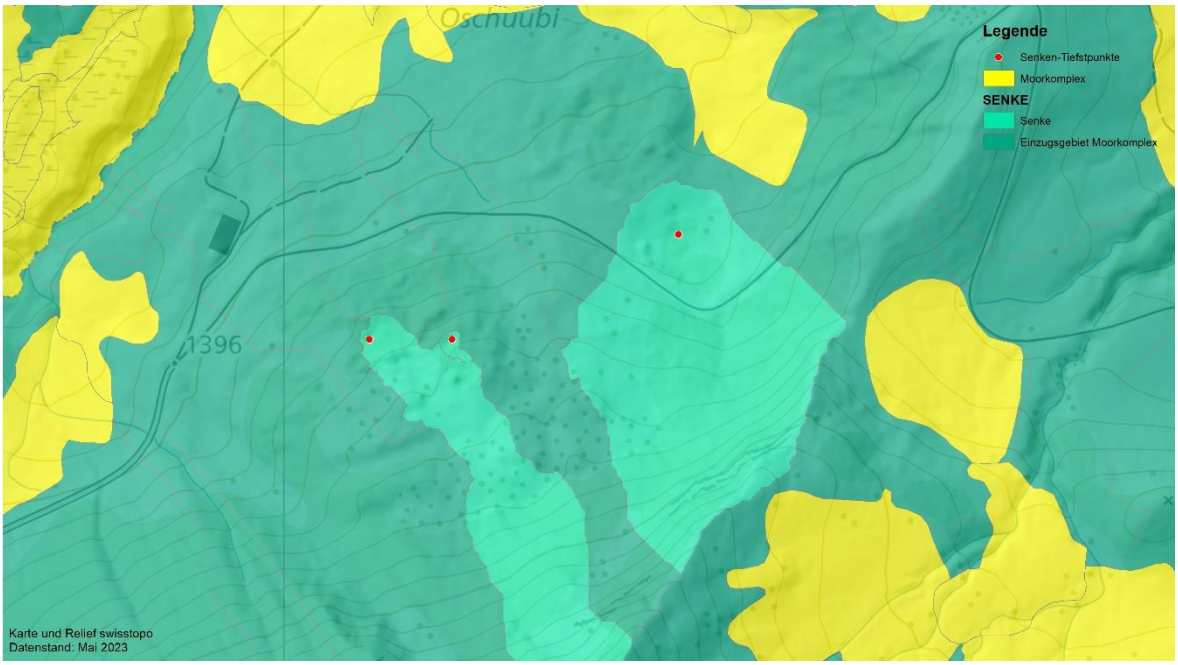


Abbildung 7: Senken mit Tiefstpunkten

Folgende Handhabung wurde festgelegt: Senken-Einzugsgebiete sind dann Teil des Vorsorgeperimeters, wenn der Senken-Überlauf im Zuströmbereich des Moorkomplexes liegt.

Eine spezifische Handhabung erfordern Senken in Karstgebieten. Sie sind Teil der Karst-Entwässerung. Das in die Senke fliessende Wasser kann über eine Schwinde in der Senke unterirdisch abfliessen und steht der Moor-Biogeozönose in der Regel nicht zur Verfügung. Die lokalen Gegebenheiten erfordern eine Einzelfall-Abklärung, die aus Gründen der Verhältnismässigkeit erst im Rahmen der vertiefenden ökohydrologischen Analyse des Vorgehens «espace marais» (Anhang A) geleistet werden soll. Zur Unterstützung dieser Aufgabe werden Karst-Senken im Ergebnis Vorsorgeperimeter Hydrologie deklariert.

3.6 Handhabung Karst

In Karstgebieten hat eine allein auf der Topographie basierende Abgrenzung des Vorsorgeperimeters bestenfalls Hinweischarakter. Zufliessendes Wasser, das in Dolinen verschwindet, steht der Moor-Biogeozönose im Karst in der Regel nicht zur Verfügung. Im Karst können hingegen auch Flächen ausserhalb der topographischen Einzugsgebiete für die Wasserversorgung eines Moorbiotops von Bedeutung sein.

Die Handhabung des Karsts in der Berechnung der Vorsorgeperimeter Hydrologie wurde in Phase II des Projekts unter Beizug einer Fachperson Geologie entwickelt. Folgende Lösungswege wurden vertieft:

Geodaten-basierte Analyse

Da der Geodaten-Layer GeoCover von swisstopo keine Angaben zur Verkarstungsfähigkeit enthält, wurde versucht, Flächen mit hoher Verkarstungsneigung mittels einfacher geostatistischer Analysen zu identifizieren. Dazu wurden folgende Indikatoren gewählt:

- Gewässerdichte
- Die Grösse von Einzugsgebieten ohne Gewässer
- Das Vorkommen flacher Felspartien
- Das Vorkommen von Dolinen

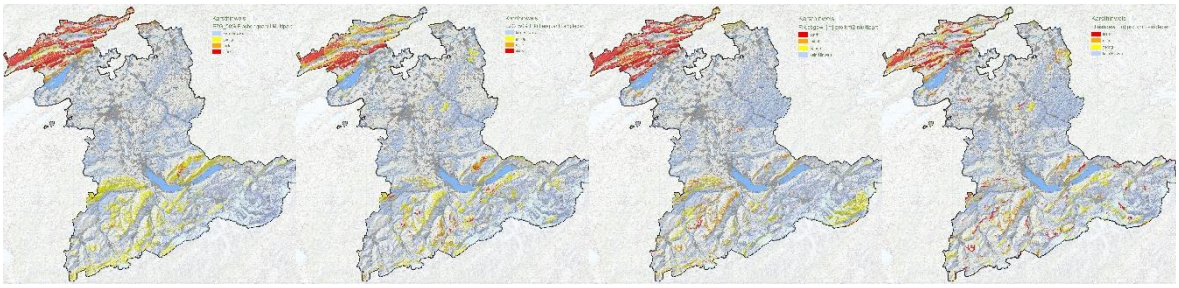


Abbildung 8: Ergebnisse der Karstdetektion mittels geostatistischer Analysen

Die Ergebnisse (vgl. Abbildung 8) wurden von der Geologin validiert. Die Validierung ergab eine ungenügende Trefferquote der Modellierung und der Lösungsweg wurde verworfen.

Vertiefende Recherche zu Auszug Lithologie

Das ursprünglich angedachte Vorhaben, mittels GIS-Analyse die im Umfeld der Moorkomplexe vorkommenden Lithologien zu identifizieren und deren Verkarstungsneigung durch die Geologin qualifizieren zu lassen erwies sich als nicht realisierbar. Die geologischen Kartierungen und die dazugehörigen Beihefte wurden historisch über einen langen Zeitraum entwickelt. Die Thematik wird in den Kartierungen nicht einheitlich gehandhabt. Angaben zur Verkarstungsfähigkeit können nur über die Beihefte erschlossen werden, sind dort aber nicht in einem einheitlichen Raster abrufbar. Der Recherche-Aufwand ist kaum kalkulierbar bei unsicherem Ergebnis. Der Lösungsweg wurde verworfen.

Karst-Hinweis unter Berücksichtigung der Quartär-Bedeckung

Die Expertise der Geologin ergab, dass GeoCover auch im Bereich von verkarstenden Formationen grosse Areale mit Quartärbedeckung dokumentiert. Diese sollten im Prozess differenziert berücksichtigt werden, da bei Moräne auf Karst substantielle oberirdische Wasserflüsse in Moorbiotope möglich sind. Die Geologin riet daher dazu, für die Bearbeitungstiefe Vorsorgeperimeter eine bestehende, eher grobe Abgrenzung des Karsts zu wählen (zum Beispiel GK500 oder den Karst-Layer 1:100'000 des Amts für Wasser und Abfall des Kantons Bern) und daraus die Areale mit Moränenbedeckung zu löschen.

Verknüpfung mit der Senken-Thematik

Implementiert wurde der Vorschlag aus dem Projekt-Team, die Karst-Hinweise mit der in Kapitel 3.5 eingeführten Senken-Handhabung zu verknüpfen und die Karst-Senken im Ergebnis Vorsorgeperimeter Hydrologie sichtbar zu machen, damit vertiefende Abklärungen im Rahmen der ökohydrologischen Analysen (Anhang A) daran anknüpfen können.

3.7 Gewinnung der Einzugsgebietstypen

3.7.1 Die Flächengliederung «espace marais»

Gemäss Konzept «espace marais» (Anhang A) werden zur Gewinnung des Vorsorgeperimeters die topographischen Einzugsgebiete der Moorkomplexe berechnet und anschliessend gutachterlich gegliedert in Flächen mit Hang- oder Bachwasser-Zustrom unter Berücksichtigung von Infiltration und Grundwasserversorgung sowie der für die Moorbiotope wichtigen Quell- oder Sickergebiete. Direkt angrenzende, bezüglich Entwässerung sensitive Flächen sowie die Flächen im Einflussbereich angrenzender Seen werden gesondert ausgeschieden. Die Umhüllende der genannten Flächen bildet den «Vorsorgeperimeter Hydrologie» des beurteilten Moorbiotops. Zusätzlich werden die Einzugsgebiete von Fliessgewässern bezeichnet, die das Moorbiotop durch Erosion gefährden. Das Konzept «espace marais» gibt die folgende inhaltliche Differenzierung des für den Wasserhaushalt von Moorbiotopen zu berücksichtigenden Gebiets vor:

- Moorkomplex
- Sensitiver Saum zu Moorkomplex
- Flächen mit Zustrom von Hangwasser
- Flächen mit Zustrom von Bachwasser
- Einzugsgebiet erodierender Bäche

3.7.2 Technische Umsetzung

Mit den hochauflösenden Geländemodellen swissALTI3D und den lagegenauen Gewässerachsen swissTLM3D von swisstopo stehen heute hochwertige Grundlagen für GIS-gestützte Analysen entlang von Fliessgewässern zur Verfügung.
Zur Analyse der Topographie entlang von Bächen wurden skalierbare, querprofilbasierte Analysewerkzeuge eingesetzt. Sie erlauben die Analyse kleinräumiger Höhendifferenzen zwischen der (digitalen) Gewässerachse und dem angrenzenden Umland entlang skalierbarer Vektoren sowie die Messung des Längsgefälles der Gewässerachse. Mit Nachbarschaftsanalysen können auch Entfernungen und Höhendifferenzen zwischen der Gewässerachse und dem Rand des Moorbiotops analysiert werden.
Durch Expertise-basierte Konfiguration, die Festlegung des Anwendungsbereichs und Operationalisierung werden diese Analyseverfahren für die regelbasierte Bestimmung der Flächen-Typen innerhalb des Moorkomplex-Einzugsgebiets verwendet. So kann die gemäss Verfahren «espace marais» bisher weitgehend gutachterliche Gliederung der Einzugsgebiete in die umsetzungsrelevanten Raumeinheiten weitgehend durch GIS-Analysen ersetzt werden. GIS-Analysen haben den Vorteil, dass zu einer grossen Zahl von Objekten Befunde von einheitlicher Qualität gewonnen werden können, indem Situationen, die sich mit Regeln beschreiben lassen, immer gleich gehandhabt werden. Das Ergebnis der zu entwickelnden Analysen ist die Gliederung des Moorkomplex-Einzugsgebiets in die Teilflächen gemäss Verfahren «espace marais». Die Flächen-Typen und die im Rahmen der Prozessentwicklung für deren räumliche Differenzierung etablierten Regeln werden mit Kapitel 3.7.3 eingeführt. Die mit Kapitel 3.7.3 beschriebenen Analysekonzepte und Regeln wurden als Python-Skripte für die Verwendung unter Desktop ArcGis 10.4 umgesetzt und für die Projektanwendungen (kantonsweite Aufbereitung des DTM sowie die Gewinnung der Vorsorgeperimeter und deren Teilflächen zu allen Moorkomplexen) auf der GIS-Infrastruktur der Mandatsträger GIS operationalisiert.
Die Skripte sind für die Ausführung durch den Entwickler dokumentiert, nicht aber für den Betrieb durch Dritte. Sie setzen neben der Vertrautheit mit den Analysewerkzeugen von esri ArcGIS eine entsprechende GIS-Infrastruktur voraus. Die Skripte stehen in der vom Mandatsträger GIS gewählten Form und Struktur auf Anfrage zur Verfügung.

3.7.3 Regelbasierte Gewinnung

Abbildung 9 zeigt Topographie, Gewässerachsen, berechnete Hilfs-Geometrien und die über die nachfolgend dokumentierten Regeln abgeleiteten Flächentypen.

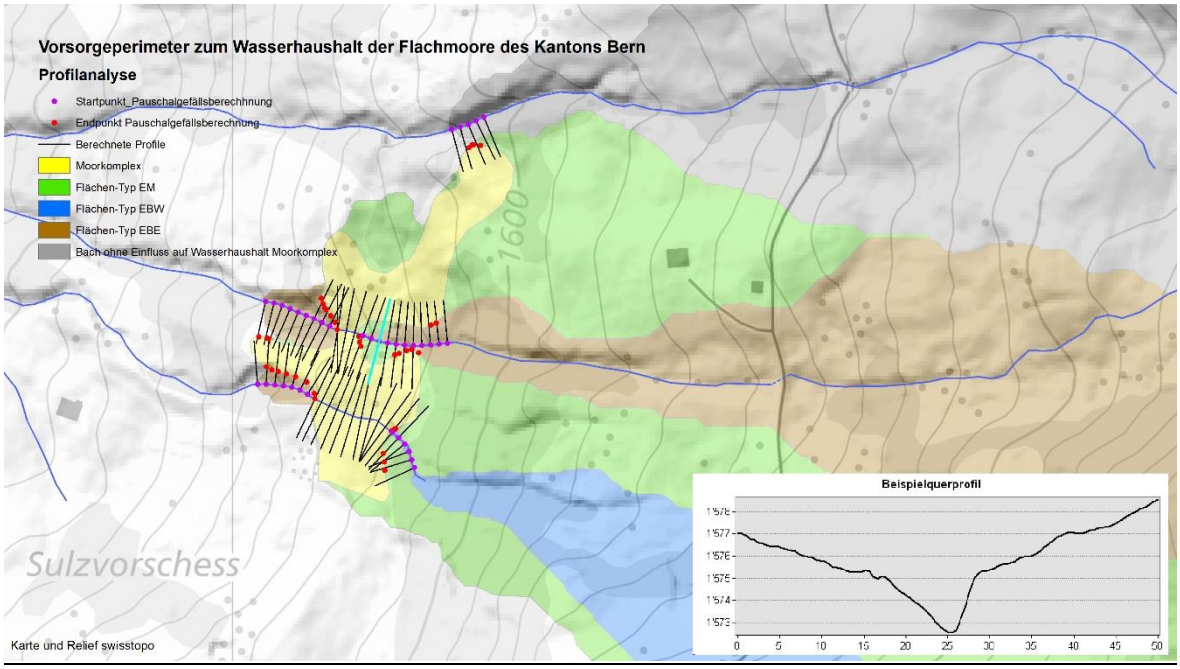


Abbildung 9: Hilfs-Geometrien zur Analyse der Lage der Gerinnesohle innerhalb des Flachmoors und bei randlich vorbeifliessenden Bächen.

Moorkomplex (MK)

Für den Moorkomplex gilt die mit Kapitel 1.1.3 eingeführte inhaltliche Beschreibung und die mit Kapitel 3.1 beschriebene Handhabung.

Zustrom Hangwasser (EM)

Flächen mit Hangwasser Zustrom versorgen den Moorkomplex mit zuströmendem Hangwasser. Dabei erfolgt der Wasser-Zustrom als Oberflächen-Abfluss oder Subsurface-Flow. Die Flächen dieses Typs umfassen die topographischen Einzugsgebiete von «Moorkomplex» ohne die Einzugsgebiete der Fliessgewässer.

Zustrom Bachwasser (EBM, EBW) und Einzugsgebiet erodierender Bäche (EBE)

Bäche sind die im Geodatensatz swissTLM3D, Topic TLM_GEWAESSER als Fliessgewässer mit oberirdischem Verlauf qualifizierten Linien-Geometrien. Bäche, die gemäss dem in Kapitel 3.3 beschriebenen Verfahren als Entwässerungsgräben identifiziert wurden, werden nicht berücksichtigt. Ebenfalls explizit nicht berücksichtigt sind Trockenrinnen mit episodischer Wasserführung.

Auf den Bach-Abschnitten im Moorkomplex sowie den Bach-Abschnitten mit maximal 10 m Abstand zum Moorkomplex werden in Abständen von 5 m Querprofile mit 10 m Länge lotrecht zur Bachachse) berechnet (Gesamtlänge 20 m).

Aus dem Abgleich der Höhe des Profilpunkts auf der Gewässerachse mit den Profilhöhen auf dem benachbarten Terrain wird der Flächentyp der durch den Profilpunkt entwässernden Fläche abgeleitet.

Bei randlich am Moorkomplex vorbeifliessenden Gewässern (in maximal 10 m Abstand zum Moorkomplex) wird zusätzlich die Höhe des nächstgelegenen Flachmoor-Randpunktes abgefragt.

Durchfliesst ein Bach den Moorkomplex, wird die Eintiefung der Gerinneachse gegenüber dem angrenzenden Moor-Terrain beidseitig anhand der Querprofile ausgewertet. Dabei gilt die folgende Handhabung:

- Versickert der Bach bereits oberhalb des Moorkomplexes oder liegt die Bachachse maximal 20 cm tiefer als das angrenzende Moor-Terrain und beträgt das Längsgefälle des Baches weniger als 4%, wird eine direkte Speisung des Moorbiotops mit Bachwasser postuliert (Flächen-Typ EBM).
- Liegt die Bachachse bis 100 cm tiefer als das angrenzende Moor-Terrain, wird postuliert, dass das Bachwasser den Moorkomplex zumindest über das Grundwasser alimentiert (Flächen-Typ EBW).
- Liegt die Bachachse mehr als 100 bis 200 cm tiefer als das angrenzende Moor-Terrain, wird postuliert, dass der Bach den Fortbestand des Moorkörpers durch Tiefenerosion und damit einhergehende Entwässerung gefährdet (Flächen-Typ EBE).
- liegt die Bachachse mehr als 2 m tiefer als das angrenzende Moor-Terrain wird postuliert, dass der Bach keinen Einfluss auf den Wasserhaushalt des Moorbiotops hat. Auch wenn der Bach das Moorbiotop allenfalls langfristig in seinem Fortbestand bedroht.

Die angegebenen Grenzwerte (20, 100, 200 cm) werden jeweils über maximal 5 benachbarte Profile gemittelt.

Fliesst ein Bach im Abstand von maximal 10 m am Moorkomplex vorbei, wird die Eintiefung der Gerinneachse gegenüber dem angrenzenden Moor-Terrain moorseitig anhand der Querprofile ausgewertet. In der Analyse werden zusätzlich das Längsgefälle im Bereich des Profils sowie die Höhendifferenz zum nächstgelegenen Flachmoor-Randpunkt abgefragt.

Bei Längsgefällen bis 4% gilt die folgende Handhabung:

- liegt die Bachachse maximal 20 cm tiefer als das angrenzende Moor-Terrain und beträgt auch die Höhendifferenz zum nächst gelegenen Flachmoor-Randpunkt maximal 20 cm, wird eine direkte Speisung des Moorbiotops mit Bachwasser postuliert (Flächen-Typ EBM)

Bei Längsgefällen bis 10% gilt die folgende Handhabung.

- liegt die Bachachse 20 bis 100 cm tiefer als das angrenzende Moor-Terrain und beträgt die Höhendifferenz zum nächst gelegenen Flachmoor-Randpunkt maximal 100 cm, wird postuliert, dass das Bachwasser den Moorkomplex zumindest über das Grundwasser alimentiert (Flächen-Typ EBW).
- liegt die Bachachse 100 bis 200 cm tiefer als das angrenzende Moor-Terrain und beträgt die Höhendifferenz zum nächst gelegenen Flachmoor-Randpunkt maximal 200 cm, wird postuliert, dass der Bach den Fortbestand des Moorkörpers durch Tiefenerosion und damit einhergehende Entwässerung gefährdet (Flächen-Typ EBE).
- liegt die Bachachse mehr als 2 m tiefer als das angrenzende Moor-Terrain oder beträgt die Höhendifferenz zum nächst gelegenen Flachmoor-Randpunkt mehr als 2 m wird postuliert, dass der Bach keinen Einfluss auf den Wasserhaushalt des Moorbiotops hat. Auch wenn der Bach das Moorbiotop allenfalls langfristig in seinem Fortbestand bedroht.

Bei Längsgefällen > 10% gilt die folgende Handhabung.

- liegt die Bachachse 0 bis 200 cm tiefer als das angrenzende Moor-Terrain und beträgt die Höhendifferenz zum nächst gelegenen Flachmoor-Randpunkt maximal 200 cm, wird postuliert, dass der Bach den Fortbestand des Moorkörpers durch Tiefenerosion und damit einhergehende Entwässerung gefährdet (Flächen-Typ EBE).
- liegt die Bachachse mehr als 200 cm tiefer als das angrenzende Moor-Terrain oder beträgt die Höhendifferenz zum nächst gelegenen Flachmoor-Randpunkt mehr als 200 cm wird postuliert, dass der Bach keinen Einfluss auf den Wasserhaushalt des Moorbiotops

hat. Auch wenn der Bach das Moorbiotop allenfalls langfristig in seinem Fortbestand bedroht, ist sein Einzugsgebiet nicht Teil des Vorsorgeperimeters.

Die angegebenen Grenzwerte (20, 100, 200 cm) werden jeweils über maximal 5 benachbarte Profile gemittelt.

See- oder Grundwasser gespiesener Moorkomplex

Moorkomplexe können auch ganz oder teilweise von See- oder Grundwasser gespiesen werden. Detektion und Handhabung der beitragenden Flächen wird mit Kapitel 3.4 beschrieben.

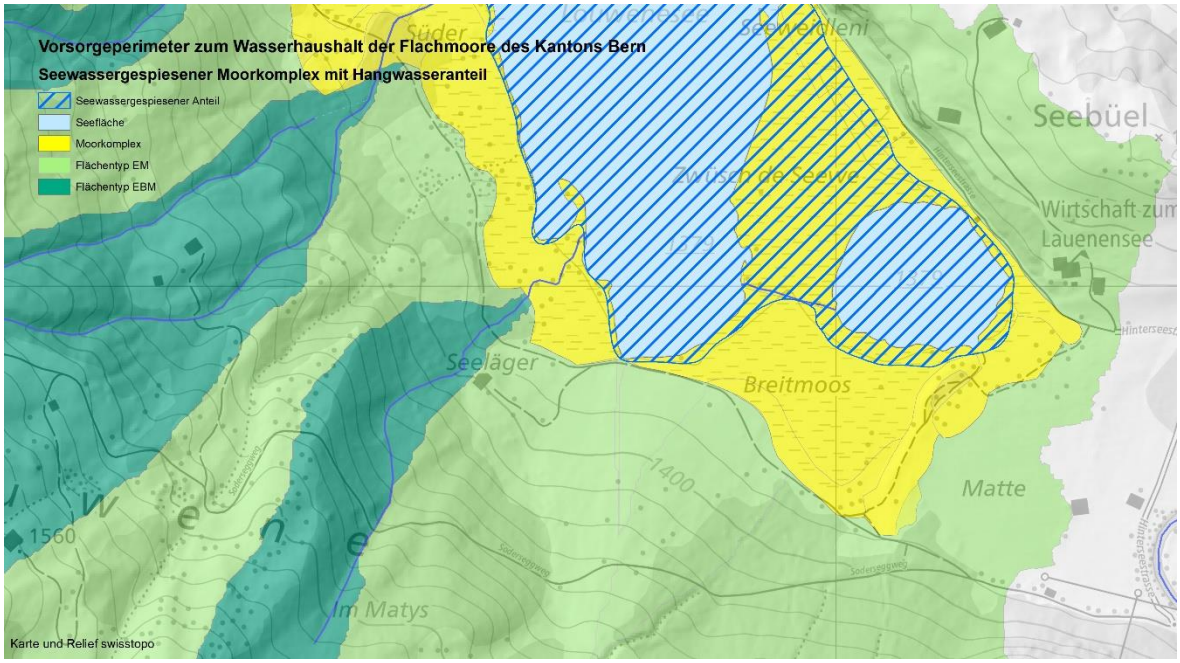


Abbildung 10: Seewasser-gespiesener Moorkomplex mit Hangwasserzuflüssen.

Karst-Senke

Die Handhabung von Karst-Senken wird mit den Kapiteln 3.5 und 3.6 eingeführt. Die Identifikation dieser Flächen als Teil des Vorsorgeperimeters unterstützt die nachgelagerten Abklärungen zur Festlegung hydrologischer Pufferzonen.

Sensitiver Saum (Flächen-Typ SA)

Der Sensitive Saum bezeichnet Flächen ausserhalb des topographischen Zuström-Bereichs der Moorkomplexe, denen aufgrund ihrer Lage (unmittelbar angrenzend an den Moorkomplex) eine hohe Sensitivität bezüglich Entwässerung und Geländeveränderungen zugeschrieben wird. Seine Breite beträgt mindestens 25 m, maximal 50 m.

Die Kriterien zur Begrenzung dieser Flächen sind in einem spezifischen Feld-Schlüssel festgeschrieben (Anhang B, Ergebnis «espace marais»).

Sie wurde in folgende GIS-Analysen umgesetzt.

Die Breite des Saums beträgt 25 m

- wo das Gelände mehr als 10 m tiefer liegt als das nächstgelegene Moor-Pixel,

Die Breite des Saums beträgt 25 m bis 50 m

- wo das Gelände 5 – 10 m tiefer liegt als das nächstgelegene Moor-Pixel,
- wo ein Bach im Abstand 25 m – 50 m am Moor vorbeifliesst,
- wo eine Geländekrete im Abstand 25 m – 50 m an das Moor heranreicht.

In allen anderen Fällen beträgt die Breite des sensitiven Saums 50 m.

Die Berechnung des Saums erfolgt auf den Rasterzellen des digitalen Höhenmodells DTM. Im Anschluss an die pixelgenaue Berechnung wird die Ergebnis-Geometrie geglättet.

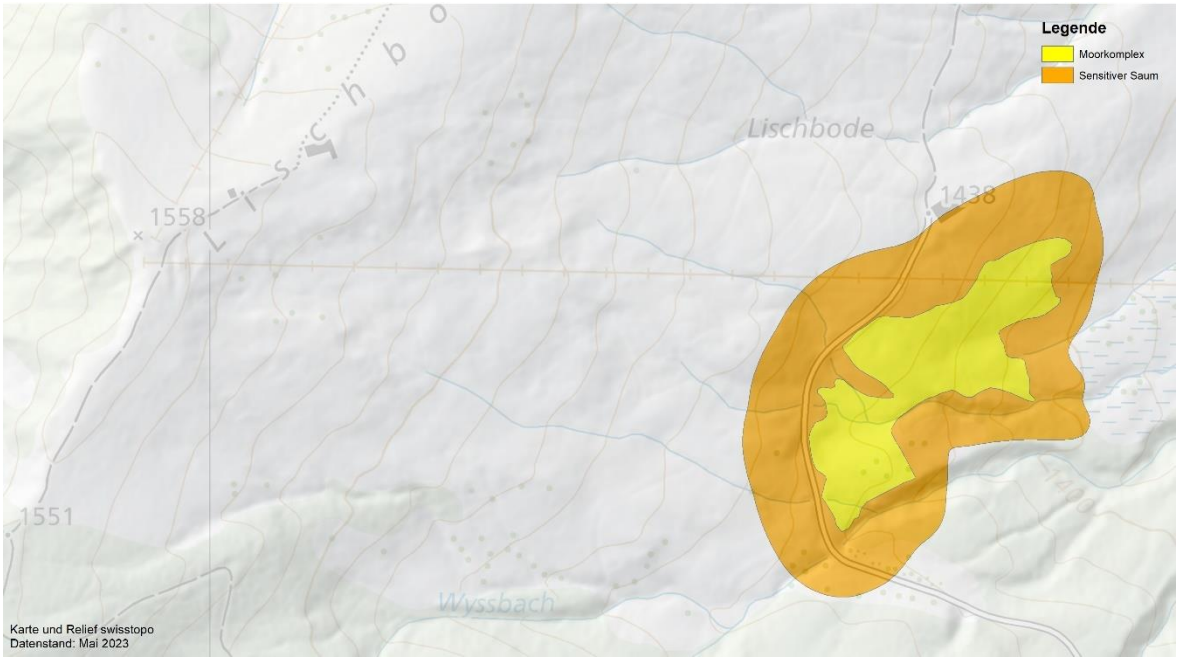


Abbildung 11: Beispiel des sensitiven Saumes.

3.8 Gutachterliche Überprüfung (QS)

Die Gewinnung der Vorsorgeperimeter über regelbasierte GIS-Analysen hat den Vorteil, dass für eine grosse Zahl von Objekten homogene Ergebnisse gewonnen werden können. Im Hinblick auf die vorgesehene Verwendung der Ergebnisse im Rahmen von Genehmigungs- und Mitberichts-Verfahren muss davon ausgegangen werden, dass die Trägerschaft des Vorhabens den mit dem berechneten Vorsorgeperimeter postulierten Wirkungszusammenhang in Frage stellt und den Rechtsweg erwägt, wo dieser Wirkungszusammenhang wenig plausibel erscheint.

Im Rahmen der Qualitätssicherung zu den berechneten Ergebnissen wurden daher naturräumliche und technische Rahmenbedingungen identifiziert, die eine gutachterliche Überprüfung der berechneten Ergebnisse erfordern. Ebenso wurden Ergebnisse, die eine schlechte Akzeptanz erwarten lassen, kritisch hinterfragt. Die folgenden Gegebenheiten wurden im Rahmen der Qualitätssicherung überprüft und ggf. gutachterlich adaptiert:

Moorkomplexe an Seen und auf Grundwasserträgern

Es sind dies die Moorkomplexe an Seen und auf grossen Grundwasserträgern (Kapitel 3.4). Die zu diesen Moorkomplexen berechneten Ergebnisse erfordern eine gutachterliche Überprüfung, da die Moorkomplexe zwar vom See-/Grundwasser gespiesen werden, aber in Teilbereichen auch auf zuströmendes Wasser aus benachbarten Flächen angewiesen sind.

Vorsorgeperimeter mit Zuflüssen aus Geländeterrassen im Flächentyp EM

Niederschläge auf Geländeterrassen des Flächentyps EM (Kapitel 3.7.) gelangen allenfalls durch Infiltration in den Moorkomplex, nicht aber über oberflächlichen oder oberflächennahen Abfluss. Flächen des Typs EM auf Geländeterrassen wurden deshalb aus dem berechneten Ergebnis gelöscht (Beispiel Abbildung 12).

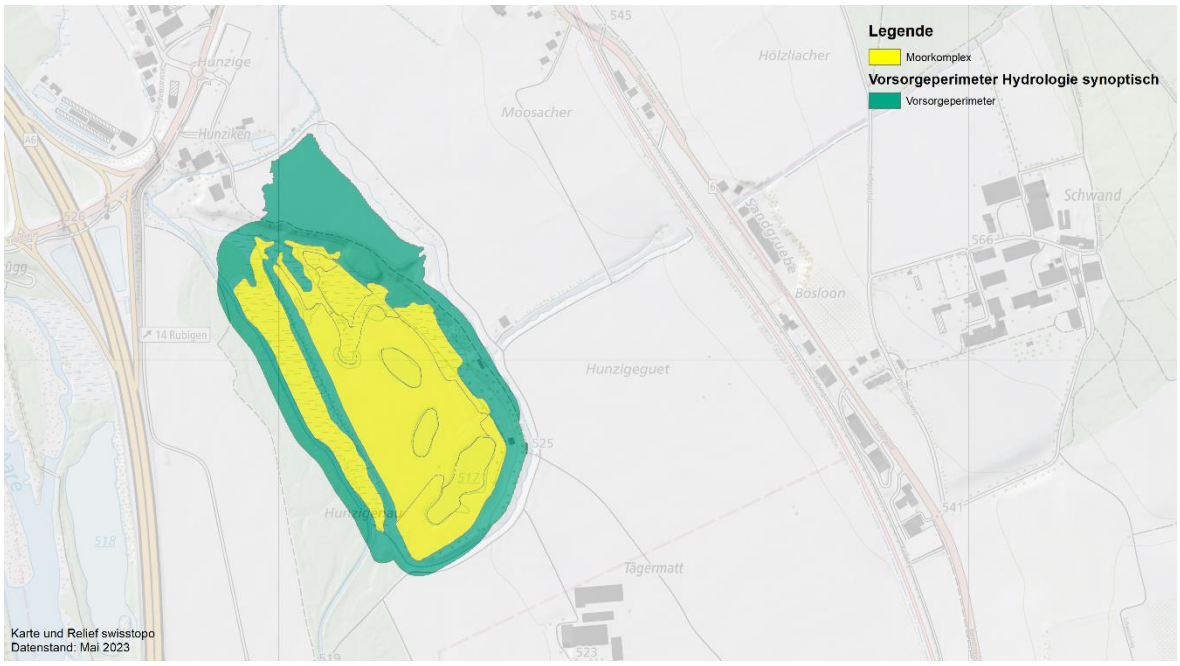


Abbildung 12: Vorsorgeperimeter gutachterlich reduziert

Ergebnisse mit ungenügender Verankerung in den Profil-Analysen

Die Zuweisung der beitragenden Flächen der Typen EBM, EBW und EBE erfolgt auf der Grundlage von Querprofilanalysen entlang und quer zu den digitalen Gewässerachsen. Eine genügende Verankerung der berechneten Zuweisung erfordert 5 Querprofile. Befunde, die auf < 3 Querprofilen basieren, wurden systematisch gutachterlich überprüft und ggf. korrigiert.

Grosse Vorsorgeperimeter

Generell wurden grosse Vorsorgeperimeter einzeln gutachterlich beurteilt und ggf. korrigiert.

4 Ergebnisse

4.1 Zielmodelle

4.1.1 Übersicht

Zur Unterstützung der mit Kapitel 2.3 eingeführten Anwendungen werden die Ergebnisse für das Hoheitsgebiet des Kantons Bern in den folgenden Zielmodellen aufbereitet:

Tabelle 1: Übersicht Ergebnis-Geodatenmodelle:

Modell (Klasse)	Techn. Name	Erläuterung
Moorkomplex	MKOHYBE	Die für den Wasserhaushalt der Hoch- und Flachmoore des Kantons Bern massgeblichen Biogeozönosen. Der Moorkomplex ist Teil des Vorsorgeperimeters.
Sensitiver Saum	SAOHYBE	Die gegenüber Drainage und Geländeveränderung sensitive Zone um jeden Moorkomplex. Der sensitive Saum ist Teil des Vorsorgeperimeters.
Topographische Einzugsgebiete und Flächen-Typen Einzelobjekt	TEFOHYBE	Topographische Einzugsgebiete zu den Moorkomplexen der Flach- und Hochmoore des Kantons Bern mit der regelbasierten Gliederung in hydrologisch-funktionale Teilflächen, berechnet pro Objekt (OBJNR_BE). Alle berechneten Teilflächen sind Teil des Vorsorgeperimeters.
Topographische Einzugsgebiete und Flächen-Typen synoptisch	TEFHYBE	Topographische Einzugsgebiete zu den Moorkomplexen der Flach- und Hochmoore des Kantons Bern mit der regelbasierten Gliederung in hydrologisch-funktionale Teilflächen, berechnet als objektübergreifende Gesamtübersicht. Alle berechneten Teilflächen sind Teil des Vorsorgeperimeters.
Vorsorgeperimeter Hydrologie Einzelobjekt	VPOHYBE	Vorsorgeperimeter Hydrologie der Flach- und Hochmoore des Kantons Bern, berechnet pro Objekt (OBJNR_BE). Der Vorsorgeperimeter Hydrologie umfasst die Teilflächen Moorkomplex und sensitiver Saum sowie die topographischen Einzugsgebiete der Moorkomplexe.
Vorsorgeperimeter Hydrologie synoptisch	VPHYBE	Vorsorgeperimeter Hydrologie der Flach- und Hochmoore des Kantons Bern, berechnet als objektübergreifende Gesamtübersicht. Der Vorsorgeperimeter Hydrologie umfasst die Teilflächen Moorkomplex und sensitiver Saum sowie die topographischen Einzugsgebiete der Moorkomplexe.
Senken-Tiefst-Punkte	SIOHYBE	Tiefste Punkte der aus dem Höhenmodell berechneten Senken (Tiefe > 1 m).
Index-Layer	DDP	Iterations-Objekte für die Verwendung in Kartenserien.
Abstandslinien	ALVPHY	Abstandslinien innerhalb der Vorsorgeperimeter Hydrologie synoptisch, einblendbar zur Unterstützung abstandsbasierter Entscheide.

4.1.2 Objektkataloge

Tabelle 2: MKOHYBE

Merkmal	**Feld-Typ**	**Erläuterung**	**Wertebereich**
SHAPE	GEOMETRY	Georeferenzierung als 2D-Fläche	
OBJNR_BE	LONG	Objektnummer für die objektweise Konsultation.	

Tabelle 3: SAOHYBE

Merkmal	**Feld-Typ**	**Erläuterung**	**Wertebereich**
SHAPE	GEOMETRY	Georeferenzierung als 2D-Fläche	
OBJNR_BE	LONG	Objektnummer für die objektweise Konsultation.	

Tabelle 4: TEFOHYBE

Merkmal	Feld-Typ	Erläuterung	Wertebereich
SHAPE	GEOMETRY	Georeferenzierung als 2D-Fläche	
OBJNR_BE	LONG	Objektnummer für die objektweise Konsultation.	
UTYP	Text (5)	Umsetzungs-Typ (Teilflächen-Code)	EM, EBM, EBW, EBE
SENKE	Text (12)	Flächen, die in eine abflusslose Senke mit Tiefe > 1 m entwässern, werden für die Nutzung in der ökohydrologischen Abklärung als «Senke» dokumentiert. «Karstsenken» sind Senken, deren tiefster Punkt auf Karst-Untergrund gemäss der in Kapitel 3.6 beschriebenen Handhabung liegt.	Senke, Karstsenke, keine Senke

Tabelle 5: TEFHYBE

Merkmal	Feld-Typ	Erläuterung	Wertebereich
SHAPE	GEOMETRY	Georeferenzierung als 2D-Fläche	
UTYP	Text (5)	Umsetzungs-Typ (Teilflächen-Code)	EM, EBM, EBW, EBE
SENKE	Text (12)	Flächen, die in eine abflusslose Senke mit Tiefe > 1 m entwässern, werden für die Nutzung in der ökohydrologischen Abklärung als «Senke» dokumentiert. «Karstsenken» sind Senken, deren tiefster Punkt auf Karst-Untergrund gemäss der in Kapitel 3.6 beschriebenen Handhabung liegt.	Senke, Karstsenke, keine Senke

Tabelle 6: VPOHYBE

Merkmal	Feld-Typ	Erläuterung	Wertebereich
SHAPE	GEOMETRY	Georeferenzierung als 2D-Fläche	
OBJNR_BE	LONG	Objektnummer für die objektweise Konsultation.	
SENKE	Text (12)	Flächen, die in eine abflusslose Senke mit Tiefe > 1 m entwässern, werden für die Nutzung in der ökohydrologischen Abklärung als «Senke» dokumentiert. «Karstsenken» sind Senken, deren tiefster Punkt auf Karst-Untergrund gemäss der in Kapitel 3.6 beschriebenen Handhabung liegt.	Senke, Karstsenke, keine Senke

Tabelle 7: VPHYBE

Merkmal	Feld-Typ	Erläuterung	Wertebereich
SHAPE	GEOMETRY	Georeferenzierung als 2D-Fläche	
SENKE	Text (12)	Flächen, die in eine abflusslose Senke mit Tiefe > 1 m entwässern, werden für die Nutzung in der ökohydrologischen Abklärung als «Senke» dokumentiert. «Karstsenken» sind Senken, deren tiefster Punkt auf Karst-Untergrund gemäss der in Kapitel 3.6 beschriebenen Handhabung liegt.	Senke, Karstsenke, keine Senke

Tabelle 8: Objektkatalog SIOHYBE

Merkmal	Feld-Typ	Erläuterung	Wertebereich
SHAPE	GEOMETRY	Georeferenzierung als 2D-Punkt	
OBJNR_BE	LONG	Objektnummer für die objektweise Konsultation.	
KARST	Text (5)	Karst-Untergrund ohne Areale mit Moränenbedeckung.	ja, nein

Tabelle 9: Objektkatalog DDP

Merkmal	Feld-Typ	Erläuterung	Wertebereich
SHAPE	GEOMETRY	Georeferenzierung als 2D- Fläche	
OBJNR_BE	LONG	Objektnummer für die objektweise Konsultation.	

Tabelle 10: Objektkatalog ALVPHY

Merkmal	Feld-Typ	Erläuterung	Wertebereich
ATYP	Text (5)	Abstand-Typ	Saum, 100 m, 200 m

4.2 Die Konsultation der Modelle im GIS

Die Datensätze der Vorsorgeperimeter können als grossräumige Übersicht (Abbildung 13, Abbildung 15) oder pro Einzelobjekt (Abbildung 14, Abbildung 16) konsultiert werden. In Anbetracht der Qualität der verwendeten Grundlagen ist eine Konsultation der Vorsorgeperimeter Hydrologie ab Massstab 1:5'000 empfohlen.

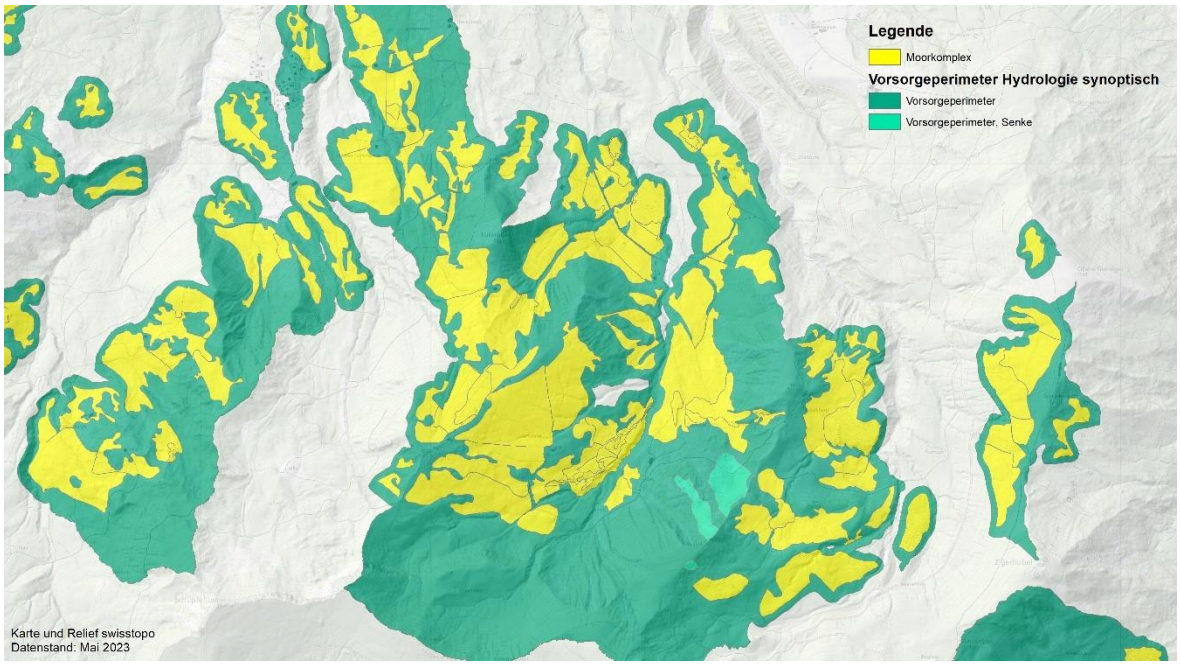


Abbildung 13: Die Ansicht «Übersicht» der hydrologischen Vorsorgeperimeter

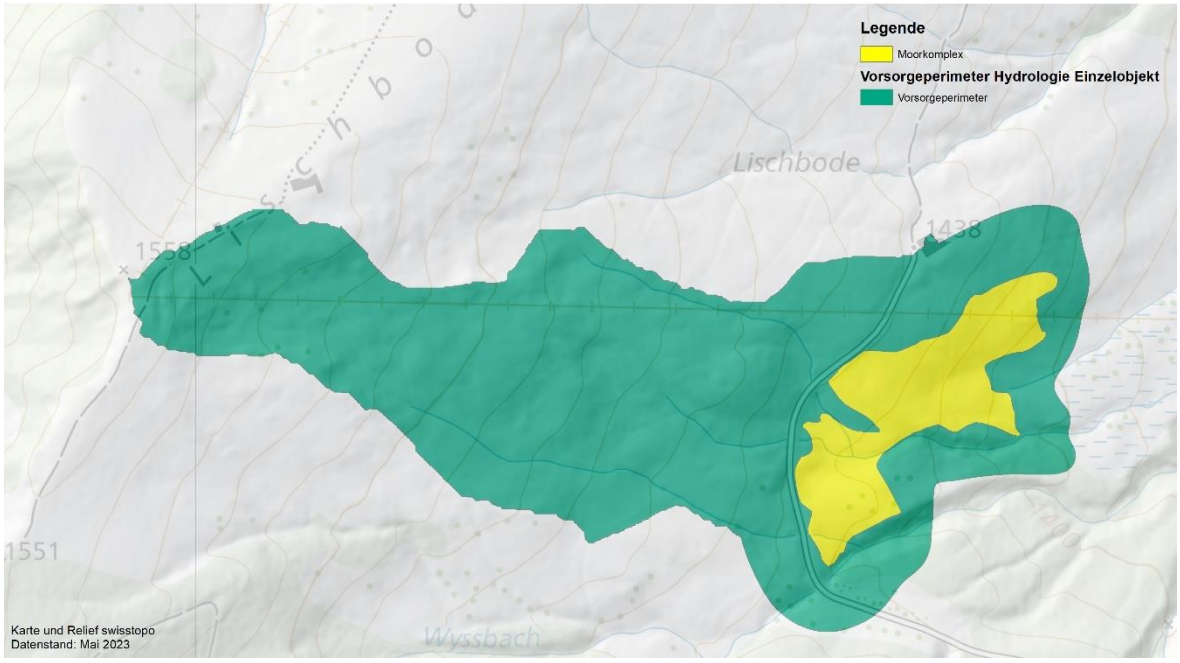


Abbildung 14: Die Ansicht «Einzelobjekt» der hydrologischen Vorsorgeperimeter.

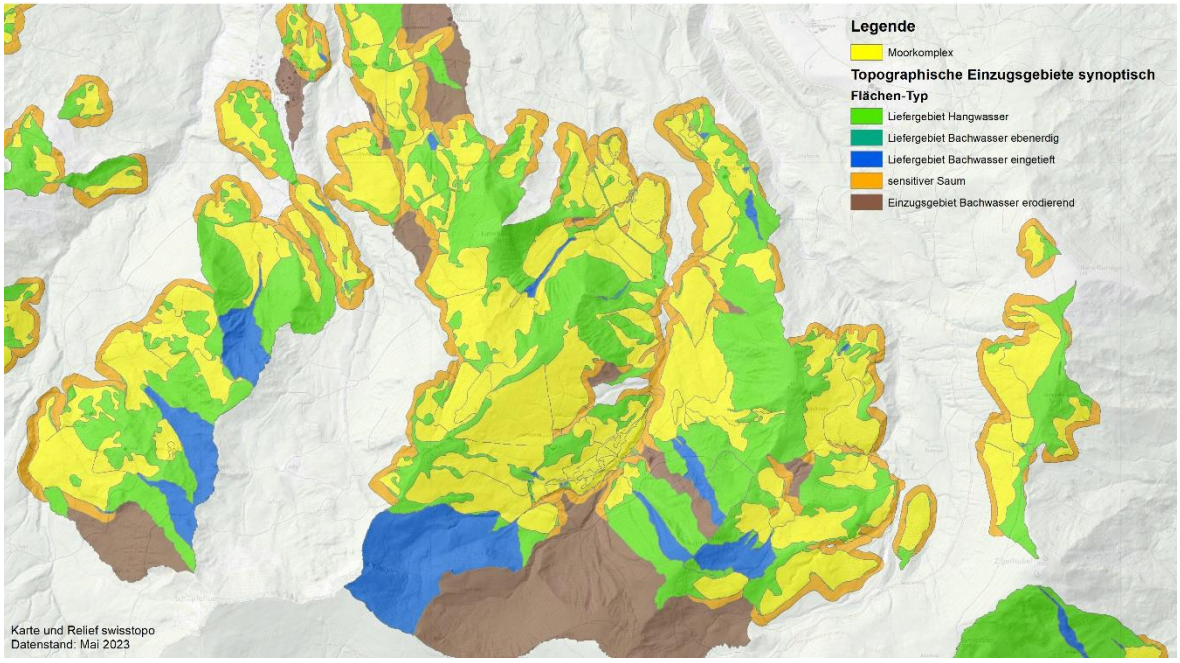


Abbildung 15: Die Ansicht «Übersicht» der Flächen-Typen im hydrologischen Vorsorgeperimeter.

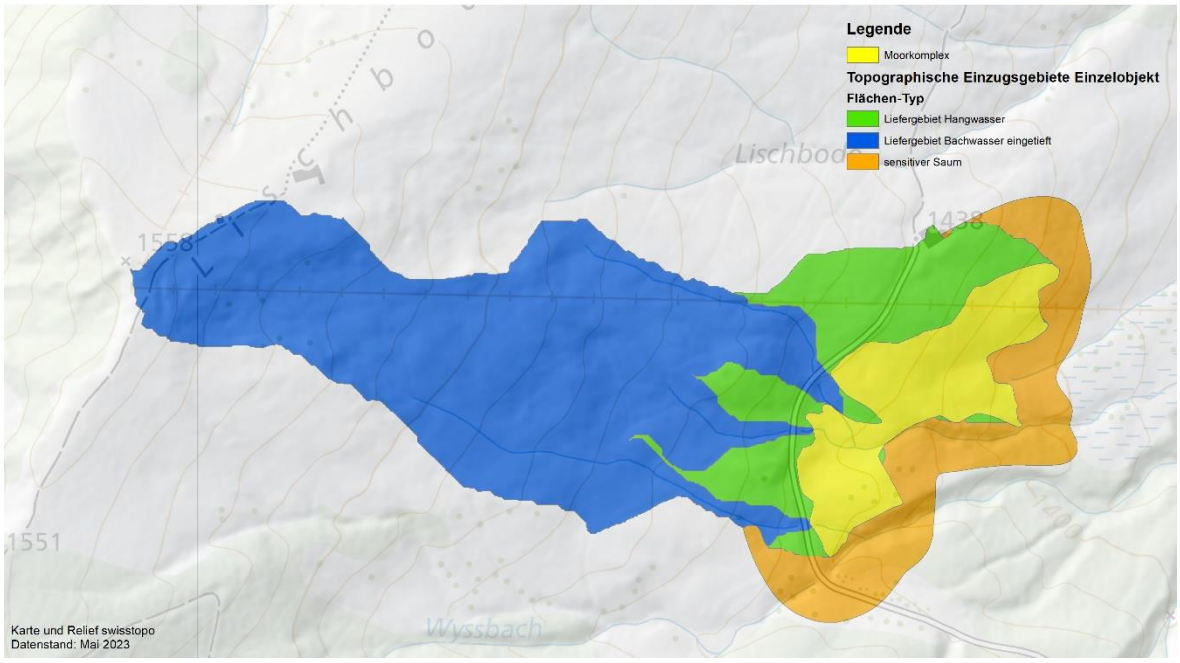


Abbildung 16: Die Ansicht «Einzelobjekt» der Flächen-Typen im hydrologischen Vorsorgeperimeter.

4.3 Die Verwendung der Ergebnisse

Wie einleitend dargelegt, konkretisiert das Verfahren «espace marais» (Anhang A) den per Bundesgerichtsentscheid bestätigten Gesetzesauftrag zur Ausscheidung hydrologischer Pufferzonen zu Moorbiotopen, wo die ungeschmälerte Erhaltung der Objekte besondere Massnahmen für den Erhalt und die Verbesserung des Gebietswasserhaushalts erfordert.
Dabei identifiziert das Verfahren Bearbeitungsschritte und Ergebnisse, die in einem strukturierten Ablauf erarbeitet und den situativen Anforderungen entsprechend sukzessive verfeinert werden. Der Ablauf ist gegliedert in

- die Voranalyse,
- die Ökohydrologische Analyse.

Alle mit dem hier vorgestellten Projekt erarbeiteten Ergebnisse sind Teil der Voranalyse. Die folgenden Ausführungen erläutern die Projektergebnisse und ihre Verwendung in der weiteren Bearbeitung.

4.3.1 Der Moorkomplex

Der Begriff Moorkomplex wird eingeführt mit Kapitel 1.1.3. Die Aufbereitung der im Projekt verwendeten Moorkomplexe ist beschrieben mit Kapitel 3.1. Die Abgrenzungen basieren auf interpretierten Geodaten (Hochmoore), respektive auf den georeferenzierten Inventar-Perimetern (Flachmoore).
Der Moorkomplex bezeichnet das Gebiet, dessen Wasserhaushalt ggf. mit vertieften Abklärungen und Massnahmen zu sichern ist. Der Moorkomplex kann auch bei Renaturierungen konsultiert werden, da er im Sinne eines Potenzialgebiets auch die mögliche Ausdehnung eines wiederherstellbaren Moorbiotops angibt. Die verwendete Abgrenzung kann im Falle einer vertiefenden Bearbeitung (Feldbefunde der Ökohydrologischen Analyse) präzisiert werden.

4.3.2 Der Vorsorgeperimeter Hydrologie

Der Begriff Vorsorgeperimeter Hydrologie wird eingeführt mit Kapitel 1.1.3. Der Vorsorgeperimeter Hydrologie ist die Umhüllende des Moorkomplex, dessen topographischem Einzugsgebiet und dem sensitiven Saum, beides eingeführt mit Kapitel 3.7. Er dokumentiert im Sinne eines Hinweisgebiets, wo die hydrologischen Verhältnisse beim Vollzug der Hoch- und Flachmoorverordnung zu berücksichtigen sind.

Ob ein Vorhaben den Gebietswasserhaushalt der Moorbiotope im Vorsorgeperimeter beeinträchtigt, hängt neben geographischen (Lage) auch von inhaltlichen Aspekten (Art des Vorhabens) ab. So stellt eine projektierte Strasse, die den Vorsorgeperimeter Hydrologie quert, in jedem Fall eine potenzielle Beeinträchtigung des Moorbiotops im Vorsorgeperimeter dar. Der Ausbau des Dachstocks eines bestehenden Gebäudes im Vorsorgeperimeter hingegen nicht. Potenzielle Beeinträchtigungen gehen insbesondere von Vorhaben in den Bereichen Strassenbau, Tiefbau, Wasserbau, Wasserwirtschaft, Strukturverbesserung und Ausbringen von Stoffen aus. Auch in Planungsprozessen und Projekten der Bereiche Siedlungsentwicklung, Forst, touristische Infrastruktur, Schutz vor Naturgefahren, Abbau- und Deponiewesen sind im Vorsorgeperimeter Hydrologie die hydrologischen Verhältnisse der Moorbiotope im Sinne der Hoch- und Flachmoorverordnung zu berücksichtigen. Dabei sind beide Aufzählungen (Vorhaben, Planungsprozesse) nicht abschliessend.

Bei der Konsultation der Vorsorgeperimeter Hydrologie im Vollzug der Hoch- und Flachmoorverordnung ist demnach ein 2-stufiges Vorgehen zu wählen:

In einem ersten Schritt ist die Relevanz des Vorhabens für den Gebietswasserhaushalt der Moorbiotope zu prüfen. Die Relevanz ist dann gegeben, wenn das Vorhaben den Vorsorgeperimeter Hydrologie tangiert **und** das Vorhaben eine Störung der natürlichen Wasserflüsse (Menge, räumliche und zeitliche Verteilung, Qualität) verursachen kann, deren Auswirkungen in den Moorkomplex hinein reichen.

Bei gegebener/vermuteter Relevanz soll in einem zweiten Schritt eine nachgelagerte ökohydrologische Untersuchung gemäss Konzept «espace marais» auf den Wirkungsraum des Vorhabens fokussieren, die erwarteten Auswirkungen im erforderlichen Umfang vertiefen und räumlich präzisieren. Ggf. kann als Ergebnis der Vertiefung auch die Festlegung einer grundeigentümerverbindliche Hydrologische Pufferzone postuliert werden, beispielsweise bei einer engen Verzahnung der Moorbiotope mit Nutzungsansprüchen mehrerer Beteiligter.

4.3.3 Die topographischen Einzugsgebiete der Moorkomplexe

Die topographischen Einzugsgebiete der Moorkomplexe sind Teil des Vorsorgeperimeter Hydrologie. Sie wurden regelbasiert in hydrologisch-funktional differenzierende Flächen-Typen gegliedert. Sie integrieren auch Fliessgewässer, die in geringem Abstand am Moorkomplex vorbeifliessen. Ihre Gewinnung wird in Kapitel 3.4 erläutert. Die Einzugsgebiete und ihre funktionale Gliederung in Teilflächen sind als Expertenprodukte zur Vorbereitung der ökohydrologischen Analyse konzipiert. Sie dienen als erste Annäherung der Wirkungszusammenhänge und können pro Moorkomplex oder synoptisch konsultiert werden. Bei den als Karstsenke markierten Teilflächen der topographischen Einzugsgebiete wird vermutet, dass diese Flächen in Schwinden entwässern und das anfallende Wasser der Biogeozönose (Moorkomplex) nicht zur Verfügung steht. Auch diese über geographische Analysen gewonnenen Befunde sollen im Rahmen der Ökohydrologischen Abklärungen überprüft und ggf. korrigiert werden.

Im Rahmen der Ökohydrologischen Untersuchung werden die Flächen-Typen im Wirkungsraum des Vorhabens präzisiert. Die präzisierte Gliederung kann als Grundlage für die Ausscheidung Hydrologischer Pufferzonen verwendet werden. Tabelle 11 erläutert die Flächen-Typen, ihre Eigenarten und die vorzusehende Handhabung. Die Handhabung gilt für die im Rahmen der Ökohydrologischen Abklärungen überprüften Teilflächen.

Tabelle 11: Die Flächen-Typen der Topographischen Einzugsgebiete

Typ	Eigenart, vorzusehende Handhabung
EM	**Liefergebiet Hangwasser** Aus dem Liefergebiet Hangwasser fliesst Wasser als Oberflächenabfluss oder Subsurface flow in den Moorkomplex. In diesen Flächen hat die Sicherung der natürlichen Hangwasserflüsse Priorität. Beeinträchtigungen der natürlichen Wasserflüsse (insbesondere Entwässerungen, Konzentration oder Verlagerung der Wasserflüsse) sind zu unterlassen und in der Regel nicht bewilligungsfähig. Von hochrangiger Bedeutung für den Wasserhaushalt der Moorbiotope sind allfällige Quellen und Hangwasseraustritte in diesen Flächen. Dem ungehinderten natürlichen Wasserfluss von den Quellen / Wasseraustritten in das Moorbiotop und dem Erhalt diffuser Wasserflüsse in den Moorkomplex ist bei allen Vorhaben absoluter Vorrang einzuräumen. Die Flächen EM sind Teil des Vorsorgeperimeters Hydrologie.
EBM	**Liefergebiet Bachwasser (ebenerdig)** Aus diesen Flächen strömt Bachwasser nahezu ebenerdig in den Wasserspeicher des Moorbiotops und sorgt bei perennierenden Bächen für eine kontinuierliche Wasserzufuhr in den Moorkörper. Der ebenerdige Wasserfluss von Bachwasser in das Moorbiotop ist sicherzustellen, ebenso der unbehinderte Wasserfluss in den Bach. Wasserentnahmen aus diesen Bächen sind zu unterlassen. Bei baulichen oder nutzungsbedingten Veränderungen in diesen Flächen ist sicherzustellen, dass diese keine Beschleunigung des Abflusses und keine Eintiefung der Bachsohle im Bereich des Moorkomplexes zu Folge haben. Den Bächen in Flächen des Typs EBM ist bei der Festlegung des Raumbedarfs der für eine eigendynamische Gewässerentwicklung benötigte Raum zu sichern. Sie sind bei Renaturierungen prioritär zu berücksichtigen. Die Flächen EBM sind Teil des Vorsorgeperimeters Hydrologie.
EBW	**Liefergebiet Bachwasser (eingetieft)** Aus diesen Flächen strömt Bachwasser in den Wasserspeicher des Moorbiotops und alimentiert /

Typ	Eigenart, vorzusehende Handhabung
	stabilisiert deren Grundwasserkörper. Der unbehinderte Wasserfluss in diese Bäche ist sicherzustellen und Wasserentnahmen aus diesen Bächen sind zu unterlassen. Bei baulichen oder nutzungsbedingten Veränderungen in diesen Flächen ist sicherzustellen, dass diese keine Beschleunigung des Abflusses und keine Eintiefung der Bachsohle im Bereich des Moorkomplexes zu Folge haben. Den Bächen in Flächen des Typs EBW ist bei der Festlegung des Raumbedarfs der für eine eigendynamische Gewässerentwicklung benötigte Raum zu sichern. Sie sind bei Renaturierungen prioritär zu berücksichtigen. Die Flächen EBW sind Teil des Vorsorgeperimeters Hydrologie.
EBE	**Einzugsgebiet Bachwasser erodierend** Ein durch den Moorkomplex oder randlich am Moorkomplex vorbeifliessender Bach gefährdet den Wasserspiegel im Moorbiotop durch Tiefenerosion. Bei baulichen oder nutzungsbedingten Veränderungen in diesen Flächen ist sicherzustellen, dass diese keine Beschleunigung des Abflusses und keine weitere Eintiefung der Bachsohle im Bereich des Moorkomplexes zu Folge haben. Die Flächen EBE sind Teil des Vorsorgeperimeters Hydrologie.

4.3.4 Der sensitive Saum

Der sensitive Saum ist Teil des Vorsorgeperimeter Hydrologie. Er wurde auf der Grundlage der mit Kapitel 3.7 dokumentierten Regeln berechnet und bezeichnet die gegenüber Drainage und Geländeveränderung sensitive Zone um jeden Moorkomplex.
Wenn bauliche Vorhaben den Bau von Drainagen, Geländeveränderungen oder die Versiegelungen bisher unbebauten Bodens beinhalten und den sensitiven Saum tangieren, ist in jedem Fall von einer relevanten Beeinträchtigung des Moorkomplexes auszugehen.

4.4 Die Ergebnisse in Zahlen

Tabelle 12: Kennzahlen

Gebiet	Fläche [km^2]	Anteil [%]
Kanton	5’959.5	100
Moorbiotope	67.5	1.1
Vorsorgeperimeter Hydrologie	543.3	9.1

5 Fazit

5.1 Ziel-Erreichung

Mit den Arbeiten der Phasen I und II wurden zu den inventarisierten Moorbiotopen des Kantons Bern die «hydrologischen Vorsorgeperimeter» auf der Grundlage schweizweit verfügbarer Grundlagendaten (swissALTI3D, swissTLM3D) automatisiert berechnet. Die für die Berechnung massgeblichen Regeln und Verfahren wurden in einem iterativen Prozess überprüft und verfeinert unter Einbezug von Moor-Expertise, GIS-Analytik und der Umsetzungserfahrung der Fachbehörde.

Mit den gewählten Ansätzen wird sichergestellt, dass die für die Wasserflüsse massgeblichen kleinräumigen topographischen Gegebenheiten auch über grosse Gebiete einheitlich beurteilt wurden und auf Hinweis-Stufe zu verlässlichen Ergebnissen führen. Mit dem spezifizierten Regel-Set können die im Verfahren «espace marais» verankerten Flächen-Typen reproduzierbar ausdifferenziert werden.

Für Karstgebiete und Senken wurde ein für die Hinweis-Stufe taugliches Konzept erarbeitet und in den Ergebnisdaten umgesetzt. Flächen mit vermuteten Karst-Entwässerungen sind mit dem gewählten Konzept im Ergebnismodell dokumentiert und können im Falle einer nachgelagerten Bestimmung von grundeigentümerverbindlichen hydrologischen Pufferzonen im erforderlichen Umfang abgeklärt werden.

Moor-Biogeozönosen, deren Wasserhaushalt von angrenzenden Seen oder von Grundwasserströmen bestimmt wird, wurden über GIS-Analysen identifiziert. Die zu diesen Moorkomplexen berechneten Einzugsgebiete und Vorsorgeperimeter wurden einzeln gutachterlich überprüft und auf jene Teil-Flächen reduziert, für die ein substanzieller Zustrom von Oberflächenwasser postuliert wird.

Die Berechnungsergebnisse wurden einer abschliessenden gutachterlichen Qualitäts-Sicherung unterzogen. Dabei wurden grosse Perimeter systematisch mit Moor-Expertise im Hinblick auf ihre Umsetzbarkeit überprüft und bei Bedarf adaptiert.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden die Moorkomplexe, Vorsorgeperimeter und Einzugsgebiete zu allen inventarisierten Moorbiotopen auf dem Hoheitsgebiet des Kantons Bern bestimmt. Damit wurden Grundlagen zur Unterstützung der Umsetzungsaufgaben im Bereich der für die Biotope erforderlichen Wasserressourcen erarbeitet, die nun integral für alle inventarisierten Flach- und Hochmoor-Biotope des Kantons Bern verfügbar sind.

5.2 Vorschläge zur planerischen Umsetzung

Der bestehende Sachplan Biodiversität verpflichtet Leitbehörden bereits zur Berücksichtigung der hydrologischen Verhältnisse im Bereich der Moorbiotope (Kapitel 2.1). Die Autoren schlagen vor, diesen Behördenauftrag im Sinne von Art. 4 und 5 der Flach- und Hochmoorverordnung weiter zu konkretisieren:

- indem im (aktualisierten) Sachplan auf die im Projekt zu allen Moorbiotopen erarbeiteten Vorsorgeperimeter Hydrologie als behördenverbindlich zu berücksichtigende Grundlage verwiesen wird,
- indem per Massnahmenblatt ein Prüfauftrag an die Leitbehörden formuliert wird, der darin besteht, im Rahmen der Berücksichtigung der hydrologischen Verhältnisse mögliche schutzzielwidrige Auswirkungen von Vorhaben frühzeitig zu erkennen und abzuwenden,
- indem die Behörde zur Erfüllung des Prüfauftrags, bei gegebener oder vermuteter Relevanz des Vorhabens, eine Ökohydrologische Untersuchung gemäss Verfahren «espace marais» verlangen kann, die auf den Wirkungsraum des Vorhabens fokussiert und die erwarteten Auswirkungen im erforderlichen Umfang vertieft und räumlich präzisiert.
- indem per Massnahmenblatt darauf hingewiesen wird, dass die Fachbehörde, im Sinne einer Massnahme zur Sicherung der vom Moorbiotop benötigten Wasserressourcen, auch die Festlegung einer grundeigentümerverbindlichen Hydrologischen Pufferzone anordnen kann.

5.3 Einführung der Verfahren und Instrumente

Eine Einführung des Instruments im Sinne des Konzepts «espace marais» und der Vorschläge zur planerischen Umsetzung (Kapitel 5.2) erfordert adressatengerechte Kommunikation und die Entwicklung und Dokumentation von «best practice». Dazu wird eine Arbeitshilfe zur Handhabung der Vorsorgeperimeter in verschiedenen Anwendungen der involvierten Behörden erarbeitet.

5.4 Nachführung

Die Inventare der Moorbiotope werden überarbeitet. Dabei können auch neue Objekte in die Inventare aufgenommen werden. Mit dem Management des Gebietswasserhaushalts von Moorbiotopen nach den Konzepten «espace marais» fallen als Ergebnis der Ökohydrologischen Analysen räumlich präzise Ergebnisse an, welche die berechneten Ergebnisse mit Hinweischarakter (Vorsorgeperimeter Hydrologie) mit grundeigentümerverbindlichen Befunden (Hydrologische

Pufferzone) ersetzen. Beides wirft Fragen zur Nachführung der involvierten Datensätze auf, die geklärt werden müssen.

5.5 Schlusswort

Der Prozess «espace marais» bündelt Lösungsansätze und Werkzeuge zur Stabilisierung und langfristigen Verbesserung der hydrologischen Rahmenbedingungen der Moorbiotope.

Aufbau und Entwicklung neuer praxistauglicher planerischer Lösungsansätze und Werkzeuge im Bereich des Naturschutzes erfordern eine enge Zusammenarbeit von Naturschutz-Fachstellen, Moor-Experten und Geodaten-Spezialisten. Die Förderung neuer planerischer Lösungsansätze setzt immer auch eine Trägerschaft voraus, die innovative und praxisorientierte Konzepte erkennt und bereit ist, diese zu unterstützen. So beteiligten sich 16 Partnerkantone an der Entwicklung des Konzepts «espace marais» (2014 - 2017).

Die Arbeiten der Phase I und II zur Gewinnung der «Vorsorgeperimeter Hydrologie» aller inventarisierten Moorbiotope des Kantons Bern konnten mit finanzieller Unterstützung der Wyss Academy for Nature at the University of Berne und des Bundesamts für Umwelt (BAFU) realisiert werden.

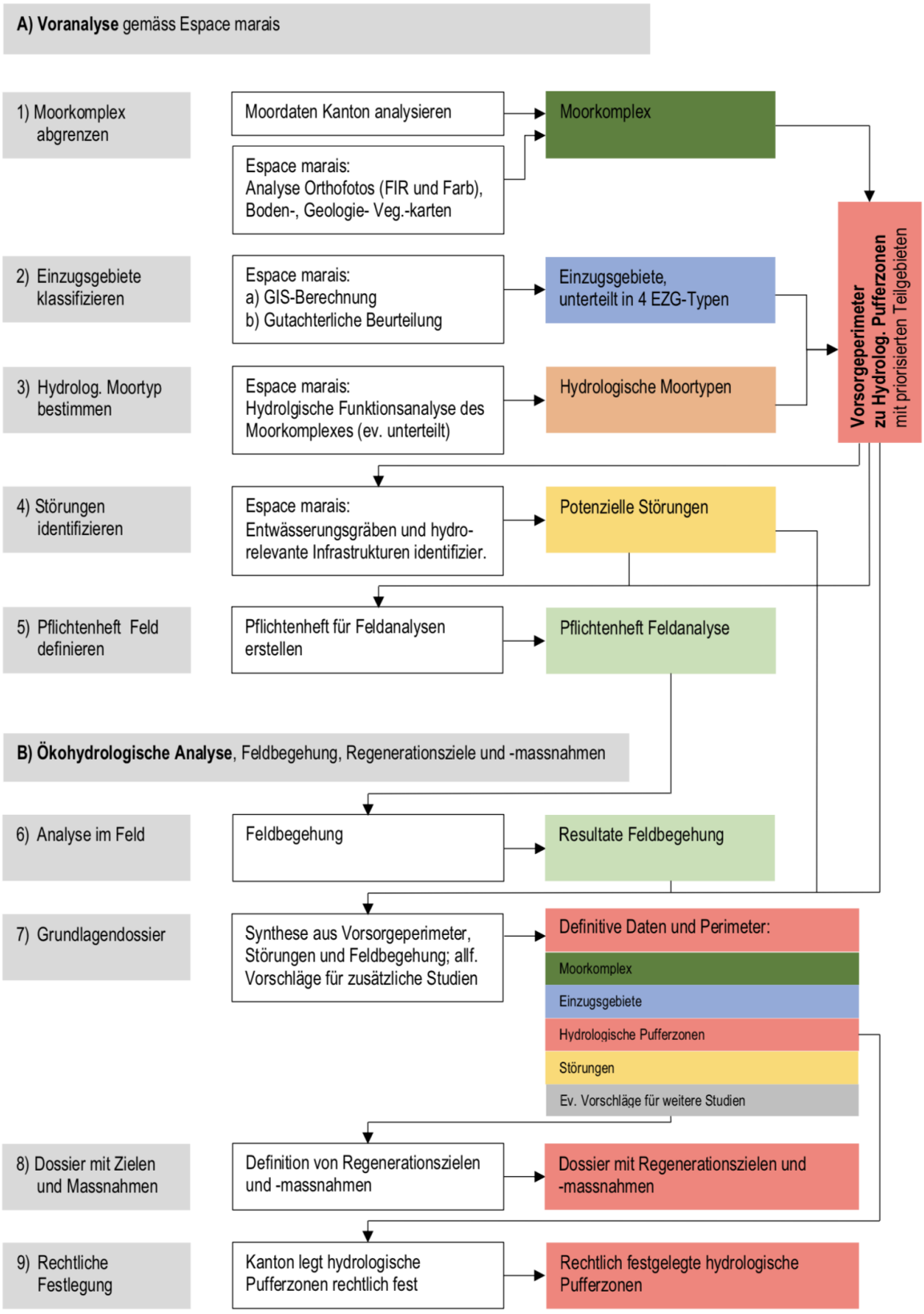
Allen an diesem Prozess beteiligten Institutionen und Personen gilt unser Dank.

Bern, 31. Mai 2023

Das Projekt-Team:

Ursin Caduff, Philippe Grosvernier, Peter Gsteiger, Martin Urech

Anhang A Der Workflow «espace marais»



Anhang B Kriterien «Sensitiver Saum»

5) Ourlet sensible (sa)

Entre 0 et 25m du CBM, arrêter le (sa) dès que :

- Dolines ou sous-sol dans lequel l'eau s'infiltre et n'alimente pas le CBM

Limite du (sa) à **25m** si :

- Pente raide (>4%) en aval entre 0 et 25m du CBM
- Cours d'eau entre 0 et 25m du CBM
- Crête entre 0 et 25m du CBM (au moins 50cm de dénivelé par rapport à CBM)
- Terrain monte, mais les flux n'atteignent pas le CBM entre 0 et 25m du CBM

Entre 25 et 50m du CBM, arrêter le (sa) dès que:

- Pente raide (>4%) en aval du CBM
- Cours d'eau
- Crête (au moins 50cm de dénivelé par rapport à CBM)
- Terrain monte, mais les flux n'atteignent pas le CBM
- Dolines ou sous-sol dans lequel l'eau s'infiltre et n'alimente pas le CBM.

Sinon **50m** de (sa) autour du CBM