



Drainagekarte Schweiz

Erstellung einer Karte potentiell drainierter Flächen in der Schweiz mittels «Machine Learning»

Autorin und Autor

Ulrike Koch und Volker Prasuhn



Impressum

Herausgeber	Agroscope Reckenholzstrasse 191 8046 Zürich www.agroscope.ch
Auskünfte	Volker Prasuhn, volker.prasuhn@agroscope.admin.ch
Layout	Jacqueline Gabriel
Titelbild	Volker Prasuhn
Copyright	© Agroscope 2020
Download	www.agroscope.ch/science
ISSN	2296-729X
DOI	https://doi.org/10.34776/as104g

Danksagung:

Für die fachliche Unterstützung im Projekt danken wir:

- Otto Daniel, Thomas Poiger (Agroscope Wädenswil)
- Erich Szerencsits (Agroscope Reckenholz)
- Urs Schönenberger (EAWAG)
- Tobias Doppler (VSA Plattform)

Begleitgruppe AP PSM Drainagen: Olivier Félix, Katja Knauer, Ueli Salvisberg, Jan Wäspe (BLW), Alexandre Gurba, Christian Leu, Nicole Munz, Fabian Soltermann (BAFU), Roy Kasteel (Agroscope Wädenswil), Mirco Plath (Agridea/HAFL), Christian Stamm (EAWAG)

Inhalt

Zusammenfassung	4
Summary	5
Résumé	6
1 Einleitung	7
2 Vorhandene Geodaten zu drainierten Flächen	12
2.1 Aktuelle Datenlage und geographischen Verbreitung von Drainagen	12
2.2 Art, Zustand und Alter der Drainagen	17
3 GIS-Analysen der vorhandenen Drainagedaten	18
3.1 Zusammenfassung und Aufbereitung der Geodaten	18
3.2 Zusammenhänge der drainierten Flächen mit ausgewählten Umweltparametern	19
3.2.1 Bodenwasserhaushaltsklassen aus Bodenkarte 1:5000 (Kanton Zürich)	19
3.2.2 Bodeneignungskarte 1:200 000 (BEK200)	22
3.2.3 Geologie (GeoCover Datensatz)	27
3.2.4 Hangneigung und Tallagen	29
4 Erstellen einer Karte zu potentiell drainierten Flächen mittels „Machine Learning“	30
4.1 Einleitung Machine Learning	30
4.2 Wahl der Methode und des Algorithmus	30
4.3 Datengrundlage für das Maschinelle Lernen	31
4.4 Grundmodell und Trainingsdatensätze (Modellregionen)	32
4.4.1 Grundmodell	32
4.4.2 Modellregionen	34
4.4.3 Vorhersagen für die Kantone/Regionen ohne Drainagedaten	35
4.4.4 Verifizierung und Kreuzvalidierung	37
4.5 Ergebnisse der ML-Rechnung	37
4.5.1 Gesamtkarte zum Drainagepotential Schweiz mit kontinuierlichen Werten	37
4.5.2 Beschreibung der Einzelmodelle und Karten anhand des Beispiels Aargau-Zürich (Model OST) ...	39
4.5.3 Klassifizierung	42
4.5.4 Analysen auf Pixelbasis	44
4.6 Klassifizierte Gesamtkarte Schweiz zum Drainagepotential	47
4.7 Vergleich der einzelnen Modelle bzw. Modellregionen und Datengenauigkeit	52
4.8 Plausibilisierung: Vergleich und Überlagerung mit Luftbildern	55
5 Diskussion der Resultate und Anwendung der Karten	60
6 Literaturverzeichnis	64
Anhänge zur Drainagepotentialkarte	66
Anhang 2: Zusammenstellung der Modellparameter	99
Anhang 3: R-Script zum Modell	103
Anhang 4: Drainagevorkommen in ausgewählten Einzugsgebieten (NAWA-SPEZ)	116

Zusammenfassung

Drainagekarte Schweiz – Erstellung einer Karte potentiell drainierter Flächen in der Schweiz mittels «Machine Learning»

Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft in die Oberflächengewässer der Schweiz stellen ein aktuelles Umweltproblem dar. Die Rolle von Drainagen hierbei ist noch weitgehend ungeklärt. Um die Bedeutung von Drainagen besser beurteilen zu können, ist die Kenntnis über deren räumlicher Verbreitung notwendig. Eine schweizweite Karte der drainierten Flächen soll eine Grundlage für zukünftige Forschungsprojekte, das Festlegen von neuen Versuchsgebieten und Probenahmestellen sowie als Hilfsmittel zur Massnahmenplanung dienen. Die Digitalisierung von Drainagedaten ist bei den meisten Kantonen noch in der Umsetzung und nur wenige Kantone bieten Daten zu drainierten Flächen über das Geoportal an. Da es hierzu auch noch kein einheitliches Geodatenmodell gibt, sind die verfügbaren Daten noch in unterschiedlicher Detailgenauigkeit und Vollständigkeit. Zumeist sind auch nur öffentlich finanzierte Drainagen verzeichnet. Um abschätzen zu können, wo sich in der Schweiz drainierte Flächen befinden, wurden mittels „Machine Learning“ (ML) Potentialflächen für die Entwässerung durch Drainagen ermittelt.

Zehn Kantone stellten Geodaten zu drainierten Flächen zur Verfügung. Diese dienten als Trainingsdatensätze der Kalibrierung der Modelle, und somit zur Vorhersage der Flächen, für die keine Informationen zu Drainagen vorlagen. Für die Modellierung wurde ein „Gradient Boosting Machine (gbm)“ Algorithmus mit 12 Parametern aus schweizweit vorhandenen Geodaten zu Standorteigenschaften auf regionalen Flächen trainiert. Eine Vorhersage zu Kantonen ohne Drainagedaten erfolgte über jeweils ein Modell aus den Daten eines oder mehrerer der umliegenden Kantone. Die Analyse von Geodaten zu drainierten Flächen und die Auswertung der ML-Modelle zeigt, dass Drainagen bevorzugt in Gebieten mit geringer Hangneigung und hohem Topographic Wetness Index (TWI) liegen. Zudem spielt die Gründigkeit des Bodens und der Bodentyp eine Rolle. So sind es vor allem Tallagen, die potentiell drainiert sind.

Rund 470 000 ha landwirtschaftlich genutzte Fläche haben gemäss den Modellierungen ein Potential für Drainagen, davon 240 000 ha (27 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche) ein geringes, 120 000 ha (13 %) ein mittleres und 110 000 ha (12 %) ein hohes Potential. Damit sind die modellierten Flächen mit einem Potential für Drainage erwartungsgemäss erheblich grösser, als die gemäss einer Umfrage bei den Kantonen durch das Bundesamt für Landwirtschaft erfassten drainierten Flächen (192 000 ha). Betrachtet man nur die Flächen, die ein mittleres oder hohes Drainagepotential aufweisen, d. h. die Flächen, welche mit grosser Wahrscheinlichkeit drainiert sind, ergeben sich rund 230 000 ha bzw. 25 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche.

Die Karten liefern einen nationalen Überblick über die mögliche bzw. wahrscheinliche Verbreitung von drainierten Flächen. Im Einzelfall müssen aber immer detaillierte Abklärungen im Feld, mit dem Bewirtschaftenden und/oder der Gemeinde bzw. dem Kanton durchgeführt werden.

Summary

Drainage Map for Switzerland – Creating a Map of Potentially Drained Land in Switzerland via Machine Learning

Plant-protection product (PPP) inputs from agriculture into Switzerland's surface waters are a current environmental issue. The role of tile drainage in this context is still largely unknown. To grasp the impact of drainage, knowledge of its spatial distribution is essential. A Swiss-wide map of the drained areas can be an important tool for future research projects and policy, i.e. for determining new sampling sites and planning mitigation measures. Digitalisation of drainage data is still in progress in most of the cantons, and only a few offer data on drained areas via the geoportal. Since there is still no standardised geodata model for this, the available data vary in their level of detail and completeness. Furthermore, the majority of the data is based exclusively on publicly funded drainage projects. The application of a Machine Learning (ML) algorithm allowed us to assess potentially drained areas in Switzerland.

Ten cantons provided geodata on drained land. These data served as training datasets for calibrating the models, and hence for predicting the land for which no information on drainage systems was available. For the modelling, a gradient-boosting machine (GBM) algorithm with 12 parameters from nationally available geodata sets on site properties was trained on regional areas. A prediction for cantons without drainage data was made via one model in each instance from the data of one or more of the surrounding cantons. The analysis of geodata on drained areas and the evaluation of the ML models show that drainage projects are carried out preferentially in areas with little slope and a high topographic wetness index (TWI). In addition, root penetration depth and soil type play a role. Thus, it is mainly plains in valley areas that are potentially drained.

According to the ML modelling, around 470,000 ha of agricultural land shows a potential of drainage, 240,000 ha (i.e. 27% of the agricultural land) of which shows a low, 120,000 ha (13%) a medium and 110,000 ha (12%) a high potential. As expected, therefore, the potential drained areas modelled are considerably larger than the drained areas recorded as per a survey of the cantons conducted by the Federal Office for Agriculture (192,000 ha). However, these results apply to the summarised area of 230,000 ha, or 25% of the agricultural land in our study with a high or medium potential of drainage.

The drainage maps provide a national overview of the possible or probable distribution of drained areas in Switzerland. In individual cases, however, detailed clarifications must always be carried out in the field with the farmer and/or the municipality or canton.

Résumé

Carte de drainage de la Suisse – Création d'une carte des surfaces potentiellement drainées en Suisse grâce au «Machine Learning»

Les apports de produits phytosanitaires issus de l'agriculture dans les eaux de surface suisses représentent un problème environnemental. Le rôle des systèmes de drainage dans ce contexte est encore largement inconnu. Afin de mieux évaluer l'importance des réseaux de drainage, il est nécessaire de connaître leur répartition dans l'espace. Une carte des zones drainées dans toute la Suisse doit servir de base pour les futurs projets de recherche, pour définir de nouveaux sites d'échantillonnage et pour planifier les mesures à prendre. La numérisation des données de drainage est encore en cours dans la plupart des cantons. Seuls quelques cantons proposent des données de drainage via leur géoportail. Comme il n'existe pas encore de modèle de géodonnées uniforme, le degré de détails et l'exhaustivité des données disponibles varient. Souvent, seuls les systèmes de drainage financés par des fonds publics sont répertoriés. Afin de pouvoir estimer le plus rapidement possible où se trouvent les zones drainées en Suisse, les surfaces potentiellement drainées ont été déterminées grâce à la technologie du *Machine Learning* (ML).

Dix cantons ont fourni des géodonnées sur les surfaces drainées. Ces séries de données ont servi à l'étalonnage des modèles, et donc à pronostiquer les surfaces pour lesquelles aucune information n'était disponible sur les drainages. Pour la modélisation, un algorithme GBM (*Gradient-Boosting-Machine*) avec 12 paramètres provenant de séries de géodonnées disponibles dans toute la Suisse sur les propriétés des sites a été développé sur des surfaces régionales. Le pronostic pour les cantons sans données de drainage a été établi en utilisant un modèle à partir des données d'un ou de plusieurs des cantons environnants. L'analyse des géodonnées sur les surfaces drainées et l'évaluation des modèles ML montrent que les drainages se retrouvent de préférence dans les zones à faible pente et à indice d'humidité topographique élevé (*Topographic Wetness Index TWI*). En outre, la profondeur et le type de sol jouent également un rôle. Ainsi, ce sont principalement les plaines dans les vallées qui sont potentiellement drainées.

Selon les modélisations, environ 470 000 ha de la surface agricole ont un potentiel de drainage, dont 240 000 ha (27 % de la surface agricole) ont un faible potentiel, 120 000 ha (13 %) un potentiel moyen et 110 000 ha (12 %) un potentiel élevé. Comme on pouvait s'y attendre, les surfaces drainées modélisées sont donc nettement plus importantes que les surfaces drainées (192 000 ha) relevées à l'issue d'une enquête de l'Office fédéral de l'agriculture dans les cantons. Si l'on considère uniquement les surfaces qui ont un potentiel de drainage moyen ou élevé, c'est-à-dire les surfaces qui sont très susceptibles d'être drainées, on obtient environ 230 000 ha, soit 25 % de la surface agricole.

Les cartes donnent un aperçu de la répartition possible ou probable des zones drainées sur l'ensemble du territoire. Toutefois, la situation doit toujours être clarifiée en détails sur le terrain, avec l'exploitant et/ou la commune ou le canton.

1 Einleitung

Drainagen werden in der Schweiz schon seit mehr als hundert Jahren zum Entwässern durch Staunässe und Grundwasser beeinträchtigter Landwirtschaftsflächen genutzt, sowie ehemals auch zum Torfabtrag und der Entwässerung von Mooregebieten. Durch die Entwässerung konnten neue landwirtschaftlich nutzbare Flächen gewonnen und die Erträge gesteigert werden (Gimmi et al., 2011; Seitz, 2013). Die Drainagen bestanden früher aus Gräben und Rinnen mit wasserdurchlässigem, natürlichem Füllmaterial; später kamen Ton-Rohre auf. Heutzutage bestehen Drainagen zumeist aus perforierten Kunststoffröhren (Abb. 1). Seitz (2013) gibt einen umfassenden Überblick über die historische Entwicklung des Drainagewesens in der Schweiz.

Eine Drainage verändert mit der Zeit massgeblich die Bodenstruktur, -chemie, -biologie und -qualität sowie den Wasserhaushalt der entsprechenden Fläche. Insbesondere durch die Durchlüftung von zuvor anaeroben Böden verändern sich die chemische Zusammensetzung und die Bodendichte. Drainierte Böden verdichten sich mit der Zeit soweit, dass die Bodenqualität und die Erträge wieder abnehmen können. Zudem senken sich die Böden durch die Verdichtung meist ab (Seitz, 2013, Zitate darin).

Natürliche Feuchtgebiete hingegen wirken als Wasserspeicher ausgleichend auf den Wasserhaushalt der Region und sind wichtig für die Biodiversität und den Erhalt von Ökosystemen. Deshalb zählen sie heute zu den besonders schützenswerten Flächen. Auen, Moore und Sümpfe sind gesondert und im Rahmen von ausgewiesenen Naturschutzgebieten geschützt. Auf die Neuverlegung von Drainagen in bisher nicht entwässertem Gelände wird heute daher weitgehend verzichtet. Allerdings sind drainierte, landwirtschaftlich genutzte Flächen aus früherer Zeit noch weit verbreitet. Viele Drainagesysteme sind alt und nicht mehr voll funktionsfähig. Vorhandene staatlich finanzierte Drainagen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen können zum Teil im Rahmen von Meliorationsmassnahmen ersetzt und wiederinstandgesetzt werden (www.swissmelio.ch), (z. B. Zollinger, 2006). Aus der 2008 durchgeführten Umfrage von Béguin und Smola (2010) geht hervor, dass *«das Wissen um die landwirtschaftlichen Drainagen in der Schweiz ungenügend und sehr unterschiedlich ist»*.

Drainagen, welche durch Meliorationsprogramme gefördert wurden, sind zumeist in öffentlichen oder gemeindeinternen analogen Plänen verzeichnet. Im Rahmen einer möglichen Erneuerung können sie so geprüft werden. Einige dieser Daten sind inzwischen auch als digitale Geodaten verfügbar.

Aktuell werden Drainagen auch als mögliche Eintragsquelle von Nähr- und Schadstoffen in Gewässer diskutiert. Die mit dem Stoffflussmodell MODIFFUS berechneten Stickstoff- und Phosphoreinträge aus diffusen Quellen in die Gewässer der Schweiz betragen 14 % beim Stickstoff und 6 % beim gelösten Phosphor (Hürdler et al., 2015). Auch im Einzugsgebiet des Baldeggersees wurde den Einleitungen über Drainagen eine grosse Bedeutung zur Phosphorbelastung des Sees beigemessen (Stoll et al., 2019). Mit dem Inkrafttreten des eidgenössischen Gewässerschutzgesetzes (GSchG, SR814.20, 2011) steht die Revitalisierung der Gewässer im Fokus diverser Massnahmen. Eine davon ist es, die chemische Gewässerqualität zu verbessern und hierbei vor allem diffuse Einträge zu verringern (Braun et al., 2015). Hierbei werden auch Drainagen im Zusammenhang mit dem Eintrag von Stoffen aus der Landwirtschaft, insbesondere PSM, diskutiert. Das GSchG und die dazugehörige Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201) legen die Grenzwerte für Stoffeinträge in Oberflächengewässer mit 0,1 µg/l und Einzelstoff für organische Pestizide (Biozide und Pflanzenschutzmittel) fest, soweit nicht abweichend geregelt. Für ausgewählte PSM wurde kürzlich der einheitliche Grenzwert von 0,1 µg/l durch einen differenzierten Wert ersetzt. Die Grenzwerte wurden vor allem in kleinen und mittelgrossen Gewässern häufig überschritten (Wittmer et al., 2014; Knauer, 2016; Doppler et al., 2017; Spycher et al., 2018, 2019).

In einer Studie des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) zeigte sich, dass insbesondere sehr kleine Fließgewässer stark belastet sind (Braun et. al., 2015). Viele dieser „Mikroverunreinigungen“ entstammen der Landwirtschaft und geraten durch diffuse Eintragswege in die Gewässer (Braun et. al., 2015). Drainagen entwässern zumeist direkt und ungefiltert in Oberflächengewässer und stellen somit Kurzschlüsse zum Gewässer dar (Abb. 1). So können die auf drainierten Agrarflächen aufgetragenen und ausgewaschenen PSM und ihre Metaboliten in die Oberflächengewässer gelangen (Prasuhn et al., 2018). Nur selten führen Drainagen in die Mischwasserkanalisation. Andererseits können Drainagen auf geneigten Flächen Oberflächenabfluss und Erosion und den damit verbundenen PSM-Transport in Oberflächengewässer reduzieren (Kobierska et al., 2020). Insbesondere auf Flächen mit hohem Grundwasserstand könnten PSM auch ins Grundwasser gelangen, wenn diese Flächen nicht drainiert wären. Entsprechend muss sorgfältig abgeklärt werden, welche Vor- und Nachteile eine Drainage mit sich bringt. PSM werden in der Landwirtschaft zum Schutz der Kulturpflanzen vor Schadorganismen (z. B. Insekten, Pilzen, Krankheitserregern) eingesetzt. Für andere Stoffe, die ebenfalls zu Mikroverunreinigungen in Gewässer führen (z. B. Medikamente, Hormone, natürliche Toxine) sind in der GSchV keine Anforderungen festgelegt.



Abbildung 1: Verschiedene Typen von Drainagerohren und Sammelleitungen (Fotos: V. Prasuhn).



Abbildung 1: Fortsetzung von S. 9.

Der Bundesrat hat am 6. September 2017 den *Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln* (Kurz *Aktionsplan Pflanzenschutzmittel bzw. AP PSM*) verabschiedet. Ziel des AP PSM ist es, Risiken zu mindern und Alternativen zum chemischen Pflanzenschutz zu fördern. Im Rahmen des AP PSM werden auch verschiedene Studien zum Thema PSM-Einträge in Gewässer durchgeführt. Unter Punkt 6.2.1.3 wird die *„Entwicklung von Strategien zur Reduktion der PSM-Einträge in Oberflächengewässer über Drainagen, die Entwässerung von Strassen und Wegen sowie über Schächte auf Parzellen“* gefordert. Die dort formulierte neue Massnahme bildet die Grundlage für das vorliegende Projekt: *„Neue Massnahme: Drainagen können ein wichtiger Eintragsweg in Oberflächengewässer sein. Für diese Einträge gibt es im PSM-Zulassungsverfahren aktuell keine praxistauglichen Anwendungsvorschriften, um dieses Risiko zu reduzieren. In Projekten sind Massnahmen zur Reduktion der Einträge über Drainagen und deren Effizienz zu bestimmen sowie die Bedeutung dieses Eintragswegs besser zu untersuchen. Somit werden die Grundlagen für die Verfügung von Massnahmen im Rahmen der PSM-Zulassung oder für die Umsetzung als gute landwirtschaftliche Praxis durch die Landwirtinnen und Landwirte geschaffen.“* *„Im Rahmen der Zulassung von PSM werden zurzeit Massnahmen zur Minimierung der Risiken im Zusammenhang mit Abdrift und Abschwemmung festgelegt, jedoch nicht für Drainagen und Einlaufschächte von Strassen. Die Bedeutung dieser Eintragswege muss genauer untersucht und wirksame Massnahmen müssen erforscht und entwickelt werden.“*

In einer kürzlich erschienenen Studie wurde der generelle Wissensstand zum Einfluss landwirtschaftlicher Drainagen auf den Wasserhaushalt, auf Nährstoffflüsse und den Schadstoffaustrag unter mitteleuropäischen Bedingungen zusammengestellt (Gramlich et al., 2018a, b). Weiterhin wurde eine Karte potentieller Feucht-(Acker-) Flächen in der Schweiz erstellt (Szerencsits et al., 2018). Basierend auf einer Literaturstudie wurde anschliessend von Kobierska et al. (2020a, b) ein konzeptionelles Modell erstellt, welches die wichtigsten Faktoren des PSM-Transportes über Drainagen aufzeigt. Die Autoren folgern, dass Drainagen hinsichtlich PSM-Einträge in die Oberflächengewässer der Schweiz relevant sein können. Es fehlt aber an einer schweizweiten Bestandsaufnahme und Verortung von Drainagen bzw. drainierten Flächen. In dieser Studie werden vorhandene Daten zu drainierten Flächen in der Schweiz mit modellierten Daten ergänzt und so eine schweizweite digitale Karte über Flächen mit Drainagen und potentiell drainierte Flächen erstellt. Die Karte „Potentiell drainierte Flächen in der Schweiz“ soll der Wissenschaft und Forschung als Instrument für weitere Studien zur Verfügung stehen, der Praxis und Beratung als Hilfsmittel dienen und einen Beitrag zur Zielerreichung des AP PSM leisten.

Ziele

- Erstellen einer schweizweiten digitalen Karte von Flächen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit drainiert sind.
- Darstellung der aktuellen Datenlage als GIS-Karte und in Tabellenform. Vergleich mit vorhergehenden Umfragen und Analysen. Die aktuelle Datenlage bildet die Grundlage für das Training und die Validierung eines Machine Learning (ML) Modells.
- Ergänzen der fehlenden Daten mit ML Analysen. Erstellen einer schweizweiten GIS-Karte mit modellierten Potentialflächen für drainierte Flächen. Diese Karte stellt die Grundlage für die weitere Risikoabschätzung von PSM-Einträgen über Drainagen dar.

2 Vorhandene Geodaten zu drainierten Flächen

2.1 Aktuelle Datenlage und geographischen Verbreitung von Drainagen

Bisher existiert keine schweizweite digitale Karte zur Verbreitung von Drainagen bzw. drainierten Flächen. Um das Risiko und die Relevanz von PSM-Einträgen via Drainagen in Oberflächengewässer bewerten zu können, ist es wichtig, abschätzen zu können, wie verbreitet Drainagen im Landwirtschaftsgebiet der Schweiz sind. Viele Drainagen wurden vor mehr als 50 Jahren verlegt, so dass die Lagepläne hierzu zumeist in Papierform bei den Gemeinden vorliegen. Im Zuge von Meliorationen und Erneuerungen wurde bisher zumindest ein Teil der Daten digitalisiert und kann so für GIS-Analysen verwendet werden. Die Digitalisierung der Drainagedaten schreitet weiter voran; unsere Studie zeigt den Datenstand von Anfang 2019 (Tab. 1).

Um die aktuelle Datenlage zu ermitteln, wurden die Geoportale und Geoshops der Kantone nach Daten zu drainierten Flächen bzw. Entwässerungsflächen sowie zu Plänen über Drainageleitungen und Schächte abgefragt. Kantone, die keine solchen Daten via Geoportal offerierten, wurden direkt angefragt. Ebenso wurden einzelne Referenzregionen mit eigenen Meliorationsprogrammen nach dem Datenstand gefragt, wie z. B. in der Rhein- oder Linthebene. Eine Grundlage war die Internet-Seite „Melioration Schweiz“ (www.suisse-melio.ch). Zusätzlich fand mehrfach ein Informationsaustausch mit dem BLW und der EAWAG statt.

Der Fokus lag auf verfügbaren Vektordaten. Eingescannte, georeferenzierte Lagepläne wurden nicht berücksichtigt, deren Vorhandensein aber tabellarisch aufgenommen. Für die weiterführende Modellierung waren Geodaten relevant, die gut weiterverarbeitet werden konnten. Ergänzende Daten zur Lage der Leitungen (Linien), zu Schächten (Punkte), Art der Drainage, sowie Alter und Erneuerung (Attribute) wurden, soweit vorhanden, ebenfalls aufgenommen, flossen aber nicht in die Modellierung ein.

Die kantonalen Daten sind von sehr unterschiedlicher Ausführung, Qualität, Vollständigkeit und Verfügbarkeit. So stellt der Kanton Neuenburg (NE) die Geodaten zur Entwässerung mit grossem Detailreichtum frei auf dem Geoportal zum Download bereit, während die Geodaten in den Kantonen Freiburg (FR) und Bern (BE) lediglich als Kategorie B (nicht öffentlich) eingestuft werden können und z. T. nur geschätzte Flächen darstellen. Die Art und Qualität der Geodaten beruht auch auf deren Verwendung im jeweiligen Kanton. Je nach Zuordnung gehören sie zum Leitungskataster (Linien), Meliorationskataster (Flächen, Linien) oder sind sie einer anderen Kategorie zugeordnet. So sind die verwendeten Flächendaten zum Teil gepufferte Linien und zum Teil von Papier-/Raster-Plänen abgezeichnete und digitalisierte Flächen.

Flächendaten mit unterschiedlicher Detailliertheit und Vollständigkeit standen zum Zeitpunkt der Studie von insgesamt 11 Kantonen (Aargau (AG), Zürich (ZH), Freiburg (FR), Bern (BE), Basel-Landschaft (BL), Basel-Stadt (BS), Schaffhausen (SH), Genf (GE), Neuenburg (NE), Solothurn (SO) und St. Gallen (SG)) zur Verfügung (Abb. 2). Die Geodaten zu den drainierten Flächen der Kantone Zürich, Basel-Landschaft und St. Gallen wurden in der gleichen Ausführung verwendet, wie sie in der Agroscope-Studie „Karte potenzieller Feucht-(Acker-)Flächen in der Schweiz“ eingesetzt wurden (Szerencsits et al., 2018). Ein Abgleich mit den aktuell verfügbaren Daten via Geoshop wurde für die Kantone Basel-Landschaft und Zürich durchgeführt. Deren Drainagedaten wurden schon von Szerencsits et al. (2018) verwendet, nachbearbeitet und aufbereitet. Insbesondere im Kanton ZH wurden dabei von den Autoren auch zusätzlich eingedolte Abflussröhren als gepufferte Linien hinzugefügt.

Die Kantone NE, AG und GE offerieren Daten zu drainierten Flächen, Leitungen und Schächten sowie der Landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) direkt zum Download oder via Antrag und Anmeldung über den kantonalen Geoshop. Diese Daten zeichnen sich durch grosse Detailgenauigkeit und zum Teil eine grosse Anzahl Zusatzinformationen aus. Insbesondere der Kanton NE bietet einen sehr ausführlichen Datensatz mit Entwässerungsflächen, Leitungen und Schächten verschiedener Kategorien, unterteilt in «Alt» und «Neu» und auch Angaben über rohrfreie «Maulwurfsdrainagen» («Sous-soulage»).

Die Daten des Kantons SH sind nach Angaben der kantonalen Stelle noch unvollständig. Sie bestehen aus gepufferten Linien und decken vor allem das westliche Kantonsgebiet ab. In diesem Gebiet kann davon ausgegangen werden, dass sie vollständig sind.

Der Kanton SO hat eine eigene, nicht öffentliche GIS-Applikation über Drainagen im Aufbau. Verfügbar sind flächendeckend georeferenzierte Rasterkartenblätter (293 Stück) und bisher nur einige Vektordaten. Die gescannten Papier-Pläne flossen aufgrund des ungünstigen Formates aber nicht in die vorliegende Untersuchung mit ein. Der GIS-Layer auf Vektor-Basis ist im Aufbau, hier sind bisher nur sehr wenige Daten verfügbar. Die verfügbaren Daten können beim Kanton beantragt werden; es handelt sich hierbei um digitalisierte Leitungslinien.

Die kantonalen Stellen von BS, FR und BE stellten Datensätze auf Anfrage zur Verfügung; diese sind nicht öffentlich.

Keine Geo-Datensätze zu Drainagen gab es von den Kantonen Appenzell Innerrhoden (AI), Appenzell Ausserrhoden (AR), Graubünden (GR, ausser Rheinebene), Glarus (GL), Jura (JU), Luzern (LU), Nidwalden (NW), Obwalden (OW), Schwyz (SZ), Tessin (TI), Thurgau (TG), Uri (UR), Wallis (VS), Waadt (VD) und Zug (ZG).

Tabelle 1: Kantonale Geodaten zu Drainagen und Entwässerungsflächen (Stand März 2019).

Kanton	Vektor	Raster	Flächen	Linien/ Röhren	Punkte/ Schächte	Flächen- deckend	Herkunft	Verfügbarkeit
AG	x		x	Teilgebiet (Hallwiler See)	Teilgebiet (Hallwiler See)	ja (soweit bekannt)	Geoshop	auf Bestellung
AI								keine Daten
AR								keine Daten
BL	x		x			ja	Geoshop	auf Bestellung
BS	x		x			nein	Kantonale Stelle	auf Anfrage
BE	x		x			ja	Kantonale Stelle	auf Anfrage
FR	x		x			ja	Kantonale Stelle	auf Anfrage
GE	x		x			ja	Geoshop	auf Bestellung
GL								unbekannt
GR							Rheinmelioration	teilweise
JU								keine Daten
LU								unbekannt
NE	x		x	x	x	ja	Geoshop	auf Bestellung
NW								unbekannt
OW								unbekannt
SH	x		x	(x)		nein	Kantonale Stelle	auf Anfrage
SZ								unbekannt
SG	x		x	(x)	(x)	ja	Kantonale Stelle Rheinmelioration	auf Anfrage
SO	(x)	x		(x)	(x)	ja	Kantonale Stelle	auf Anfrage
TI								unbekannt
TG								Gemeinden
UR								unbekannt
VS								Gemeinden
VD								Gemeinden
ZG								keine Daten
ZH	x		x	(x)	(x)	ja	Kantonale Stelle, Agroscope	auf Bestellung

(x) = nicht vollständig

Die verfügbaren Geodaten der Kantone wurden mit den Angaben aus der Umfrage des BLW (Béguin und Smola, 2010), sowie den Berechnungen der MODIFFUS-Studie (Hürdler et al., 2015) verglichen (Tab. 2).

Die kantonalen Daten lagen zumeist als Einzelpolygone (Einzelflächen) vor, häufig mit zusätzlichen, für die kantonale Verwaltung nützliche Angaben. Im Kanton Bern gab es zwei verschiedene Arten der Digitalisierung mit sehr unterschiedlicher Detailgenauigkeit und für einen Teil der Flächen gab es Überschneidungen. Für die weitere Verarbeitung wurden alle kantonalen Daten, jeweils per Geoverarbeitung, zu einem kantonalen Gesamtdatensatz (Polygon) zusammengefasst und so vereinheitlicht. Dadurch konnten auch Topologiefehler wie Überlagerungen und Überschneidungen von Polygonen herausgerechnet werden. Für den Kanton Zürich wurde ein Datensatz verwendet, bei dem die eingedolten Gewässer weitgehend ausgespart wurden, da diese zumeist nicht in der landwirtschaftlich genutzten Fläche (LWF) liegen und in diesem Sinne keine echte Drainage darstellen. Der verwendete GIS-Datensatz ist somit etwas kleiner als die Summe der Einzelflächen. Insgesamt lagen so für eine Gesamtfläche von 92 959 ha digitale Angaben zu drainierten Flächen vor (Tab. 2, Abb. 2).

Die vorhandenen Daten der drainierten Flächen sind mit Unsicherheiten und Fehlern behaftet und spiegeln somit die Realität auch nur bedingt wider. Die Gründe hierfür liegen einerseits in der Lageungenauigkeit der kantonalen drainierten Flächen. Bei einigen Kantonen wie Bern wurden z. T. grosse zusammenhängende Polygone als drainierte Flächen ausgeschieden, inklusive Strassen, Wege, Gewässer und andere Infrastruktureinrichtungen, so dass die drainierte Fläche überschätzt wird. Bei anderen (z. B. Schaffhausen) wurden die Drainagerohre digital «gepuffert», so dass die tatsächlich entwässerte Fläche nicht dargestellt wird. Weiterhin wurden als drainiert ausgeschiedene Flächen inzwischen überbaut, oder sind aus anderen Gründen inzwischen nicht mehr LWF (z. B. Naturschutzgebiete, Golfplätze etc.). Einige Beispiele für diese Lageungenauigkeiten und Nutzungsänderungen findet sich im Kapitel «Plausibilisierung». So können die durch Drainage entwässerten Flächen entweder zu klein oder zu gross dargestellt worden sein, auch, da das Festlegen der durch eine Drainage tatsächlich entwässerten Fläche nicht einfach ist. Zum anderen wurden häufig nur subventionierte Drainagen erfasst, privat erstellte Drainagen blieben unberücksichtigt bzw. sind unbekannt.

Landwirtschaftlich genutzte Fläche (LWF) und Landwirtschaftliche Nutzfläche (LN):

Der BLW-Umfrage von 2008 wurde die LN des BFS von 2007 zugrunde gelegt. Für die vorliegende Studie wurde anstatt der LN die landwirtschaftlich genutzte Fläche (LWF) nach der Feldblockkarte von Bircher et al. (2019) verwendet, da kein Gesamtdatensatz zur LN in Geodaten zur Verfügung stand (siehe Kapitel 2).

Tabelle 2: Geodaten (Vektordaten) der Kantone zu drainierten Flächen im Vergleich mit früheren Studien.

Kanton		Geo-Daten Drainierte Flächen, 2018 (ha)	Angaben BLW Umfrage 2008 (ha)	MODIFFUS Studie (ha)	LN (ha) (BFS, 2007)	Drainierte Fläche (BLW)/ LN (%)
AG	Aargau	13 285	12 000	12 212	62 091	19
AI	Appenzell Innerrhoden			515	7 133	
AR	Appenzell Ausserrhoden		3 000	1 483	12 048	25
BL	Basel-Landschaft	2 901	4 700	4 913	21 782	22
BS	Basel-Stadt	48		34	414	
BE	Bern	24 631	30 000	33 893	190 990	16
FR	Freiburg	15 010	16 000	19 929	76 620	21
GE	Genf	4 893	4 800	4 928	11 463	42
GL	Glarus		740	748	6 971	11
GR	Graubünden		1 715	44	54 128	3
JU	Jura		2 738	2 665	40 281	7
LU	Luzern		4 800	6 053	78 324	6
NE	Neuenburg	5 384	5 600	5 714	33 468	17
NW	Nidwalden		462	504	6 152	8
OW	Obwalden		466	545	7 871	6
SH	Schaffhausen	1 200	1 170	1 422	15 525	8
SZ	Schwyz		3 900	4 299	24 629	16
SG	St. Gallen	6 576	14 000	14 797	73 064	19
SO	Solothurn		7 000	6 610	32 864	21
TI	Tessin		500	721	14 038	4
TG	Thurgau		12 000	10 925	50 576	24
UR	Uri		270	247	6 888	4
VS	Wallis		4 000	3 061	38 123	11
VD	Waadtland		43 649	42 679	109 570	40
ZG	Zug		1 495	1 958	10 821	14
ZH	Zürich	19 030	17 226	19 671	74 445	23
CH	Schweiz	92 959	192 231	200 570	1 060 279	18

LN = Landwirtschaftliche Nutzfläche (BFS 2007), Grundlage für die BLW Studie

Geodaten: Fläche des vereinheitlichten Datensatzes (Gesamtfläche als ein Polygon), siehe Text.

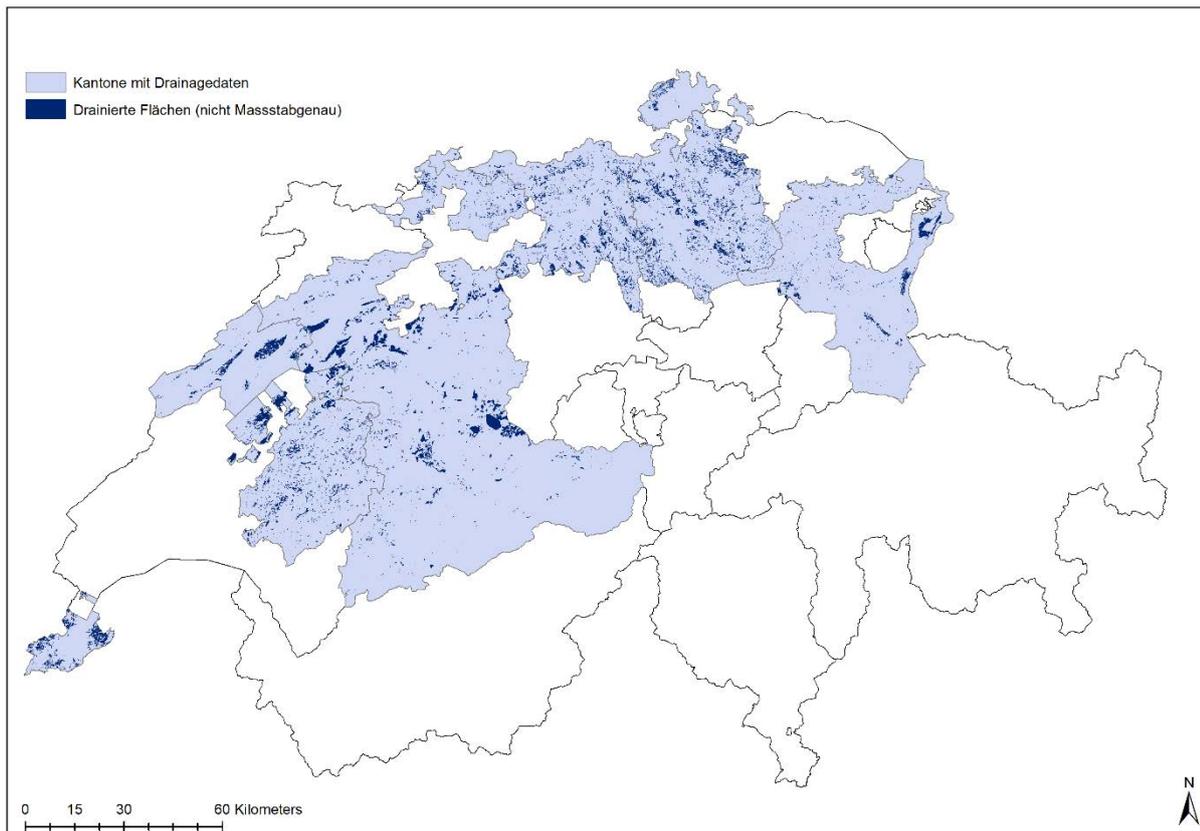


Abbildung 2: Kantonale Daten zu drainierten Flächen. Die Karte stellt (hellblau) die Kantone dar, von denen digitale Daten zu Drainagen zur Verfügung standen. Die Fläche der Drainagen (dunkelblau) ist nicht massstabsgetreu und dient lediglich als Hinweis auf Gebiete mit vielen Drainagen.

Für die Kantone AG, GE, NE, BE und FR sind Flächenangaben der aktuellen GIS-Daten zur drainierten Fläche sehr nahe an den Werten der BLW-Umfrage von 2008 (Béguin und Smola, 2010). Bemerkenswert sind die kantonalen Unterschiede im Anteil an Landwirtschaftlicher Nutzfläche (LN) und drainierten Flächen. Im Kanton VD und GE sind nach kantonalen Angaben ca. 40 % der LN drainiert, während in LU, NW, OW und JU nur 6–8 % der LN entwässert werden. Die geringsten Anteile drainierter LN befinden sich in GR, UR und TI. Hier spiegeln sich die Besonderheiten in der Topographie, geographischer Lage und Bodennutzung wider. Im Mittel sind über die Schweiz gemäss den Daten der BLW-Umfrage 18 % der LN drainiert. 70 % dieser drainierten Fläche sind Fruchtfolgeflächen (FFF) und 30 % der FFF sind drainiert (Béguin und Smola, 2010).

Die kantonale Stelle in SH gab auf Anfrage an, dass ca. 20 % ihrer LN drainiert seien. In den GIS-Daten ist aber zu sehen, dass sich die gelieferten Geodaten nur im nordwestlichen Teil befinden. Die bisher digitalisierte Fläche im Kanton SH ist bereits so gross, wie die gesamte Fläche, die in der BLW-Studie angegeben wurde. So kann davon ausgegangen werden, dass die tatsächlich drainierte Fläche 2008 unterschätzt wurde. Im Kanton BS sind Entwässerungsflächen - auch Drainageflächen der Landwirtschaft - im Generellen Entwässerungsplan (GEP) erfasst, und nicht im Meliorationskataster. Da die LN im Stadt-Kanton sehr klein ist, sind auch die drainierten Flächen im Vergleich recht klein. Dennoch ist hier zu beachten, dass drainierte Flächen zum Teil in Hang- und Hügellagen zu finden sind, und dass die Wege der Entwässerung in die Oberflächengewässer und die Kanalisation relativ gut nachzuvollziehen sind. Im Kanton SG ist der verfügbare digitale Datensatz vermutlich unvollständig, wie der Vergleich mit den Daten der BLW-Umfrage nahelegt. Die BLW-Umfragedaten bilden auch die Grundlage für Daten in der Studie von Hürdler et al. (2015). Hier wurden die drainierten Flächen im GIS auf die LN unter Berücksichtigung von Bodeneigenschaften,

Hangneigung und Landnutzung verteilt. Zusätzlich wurden Flächen ehemaliger Feuchtgebiete aus der Siegfriedkarte als drainierte Flächen integriert.

2.2 Art, Zustand und Alter der Drainagen

Bei vielen drainierten Flächen ist es fraglich, ob die Drainage noch funktioniert. Stabilität und Sackung des Terrains können die Funktionsfähigkeit eines Drainagesystems beeinträchtigen. Leider existieren nur sehr wenige Angaben zum tatsächlichen Zustand der Drainagen und deren Alter. Lediglich aus den Daten des Kantons NE ist flächendeckend zu ersehen, ob es sich um neue oder alte Drainagen handelt; zudem werden rohrfreie Maulwurfsdrainagen (Sous-soulage) gesondert aufgezeigt. Hier sind auch Angaben zu Grösse (Rohrumfang) in Form von „Haupt- und Nebenleitungen“ verschiedener Grade angegeben. Gut dokumentiert sind zudem die Rheinebene, die Linthebene und Gebiete, in denen in neuerer Zeit Drainagen ersetzt, erneuert oder entfernt wurden. Diese Angaben können zum Teil bei den zuständigen Stellen erfragt werden, sind aber nicht in Geodatenbanken verzeichnet. Da der Fokus dieses Projektes auf den schweizweiten Daten und der Erstellung einer Karte lag, wurde hierzu keine spezielle Umfrage gemacht. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass bei vielen Gemeinden digitalisierte Rasterpläne oder zumindest Papierpläne mit solchen Angaben vorhanden sind. Der Kanton SO übernahm alle 291 Rasterpläne digitalisiert in sein Geoportal. Ebenso sind in den Kantonen BE und ZH zusätzlich zu den Vektordaten im Geoportal digitalisierte Rasterpläne vorhanden.

3 GIS-Analysen der vorhandenen Drainagedaten

3.1 Zusammenfassung und Aufbereitung der Geodaten

Zur weiteren Verarbeitung wurden alle Geodaten aufbereitet, harmonisiert und in ArcGIS-Projekten zusammengefasst.

Datenformate:

Alle Vektor-Geodaten wurden zunächst als ESRI-Shape Files aufgenommen. Soweit sie nicht in diesem Format verfügbar waren, wurden sie in dieses überführt. Rasterdaten wurden als ESRI «.adf» oder als GeoTIFF gespeichert. Das ESRI «.adf» -Format hat den Vorteil, dass es von den Programmen für das ML erkannt wird und direkt angesprochen werden kann, während die TIFF-Dateien immer als solche gekennzeichnet werden müssen. Daher wurde hauptsächlich im ESRI Format gearbeitet.

Koordinatensystem:

Als Koordinatensystem für die Studie wurde CH 1903+ LV95 verwendet. Vektor- und Raster-Daten, die noch in 1903 LV03 erstellt waren, wurden mittels NTV2 Transformation in CH 1903+ LV95 überführt.

Verwendete Geodaten für die GIS-Analyse waren

- Drainagedaten
- Bodeneinungsdaten (BEK 200)
- GeoCover-Daten

Drainagedaten:

Drainagedaten standen wie im vorherigen Kapitel beschrieben von 10 Kantonen zur Verfügung. Diese Daten wurden zusammengefasst und harmonisiert. In die GIS-Analyse gingen sie als Vektordatensatz ein.

Bodenkarten:

Detaillierte Bodenkarten in der Auflösung von 1:25 000 oder 1:5000 standen nur vereinzelt als Blattschnitte zu Verfügung, lediglich für den Kanton ZH flächendeckend, für die Kantone BE und AG mit Teilflächen. Der Kanton TG bietet einen Datensatz mit Bodendaten im Format 1:50 000 an.

Da kein schweizweiter Datensatz mit detaillierten Bodendaten inklusive Bodenwasserhaushaltsklassen zur Verfügung stand, wurde die schweizweite Bodeneignungskarte (BEK) im Massstab 1:200 000 für die meisten Analysen verwendet. Die BEK200 gibt Informationen zu Bodeneigenschaften wie „Vernässung“, „Gründigkeit“, „Wasserspeichervermögen“, „Skelettgehalt“ und „Wasserdurchlässigkeit“ (siehe auch Kapitel 3).

Landwirtschaftlich genutzte Fläche (LWF):

Es existiert in der Schweiz kein digitaler Geo-Datensatz zur Landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN). Daher wurde ein Datensatz zur «landwirtschaftlich genutzten Fläche (LWF)» über die Feldblockkarte bestimmt, welcher mit der Ausdehnung des Datensatzes aus dem Projekt «Erosionsrisikokarte Schweiz» (Bircher et al., 2019) übereinstimmt. Datengrundlage bildet das topographische Landschaftsmodell TLM3D Version 1.3 (Swisstopo, 2015). Die Bergregionen (Bergzonen 3 und 4 und Sömmerungsgebiet), welche für Drainagen nicht relevant sind, blieben unberücksichtigt. Zusätzlich wurde der Datensatz für die Modellierung auf ein Raster von 25 m x 25 m überführt. Daher ist der Datensatz der verwendeten LWF mit 905 808 ha kleiner als die vom BLW/BFS beschriebene LN mit 1 060 279 ha (Tab. 2).

Geologie:

Es wurde der öffentliche Datensatz «GeoCover» verwendet, der auch Angaben zu rezenten und ehemaligen Feuchtgebieten, drainierten Flächen, Mooren sowie Alluvial- und Fluvialflächen beinhaltet. Der Gesamtdatensatz ist sehr gross und enthält flächendeckend Informationen zu Geologie und Bodenbedeckung. Für die Analyse wurde der Datensatz mit den Drainageflächen verschnitten, um Informationen zu erhalten, welche Kategorien sich häufig unter den Drainageflächen befinden.

3.2 Zusammenhänge der drainierten Flächen mit ausgewählten Umweltparametern

Es wurde jeweils analysiert, welche Attribute der Datensätze Bodenkarten (BK, Bodenwasserhaushaltsklassen (WHK)), Bodeneignungskarte (BEK200) und GeoCover (GeoC) unter den drainierten Flächen zu finden sind. Hierzu wurde der Datensatz der vorhandenen Drainagen verwendet und über den Gesamtdatensatz gelegt. Mittels ArcGIS-Flächenanalyse wurden die Flächen unter den jeweiligen Attributen aufsummiert. Für den Kanton ZH wurden zudem die Bodenwasserhaushaltsklassen untersucht, da hier die entsprechenden Bodenkarten flächendeckend in höherer Auflösung und Drainagedaten vorhanden waren.

3.2.1 Bodenwasserhaushaltsklassen aus Bodenkarte 1:5000 (Kanton Zürich)

Für den Kanton ZH lagen Bodenkarten im Massstab 1:5000 mit Angaben zu den Bodenwasserhaushaltsklassen (WHK) für die gesamte LN vor. Hier konnten die gesamten Drainagedaten auf die darunterliegenden WHK analysiert werden. Nur drainierte Flächen innerhalb der LWF wurden in die Analyse miteinbezogen. Von den 76 064 ha LWF sind nach kantonalen Angaben 19 030 ha drainiert (Tab. 2). Für 15 544 ha (= 77 %) davon lagen Bodeninformationen vor (Tab. 3). Ca. 18 % der drainierten Flächen lagen im Kanton ZH ausserhalb der LWF.

In Tabelle 3 und in den Abbildungen 3 und 4 sind die Verteilung der LWF und der drainierten Flächen auf die Bodenwasserhaushaltsklassen (WHK) der Bodenkarte 1:5000 im Kt. Zürich dargestellt. Die *grund- und hangnassen Böden* (WHK s-z) sind prozentual am häufigsten drainiert. 50 % dieser Böden wurden als drainiert klassiert. Hierbei handelt es sich überwiegend um Buntgleye, Fahlgleye, Halbmoore und Braunerdegleye. Die relativ seltenen, *meist bis zur Oberfläche gesättigten Böden* (WHK y) und *dauernd überschwemmten Böden* (WHK z), sind auch nur zu einem kleinen Anteil drainiert. Hierbei handelt es sich vermutlich vor allem um Streuwiesen. Wären diese Böden drainiert, wären sie nicht *meist oder dauernd überschwemmt*. Von den drainierten Flächen insgesamt machen *die grund- und hangnassen Böden* nur 35 % aus. Die *staunassen Böden* (WHK o-r) - meist Braunerde-Pseudogleye oder Pseudogleye - machen insgesamt nur 2 % der Böden der LN aus. Rund 20 % dieser Flächen sind drainiert. Von der gesamten drainierten Fläche sind nur 2 % aller Böden staunasse Böden. Staunasse Böden spielen im Kanton ZH somit insgesamt nur eine untergeordnete Rolle. Die Gruppe der *senkrecht durchwaschenen Böden* (WHK a-n) – meist Braunerden oder Parabraunerden sowie Rendzina und Ranker, teilweise pseudogleyig oder gleyig – macht 84 % der Böden der LN im Kt. Zürich aus. Es dominieren hier die eher tiefgründigen Böden (WHK a, b, c, k, l). Im Mittel aller senkrecht durchwaschenen Böden sind 14 % drainiert. Da diese Böden aber sehr verbreitet sind, machen sie 35 % der drainierten Fläche aus. Dadurch erklärt sich, dass rund 25 % aller drainierten Flächen der WHK b (senkrecht durchwaschen, tiefgründig) entspricht. Dies sind in der Regel auch die besten Ackerböden.

Tabelle 3: Verteilung der landwirtschaftlich genutzten Flächen und der drainierten Flächen auf die Bodenwasserhaushaltsklassen (WHK) der Bodenkarte 1:5000 im Kt. Zürich.

WHK	Summe drainiert (LWF)(ha)	Summe gesamt LWF (ha)	Anteil (%) drainiert	Anteil (%) gesamt LWF	Boden-Klasse	Durchlässigkeit	Gründigkeit
a	497	3386	3,2	4,5	senkrecht durchwaschen	normal durchlässig	sehr tiefgründig
b	3936	25220	25,3	33,2	senkrecht durchwaschen	normal durchlässig	tiefgründig
c	1120	11066	7,2	14,5	senkrecht durchwaschen	normal durchlässig	mässig tiefgründig
d	563	6316	3,6	8,3	senkrecht durchwaschen	normal durchlässig	ziemlich flachgründig
e	49	748	0,3	1,0	senkrecht durchwaschen	normal durchlässig	sehr flachgründig
f	489	2915	3,1	3,8	senkrecht durchwaschen	stauwasserbeeinflusst	tiefgründig
g	563	3903	3,6	5,1	senkrecht durchwaschen	stauwasserbeeinflusst	mässig tiefgründig
h	70	758	0,5	1,0	senkrecht durchwaschen	stauwasserbeeinflusst	ziemlich flachgründig
i	6	94	0,0	0,1	senkrecht durchwaschen	stauwasserbeeinflusst	sehr flachgründig
k	1461	5427	9,4	7,1	senkrecht durchwaschen	grund- und hangwasserbeeinflusst	tiefgründig
l	887	3383	5,7	4,4	senkrecht durchwaschen	grund- und hangwasserbeeinflusst	mässig tiefgründig
m	104	324	0,7	0,4	senkrecht durchwaschen	grund- und hangwasserbeeinflusst	ziemlich flachgründig
n	0	1	0,0	0,0	senkrecht durchwaschen	grund- und hangwasserbeeinflusst	sehr flachgründig
Summe a-n	9747	63540	15,3		senkrecht durchwaschen		
o	216	937	1,4	1,2	Stauwasser geprägt	selten bis zur Oberfläche porengesättigt	mässig tiefgründig, tiefgründig
p	78	405	0,5	0,5	Stauwasser geprägt	selten bis zur Oberfläche porengesättigt	ziemlich flachgründig, flachgründig
q	80	295	0,5	0,4	Stauwasser geprägt	häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	ziemlich flachgründig
r	3	39	0,0	0,1	Stauwasser geprägt	häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	sehr flachgründig
Summe o-r	377	1676	22,5		Stauwasser geprägt		
s	62	151	0,4	0,2	Grund- und Hangwasser geprägt	selten bis zur Oberfläche porengesättigt	tiefgründig
t	2705	5290	17,4	7,0	Grund- und Hangwasser geprägt	selten bis zur Oberfläche porengesättigt	mässig tiefgründig
u	875	1354	5,6	1,8	Grund- und Hangwasser geprägt	selten bis zur Oberfläche porengesättigt	ziemlich flachgründig, flachgründig
v	475	885	3,1	1,2	Grund- und Hangwasser geprägt	oft bis zur Oberfläche porengesättigt	mässig tiefgründig
w	1134	2314	7,3	3,0	Grund- und Hangwasser geprägt	oft bis zur Oberfläche porengesättigt	ziemlich flachgründig
x	120	348	0,8	0,5	Grund- und Hangwasser geprägt	meist bis zur Oberfläche porengesättigt	ziemlich flachgründig
y	44	376	0,3	0,5	Grund- und Hangwasser geprägt	meist bis zur Oberfläche porengesättigt	sehr flachgründig
z	5	129	0,0	0,2	Grund- und Hangwasser geprägt	dauernd bis zur Oberfläche porengesättigt	sehr flachgründig
Summe s-z	5420	10848	50,0		Grund- und Hangwasser geprägt		
Gesamt	15544	76064	20,4				

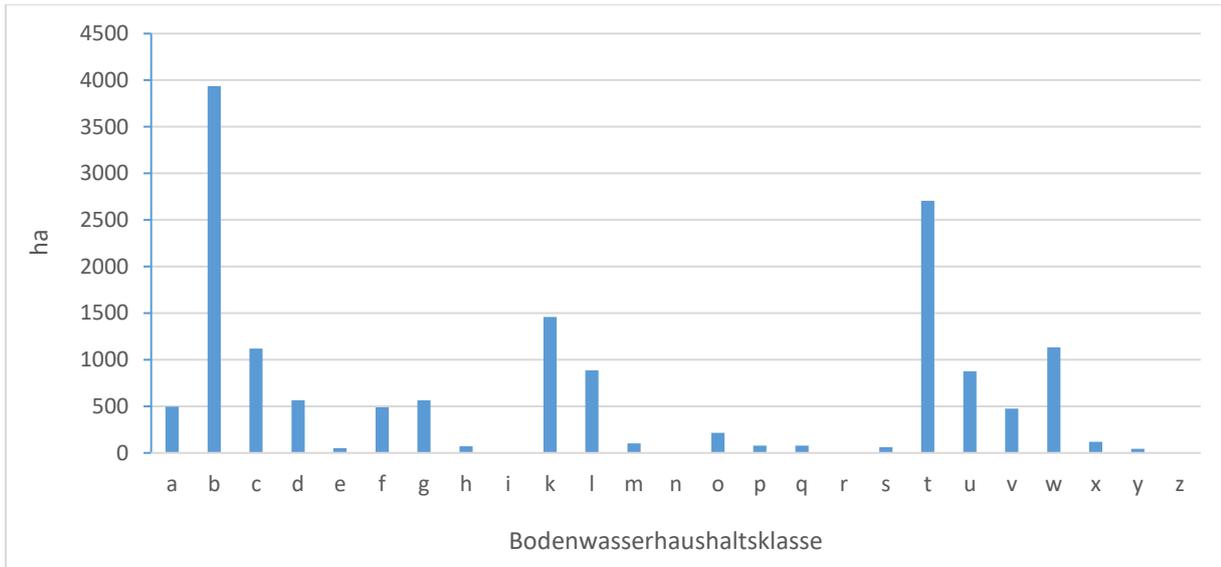


Abbildung 3: Flächensummen (ha) für die Bodenwasserhaushaltsklassen (WHK) unter drainierten Flächen im Kanton Zürich. Nummern der WHK siehe Tabelle 3.

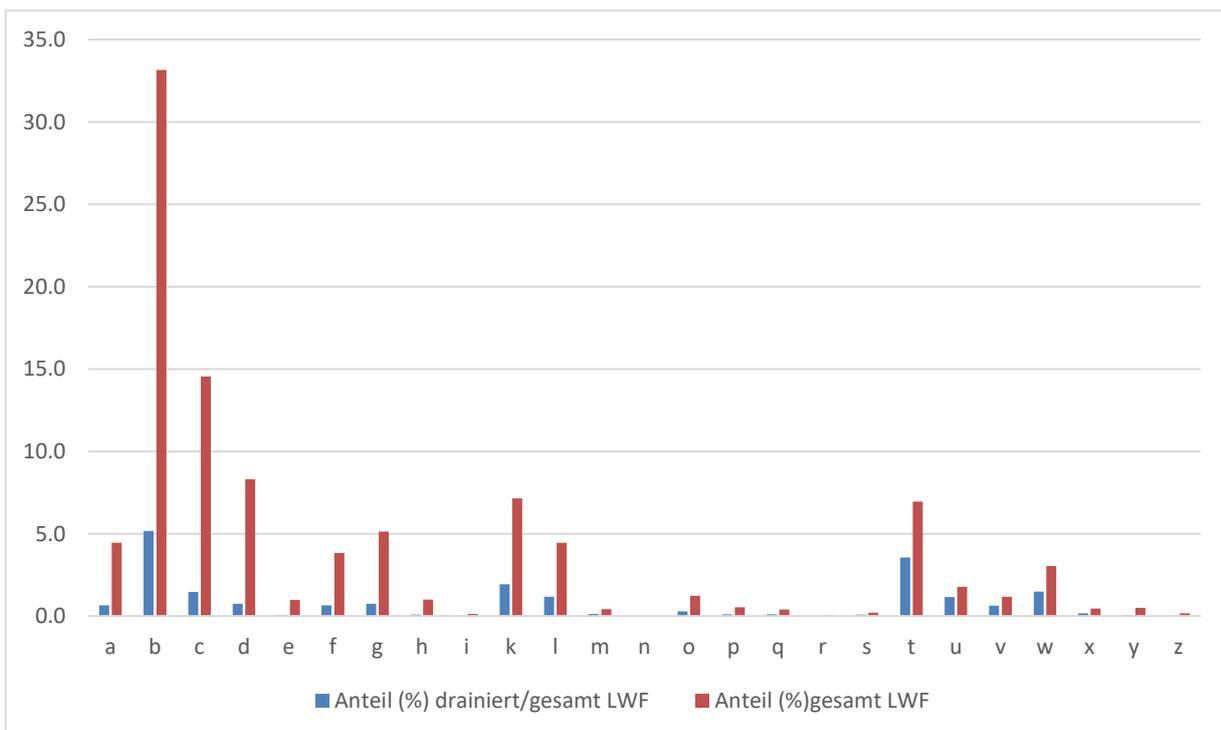


Abbildung 4: Anteile (%) der Bodenwasserhaushaltsklassen an der Gesamtheit aller drainierten Flächen bzw. an der LWF im Kanton Zürich. Nummern der WHK siehe Tabelle 3.

Fazit der Auswertung der BWHK aus der Bodenkarte 1:5000 Kt. Zürich:

Der grösste Teil der landwirtschaftlich genutzten Böden im Kt. Zürich sind normal durchlässige, senkrecht durchwaschene und meist tiefgründige Böden, von denen man nicht unbedingt annehmen würde, dass sie drainiert sind. Trotzdem liegt der grösste Teil der drainierten Fläche auf diesen Böden. Einerseits sind dies in der Regel auch die besten Ackerböden, die eine Drainage zur Ertragsoptimierung denkbar erscheinen lassen. Andererseits können andere Einflussfaktoren, wie z. B. die Lage im Relief, die Bodeneigenschaften überlagern.

Liegen solche Böden in Tallagen oder kleinen Mulden und Senken, kann eine Drainage unter ackerbaulicher Nutzung sinnvoll/notwendig sein. Mehr als die Hälfte der *grund- und stauwasserbeeinflussten Böden*, die selten oder oft bis zur Oberfläche gesättigt sind (WHK t, u, v, w), wurden drainiert. Solche Böden sind also häufig drainiert; aber auch hier scheinen andere Faktoren wie Relief, Nutzung oder auch Finanzen (Meliorationen) einen wesentlichen Einfluss zu haben, ob eine Fläche drainiert wurde oder nicht.

3.2.2 Bodeneignungskarte 1:200 000 (BEK200)

Die BEK200 liegt im Massstab 1:200 000 als digitale Karte für die ganze Schweiz vor. Sie steht als Geodatensatz auf der Webseite des BLW, sowie auf dem Bundes-Geodatenkatalog (map.geo.admin.ch) bereit. Der Datensatz besteht aus 144 verschiedenen Kartierungseinheiten, die sich auf ca. 11 000 Polygone verteilen. Die Karte vermittelt einen Überblick über die bodenkundlichen Verhältnisse aus grossräumiger Sicht. Sie zeigt die Eignung des Bodens für Kulturtypen wie Ackerbau, Getreideanbau, Futterpflanzbau und Viehweide in 19 Kategorien an. Basierend auf der Hangneigung wird auch eine grobe Einteilung in generelle Eignung für Kulturland und Produktion dargestellt. Der BEK200-Basisdatensatz (Geodatensatz) gibt zusätzlich zu der abgeleiteten "Bodeneignung" klassifizierte Angaben zu den Bodeneigenschaften: "Bodentyp" (18 Klassen), "Gründigkeit" (5 Klassen), "Skelettgehalt" (5 Klassen), "Wasserspeichervermögen" (6 Klassen), "Wasserdurchlässigkeit" (6 Klassen) und "Vernässung" (4 Klassen). Die Kategorie "Nährstoffspeichervermögen" floss nicht in die Berechnungen und Analysen ein, da hier kein direkter Zusammenhang für den Bau von Drainagen zu erwarten ist. Für alle drainierten Flächen gemäss kantonalen Datensätzen (92 900 ha, Grösse des GIS-Arbeitsdatensatzes) wurden die zugehörigen BEK-Bodeneigenschaften analysiert.

Die Auswertungen zeigen, wo es BEK200-Attribut-Klassen gibt, die häufiger mit drainierten Flächen in Verbindung stehen als andere, bzw. ob drainierte Flächen sich durch spezifische Eigenschaften auszeichnen oder einzelnen Attributen mit höherer Wahrscheinlichkeit zugeordnet werden können. Die Ergebnisse der GIS-Analyse wurden im Anschluss für die ML-Modellierung (siehe Kapitel 4) verwendet und flossen in die Re-Klassifizierung ein. Die GIS-Analyse der Referenzdaten wurde hier flächendeckend nicht nur über die LWF gemacht, da das ML-Modell ebenfalls mit flächendeckenden Daten arbeiten sollte.

a. BEK200; Bodeneignung für Kulturland nach Hangneigung

Abbildung 5 zeigt, dass die meisten vorhandenen drainierten Flächen in Gebieten mit einer Hangneigung < 25 % zu finden sind und für eine sehr gute Produktion geeignet sind.

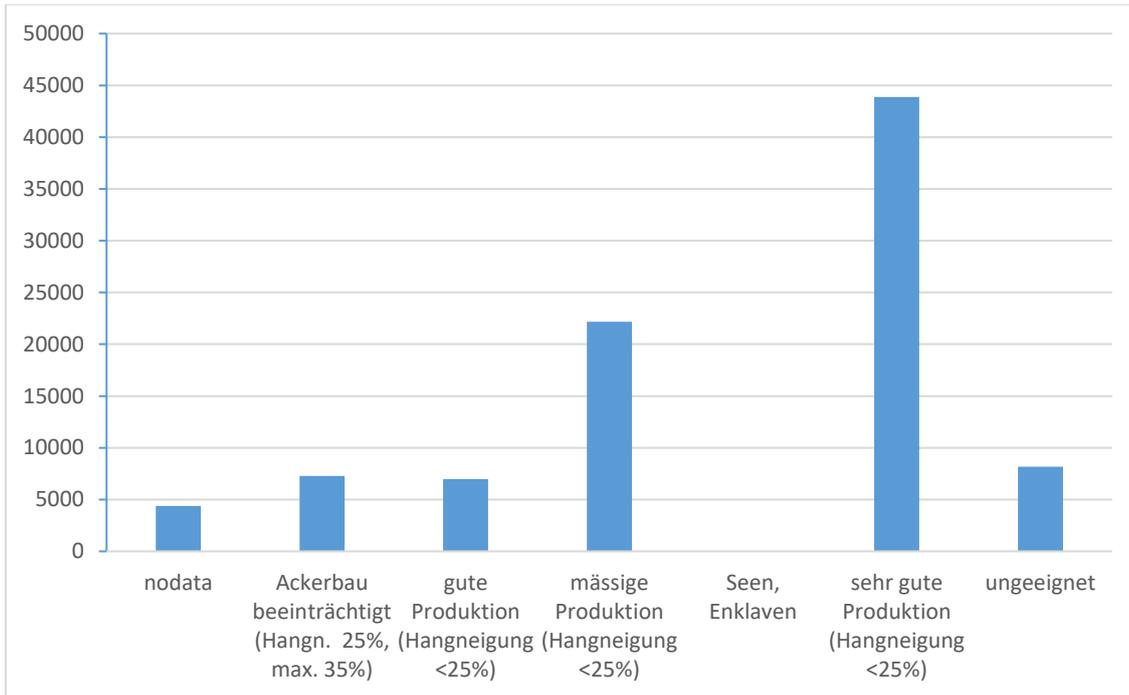


Abbildung 5a: Verteilung der vorhandenen drainierten Flächen (Summe, ha) auf die verschiedenen Nutzungen und Hangneigungsklassen gemäss BEK200.

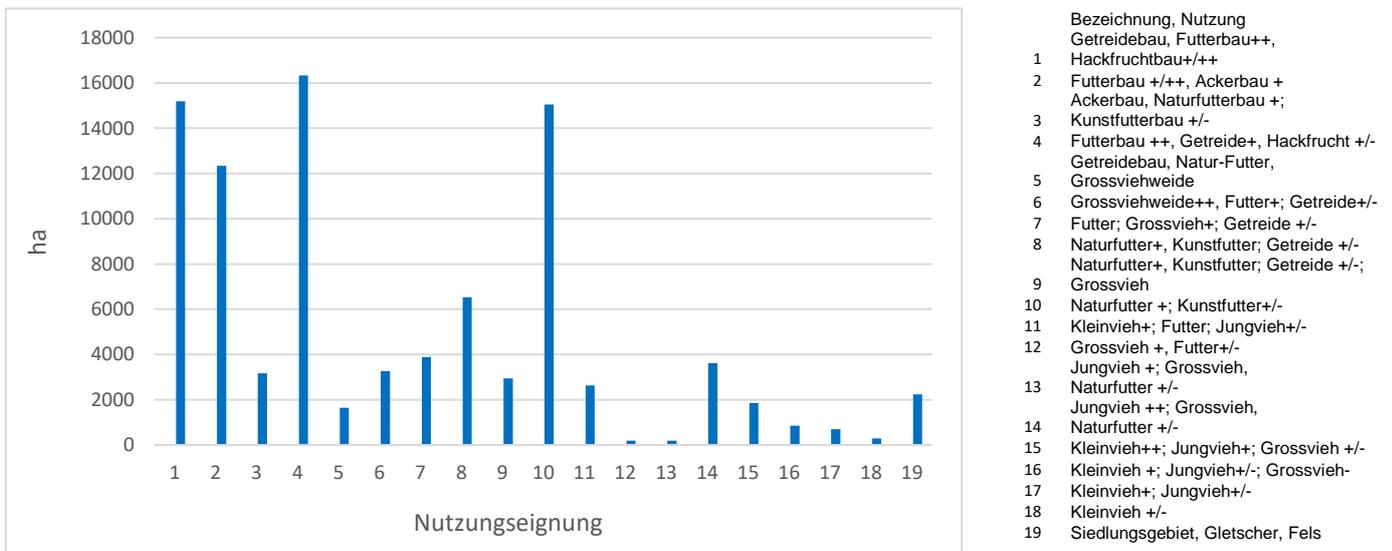


Abbildung 5b: Verteilung der vorhandenen drainierten Flächen auf die gemäss BEK200 erstellte Nutzungsseignung der Böden der Schweiz.

Die BEK-Angabe *Bodeneignung: Kulturtyp* (18 Klassen:10 Klassen mit besserer Eignung für Ackerbau inklusive Getreide, Futter, Hackfrüchte in unterschiedlicher Klassierung und acht Klassen mit besser Eignung als Weide; Abb. 5b), wurde re-klassifiziert und für die spätere ML-Modellierung (Kapitel 4) auf zwei Klassen reduziert (Weide, Ackerbau, Abb. 5c). Dies ermöglichte eine annähernde Unterscheidung in (mögliches) Ackerland bzw. Grünland. Abb. 5c zeigt, dass deutlich mehr Ackerland drainiert ist als Weideland. Die Bodeneignung für einen Kulturtyp wird aus den übrigen BEK200-Angaben ermittelt.

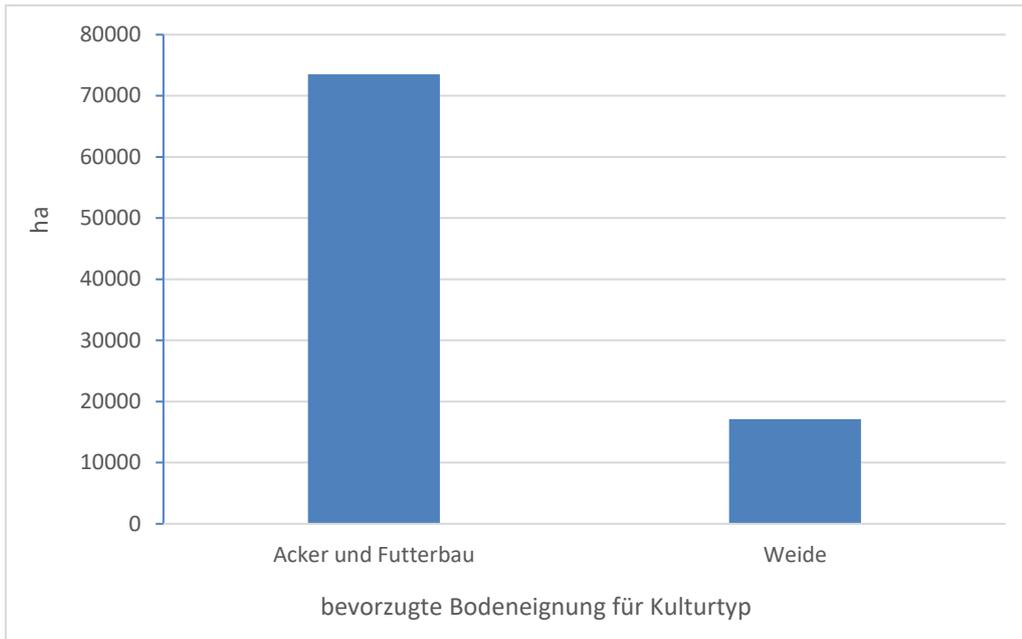


Abbildung 5c: Verteilung der vorhandenen drainierten Flächen für die zusammengefassten Bodeneignungen für die Kulturtypen Acker- und Futteranbau bzw. Weide (Re-Klassifizierung).

b. BEK200 Vernässung

Das Attribut Vernässung der BEK200 stellt eine Angabe über die Vernässung des Bodens durch Niederschlagswasser (Grundnässe) dar. Von den klassierten drainierten Flächen zeigen 63 % Zeichen von Vernässung (Summe der Klassen *Grundfeucht*, *Schwach grundnass*, *Grundnass*) und 37 % zeigen keine Anzeichen von Vernässung (Abb. 6). Bei Betrachtung aller klassierter Böden der BEK200 zeigt sich ein entgegengesetztes Bild: 53 % zeigen keine Anzeichen von Vernässung und nur 32 % zeigen Anzeichen von Vernässung. Für 3 % der drainierten Fläche und 21 % der LN liegen keine Daten vor. Die Angabe von Vernässung in der BEK200 ist folglich ein guter Indikator für drainierte Flächen.

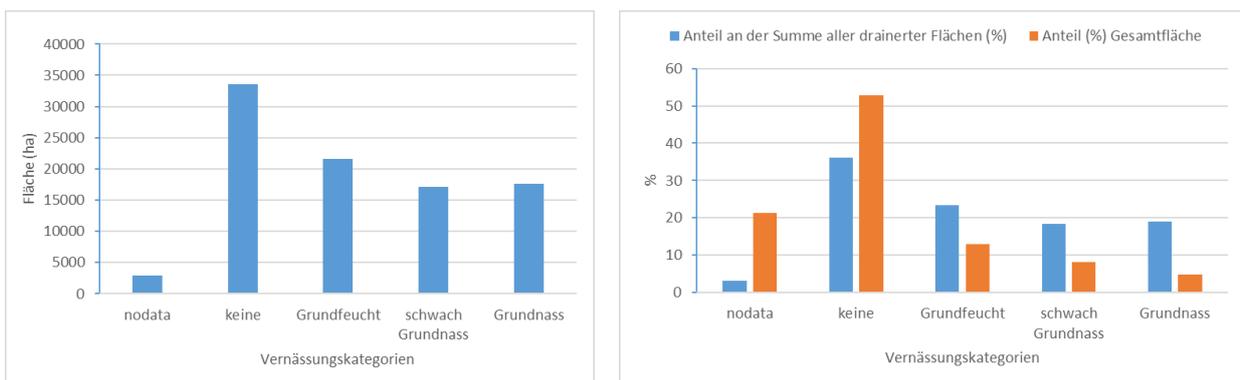


Abbildung 6: BEK200 Vernässung: Summen der drainierten Flächen (ha) für die einzelnen Vernässungskategorien (links) und Anteile (%) der einzelnen Vernässungskategorien an der drainierten Fläche (blau) und der Gesamtfläche der Schweiz (orange), (rechts).

c. BEK200 Wasserspeichervermögen

Vor allem auf den Böden mit gutem Wasserspeichervermögen liegen drainierte Flächen (Abb. 7). 55 % aller drainierten Flächen liegen in dieser Klasse. Auf Böden mit mässigem Wasserspeichervermögen liegen noch 24 % der drainierten Fläche, auf Böden mit sehr gutem Wasserspeichervermögen 12 %.

Insgesamt liegen 95 % der drainierten Flächen auf Böden, die ein mässiges oder besseres Wasserspeichervermögen aufweisen, obwohl diese Böden nur 51 % aller Böden der BEK200 ausmachen. Es liegen nur 5 % der drainierten Flächen auf Böden mit geringem oder noch niedrigerem Wasserspeichervermögen, obwohl diese Flächen in der gesamten Schweiz 49 % ausmachen. Böden mit gutem Wasserspeichervermögen sind prozentual am stärksten drainiert, gefolgt von Böden mit sehr gutem Wasserspeichervermögen.

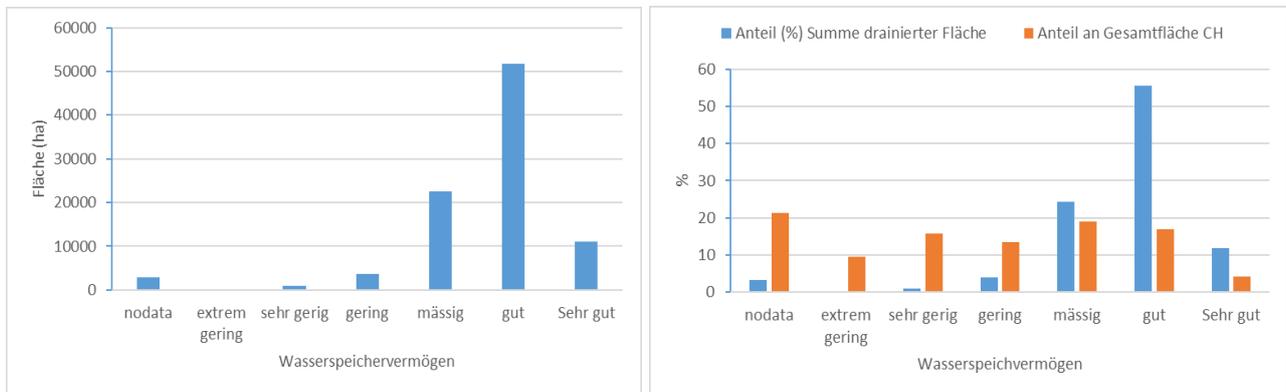


Abbildung 7: BEK200 Wasserspeichervermögen: Summen der drainierten Flächen (ha) für die einzelnen Klassen des Wasserspeichervermögens (links) und Anteile (%) der einzelnen Klassen des Wasserspeichervermögens an der drainierten Fläche (blau) und der Gesamtfläche der Schweiz (orange), (rechts).

d. BEK200 Wasserdurchlässigkeit

Die meisten drainierten Flächen liegen laut BEK200 in Gebieten, die schwach gehemmt sind (Abb. 8). Böden mit stark gehemmter Wasserdurchlässigkeit sind prozentual am stärksten drainiert, gefolgt von Böden mit gehemmter Wasserdurchlässigkeit und schwach gehemmter Wasserdurchlässigkeit. Zusammen liegen 72 % der drainierten Flächen in diesen Klassen, während nur 43 % der klassierten Böden der BEK200 in diesen drei Klassen liegen.

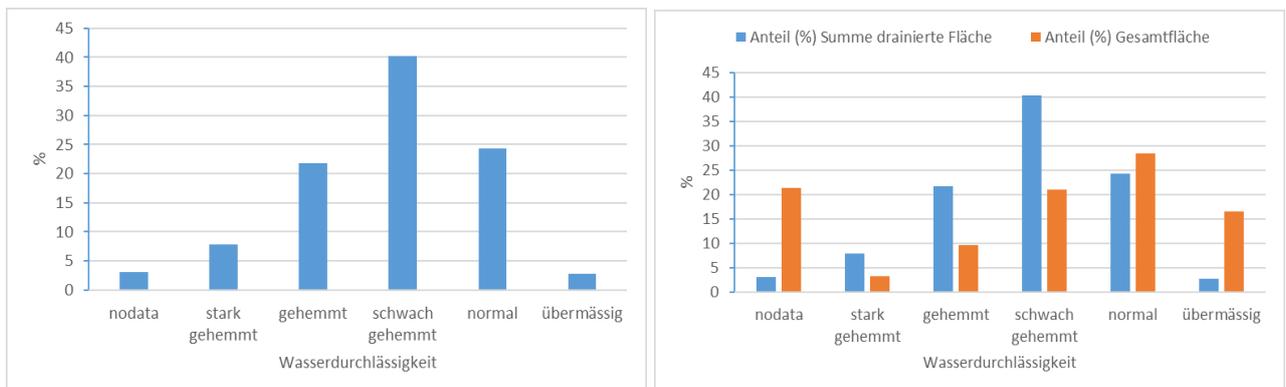


Abbildung 8: BEK200 Wasserdurchlässigkeit: Summen der drainierten Flächen (ha) für die einzelnen Klassen der Wasserdurchlässigkeit (links) und Anteile (%) der einzelnen Klassen der Wasserdurchlässigkeit an der drainierten Fläche (blau) und der Gesamtfläche der Schweiz (orange), (rechts).

e. BEK200 Skelettgehalt

Die meisten drainierten Flächen haben skelettarme oder skeletthaltige Böden (Abb. 9). Skelettreiche Böden sind selten drainiert. Sie entwässern aufgrund des hohen Skelettgehaltes meist selber gut, weiterhin ist der Bau von Drainageleitungen in skelettreichen Böden aufwändiger. Die schweizweit seltenen skelettfreien Böden werden mit 18 % vergleichsweise häufig drainiert.

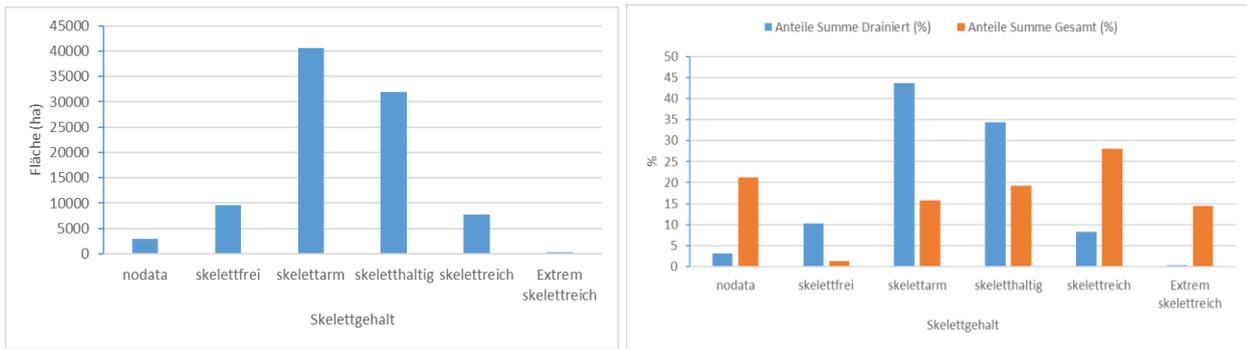


Abbildung 9: BEK200 Skelettgehalt: Summen der drainierten Flächen (ha) für die einzelnen Kategorien des Skelettgehaltes (links) und Anteile (%) der einzelnen Kategorien des Skelettgehaltes an der drainierten Fläche (blau) und der Gesamfläche der Schweiz (orange), (rechts).

f. BEK200 Gründigkeit

Die meisten drainierten Flächen liegen in Böden mit "tiefer" oder "mitteltiefer" Gründigkeit (Abb. 10).

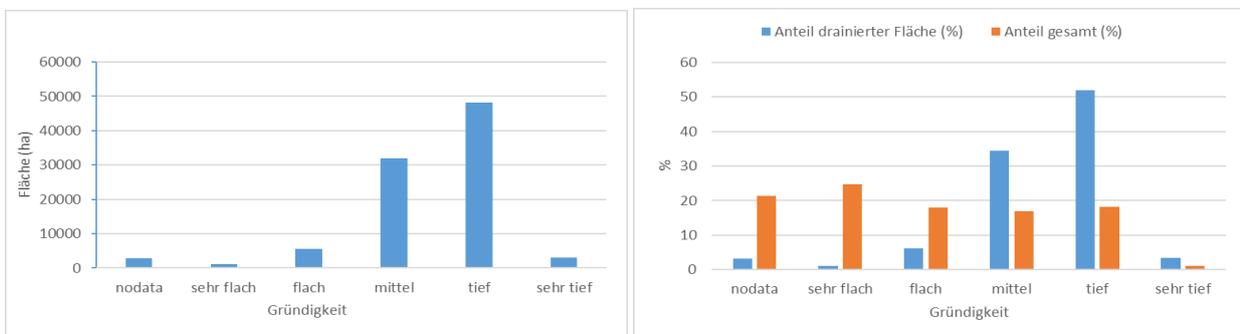


Abbildung 10: BEK200 Gründigkeit: Summen der drainierten Flächen (ha) für die einzelnen Klassen der Gründigkeit (links) und Anteile (%) der einzelnen Klassen der Gründigkeit an der drainierten Fläche (blau) und der Gesamfläche der Schweiz (orange), (rechts).

g. BEK200 Bodentyp

Von den drainierten Flächen liegen 65 % in den Bodentypenklassen 4,11,12,14 (Abb. 11). Die am häufigsten vorkommenden Bodentypen in der Schweiz sind Klassen 15, 7 und 4. Diese Böden sind aber relativ selten drainiert. Der prozentual am häufigsten drainierte Bodentyp ist Klasse 14.

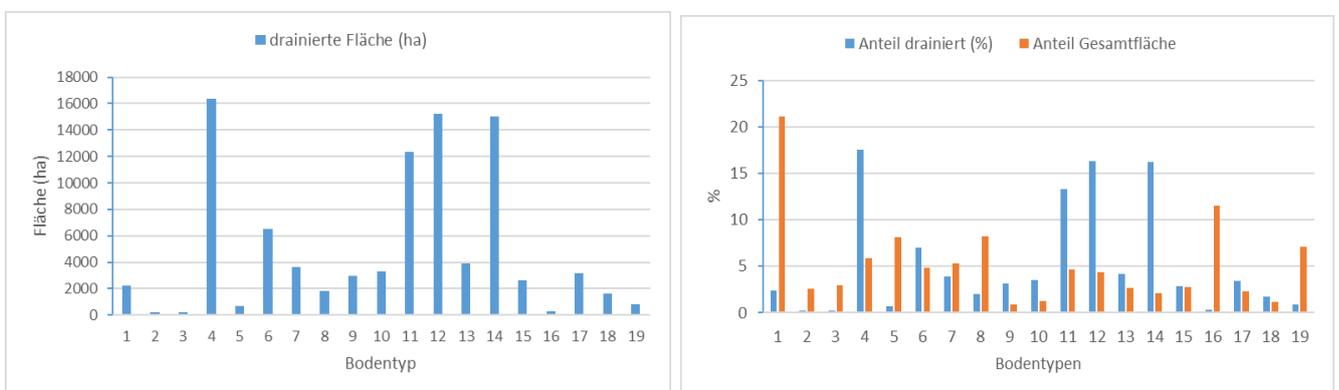


Abbildung 11: BEK200 Bodentyp: Summen der drainierten Flächen (ha) für die einzelnen Bodentypen (links) und Anteile (%) der einzelnen Bodentypen an der drainierten Fläche (blau) und der Gesamfläche der Schweiz (orange), (rechts). Nummerierung der Bodentypen siehe Tabelle 4.

Tabelle 4: Bodentypen der Bodeneignungskarte der Schweiz (BEK200).

Nummer	Bodentyp Bezeichnung
0	nodata
1	dystric, eutric Regosol; Podzol; Ranker; Lithosol
2	Eutric Cambisol, Rendzina (Jura); humic Cambisol; eutric Regosol
3	eutric Fluvisol; gleyic, eutric, calcaric Cambisol
4	Eutric Regosol; Rendzina (Jura); Ranker; Lithosol
5	eutric, calcaric, gleyic Cambisol; eutric Cambisol (feink Ärnige Variante)
6	eutric, dystric Cambisol; eutric Regosol; spodosystric Cambisol
7	eutric, dystric Regosol; Rendzina (Jura), calcaric Regosol; Podzol
8	eutric, gleyic Cambisol; mollic, humic Gleysol
9	eutric, gleyic, dystric, calcaric (Jura) Cambisol
10	eutric, gleyic, dystric, calcaric Cambisol
11	eutric, gleyic, dystric, calcaric Cambisol; orthic Luvisol
12	gleyic, eutric, dystric Cambisol; eutric Gleysol
13	humic Gleysol; humic Fluvisol; eutric Histosol; gleyic Cambisol; mollic Gleysol
14	humic, mollic Gleysol, eutric Histosol; gleyic Cambisol
15	Lithosol; eutric, calcaric Regosol; Ranker; Rendzina
16	orthic Luvisol; eutric, calcaric Cambisol
17	Rendzina(Jura); calcaric Cambisol; calcaric Regosol
18	Rendzina; dystric calcaric, eutric Regosol

Fazit BEK200

Die meisten drainierten Flächen in der Schweiz können durch spezifische Eigenschaften in der BEK200 charakterisiert werden. Die drainierten Flächen zeigen meist Anzeichen von Vernässung, haben ein gutes oder sehr gutes Wasserspeichervermögen, eine gehemmte Wasserdurchlässigkeit, sind skelettarm und tiefgründig. Jedoch sind längst nicht alle Flächen, die diese Charakteristika aufweisen auch drainiert. Ebenso gibt es zahlreiche drainierte Flächen, die gemäss BEK200 andere Eigenschaften aufweisen, die nicht auf eine Drainage hindeuten. Bodeneigenschaften der BEK200 alleine sind also keine eindeutigen Indizien, ob eine Fläche drainiert ist oder nicht. Andere Eigenschaften, wie z. B. Topographie sind zwingend hinzuzuziehen. Weiterhin müssen bei diesem Vergleich räumliche Ungenauigkeiten beachtet werden. Die BEK200 ist räumlich schlecht aufgelöst, auch bei den drainierten Flächen gibt es Unsicherheiten.

3.2.3 Geologie (GeoCover Datensatz)

Der vektorisierte Datensatz der Geologischen Karten der Schweiz (Arbeitsname «Geocover»; vektorisierte Blattschnitte des Geologischen Atlas der Schweiz 1:25 000) gibt Auskunft über geologische Formationen und die geologische Bodenbedeckung. Der Datensatz setzt sich aus einzelnen Blattschnitten zusammen und ist daher nicht vollkommen homogen. Die Datenstruktur ist komplex; mit über 9000 Beschreibungen auf Deutsch, Italienisch und Französisch zu den einzelnen geologischen Formationen ist der Datensatz sehr umfangreich.

Mit dem Datensatz wurden folgende Analysen durchgeführt:

- Verschneidung des Datensatzes mit dem Gesamtdatensatz der drainierten Flächen. Analyse der Geologie unter den drainierten Flächen auf Muster.

- b. Auszug per Definitionsabfrage und SQL-Abfragen zu Flächen, die Charakteristika für Feuchtgebiete aufweisen: Moore, Sümpfe, Ried, ehemalige Moore/Feuchtgebiete, Flächen mit Charakteristika für Fluss und seeufernähe (Alluvial-Flächen, Fluvioglazial, Seesedimente, Lehm). Erstellen eines Geodatensatzes «Geo1» mit höherer Wahrscheinlichkeit für Drainagen.
- c. Optische Überprüfung des Geodatensatzes mittels Überlagerung des Geodatensatzes «Drainageflächen»
- d. Ein zweiter Geodatensatz («Geo2») wurde über Abfragen zu GeoCover Charakteristika wie Molasse, Mergel, Moräne gemacht. Aufgrund seiner grossen Fläche, die nicht mehr definitiv einschränkend war und im ML möglicherweise zu grossen Streuungen führen kann, wurde dieser Datensatz aber nicht eingesetzt. Auch wenn die Auswertung zeigt, dass ein grosser Teil der Drainageflächen (37 %) z. B. über Moränenboden liegen. Molasse, Flysch und Mergel hatten mit 3,9 % keinen grossen Anteil an der drainierten Fläche. Statt dem Begriff «Moräne» wurde der Suchbegriff «Fluvioglazial%» in die Abfrage Geo 1 aufgenommen.

Für die ML-Modellierung wurde nach Analyse der Flächen unter den drainierten Flächen und der Gesamtdaten ein Auszug gemacht (Geo1) mit allen Flächen, die ein Potential für Drainagen und/oder Feuchtgebiete aufweisen.

Bei den Abfragen ist zu beachten, dass viele Einzel-«Namen» im GeoCover Basis-Datensatz sich aus mehreren Bezeichnungen zusammensetzen, z. B. *Fluvioglaziale Endmoräne über mergeligem Ton*.

Tabelle 5: Anteile an Geologie unter den drainierten Flächen.

Bodengeologie	Anteil an gesamter drainierter Fläche (%)
Moräne, Molasse, Mergel, Flysch (gesamt)	41,2
Mergel	2,2
Molasse	1,6
Flysch	0,6
Moräne	37,4
Moor, Sumpf, Ried, Feuchtgebiet, (ehemalig) drainiert, Verlandung, Seesedimente, Alluviale, Fluvioglaziale, Lehm, Ton (Gesamt)	42,7
Moor, Sumpf, Ried, (ehem.) drainiert, Verlandung, Feuchtgebiet	13,7
Alluviale, Fluvioglaziale, Lehm	23,2
Übrige (Ton, Seesediment)	5,8

42,7 % der drainierten Flächen sind im GeoCover-Datensatz in Verbindung mit den gewässernahen Geologien (Moor, Sumpf, Ried, Feuchtgebiet, (ehemalig) drainiert, Verlandung, Seesedimente, Alluviale, Fluvioglaziale, Lehm, Ton) zu finden. Davon entfallen 13,7 % direkt auf Geologie-Bezeichnungen, die auf (ehemalige) Feuchtgebiete hinweisen (Moor, Sumpf, Ried, (ehemalig) drainiert, Verlandung, Feuchtgebiet). Alluviale, Fluvioglaziale und Lehm machen 23 % davon aus (Tab. 5). Zudem sind 37 % der drainierten Flächen auf der Geologie «Moräne» bzw. 41,2 % bei Geologien wie «Moräne, Molasse, Mergel, Flysch» zu finden. So sind insgesamt 84 % der drainierten Flächen durch die beschriebenen Geologien charakterisiert. Der Datensatz GeoCover kann aufgrund seiner Auflösung und den Beschreibungen als hilfreicher Datensatz für das Maschinelle Lernen eingestuft werden. Die Auswertung der Verschneidung der GeoCoverdaten mit den Flächen der Drainagedaten zeigt, dass drainierte Flächen zumeist auf (ehemaligen) Feuchtgebieten, Sümpfen, Mooren, Torfmooren, sowie gewässernahen Geologien (Alluvial-, Fluvial-, Fluvioglazial-, Sedi-ment-, etc.) liegen.

Im Unterschied zur Analyse im Feuchttackerprojekt (Szerencsits et al., 2018) wurden geologische Gesteins - Strukturen wie Mergel, Molasse, Gips etc. in einem gesonderten Datensatz (Geo2) extrahiert, kamen aber aufgrund der weiten und nicht definierenden Ausbreitung nicht als einschränkender Faktor zum Einsatz.

3.2.4 Hangneigung und Tallagen

Guter Boden für Ackerland liegt zumeist in Tallagen (BEK 200, Eignung für Kulturland nach Hangneigung). Feuchtigkeit in Böden zeigt sich vor allem als Staunässe oder als Hangwasser in Ebenen. Daher wurde angenommen, dass sich die meisten Drainagen in Talebenen befinden. Eine Analyse der vorhandenen Drainagedaten der Kantone und Hangneigungsdaten aus dem Höhenmodell DHM25 zeigte, dass ca. 28 % der Drainagen in der Ebene mit einer Hangneigung $\leq 2\%$ (ca. $1,15^\circ$) liegen. 73 % der drainierten Flächen liegen in einer Hangneigung mit $\leq 6^\circ$ bzw. $10,5\%$ (Abb. 12).

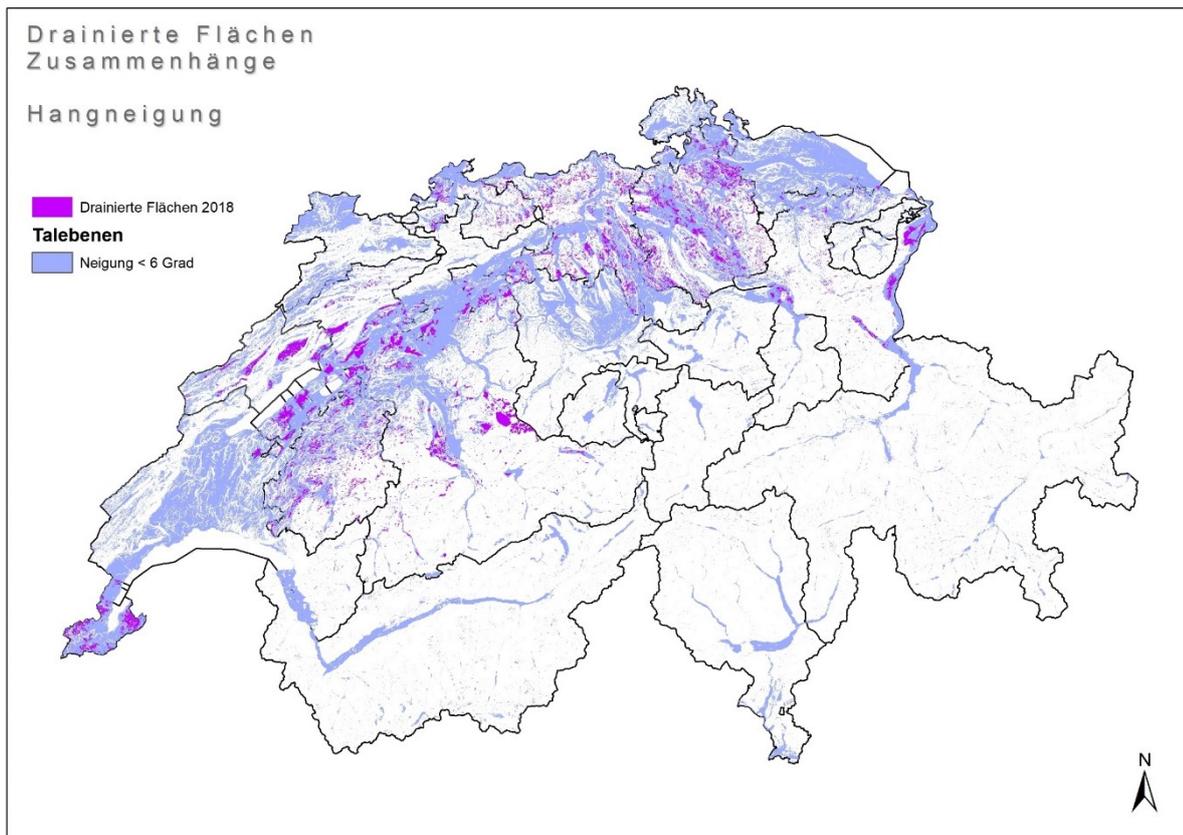


Abbildung 12: Drainierte Flächen gemäss vorhandener kantonaler Daten und Flächen in Tallagen mit einer Hangneigung $\leq 6^\circ$.

4 Erstellen einer Karte zu potentiell drainierten Flächen mittels „Machine Learning“

4.1 Einleitung Machine Learning

Der Einsatz von Algorithmen des «Maschinellen Lernens» (Machine Learning, ML) wird mit zunehmender Rechenleistung der Computer und zunehmender Grösse der zu analysierenden Datensätze („Big Data“) auch in der Wissenschaft immer beliebter. Es wird im Allgemeinen unterschieden zwischen „Autonomen Lernen“ (selbständig, nicht-überwacht, lernenden Algorithmen) und „Überwachtem Lernen“ (Supervised Learning). Während das Autonome Lernen z. B. in der Robotik, bei selbstfahrenden Autos, sowie in Internetangeboten und Suchmaschinen Verwendung findet, ist das überwachte Lernen die Methode der Wahl für die meisten wissenschaftlichen Analysen und Vorhersagen (z. B. Mueller und Massaron, 2017). Digitale Geodaten zählen zumeist schon durch ihre Grösse zu den „Big-Data“. Eine Auswertung und die Möglichkeit von Vorhersagen mittels ML bieten hier neue Optionen (z. B. Mueller und Massaron, 2017). Grundlage von ML sind Algorithmen. Je nach Fragestellung eignen sich unterschiedliche Anwendungen. Die hier angewendete Methode basiert auf aufeinander aufbauenden Entscheidungsbäumen.

4.2 Wahl der Methode und des Algorithmus

Der Algorithmus „Gradient Boosting Machine“ (GBM) ist ein Algorithmus zur überwachten Regression und Klassifikation, der auf aufeinander aufbauenden Entscheidungsbäumen basiert (z. B. Friedman 1999, 2000, 2001; Ling et al., 2003). In Vorversuchen an drainierten Flächen rund um den Baldeggersee (Stoll et al., 2019) zeigte der GBM gute Ergebnisse. Im Vergleich mit anderen Algorithmen wie „Random Forest“ (Mueller und Massaron, 2017; Breiman, 2001), welcher auf unabhängigen Entscheidungsbäumen basiert, oder wie generalisierte lineare Modelle (GLM, Mueller und Massaron, 2017; Zeileis, 2009), erwies sich der GBM als besser in der Vorhersage, zeigte aber eine Tendenz zur Überschätzung (Stoll et al., 2019). Der GBM wurde über das Interface-Package „h2o“ in R-Studio implementiert. Das Package „h2o“ (<http://h2o.ai/resources/>) (Malohlava und Candel, 2019) bietet die Möglichkeit, die wichtigsten Algorithmen des Maschinellen Lernens in R zu implementieren, stellt aber an sich ein eigenes Programm dar (Programmiersprache Java, Script nicht öffentlich). Aufgrund der Homogenität der Berechnungen wurden alle Datensätze via „h2o“ verwaltet und das dort implementierte „gbm.h2o“ verwendet. Das verwendete R-Script findet sich in Anhang A3.

Methodisches Vorgehen

Das folgende Schema stellt die einzelnen Schritte von der Datenerhebung bis zum Endprodukt, einer klassifizierten Karte zum Drainagepotential, dar.

- a. **Datenerhebung:** Vorhandene Geo-Daten
- b. **Analyse** der vorhandenen Geo-Daten (GIS)
- c. Weitere GIS-Analysen zum Bestimmen der ML-Variablen (Umweltparameter), mit deren Hilfe ein Drainagepotential berechnet werden kann
- d. **Testrechnungen** mit ML: Wahl des Algorithmus, der Eingabe-Variablen und der Modellparameter. Best-Fit/Best-Work Testmodelle (GIS, R)
- e. **Grundmodell ML:** Auswahl der Variablen, Festlegen der Modellparameter
- f. Festlegen der Trainingsdatensätze (Modellregionen)
- g. Aufbereitung und Homogenisierung der Eingabedaten-Daten (GIS)

- h. Berechnung der Modellregionen mit Trainingsdatensätzen (R, ML) mittels Grid-Search -> Auswahl des Besten Modells aus 30 (20) für jede Modellregion. Ergebnis: Modelle und Karten (float) für jede Modellregion
- i. Berechnen der Kantone ohne Daten zu Drainagen (**Vorhersagen**) mittels passendem Model => Rasterkarten für alle weiteren Kantone (R)
Ergebnis: **Gesamtkarte mit kontinuierlichen Werten**
- j. **Klassifizieren** der Rasterkarten und Festlegen von Grenzwerten (2, 3 und 6 Klassen) (GIS)
- k. **Pixelbasierte Analyse 1** -> Overlay mit Drainagedaten (GIS)
- l. **Pixelbasierte Analyse 2** -> Verteilung des Potentials über die einzelnen Klassen und Abgleich mit vorhandenen Daten (GIS)
- m. **Plausibilisierung**: Vergleich mit Orthofotos
- n. Erstellen der Gesamtkarte Schweiz klassifiziert - Endprodukt

4.3 Datengrundlage für das Maschinelle Lernen

Für das Ergebnis einer ML-Modellierung ist entscheidend, welche Daten dieser zugrunde gelegt und welche Ziele verfolgt werden. In dieser Studie sollte schweizweit eine Karte erstellt werden, welche geographisch aufzeigt, wo Drainagen liegen (vorhandene Daten) bzw. auf welchen Flächen ein Potential für Drainagen besteht. Ein ML-Algorithmus benötigt sogenannte Trainingsdaten, anhand derer er «lernen» kann. Diese Trainingsdaten waren in unserem Ansatz die vorhandenen Drainagedaten der Kantone. Zusätzlich benötigt der Algorithmus Eingabedaten (Variablen), anhand derer später die Vorhersagen getroffen werden können. Diese Eingabedaten sollten möglichst einfach strukturiert sein (wenige Werte-Kategorien). Die Anzahl der Variablen sollte ausserdem nicht zu gross sein, da sonst die Gefahr der Überbewertung einzelner Variablen besteht und Varianzen zu gross werden können. Für die Drainagekarte wurden daher mit Hilfe der GIS-Analysen 12 Variablen (Umweltfaktoren) ausgewählt, die Einfluss darauf haben, ob ein Fläche das Potential für eine Drainage hat. Es wurden nur Umweltfaktoren verwendet, keine wirtschaftlichen, historischen oder soziokulturellen Faktoren.

Für die ML-Modellierung wurden ausschliesslich schweizweit flächendeckende Datensätze verwendet, insbesondere die der Bodeneignungskarte (BEK200), der Topographische Wetness Index (TWI), die Hangneigung aus dem Höhenmodell und Daten zur Geologie (GeoCover). Alle Analysen des ML erfolgen auf Raster-Basis. Hierzu wurden alle Datensätze auf ein Raster mit 25 m x 25 m Pixeln überführt. Dadurch unterscheidet sich die Fläche der exakteren Vektordaten von der Rechenbasis der Rasterdaten, welche kleiner ist.

Folgende Datensätze gingen in das Machine Learning ein:

Alle Daten, die in die Berechnungen einfließen, wurden auf ein schweizweites Basis-Raster mit der Pixelgrösse 25 m x 25 m harmonisiert (exakte Überlagerung, 1-Band-Raster mit Pixeltiefe von max. 32 Bit).

Drainage

- Drainageflächen (drain) – Kantonale Daten zu drainierten Flächen (Trainingsdatensätze)

Bodeneignungskarte (BEK200) *

Attribute der BEK200, zum Teil aufgrund der vorangegangenen GIS-Analysen re-klassifiziert und auf 2 bis maximal 6 Klassen reduziert

- Wasserdurchlässigkeit (vorab-klassifiziert, 2 Klassen), (bekwd)
- Gründigkeit, (bekd)

- Skelettgehalt (vorab-klassifiziert, 2 Klassen), (beksk)
- Bodentyp (vorab-klassifiziert, 2 Klassen), (bekbt)
- Wasserspeichervermögen (vorab-klassifiziert, 2 Klassen), (bekws)
- Bodeneignung Kulturland (vorab-klassifiziert in 'Ackerbau', 'Weide', 'nicht geeignet'), (bekaw). Die Klasse Bodeneignung für Kulturland der BEK (Ursprünglich 18 Klassen), wurde re-klassifiziert und auf zwei Klassen reduziert (Weide, Ackerbau). Der BEK Datensatz Eignung für Kulturland nach Hangneigung wurde nicht verwendet, da der Datensatz „Hangneigung < 6°“ aus dem digitalen Höhenmodell (DHM) ebenfalls ein Kriterium zur Hangneigung liefert und genauere Daten bereitstellt.

GeoCover-Daten

- Auszug (siehe Kapitel GeoCover), aus den Beschreibungen des Datensatzes GeoCover, (geo1) siehe Beschreibung oben.

Höhenmodell (DHM25)

- Hangneigung $\leq 6^\circ$ (Auszug aus dem Raster des Höhenmodells «dhm25», Swisstopo), (hn6)
- Topographischer Feuchtigkeitsindex engl. Topographic Wetness Index (TWI). Der TWI wird aus mehreren geomorphometrischen Reliefparametern ermittelt (Behrens, 2003) und zeigt auf ein Raster (wie z. B. dem Höhenmodell dhm25) bezogen die Tendenz einer Rasterzelle zum Oberflächenabfluss. Er steht in engem Zusammenhang mit der Feuchte eines Bodens. Je höher der Wert des TWI, desto höher die Bodenfeuchte. (dhm25), (twi)

Weitere Daten

- Historische Feuchtgebiete vor 1880, aus der Siegfriedkarte (fg1880)

Zusätzlich für die Erstellung der Rasterkarten

- Basis-Raster der Kantone, 25mx25m (kt_25)

Für die weitere Bearbeitung (Ausschlussflächen)

- Landwirtschaftlich genutzte Fläche (LWF) (Grundlage Feldblockkarte der Erosionsrisikokarte ohne Berggebiete, 25mx25m Raster)

4.4 Grundmodell und Trainingsdatensätze (Modellregionen)

4.4.1 Grundmodell

Vorbereitung für die Modellierung mittels ML

Der ML-Algorithmus «lernt» im «überwachten Lernen» mit Hilfe der Trainingsdaten in einem Durchlauf und kann danach Vorhersagen treffen. Die Auswahl der Variablen (Umweltfaktoren) erfolgte mittels mehrerer Testläufe. Mit den verschiedenen vorhandenen kantonalen und schweizweiten Datensätzen wurden zunächst verschiedene Testdurchläufe durchgeführt. Anhand dieser Testläufe wurden die Eingabedaten sowie deren Aufbereitung bestimmt, um möglichst genaue Ergebnisse zu erhalten. In dieser Testphase wurden zunächst jeweils einzelne Kantone (NE, ZH, AG) berechnet, von denen bekannt war, dass die Drainagedatensätze (Trainingsdaten) eine gute oder sehr gute Qualität hatten. Anschliessend wurden die Ergebnisse der Berechnungen validiert und verglichen, indem z. B. jeweils ein Kanton mit dem Modell des anderen berechnet wurde, bzw. die regionalen Modelle mit anderen Daten getestet wurden. Zudem wurden in dieser Phase mittels einiger Testrechnungen die Hyperparameter, also die Vorgaben für den ML-Algorithmus, festgelegt. Dieselben Hyperparameter wurden für alle Modelle schweizweit verwendet, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Hyperparameter für die Modellrechnungen

```
learn_rate = seq(0.01, 0.1, 0.01),  
max_depth = seq(2, 20, 1),  
ntrees = seq(50, 150, 5),  
sample_rate = seq(0.5, 1.0, 0.1),  
col_sample_rate = seq(0.1, 1.0, 0.1))
```

Grundmodell und Berechnung der Drainagepotentialkarte

Aus der Testphase resultierte ein «Grundmodell» mit 12 Eingabe-Variablen (Umweltfaktoren) mit jeweils 2 bis 6 Kategorien. Dieses Grundmodell wurde in allen regionalen Ansätzen verwendet, also gleiche Eingabevariablen in gleicher Aufbereitung und gleiche Hyperparameter.

Die als Endprodukt resultierende **Drainagepotentialkarte** basiert auf Einzelberechnungen über die jeweiligen Kantone. Es wurde jeweils immer über die Gesamtfläche des Kantons gerechnet, um dem Algorithmus möglichst viele Daten zur Modellierung zu Verfügung zu stellen. Aus technischen Gründen und aufgrund der Grösse der Datensätze war eine Gesamtberechnung über die Fläche der Schweiz nicht möglich. Die Daten wurden daher kantonsweise verarbeitet. Dies bot zusätzlich den Vorteil, Rücksicht auf geographische und regionale Besonderheiten zu nehmen. Bei einer Modellierung über die gesamte Fläche der Schweiz würde die Prognosegenauigkeit vermutlich stark abnehmen, da die Schweiz durch eine sehr kleinräumige Topographie und Geologie charakterisiert ist. Der Kanton als Verwaltungseinheit ist in sich auch häufig nicht geologisch und topologisch homogen, stellt aber einen guten Kompromiss dar. Die regionalen Einzelmodelle wurden, wenn möglich nicht nur über einen Kanton erstellt, sondern über eine Region. So standen dem Algorithmus grössere Datenmengen zur Modellierung und als Trainingsdatensatz zur Verfügung. Die Vorhersage für die Regionen ohne Drainagedaten erfolgte ebenfalls kantonsweise. Grosse Kantone (VS, GR) mussten in geteilten Datensätzen verarbeitet werden.

Der ML-Algorithmus liefert neben einer Rasterkarte mit kontinuierlichen Werten als Ergebnis verschiedene Modell-Parameter (z. B. AUC, ROC; Beschreibung siehe unten), die das Modell genauer beschreiben. Im verwendeten Verfahren wurde jeweils mittels Grid-Search das beste Modell aus 30 Modellen (Kanton BE nur 20) ausgewählt. Das «beste» Modell wird vom Programm mittels AUC (Area under ROC-Curve) bestimmt (s. Beschreibung unten). Dieser Wert liegt zwischen 0 und 1; je näher der AUC an 1 liegt, desto besser passend ist das Modell. Bei einem AUC < 0,5 kann von einer Zufallsverteilung ausgegangen werden.

Das **Grundmodell** zum Berechnen des Drainagepotentials Schweiz mittels ML besteht aus 12 Variablen (unten beschrieben), mittels derer die Wahrscheinlichkeit von drainierten Flächen in dem berechneten Gebiet vorhergesagt werden konnte. Diese 12 Variablen waren für alle Berechnungen schweizweit einheitlich. Die regionalen Einzel-Modelle unterschieden sich vor allem durch die geographische Lage und Region der Trainingsdatensätze.

Als Modell-Ergebnisse wurden der ROC (Receiver Operating Characteristics) (Ling, 2003) und die Area Under Curve (AUC) (Bradely, 1997) berechnet. Der ROC beschreibt die Performance eines Klassifikations-Modells über alle Schwellenwerte. Die AUC berechnet sich aus dem ROC. Der Nutzen der AUC im ML wurde von Bradely (1997) beschrieben. Zusätzlich wurden Ranglisten der Eingabe-Variablen (Umweltfaktoren; Variable-Importance) berechnet. Das Gesamtergebnis wurde als Rasterkarte (.tiff) mit einer kontinuierlichen Werte-Skala ausgegeben. Weitere Modellwerte sind z. B. der Standardfehler (Mean Standard Error, MSE) oder der Gini (Mass für Ungleichverteilung bei Entscheidungsbäumen) (siehe Anhang A2: Modellparameter).

Mittels Hyperparameter basierendem Grid-Search wurde aus 20–30 Modellen für jede Region das beste Modell ausgewählt. Hyperparameter sind dabei Parameter, die das Modell charakterisieren, deren Werte aber nicht über die Eingabedaten bestimmt werden können. Die Werte für die Hyperparameter werden vor dem Start des Lernprozesses festgelegt. Sie bestimmen z. B. die Anzahl (n) der berechneten Bäume, die Rechenfrequenzen, setzen Stopp-Punkte usw. Im Gegensatz zu den Hyperparametern berechnen sich die Modellparameter aus den Eingabedaten und entstehen im Lernprozess. Der Grid-Search sucht in mehreren Durchläufen die besten oder geeignetsten Hyperparameter und somit das beste Modell. Es wurden i.d.R. 30 Durchläufe/Modelle mittels Grid-Search berechnet, von denen das Beste ausgewählt wurde.

Ergebnisse des ML im Überblick:

- Raster-Karte mit relativen Werten (Float) zum Drainagepotential
- «Variable Importance»: Rangfolge der Variablen in ihrer Wichtigkeit
- Modellwerte (AUC, ROC, MSE, Gini, Anzahl Modelle, Anzahl Bäume)

Beispiele zu ROC und AUC

Die AUC-Fläche ist die Fläche unter der Kurve und beschreibt wie gut das Modell ist. Je näher die Kurve an der Diagonalen liegt desto schlechter ist die Anpassung. Ist die AUC = 1, wäre die Klassifikation perfekt, bei 0,5 wäre sie zufällig (random). Die ROC-Kurve des Modells «NE» zeigt eine sehr gute Übereinstimmung, die AUC ist mit 0,9878 entsprechend hoch (Abb. 13). Somit ist das Modell sehr vertrauenswürdig. Die Anpassung ist für das zweite Modell (NE) besser als für das erste (AGZH), da hier die Eingangsdaten auch sehr zuverlässig sind. Dennoch zeigt auch das erste Modell über Aargau und Zürich (AGZH) eine gute Anpassung mit einem AUC von 0,913.

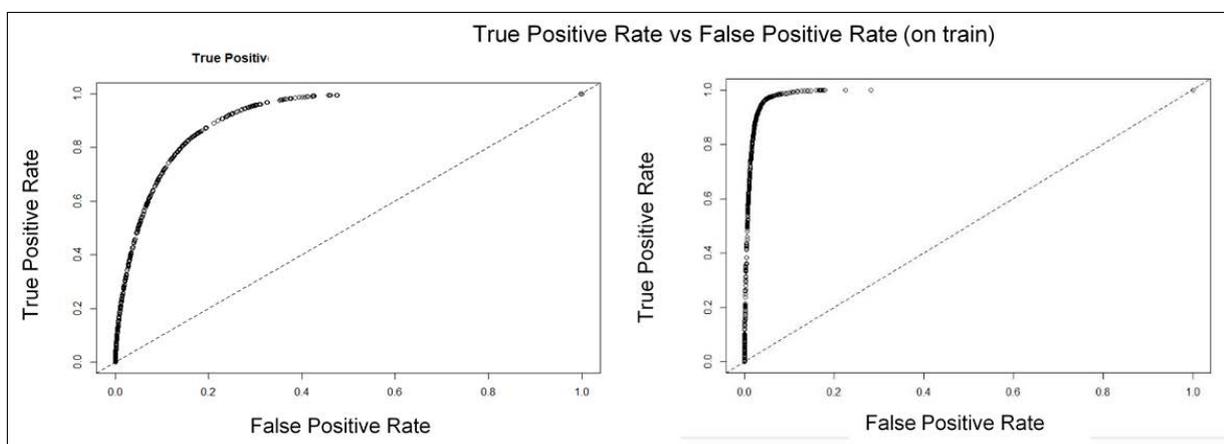


Abbildung 13: Beispiele für die ROC - Kurve als «True Positive versus False Positive Rate» für das Modell Aargau-Zürich (OST) (links, AUC 0,913) und das Modell Neuenburg-Kanton (NE) (rechts AUC = 0,9878). Die True Positive Rate (TPR) und False Positive Rate (FPR) in der Graphik berechnen sich wie folgt: $TPR = TP / (TP + FN)$; $FPR = FP / (FP + TN)$; TP = True Positive (richtigerweise positiv), FN = False Negative (fälschlicherweise negativ), TN = True Negative (richtigerweise negativ), FP = False Positive (fälschlicherweise positiv).

4.4.2 Modellregionen

Um Modelle für die ausgewählten Regionen zu berechnen, wurden geographische «Modellregionen» bestimmt (Abb. 14). Diese Modellregionen kennzeichnen sich jeweils durch einen möglichst guten Trainingsdatensatz mit Drainagedaten aus und einer geographisch anschliessenden Region mit ähnlicher Topologie und Geologie ohne Drainagedaten. Der ML-Algorithmus erstellt für jede Region separat ein geeignetes Vorhersagemodell. Mittels der jeweiligen regionalen Modelle (unten beschrieben) wurden die umliegenden

und topologisch ähnlichen Regionen anschliessend als Vorhersage berechnet. Für die Auswahl der Regionen für die Modelle spielte die Qualität der Daten eine Rolle. Flächendeckende Daten standen von AG, ZH, BE, BL, GE, NE und FR zur Verfügung. Die Daten von AG, ZH, NE, GE wiesen zudem eine gute bis sehr gute Qualität und Zuverlässigkeit auf. Von den Daten der Kantone BE und FR war die Zuverlässigkeit, Detailgenauigkeit und Vollständigkeit unbekannt. Im Berner Berggebiet waren manche Drainageflächen nur sehr grob umrissen. Nicht vollständig waren die Daten der Kantone BS, SH und SG; diese wurden als Referenzdaten verwendet und nicht als Trainingsdaten.

Alle Berechnungen wurden mit dem flächendeckenden Gesamtdatensatz des Kantons - nicht nur mit Teilflächen wie der LWF - durchgeführt, um den Trainingseffekt des ML-Algorithmus zu verbessern. Es wurden fünf verschiedene Regionen mit Drainagedaten als Trainingsdatensatz definiert (Abb. 14) und die jeweiligen - zumeist umliegenden - Kantone für die Vorhersage bestimmt. Für ein gutes ML-Ergebnis wurden mehrere Kantone zu jeweils einer «Modellregion» mit eigenem Trainingsdatensatz zusammengefasst. So wurde sichergestellt, dass möglichst viele Daten in die Modellierung einfließen. Zunächst wurde mit dem ML-Algorithmus eine Modellierung für die jeweilige Region durchgeführt, erst im Anschluss wurden die Vorhersagen gemacht.

- **Modellregion Ost:** Trainings- und Ausgangsdatsatz Aargau und Zürich (Bezeichnung 'AGZH'). Region Aargau und Zürich
- **Modellregion West:** Trainings- und Ausgangsdatsatz für Neuenburg, Freiburg, Genf (Bezeichnung NGF).
- **Modellregion Jura:** Trainings- und Ausgangsdatsatz für Basel-Landschaft (BL)
- **Modellregion Bern:** Trainings- und Ausgangsdatsatz für Bern
- **Modellregion Freiburg (Süd):** Trainingsdatensatz für die stark Berg- und Tal-geprägten Kantone VS, TI und GR

4.4.3 Vorhersagen für die Kantone/Regionen ohne Drainagedaten

Die mittels der regionalen Trainingsdatensätze erstellten ML-Modelle wurden im Anschluss verwendet, um die Vorhersagen für die umliegenden Kantone bzw. für Kantone mit ähnlicher Charakteristik zu erstellen:

- **Modell Ost:** Region **AGZH**; AG, ZH, **SG, TG, LU, SH, GL, AI, AR, ZG, SZ, UR, OW, NW**
- **Modell West:** Region **NEGEFR**; NE, FR, GE, **VD**
- **Modell Jura:** **BL**; BL, **SO, JU, BS**
- **Modell Bern:** **BE**, BE
- **Modell Freiburg (Süd):** **FR**; (FR); **VS, GR, TI**

ROT: Trainingsdatensätze, Blau: Vorhersagen

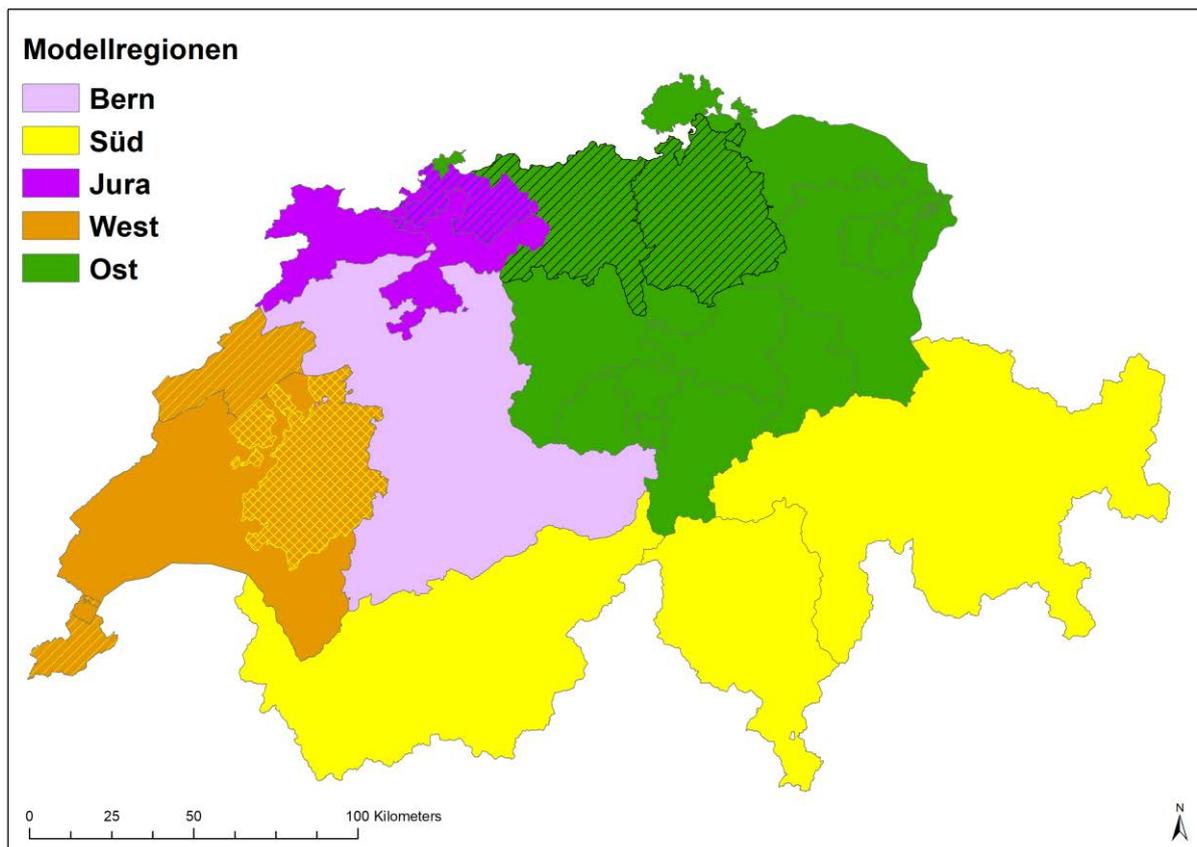


Abbildung 14: Darstellung der fünf Modellregionen. Schraffiert = Trainingsdatensätze. Der Kanton Freiburg diente als Trainingsdatensatz für die Regionen Wallis, Tessin und Graubünden.

Die Modelle für die Regionen unterschieden sich in der Gewichtung einzelner Variablen (Variable Importance), sowie in den Modellparametern. Die AUC Werte waren bei allen Modellen $> 0,9$, was eine gute Anpassung anzeigt.

Vermutlich aufgrund der regionalen Besonderheiten in den Umweltparametern, wie Niederschlag, Boden und Geologie, waren auch die Variablen je nach Region unterschiedlich gewichtet. Wichtigste Variable war aber bei allen Modellen der TWI, Abb. 15). An zweiter oder dritter Stelle stand die Hangneigung $< 6^\circ$; HN6). Auffällig ist die hohe Gewichtung, die der TWI im Modell OST aufweist. Im Modell West hingegen nimmt die Hangneigung einen höheren Stellenwert ein als bei den übrigen Modellen. Die Variable "ehemaligen Feuchtgebiete um 1800 (fg18)" spielt nur in den Modellregionen eine Rolle, die viele solcher Feuchtgebiete aufweisen. Insbesondere in den Modellregionen «Jura» und «West» ist diese Variable kaum von Bedeutung.

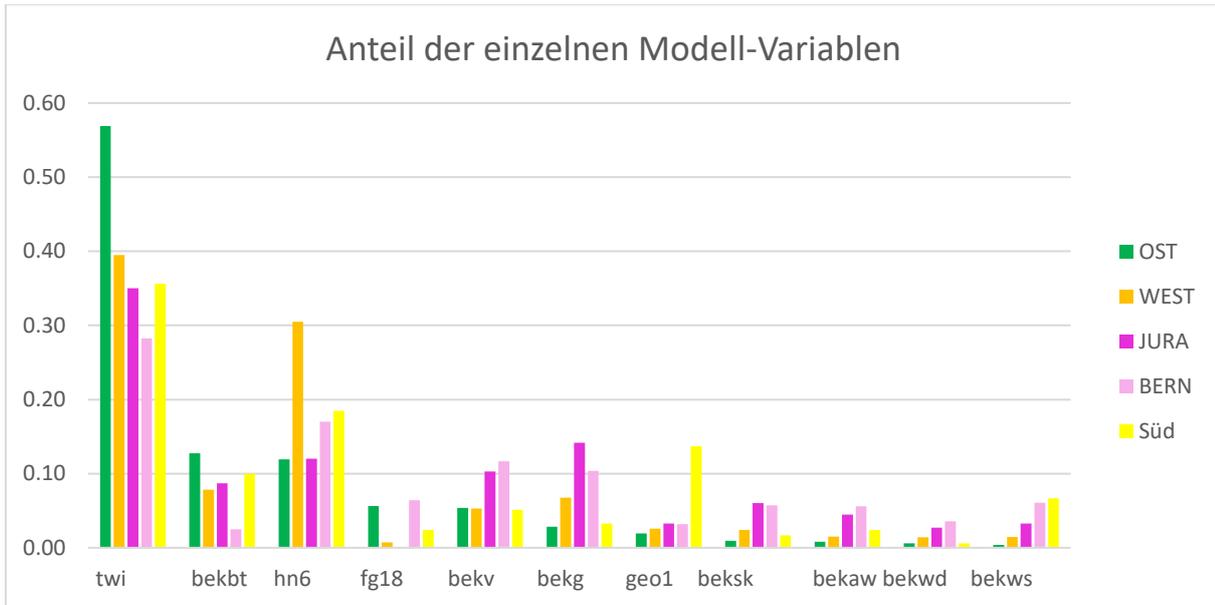


Abbildung 15: Anteil der einzelnen Variablen, mit dem diese in das jeweilige ML-Modell einfließen, für die fünf Modellregionen. twi – Topographic Wetness Index; bekb – Bodentyp (BEK200); HN6 – Hangneigung < 6°; fg18 Feuchtgebiete vor 1918; bekv – Vernässung (BEK200); bekg – Gründigkeit (BEK200); geo1 – Auszug aus Geocover; beksk – Skelettgehalt (BEK200); bekaw – Acker/Weideland (BEK200); bekwd – Wasserdurchlässigkeit (BEK200), bekws (Wasserspeichervermögen). Siehe auch Anhang A1 für die Tabellen.

4.4.4 Verifizierung und Kreuzvalidierung

Die unvollständigen Drainagedaten der Kantone SG, SH und BS wurden nicht als Trainingsdatensätze verwendet, sondern dienten ausschliesslich zum Abgleich mit den modellierten Daten. Alle Modelle wurden zudem jeweils mit Mehrfachdurchläufen verifiziert. Bei Mehrfachdurchläufen wurde der Mittelwert als Ergebnis benutzt.

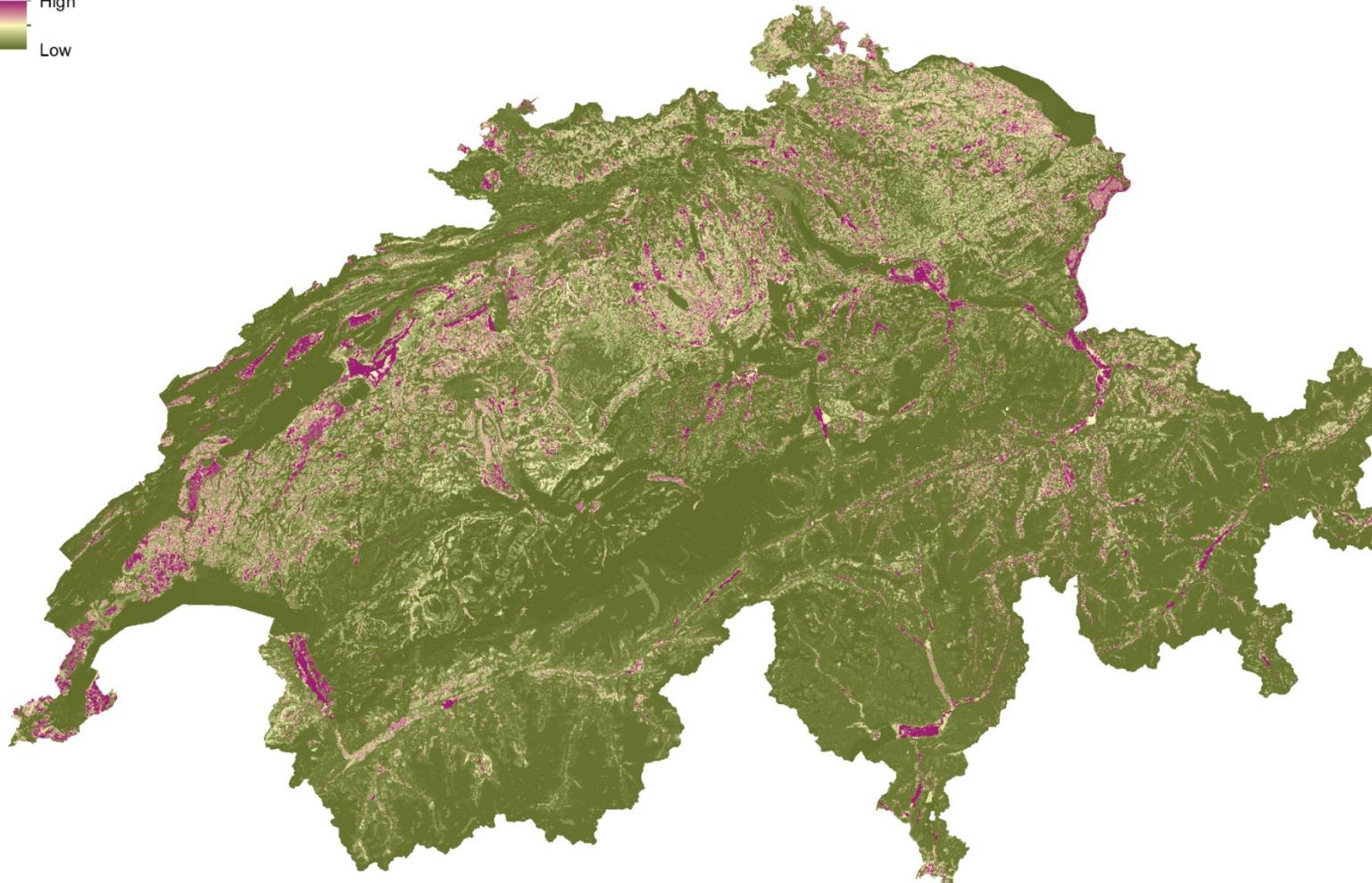
4.5 Ergebnisse der ML-Rechnung

4.5.1 Gesamtkarte zum Drainagepotential Schweiz mit kontinuierlichen Werten

Für jeden Kanton bzw. jede Modellregion wurde zunächst eine Karte mit kontinuierlichen Werten für die relative Wahrscheinlichkeit (Werte zwischen 0 und 1) einer Drainage über die gesamte Fläche erstellt. Diese stellt das Ergebnis des zugehörigen ML-Modells dar. Für alle Modellregionen wurden mehrere Rechendurchläufe durchgeführt. Die zugehörige Karte ist eine Mittelwertberechnung dieser Einzelmodelle. Die resultierenden Daten wurden für die Analysen auf Pixelbasis verwendet. Alle Karten wurden in einer optischen Darstellung in Abbildung 16 zusammengefasst. In diesem ersten Überblick zeigt sich, wo mit einem erhöhtem Potential für Drainagen gerechnet werden kann (lila) und in welchen Regionen (grün) Drainagen eher unwahrscheinlich sind.

Abbildung 16 (folgende Seite): Die Karte zeigt das mittels Machine Learning Algorithmus ermittelte Potential für drainierte Flächen. Die Karte stellt alle Rechnungen über die Gesamtfläche der Kantone dar. Die Farbskala ist nach Abweichung vom Mittelwert aller Werte nach oben (high = violett; hohes Potential) und nach unten (low = dunkelgrün, geringes oder kein Potential) geeicht.

Drainagepotentialkarte Schweiz



4.5.2 Beschreibung der Einzelmodelle und Karten anhand des Beispiels Aargau-Zürich (Modell OST)

Anhand der Modellregion OST wird in diesem Kapitel aufgezeigt wie aus den ML-Daten mit kontinuierlichen Werten über die Gesamtfläche die klassifizierten Karten erzeugt wurden. Als Trainingsdatensätze dienten hier die Drainagedaten der Kantone AG und ZH (zu einer Region zusammengefasst). Die Zuverlässigkeit der Ursprungsdaten für die Drainageflächen wird als «gut» eingeschätzt. Erstes Ergebnis ist die kontinuierliche Karte (Abb. 17) und die Tabelle der Modellparameter (insbesondere AUC und Variable-Importance; Tab. 6).

Tabelle 6: Modellparameter zum Modell OST.

AUC: 0,913, MSE: 0,041; Mean Per-Class Error: 0,243, Gini: 0,826

	Variable	Anteil	Abkürzungsverzeichnis	
1	twi	0,57	twi	Topographic Wetness Index
2	bekbt	0,13	bekbt	Bodentyp (BEK200)
3	hn6	0,12	hn6	Hangneigung < 6°
4	fg18	0,056	fg18	Feuchtgebiete vor 1918
5	bekv	0,054	bekv	Vernässung (BEK200)
6	bekg	0,028	bekg	Gründigkeit (BEK200)
7	geo1	0,019	geo1	Auszug aus Geocover
8	beksk	0,009	beksk	Skelettgehalt (BEK200)
9	bekaw	0,008	bekaw	Acker/Weideland (BEK200)
10	bekwd	0,006	bekwd	Wasserdurchlässigkeit (BEK200)
11	bekws	0,004	bekws	Wasserspechervermögen (BEK200)

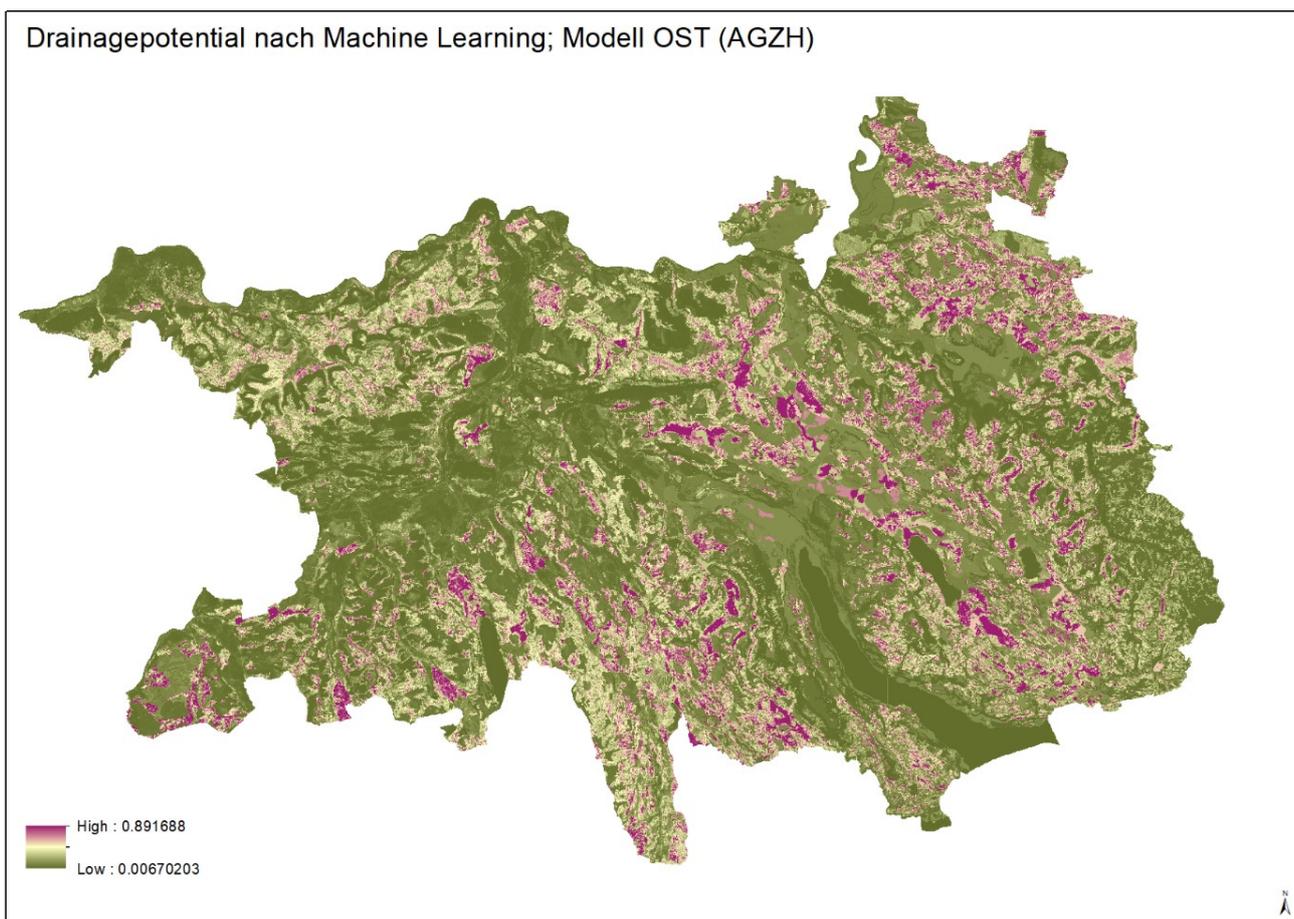


Abbildung 17: Darstellung der Machine Learning Berechnungen über die Fläche von Aargau und Zürich (AGZH). Die Karte stellt den Mittelwert von fünf Einzeldurchläufen des ML-Algorithmus dar. Die Farbskala zeigt das relative Potential von grün (wenig, Werte nahe 0) bis violett (hoch, Werte nahe 1).

Für eine erste optische Überprüfung wurden die kontinuierlichen Karten bzw. Daten mit den kantonalen Drainagedaten überlagert (Abb. 18). Es zeigt sich, dass die kantonalen Angaben sich zumeist mit den berechneten Flächen mit hohem Potential überlagern. Dennoch gibt es neben Randeffekten und Detailungenauigkeiten auch Flächen (lila), die ein hohes berechnetes Potential aufweisen, aber keine Angaben über Drainageflächen. Dies kann mehrere Ursachen haben: **a.** Die Flächen sind natürliche Feuchtgebiete, die unter Naturschutz stehen, **b.** die Flächen sind überbaut/Siedlungsgebiet bzw. nicht landwirtschaftlich genutzt, **c.** die digitalen kantonalen Daten sind an dieser Stelle lückenhaft.

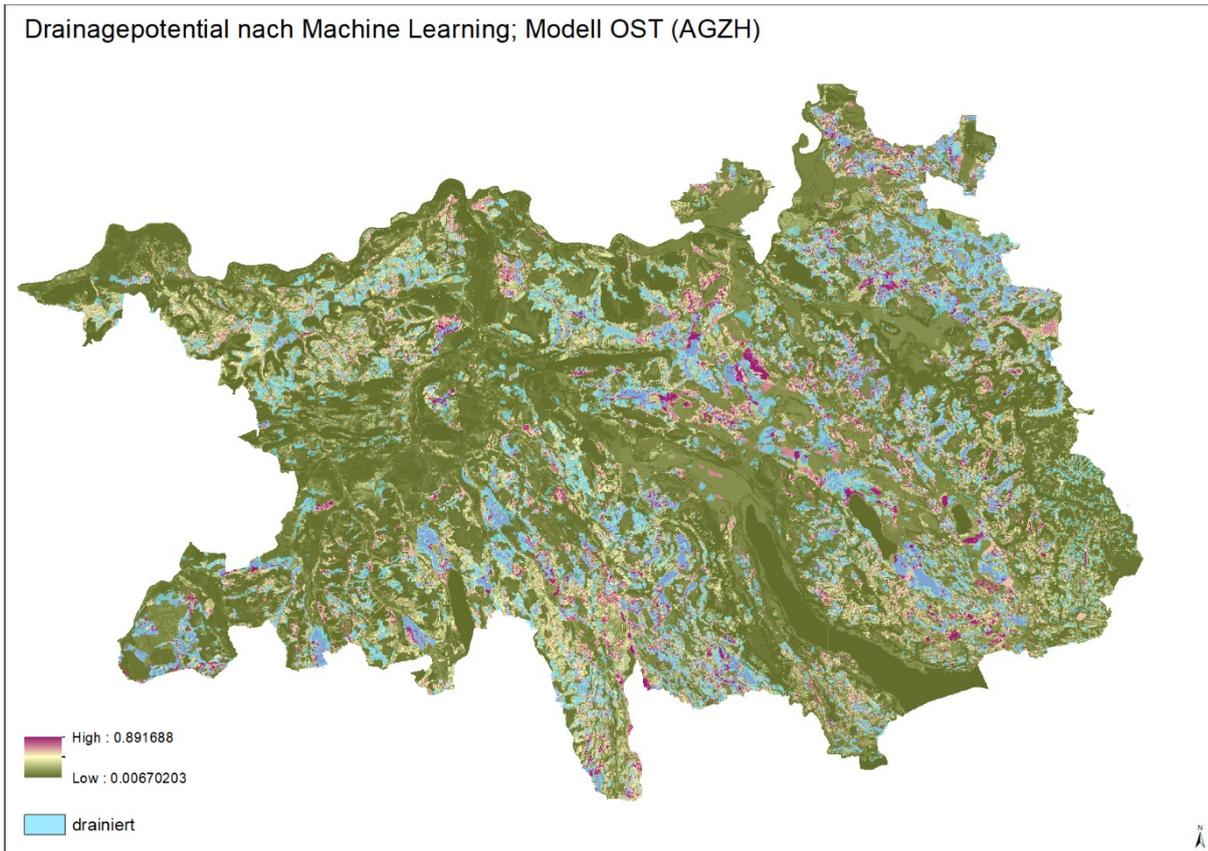


Abbildung 18: Überlagerung der modellierten drainierten (fliessend von lila zu grün) mit den drainierten Flächen (blau) über die Fläche von Aargau und Zürich (AGZH).

In einem weiteren Schritt wurde LWF ausgeschnitten (Abb. 19a). Es zeigte sich, dass ein Teil der vom Kanton als «drainiert» beschriebenen Flächen ausserhalb der LWF liegen (Abb. 19b). Dies kann an der unterschiedlichen Datenaktualität der Datensätze liegen, so dass eine noch als drainiert beschriebene Fläche inzwischen überbaut oder anderweitig genutzt sein kann. Für eine genauere Auswertung wurden die Daten klassifiziert und eine Analyse auf Pixelbasis durchgeführt.

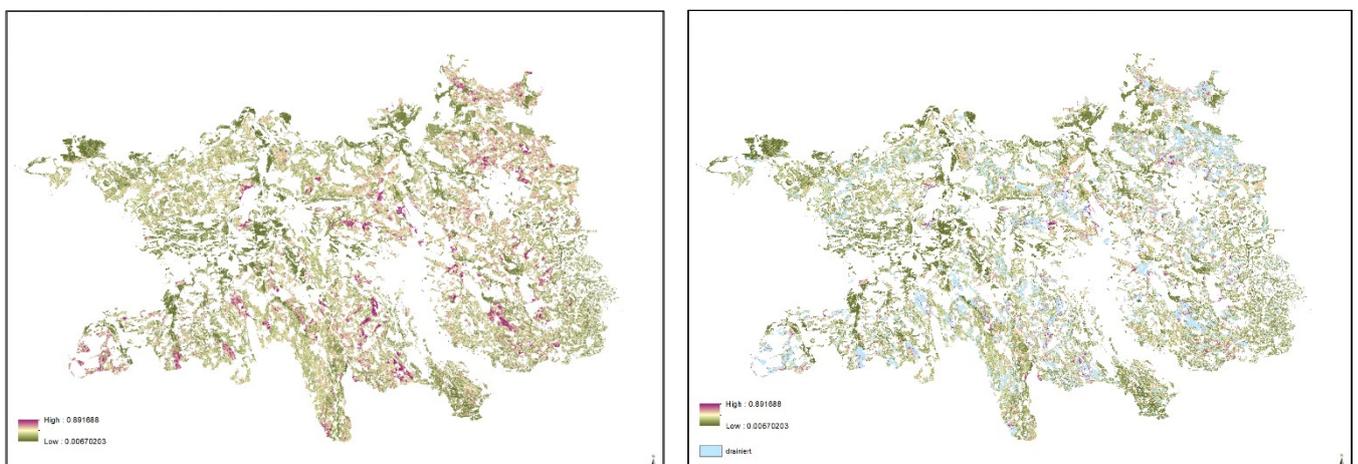


Abbildung 19: Überlagerung der modellierten drainierten, landwirtschaftlich genutzten Flächen (fliessend von lila zu grün, a bzw. links) mit den drainierten Flächen aus den kantonalen Daten (blau, b bzw. rechts) über die Fläche von Aargau und Zürich (AGZH).

4.5.3 Klassifizierung

Um die Daten der unterschiedlichen Modelle zu einer einheitlichen Karte zusammenzufügen und übergreifende Analysen machen zu können, wurden die relativen, kontinuierlichen Werte klassifiziert. Zunächst wurde ein Grenzwert festgelegt, unterhalb dessen eine Drainage unwahrscheinlich ist. Hieraus entstand eine Karte mit zwei Klassen: Drainage wahrscheinlich und Drainage unwahrscheinlich. Diese zunächst grobe Klassifizierung hilft bei der Beurteilung des Modells und war die Ausgangsdatenlage für die Overlay-Pixelanalysen mit den Drainagedaten (Verifizierung). Die Tabelle 7 zeigt, wie sich die Werte für die Potential- und Drainage-Erkennung (als Anteil der LWF bzw. der Drainagedaten) mit dem ausgewählten Grenzwert ändern. Vorgabe war, dass ein möglichst hoher Prozentsatz der tatsächlich drainierten Fläche aus den kantonalen Daten innerhalb des gewählten Grenzwertes liegen sollte. Die Tabelle 7 zeigt auch, wie sich die modellierten Werte mit dem Grenzwert und der Klassifizierung verschieben. Bei einem Grenzwert von 0,1 wurde für 88 % der kantonalen Drainage-Daten auch vom ML ein Drainagepotential erkannt, lediglich 12 % der drainierten Fläche wurde nicht als Potentialfläche eingestuft. Bezogen auf die gesamte LWF wurden von fast 20 % drainierter Fläche (nach kantonalen Angaben) bei einem Grenzwert von 0,1 auch 17,5 % als drainierte Flächen erkannt, lediglich 2,4 % wurden nicht erkannt. Allerdings berechnete das Modell auch für weitere 48 % der LWF ein Drainagepotential. Bei einem Grenzwert von 0,3 erkannte das Modell nur noch 7 % der LWF und 35 % der nach kantonalen Angaben drainierten Fläche als solche. 19 % der nach kantonalen Angaben drainierten Fläche lagen ausserhalb der hier verwendeten LWF. Dies kann anzeigen, dass die Datensätze unterschiedliche Aktualitäten aufweisen. Auch kann es sein, dass im kantonalen Datensatz Leitungen verzeichnet sind, wobei gerade die Hauptleitungen evtl. nicht mehr innerhalb der LWF verlaufen. Im Kapitel 4.8. (Plausibilisierung) wurde daher in Stichproben eine Überlagerung mit aktuellen Luftbildern durchgeführt. Auch ist bei diesem Wert zu beachten, dass sich die verwendete LWF aus der Feldblockkarte ableitet, in welcher Strassen, Wege, Flüsse und Gebäude ausgespart sind. Drainagerohre können aber unter solchen Begrenzungen hindurch bzw. parallel verlaufen. Auch sind Drainagerohre je nach Kanton oft als in der Geodatenverarbeitung «gepufferte Linie» übernommen worden und stellen nun eine wesentlich grössere Fläche dar als in der Realität.

Bei einem Grenzwert von 0,1 liegen die meisten kantonalen Drainagedaten innerhalb der modellierten Fläche. Der Wert von 0,1 wurde daher als Basis-Grenzwert für ein Drainagepotential festgelegt (Abb. 20). Allerdings ist bei einem Grenzwert von 0,1 die Gesamtfläche für ein Drainagepotential mit 65 % der LWF von AG und ZH sehr gross. Abbildung 20 zeigt die Potentialfläche für die Region AG-ZH bei einem Grenzwert von 0,1.

Tabelle 7: Klassifizierung der durch das ML berechneten Potentialfläche nach verschiedenen Grenzwerten für die Region Aargau-Zürich. Die Analyse wurde auf Pixelbasis durchgeführt. Die obere Tabelle zeigt den Prozentsatz der LWF (100 %), für den das ML Potential erkannt hat. «Drainiert» bezieht sich auf die vorhandenen kantonalen Drainagedaten. Die untere Tabelle zeigt den Anteil der vorhandenen kantonalen Drainagedaten (100 %), die bei dem entsprechenden Grenzwert als Potentialflächen erkannt wurden.

Grenzwerte für die Potentialfläche, Bsp. Region Aargau, Zürich				
Anteil ML-Fläche an der LWF (100 %)				
Grenzwerte (relative Werte max. 1)	0,1	0,15	0,2	0,3
Drainiert + Modell Potential erkannt	17,5	15	12,1	7
Drainiert + Modell Potential NICHT erkannt	2,4	4,8	7,7	12,8
NICHT drainiert aber vom Modell Potential erkannt	47,9	32,4	20,5	7,6
NICHT drainiert, kein Potential vom Modell erkannt	32,2	47,7	59,7	72,6
Potentialfläche ML gesamt (% von LWF)	65,4	47,4	32,6	14,6
Drainagedaten (100 %) innerhalb der LWF				
Grenzwerte (relative Werte max. 1)	0,1	0,15	0,2	0,3
Drainiert + Modell Potential erkannt	88,1	75,7	60,9	35,4
Drainiert + Modell Potential NICHT erkannt	11,9	24,3	39,1	64,6

Drainierte Fläche laut Kanton	
% Drainierte Fläche ausserhalb der LWF*	19,2
% LWF drainiert nach kantonalen Geodaten**	19,8

*(% von Gesamt-Drainagefläche)

**(% von Gesamt LWF)

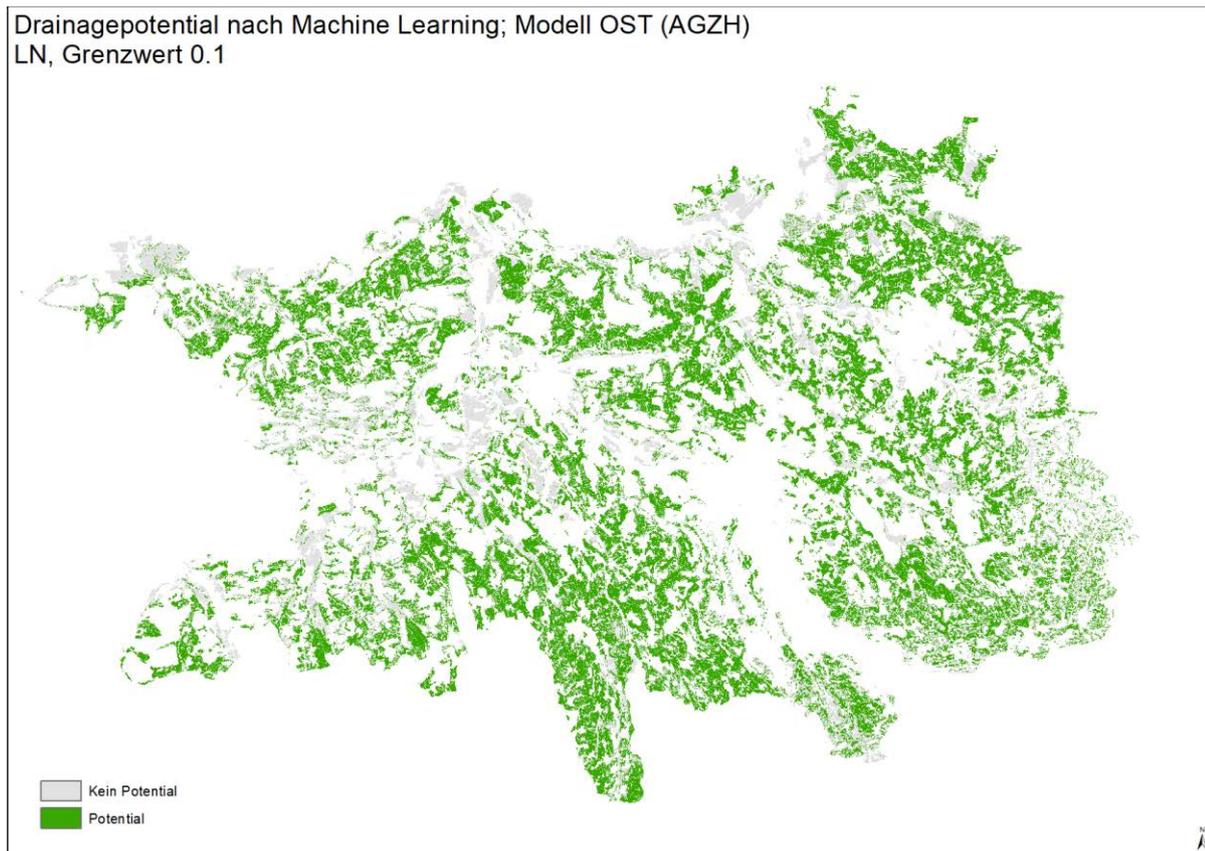


Abbildung 20: Mittels ML berechnete Drainage-Potentialfläche (grün) innerhalb der LWF (grün, grau) bei einem Grenzwert $> 0,1$, über die Fläche von Aargau und Zürich (AGZH).

4.5.4 Analysen auf Pixelbasis

Nach der ersten Klassifizierung auf Basis des Grenzwertes 0,1 wurden erste Analysen auf Pixelbasis durchgeführt. Hierbei wurde verglichen, wie viele Pixel einer Karte mit einem anderen übereinstimmen; in diesem Fall der LWF-Ausschnitt der ML-Modellierung mit einem Grenzwert von 0,1 und die kantonalen Drainagedaten. Beide Datensätze wurden entsprechend aufbereitet und auf das Basisraster angepasst. Es wurde zunächst die Lage der Drainageflächen innerhalb und ausserhalb der LWF mittels Overlay-Pixelanalyse bestimmt. Für alle Modellregionen wurde so berechnet, welcher Anteil der angegebenen Drainageflächen innerhalb der LWF liegen. So kann eine Abschätzung zur Genauigkeit der Daten gemacht werden. Hier ist zu beachten, dass alle Datensätze nur so genau sind wie die Eingabedaten und auch durch die Verpixelung (Umwandlung von Polygon in Rasterdaten) mit gewissen Ungenauigkeiten behaftet sind. Es zeigte sich, dass, wie bei der Analyse der Region AG-ZH, in der Regel bei allen Regionen ein Teil der Drainageflächen ausserhalb der LWF liegt, da die Datensätze unterschiedliche Detailgenauigkeit und Aktualität aufweisen.

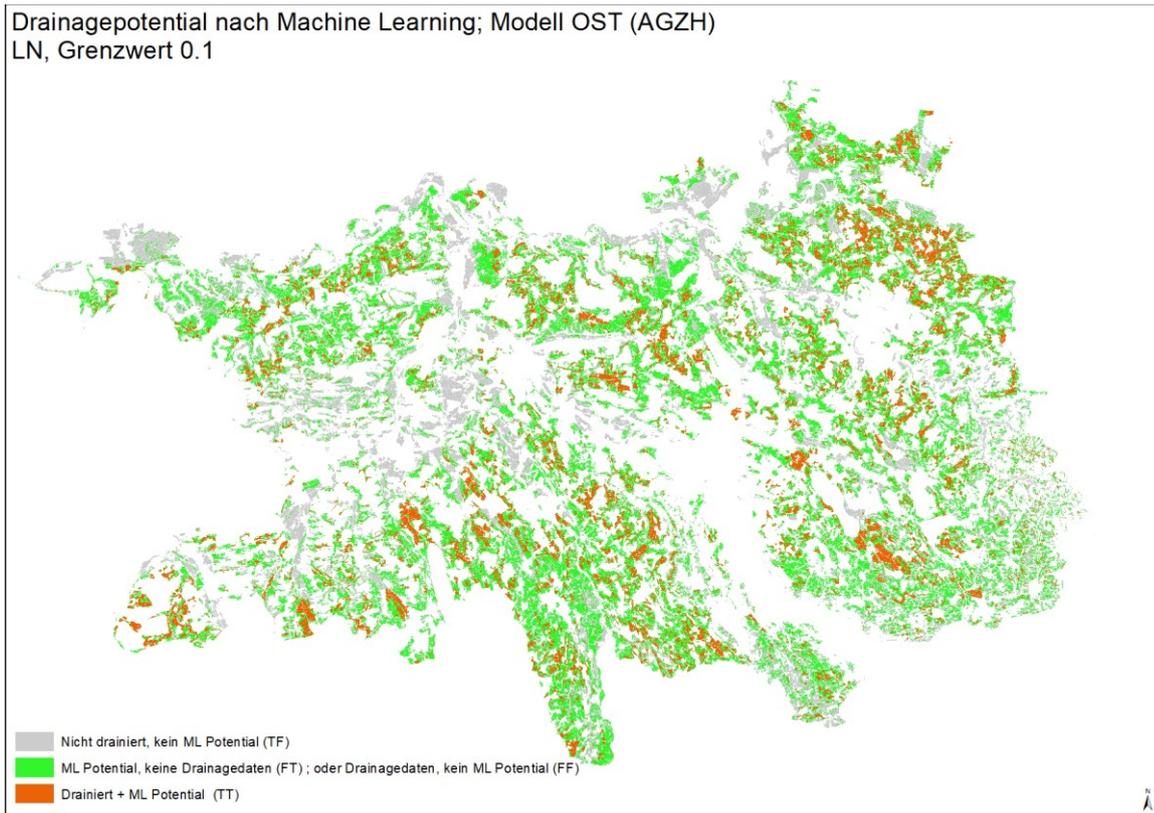


Abbildung 21: Mittels Machine Learning berechnete Drainagepotentialfläche der landwirtschaftlich genutzten Fläche (LWF) über die Fläche von Aargau und Zürich (AGZH) mit einem Grenzwert $> 0,1$ (grün) und überlagert (rot) die Drainagedaten des Kantons. Siehe auch Tabelle 7.

Es zeigt sich auch, dass die berechnete Potentialfläche sehr viel grösser ist als die angegebene drainierte Fläche (Abb. 21). Gründe hierfür können z. B. sein:

- Die Festlegung des Grenzwertes.
- Die tatsächliche Landnutzung (Ackerland, Grünland/Weide).
- Die Genauigkeit der kantonalen Daten, die nur finanziell geförderte Drainagen und z. B. keine privat erstellten Drainagen beinhalten.

Nicht jede Fläche, die rechnerisch ein Potential aufzeigt, ist in der Realität auch tatsächlich drainiert, da für eine Drainage von LWF auch weitere Faktoren wichtig sind.

Drainagepotential klassifiziert; 6 Klassen

Ausgehend von dem festgelegten Grenzwert von 0,1 wurden die Ergebnisse der ML-Modellierung in 6 Klassen unterteilt, die die Wahrscheinlichkeit einer Drainage wiedergeben sollen. Die Klassifizierung wurde jeweils nur über die LWF erstellt.

Die 6 Klassen wurden wie folgt unterteilt:

Klasse 0: $< 0,1$	kein Potential
Klasse 1: $0,1 - 0,2$	geringes Potential
Klasse 2: $0,2 - 0,3$	geringes - mittleres Potential
Klasse 3: $0,3 - 0,4$	mittleres Potential
Klasse 4: $0,4 - 0,5$	hohes Potential
Klasse 5: $0,5 - 0,6$	hohes - sehr hohes Potential
Klasse 6: $> 0,6$	sehr hohes Potential

Die Abbildung 22 zeigt das klassifizierte Drainagepotential für die Region AG-ZH.

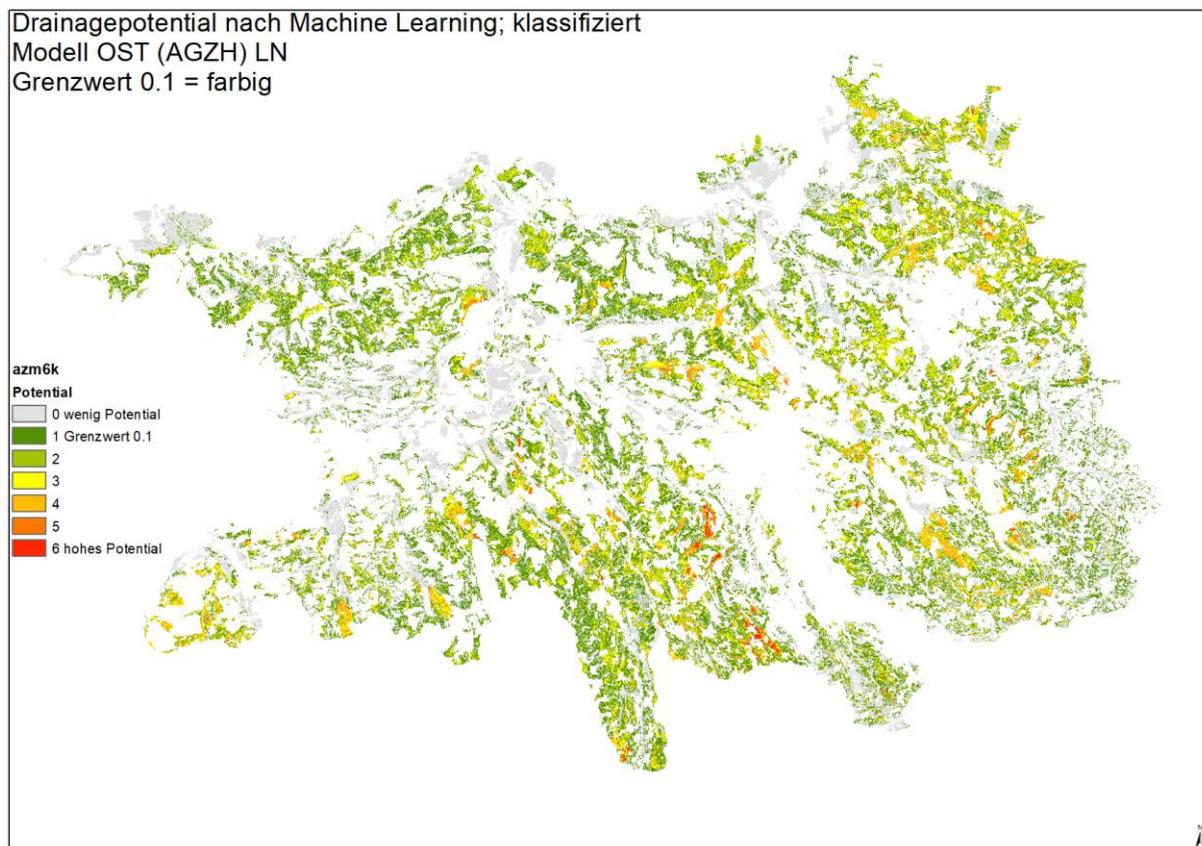


Abbildung 22: Sechs-stufige Klassifizierung des Drainagepotentials für die Region Aargau-Zürich (Trainingsdatenset für das Modell OST). Ab einem Grenzwert von 0,1 besteht ein Potential für eine Drainage aufgrund der Umweltparameter, höhere Klassen haben ein höheres Potential. Dargestellt ist nur die landwirtschaftlich genutzte Fläche.

Tabelle 8 zeigt die Verteilung der einzelnen Potentialklassen über die gesamte LWF und die nach kantonalen Angaben drainierte Fläche. Es zeigt sich, dass ein relativ hoher Anteil der drainierten Fläche nach kantonalen Angaben in den ersten zwei Klassen liegen (gesamt 52,6 %), die für ein geringes Potential stehen. Dies kann zum einen methodische Ursachen haben (Detailgenauigkeit der Daten, Verpixelung). Zum anderen sind in der Region AG-ZH viele Flächen drainiert, die aufgrund der Umweltparameter kein hohes Potential haben, z. B. tiefgründige, senkrecht durchwaschene Böden. Die Gründe für eine Drainage können in diesem Fall möglicherweise mehr in einer Verbesserung der Ackerfähigkeit bzw. Ertragsleistung liegen, als in einer dringenden Notwendigkeit aufgrund von dauerhafter starker Vernässung.

Tabelle 8: Klassifizierung des mittels Machine Learning (ML) berechneten Drainagepotentials für die Region Aargau-Zürich. Ab einem Schwellenwert von 0,1 aufwärts wird von einem Potential für eine Drainage des Bodens ausgegangen. Angegeben sind zudem die Prozentsätze der einzelnen Klassen für die landwirtschaftlich genutzte Fläche (LWF) und der nach kantonalen Angaben drainierten Fläche.

Drainagepotential

Verteilung bei Reklassifizierung

Modell Ost, Aargau-Zürich	Klasse	Werte ML	% der Klasse an der LWF	% der Klasse an der Summe der drainierte Flächen
Kein Potential	0	< 0,1	34,6	11,9
Geringes Potential	1	0,1-0,2	32,8	27,1
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	18,0	25,5
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	9,1	18,5
Hohes Potential	4	0,4-0,5	3,9	11,0
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	1,1	3,8
Sehr hohes Potential	6	0,6- 0,9	0,5	2,2

4.6 Klassifizierte Gesamtkarte Schweiz zum Drainagepotential

Die Klassifizierung ermöglicht auch eine in den Werten bzw. Klassen homogene Gesamtkarte der Schweiz zu erstellen. Dazu wurden alle Karten bzw. Kantone auf die gleiche Weise klassifiziert und die Einzelkarten zu einer schweizweiten Karte für die LWF zusammengesetzt (Abb. 23).

Abbildung 23 (nächste Seite): Drainagepotential in der Schweiz über die landwirtschaftlich genutzte Fläche in sechs Klassen: Sehr hohes (rot, dunkelrot), hohes (orange), mittleres (gelb), geringes bis mittleres (hellgrün) und geringes (dunkelgrün) Potential.

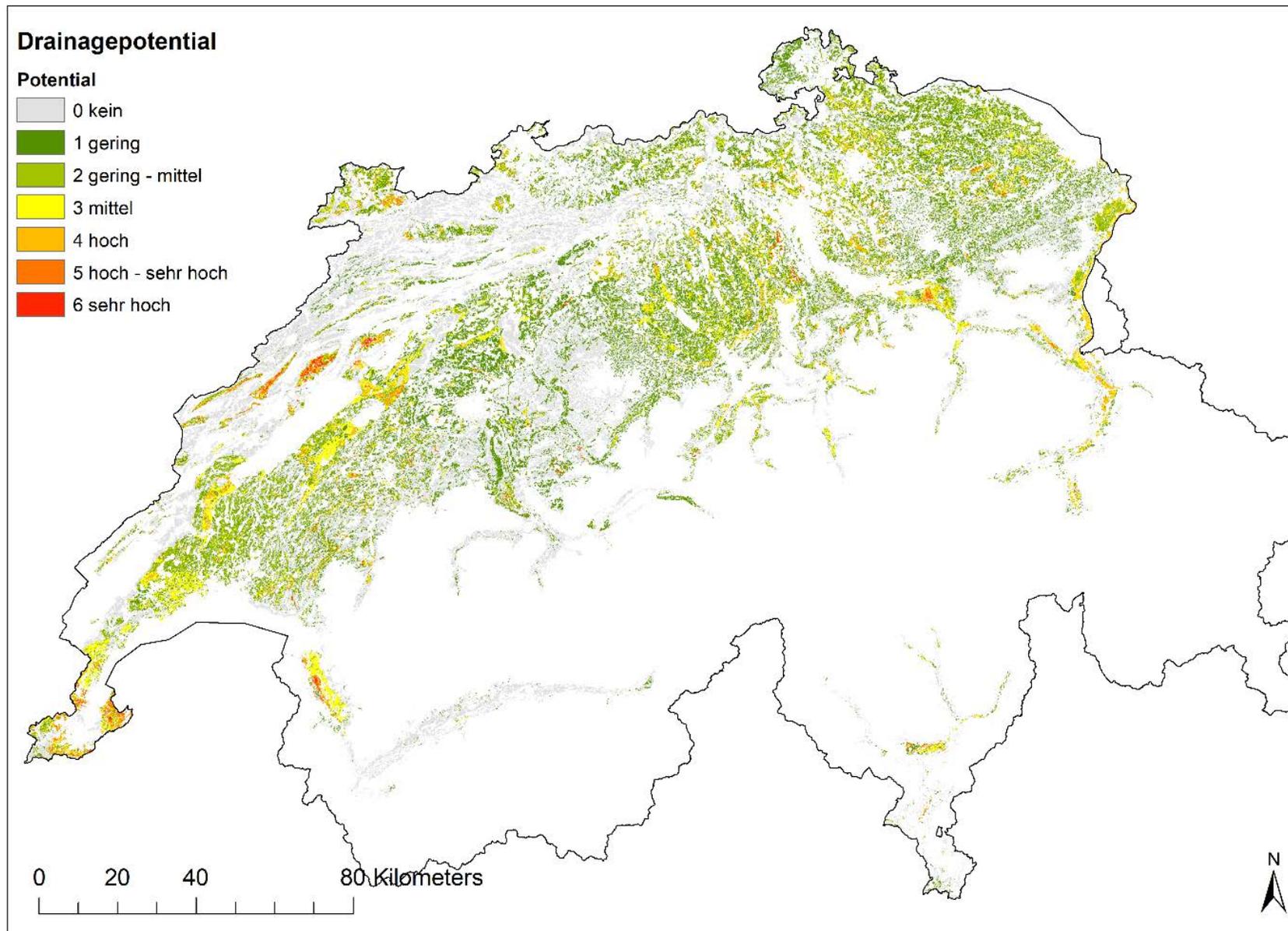


Tabelle 9: Verteilung der einzelnen Potentialklassen über die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche der Schweiz.

Klassen		ha	%
Kein Potential	0	419 816	47,4
Geringes Potential	1	238 664	26,9
Geringes – mittleres Potential	2	118 743	13,4
Mittleres Potential	3	67 935	7,7
Hohes Potential	4	28 202	3,2
Hohes - sehr hohes Potential	5	9748	1,1
Sehr hohes Potential	6	3464	0,4
Summe		886 572	100

Tabelle 10: Analyse der Flächensumme aller vorhandener Drainagedaten und der Werte der 6 Klassen der ML-Modellierung bezogen auf die Landwirtschaftlich genutzte Fläche (LWF). In die Analyse eingegangen sind die Drainagedaten und die LWF der Kantone AG, BE, BL, BS, FR, GE, NE, SG, ZH.

Klasse	Summe LWF der Kantone mit Drainagedaten (ha)	Anteil (%) der Klasse an der LWF	Drainagedaten innerhalb LWF (ha)*	Anteil der Klasse drainiert (%)	Flächendeckung (% drainierte Fläche innerhalb dieser Klasse)
0	222 668	52,6	13 112	18,6	5,9
1	111 562	26,3	18 457	26,2	16,5
2	40 521	9,6	12 977	18,4	32,0
3	24 750	5,8	10 704	15,2	43,2
4	14 719	3,5	8407	11,9	57,1
5	6585	1,6	4625	6,6	70,2
6	2685	0,6	2253	3,2	83,9
Gesamt	423 493	100	70 535	100	

*angepasster Rasterdatensatz ML, Verpixelung 25 m x 25 m

Insgesamt weisen 53 % aller landwirtschaftlich genutzten Flächen der Schweiz ein Potential für Drainagen auf, 47 % der Fläche haben kein Potential (Tab. 9). Die Klassen 3 bis 6, welche ein mittleres bis sehr hohes Drainagepotential aufgrund der Umweltfaktoren darstellen, sind anteilmässig an der LWF eher selten (zusammen 12,4 % der LWF). Mit zunehmender Wahrscheinlichkeitsklasse nimmt der prozentuale Anteil vorhandener drainierter Fläche an der modellierten Potentialfläche der LWF der entsprechenden Fläche zu und beträgt in der höchsten Klasse (6) 83,9 % (Tab. 10). Das bedeutet, dass in Klasse 6 83,9 % der modellierten drainierten Fläche auch gemäss kantonalen Angaben drainiert sind.

Durch die Verpixelung entsteht eine Unschärfe, die bei allen Prozentangaben zu beachten ist. Die Originaldaten der Kantone lagen als Vektordaten vor, welche genauer sind. Weiterhin mussten alle Rasterdateien auf eine Vorlage angepasst werden (Pixelverschiebung).

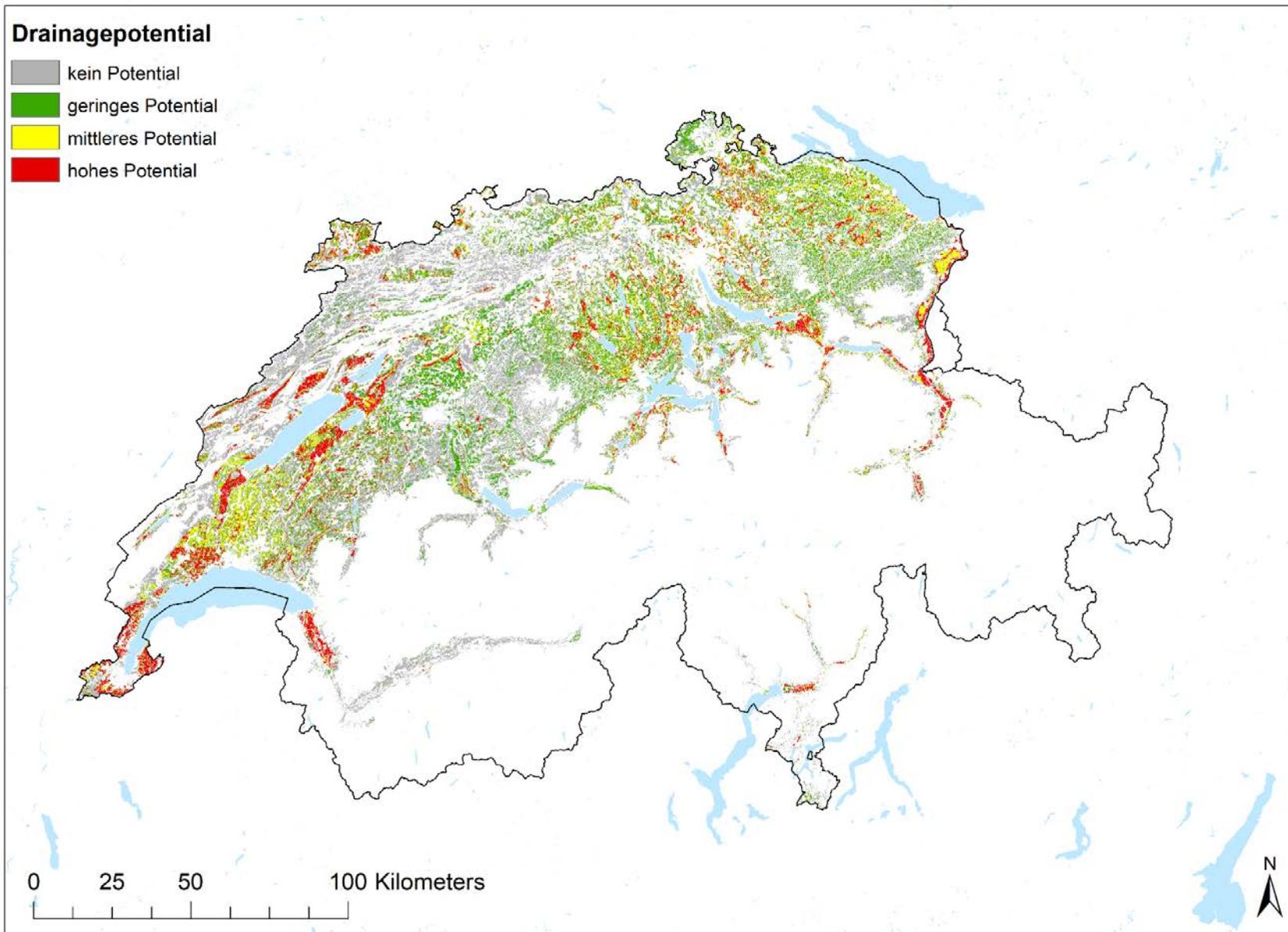
Um einen besseren Überblick über die Daten zu bekommen, wurde in einem weiteren Schritt eine Re-Klassifizierung auf nur 3 Potential-Klassen durchgeführt (Tabelle 11 und Abbildung 24).

Tabelle 11: Verteilung der Fläche (LWF) bei einer Einteilung in 3 Klassen.

Klasse	ha	%		Transfer
0	419 816	47	kein Potential	Klasse 0 (6k)
1	238 664	27	geringes Potential	Klasse 1 (6K)
2	118 743	13	mittleres Potential	Klasse 2 (6K)
3	109 350	12	hohes Potential	Klassen 3-6 (6K)
Summe	886 572	100		

Hierbei wurden die Klassen 3 bis 6 zusammengefasst. So haben nach der 3 Stufen-Klassifizierung 27 % (238 664 ha) der LWF ein geringes Potential, 13 % (118 743 ha) ein mittleres Potential und 12 % (109 359 ha) ein hohes Potential für eine Drainage. Fasst man die Werte der Klassen 2 und 3 zusammen, ergeben sich 228 093 ha mit einem mittleren oder hohem Potential. Dieser Flächenanteil liegt in gleichen Grössenordnung, wie die angegebene drainierte Fläche der BLW-Umfrage (Béguin und Smola, 2010) mit 192 231 ha. Aufgrund der Trainingsdaten können bei der ML-Modellierung auch Flächen mit einem (geringem) Potential bewertet worden sein, bei denen keine dauerhafte Vernässung gegeben ist, eine Drainage aber aus Gründen der Ertragsverbesserung angelegt worden sein könnte.

Abbildung 24 (nächste Seite): Drainagepotential in der Schweiz über die landwirtschaftlich genutzte Fläche in drei Klassen: Hohes (rot), mittleres (gelb) und geringes (grün) Potential.



4.7 Vergleich der einzelnen Modelle bzw. Modellregionen und Datengenauigkeit

Für die Westschweiz lagen sehr gute Daten der Kantone NE und GE vor. Die Daten des Kantons FR wurden mit „nicht bekannter Genauigkeit und Vollständigkeit“ übermittelt. Allerdings weisen sie eine gute Detaillierung, insbesondere auch im Berggebiet auf. Alle drei Kantone wurden zum Trainingsdatensatz der Modellregion «West» zusammengefasst. Mittels dieser Daten wurde der Kanton VD berechnet, von dem keine Daten zu Verfügung standen. Insbesondere der Kanton NE bietet sehr gute und exakte Drainagedaten, was zu einer sehr guten Modellanpassung führt (siehe AUC Modell NE, Abb. 13). Es zeigt sich, dass die meisten gemeldeten Drainagen in Gebieten mit einer hohen berechneten Wahrscheinlichkeit liegen (siehe Abbildungen im Anhang A1). In den Berggebieten liegen die meisten Drainagen in Tälern, allerdings sind auch einige Hangdrainagen verzeichnet. Die Übereinstimmung des Gesamtmodells West mit den Angaben der verzeichneten Drainagen im Freiburger Alpengebiet ist weniger genau, als die des Modells Freiburg. Die besten Übereinstimmungen ergaben sich in den Kantonen NE und GE aufgrund der guten Trainingsdaten. Für den Kanton VD kann daher auch eine gute Voraussage angenommen werden (Abbildung und Tabelle siehe Anhang A1).

Das Jura ist eine Karst-geprägte Hügel- und Berg-Region. Wegen der besonderen Geologie wurde anhand der Drainage-Geodaten des Kantons BL ein Modell für die Region (BL, SO) trainiert. In JU und BL sind die Drainagepotentialflächen eher klein, von der gesamten LWF haben 65 % kein Potential (siehe Tabelle und Abbildung Jura im Anhang A1).

Der Kanton BE hat eine sehr grosse Fläche, so dass es sinnvoll erschien, hier ein eigenes Modell zu rechnen. Die Daten zu Drainageflächen, die als Trainingsdatensatz dienten, waren nicht öffentlich und sind von unklarer Vollständigkeit und Genauigkeit. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Daten insbesondere im Berggebiet nur sehr grob aufgenommen wurden und nicht parzellengenau sind. In den typischen Ackerbauregionen sind die Daten hingegen detailliert.

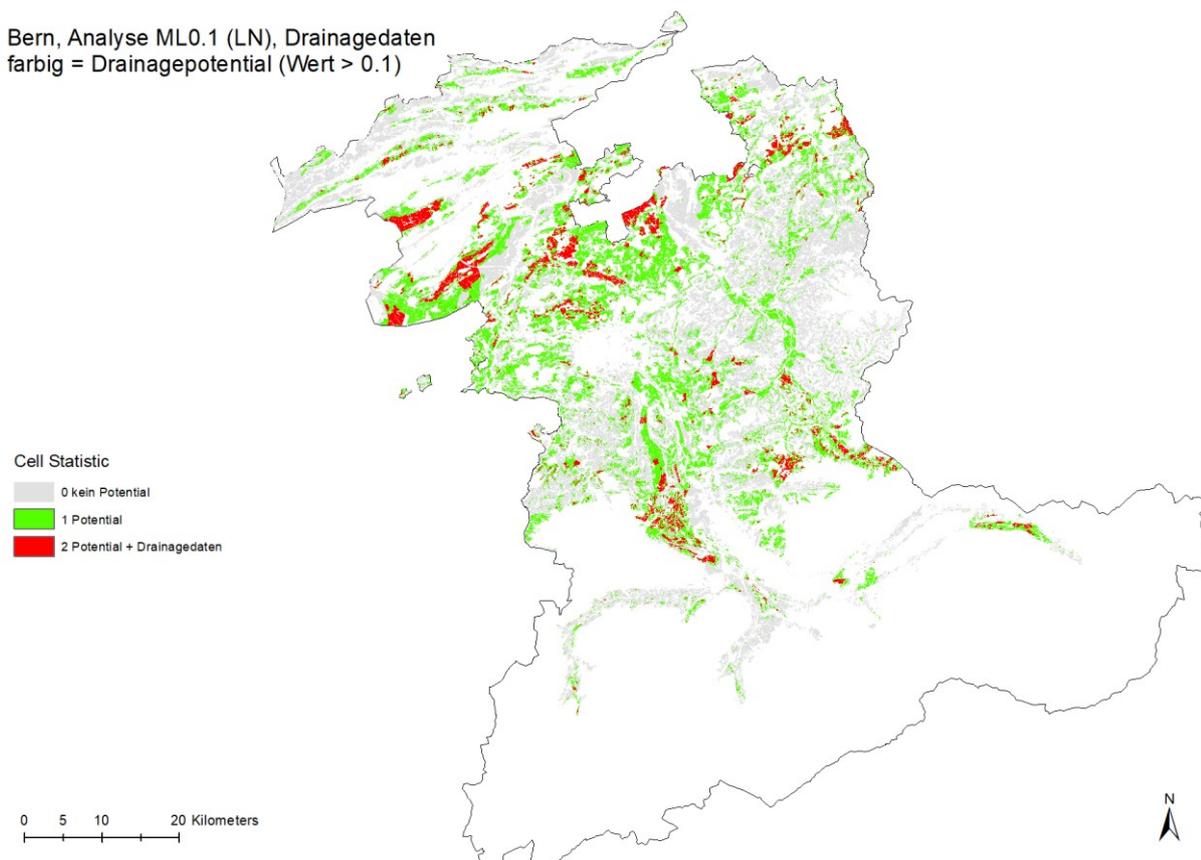


Abbildung 25: Zellenstatistik zur Übereinstimmung der kantonalen Drainagedaten mit dem berechneten Potential für den Kanton Bern (nur LWF). Grün = Drainagepotential ($ML > 0,1$), Rot = Drainagepotential und Drainagedaten (Kanton); kantonale Daten ausserhalb der LWF sind nicht dargestellt.

Drainierte Flächen im Kanton BE liegen auch im Berggebiet und in Gebieten, für die keine hohe Wahrscheinlichkeit berechnet wurde (Abb. 25). Dies zeigt, dass auch Flächen drainiert wurden, die nicht die typischen Umweltparameter (hoher TWI, geringe Hangneigung) aufweisen. Solche Flächen könnten z. B. entwässerte Weideflächen sein oder kleinere Flächen in den Tälern, die stark durch Hangnässe beeinflusst sind. Leider ist im Datensatz „Drainagen“ in BE die Auflösung im Berggebiet recht grob. Hier bietet vermutlich die Modellierung genauere Daten.

Allen ML-Modellen für die Regionen der Schweiz ist gemeinsam, dass die Parameter TWI und Hangneigung einen hohen Stellenwert in der Wahrscheinlichkeit für eine Drainage haben (Tabelle 12). Ehemalige Feuchtgebiete spielen hingegen nur in Regionen eine Rolle, in denen diese früher gehäuft vorhanden waren. Bei den Bodenparametern der BEK200 zeigt sich je nach Region ein unterschiedliches Bild: Bei den Modellen Ost, West und FR spielt der Bodentyp (bekbt) eine grössere Rolle, (s. Anhang A2b Parameter-tabellen), wohingegen in JU, BL und BE die Vernässung wichtiger ist. Das Modell FR (für die Bergkantone) zeichnet sich auch dadurch aus, dass hier die GeoCover-Daten einen hohen Stellenwert einnehmen (Rang 3), während diese in den übrigen Modellen eher eine untergeordnete Rolle spielen (Rang 6-10). Ebenfalls ist die Wasserdurchlässigkeit (bekwd) eher unwichtig und rangiert auf den letzten Rängen.

Tabelle 12: Rangliste mit Anteil der einzelnen Variablen in den Modellen (AUC und ROC siehe Anhang A2).

Modell	Ost		Modell	West	
Rang	Variable	Anteil	Rang	Variable	Anteil
1	twi	0,57	1	twi	0,39
2	bekbt	0,13	2	hn6	0,30
3	hn6	0,12	3	bekbt	0,08
4	fg18	0,06	4	bekg	0,07
5	bekv	0,05	5	bekv	0,05
6	bekg	0,03	6	geo1	0,03
7	geo1	0,02	7	beksk	0,02
8	beksk	0,009	8	bekaw	0,02
9	bekaw	0,008	9	bekws	0,01
10	bekwd	0,006	10	bekwd	0,01
11	bekws	0,004	11	fg18	0,01
Modell	Jura		Modell	Bern	
Rang	Variable	Anteil	Rang	Variable	Anteil
1	twi	0,35	1	twi	0,28
2	bekg	0,14	2	hn6	0,17
3	hn6	0,12	3	bekv	0,12
4	bekv	0,10	4	bekg	0,10
5	bekbt	0,09	5	fg18	0,06
6	beksk	0,06	6	bekws	0,06
7	bekaw	0,04	7	beksk	0,06
8	bekws	0,033	8	bekaw	0,06
9	geo1	0,033	9	bekwd	0,04
10	bekwd	0,027	10	geo1	0,03
11	fg18	0,0001	11	bekbt	0,025
Modell	Freiburg				
Rang	Variable	Anteil			
1	twi	0,36			
2	hn6	0,18			
3	geo1	0,14			
4	bekbt	0,10			
5	bekws	0,07			
6	bekv	0,05			
7	bekg	0,03			
8	bekaw	0,02			
9	fg18	0,02			
10	beksk	0,02			
11	bekwd	0,01			

Tabelle 13 zeigt die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den einzelnen Modellen und Regionen auf. Bei einem Grenzwert von 0,1 lagen bei allen Modellen mindestens 70 % der Drainagedaten innerhalb der LWF und ca. 20 % ausserhalb. Der Anteil an drainierter Fläche (Drainagedaten der Kantone) an der LWF unterscheidet sich regional: In AG und ZH (Trainingsdatenset für die Ost-Schweiz) sind ca. 20 % der LWF drainiert. Auch der Kanton SH gibt an, dass ca. 20 % seiner LN drainiert seien. Im JU hingegen sind nur ca. 11 % der LWF drainiert. In den Kantonen mit Drainagedaten (NE, FR, GE) des Modell West waren im Durchschnitt 18 % der LWF drainiert. Hier ist zu beachten, dass die Anteile an Drainagen in GE sehr hoch lagen (42 % der LWF drainiert) aber in NE und FR weniger LWF als drainiert angegeben wurde (ca. 16 %). Nach BLW-Angaben und Berechnungen sind aber im VD auch ca. 40 % der LN drainiert (s. Tabelle 2). Das Modell FR lag bei 15,5 % drainierter Fläche innerhalb der LWF. Hier kommt hinzu, dass die Drainagedaten noch vorläufig waren und evtl. nicht in der entsprechenden Detailgenauigkeit zu Verfügung standen. Insgesamt war berechnete Potentialfläche für Drainagen bei einem Grenzwert von 0,1 bei allen Modellen erheblich grösser als die Flächenangaben der Kantone.

Tabelle 13: Vergleich der einzelnen ML Modelle bezüglich Drainagedaten, Drainagepotential und LWF. Alle Angaben beziehen sich nur auf die Kantone der Modellregionen, von denen Drainagedaten (ML-Trainingsdaten) zur Verfügung standen: Ost: AG, ZH; Bern: BE; Jura: BL; Freiburg (Süd): FR, West: NE, FR, GE.

Grenzwert 0.1	Ost	Bern	Jura	Freiburg	West
Drainagedaten (100 %)					
Drainagedaten innerhalb LWF*	80,8	72,0	73,0	77,6	84,0
Drainagedaten ausserhalb LWF*	19,2	28,0	27,0	22,4	16,0
LWF (100 %)					
LWF mit Drainagedaten (%)	19,8	10,9	11,0	15,5	18,0
Potentialfläche (ML 0,1)	64,4	37,2	35,0	52,0	44,0
LN drainiert: Vergleich mit					
BLW Umfrage (%)*	21,4	15,7	21,6	21,0	21,0
Drainagepotential (0,1) innerhalb LWF (100 %)					
LWF	100	100	100	100	100
Drainiert und Potential erkannt	17	8	8	13	15
Drainiert und KEIN Potential erkannt	3	3	3	3	3
Keine Drainagedaten aber Potential erkannt	47	30	27	39	29
Keine Drainagedaten und kein Potential erkannt	33	59	62	46	53
Summe Potential Drainagedaten (TT,FF, FT)	67	41	38	54	47
Drainagedaten (LWF)					
Drainiert + Modell Potential erkannt	87	69	73	82	84
Drainiert + Modell Potential NICHT erkannt	13	31	27	18	16

* Bezieht sich auf die Angaben der Kantone in der BLW Umfrage. Nur die Kantone der Trainingsdatensätze.

4.8 Plausibilisierung: Vergleich und Überlagerung mit Luftbildern

Die gross-skalierten Übersichtskarten und Tabellen über die gesamte Kantonsfläche vermitteln nur einen ungefähren Eindruck über die Modellgenauigkeit und die Drainagepotentiale. Für eine detailliertere Ansicht wurden einzelne Regionen ausgewählt und beispielhaft mit Luftbildern überlagert. So kann ermittelt werden,

welche Felder beispielsweise gemäss kantonalen Daten drainiert sind und wo sich möglicherweise Felder befinden, die zudem ein Potential aufweisen, zu denen aber keine kantonalen Daten vorliegen. Die Überlagerung gibt auch Hinweise zur Detailgenauigkeit der Drainagedaten. Die Abbildung 26 zeigt die Überlagerung der Pixel-Analyse mit den Luftbildern in der Region Greifensee. Die rot markierten Felder sind gemäss kantonalen Angaben drainiert, die hellgrün markierten weisen gemäss ML-Berechnung ein Potential auf, sind aber gemäss Kanton nicht drainiert. Grau markiert sind alle Felder die kein Potential aufweisen.

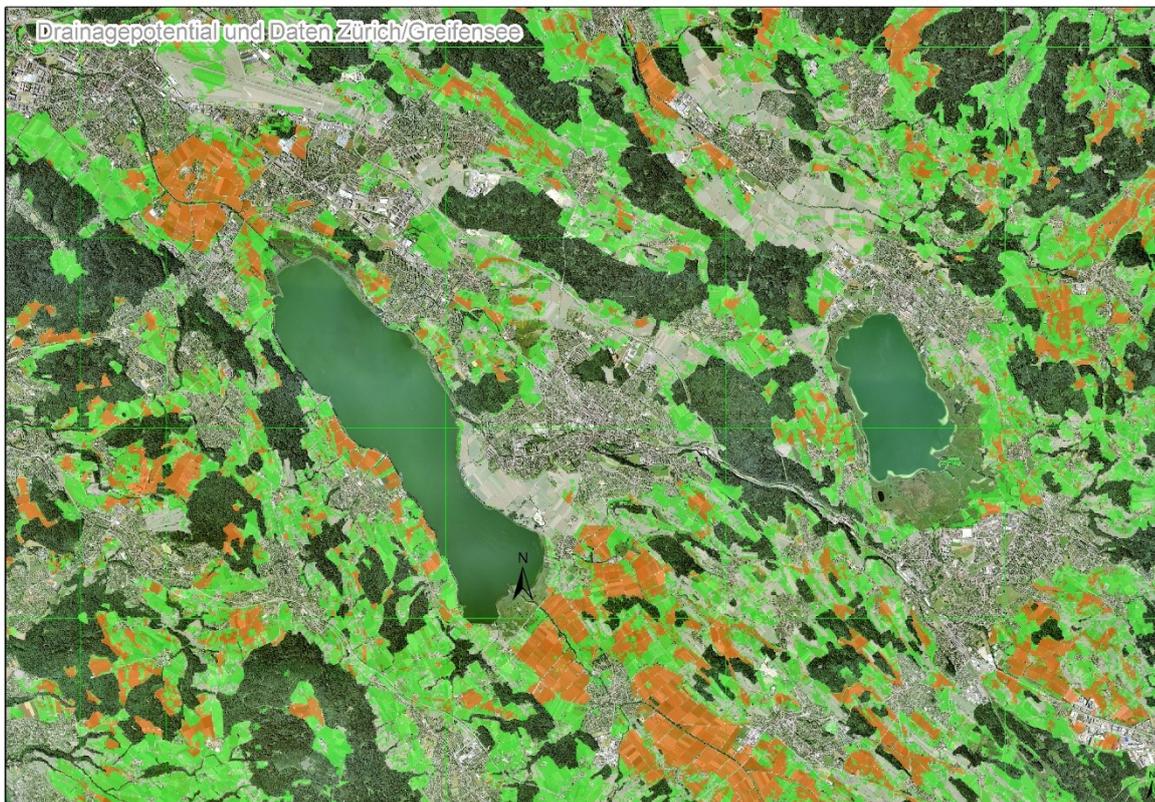


Abbildung 26: Region Greifensee: Überlagerung der Pixelanalyse mit dem Luftbild (rot = Drainagedaten und berechnetes Potential, grün = nur berechnetes Potential, grau = kein Potential). Ausgangsdaten LN; Maschine Learning mit Grenzwert 0,1 (ML01); Drainagedaten der Kantone.

Es zeigt sich, dass die drainierten Felder nur einen Teil der Potentialfläche ausmachen, aber die Felder mit Potential zumeist in direkter Nachbarschaft von drainierten Feldern liegen. Ob ein Feld wirklich drainiert ist, hängt nicht nur von Umweltgegebenheiten, sondern vor allem auch von soziokulturellen Faktoren ab wie Finanzierung, Fördermittel-Vergabe, Zugehörigkeit zu Verwaltungseinheiten, Bewirtschaftung und angebaute Kulturen. So ist die mittels ML aufgrund von Umweltfaktoren berechnete Potentialfläche für Drainagen sehr viel höher als die nach kantonalen Angaben drainierte Fläche. Die Karten-Auszüge für die Region Hallwilersee (Abb. 27) und für die Region Bielersee (Abb. 28, 29) bestätigen diese Beobachtungen. Es ist aber auch zu sehen, dass oft eine Übereinstimmung von Drainagedaten und Feldeinheiten besteht. Drainierte Flächen liegen häufig im Zu- oder Abflussgebiet der Seen (ehemalige Überschwemmungsgebiete und Feuchtgebiete) oder in Senken (Stauässe).

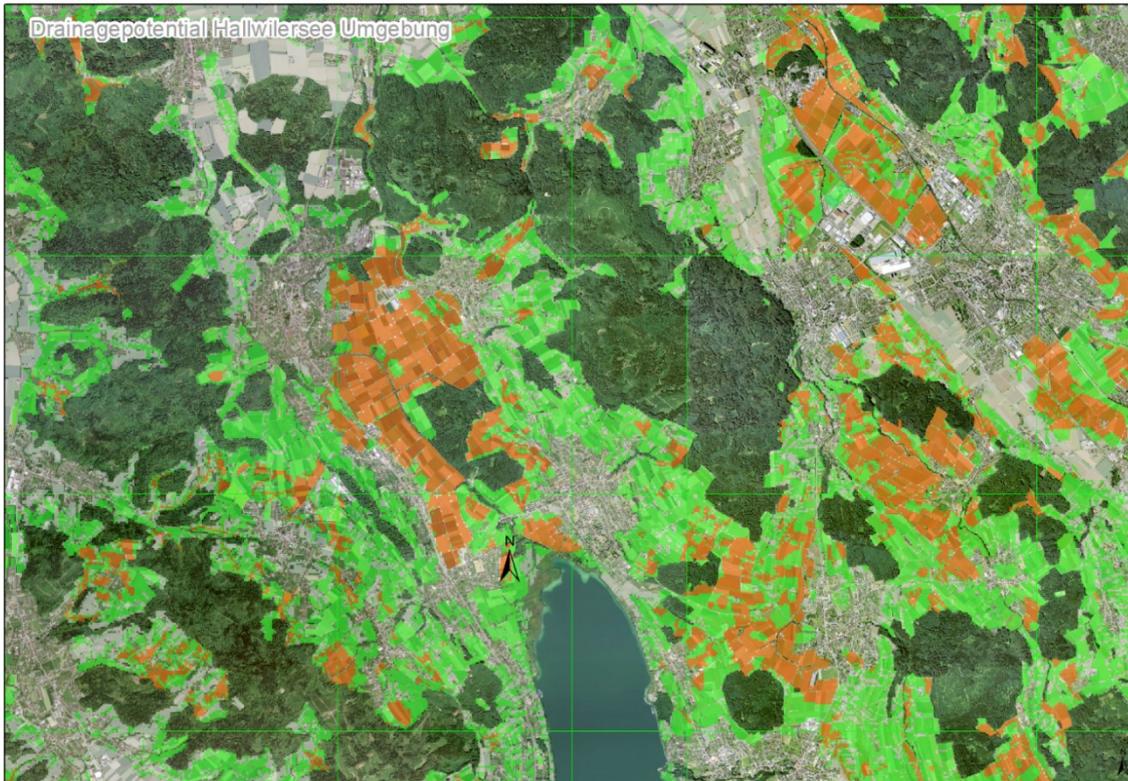


Abbildung 27: Region Hallwilersee: Überlagerung der Pixelanalyse mit dem Luftbild (rot = Drainagedaten und berechnetes Potential, grün = nur berechnetes Potential, grau = kein Potential). Ausgangsdaten LN; Machine Learning mit Grenzwert 0,1 (ML01); Drainagedaten der Kantone.

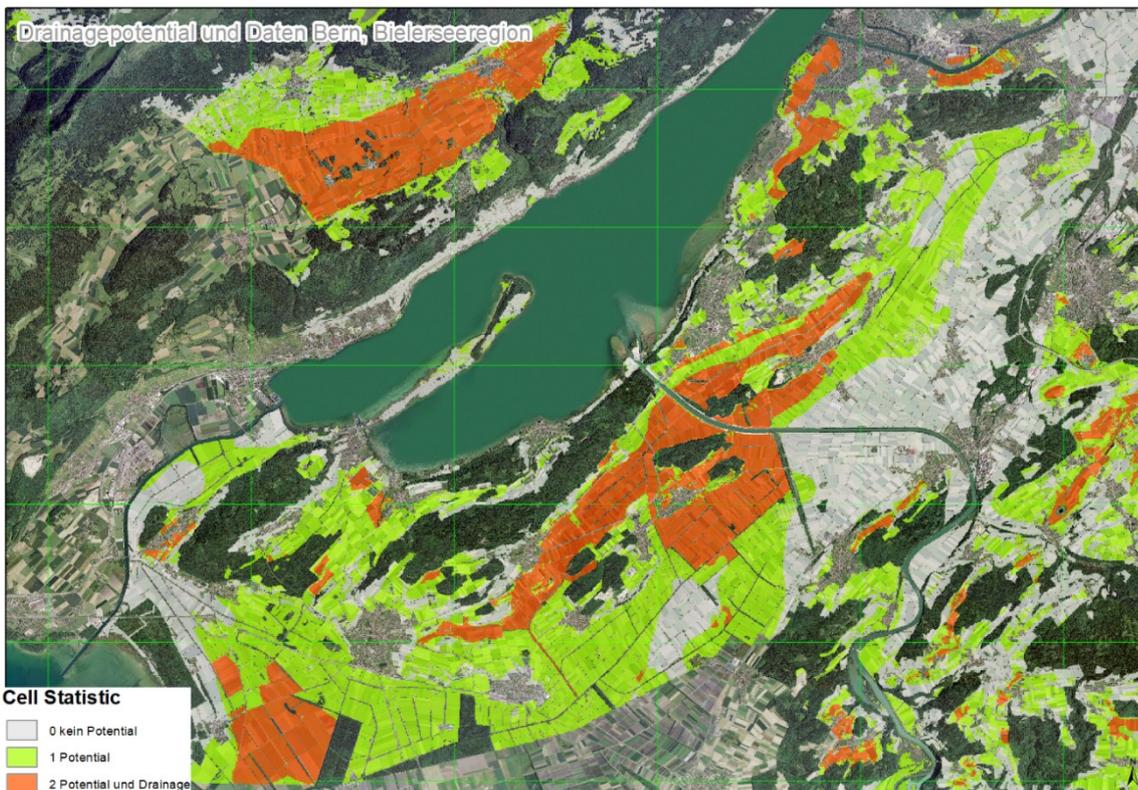


Abbildung 28: Region Bielsee: Überlagerung der Pixelanalyse mit dem Luftbild (rot = Drainagedaten und berechnetes Potential, grün = nur berechnetes Potential, grau = kein Potential). Ausgangsdaten LN; Machine Learning mit Grenzwert 0,1 (ML01); Drainagedaten der Kantone.

Abbildung 28 zeigt, dass auch rund um die drainierten Flächen nach kantonalen Angaben Flächen liegen, die aufgrund ihrer Umweltparameter ein Drainagepotential haben (grüne Flächen). In Abbildung 29 wird ergänzend durch die Klassifizierung deutlich, dass für die meisten Flächen, die tatsächlich drainiert sind, zumindest ein mittleres (gelb) oder hohes (rot) Drainagepotential berechnet wurde. Auch ist hier zu sehen, dass die Fläche für mittleres (gelb) und hohes (rot) Drainagepotential grösser ist als die drainierte Fläche nach kantonalen Angaben. Bei berechnetem hohem oder mittlerem Drainagepotential ohne Angaben zu Drainagen empfiehlt sich eine genauere Überprüfung vor Ort oder mittels zusätzlicher Pläne (Papierpläne, private Drainagen).

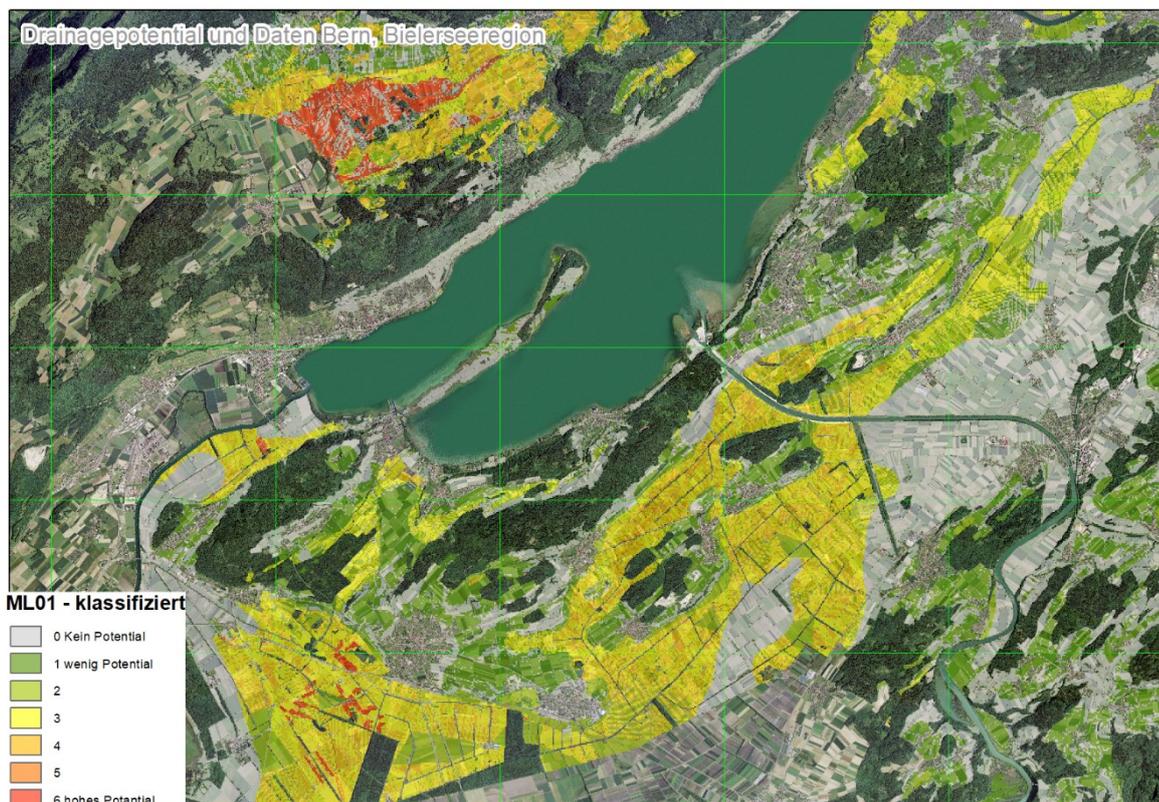


Abbildung 29: Region Bielsee: Überlagerung Luftbild mit 6-stufig-klassifiziertem Drainagepotential.

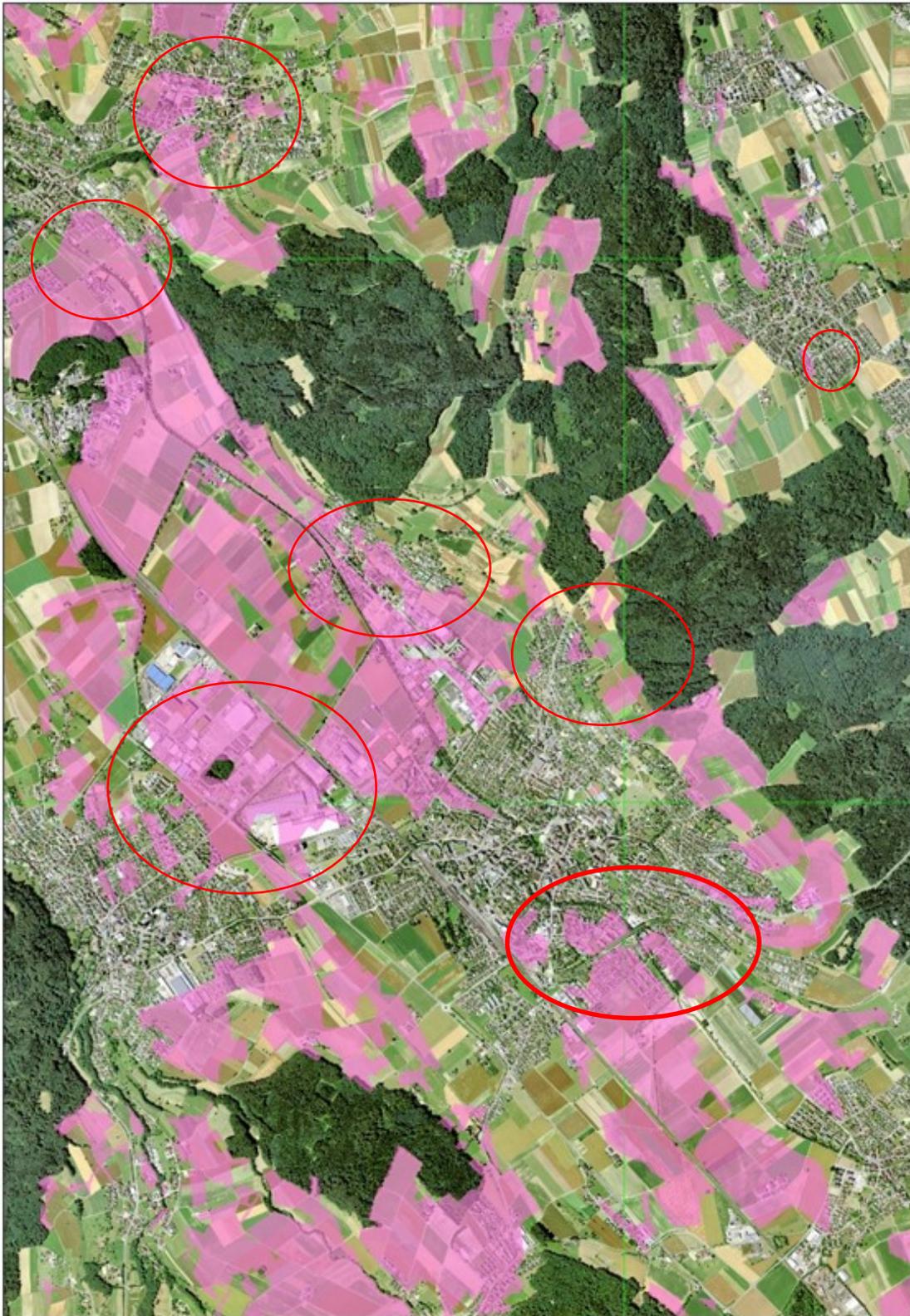


Abbildung 30: Überlagerung Luftbild mit kantonalen Drainagedaten (violett) Kanton Aargau (Wohlen, Bünzthal). Es ist zu sehen, dass z.T. noch als «drainiert» angegebene Flächen inzwischen überbaut sind (rot).

Mittels Luftbild lässt sich auch die Genauigkeit der kantonalen Drainagedaten überprüfen. Abbildung 30 zeigt, dass einige Flächen noch als drainierte Flächen verzeichnet sind, obwohl diese schon überbaut wurden. Zusätzlich zeigt sich, dass die Drainagedaten auch häufig nicht parzellenscharf sind.

5 Diskussion der Resultate und Anwendung der Karten

Die digitale Aufnahme von Drainagen als Geodatensatz ist bei vielen Kantonen noch in der Umsetzung. Nur wenige Kantone hatten zum Zeitpunkt unserer Bestandsaufnahme schon einen vollständigen Datensatz mit entsprechender Detailgenauigkeit. In den meisten anderen Kantonen - vor allem in denen, in welchen Drainagen eine grössere Rolle spielen und möglicherweise eine Wiederinstandsetzung von öffentlich finanzierten Drainagen zur Diskussion steht - ist ein solcher digitaler Datensatz aber geplant. Lediglich die Appenzeller Kantone gaben an, keinen digitalen Geodatensatz zu Drainagen geplant zu haben, da diese dort keine grosse Relevanz haben. Die vorhandenen Datensätze waren von unterschiedlicher Qualität und Ausführung. Je nach Kanton wurden Flächen aufgenommen oder Leitungen mittels GIS «gepuffert» und so in eine Fläche überführt.

Aus der Analyse der von insgesamt 10 Kantonen verfügbaren Daten konnten Umweltparameter abgeleitet werden, welche eine Drainage wahrscheinlich machen. Zudem konnte so ein erster Überblick gewonnen werden, welche Art von Böden häufig drainiert ist. Es zeigte sich, dass Drainagen nicht nur zur Entwässerung stark durch Stau- und Hangnässe beeinträchtigter Böden angelegt wurden, sondern auch zur allgemeinen Bodenverbesserung auf tiefgründigen, gut durchwaschenen Böden. Allerdings standen mit der BEK200 nur räumlich schlecht aufgelöste und qualitativ suboptimale Bodenkarten zur Verfügung. Mit besseren Bodenkarten bzw. -daten könnte das Ergebnis der ML-Berechnung von drainierten Flächen sicherlich verbessert werden.

Die aus der ML-Berechnung resultierenden Karten geben Hinweise für eine Wahrscheinlichkeit einer Drainage. Diese Wahrscheinlichkeit bzw. das Endprodukt, die Drainagepotentialkarte, ist von technischer Seite durch verschiedene Faktoren beeinflusst: Die Genauigkeit und Vollständigkeit aller Eingabedaten, die ausgewählte LWF, die Bearbeitung als Pixel und die Pixelgrösse, sowie durch den gewählten Algorithmus.

Der Algorithmus GBM lieferte für unsere Fragestellung sehr gute Ergebnisse ($AUC > 0,9$). Allerdings zeigte sich auch schon in den ersten Modellläufen, dass die Qualität der Trainingsdaten einen erheblichen Einfluss auf die Qualität der Ergebnisse der ML-Modelle hat. Ein Modell nur über den Kanton NE, von dem sehr gute Datensätze vorlagen, berechnet, zeigte eine äusserst gute Anpassung mit einem AUC von 0,9878. Da in das Modell West aber noch zusätzlich die Daten von Freiburg und Genf einfließen, war die Gesamtanpassung mit einem AUC von 0,913 etwas geringer. Dies zeigt auch, dass die Modellparameter - wie erwartet - zwischen den Regionen variieren. Eine andere Variation zeigte sich in der Rangfolge der Umweltparameter, der «Wichtigkeit» für das Modell.

Ein wichtiger Bearbeitungsschritt für die Gesamtkarte der Schweiz war die Klassifizierung und die Festlegung des Grenzwertes. Wir haben uns für eine 3- bzw. 6-stufige Klassifizierung entschieden. Durch die Klassifizierung wird die Karte schweizweit einheitlich und vergleichbar. Als Grenzwert, ob eine Fläche wahrscheinlich drainiert ist oder nicht, wurde der Wert $> 0,1$ in der Werteskala der ML-Ausgabewahrscheinlichkeit festgelegt. Ab diesem Wert liegt eine möglichst hohe Prozentzahl an vorhandenen Drainagedaten innerhalb der modellierten Fläche. Allerdings sind die berechneten Potentialflächen dann um 50–60 % grösser als die als tatsächlich drainiert angegebenen Flächen. Es werden also im Modell viele zusätzliche Flächen als potentiell drainiert klassiert. Hier können kleinräumige Gegebenheiten der Landnutzung sowie finanzielle und historische-soziale Faktoren eine Rolle spielen; aber auch die Datenaufnahme der Drainagen, da diese z. B. keine privat erstellten Drainagen aufzeigt. Folgende Einflussfaktoren sind denkbar:

- **Finanzielle Gründe:** ob in einem Gebiet viele Meliorationsgelder zur Verfügung standen und somit viel drainiert wurde, hängt von der Förderung ab und den Mitteln, die dem Kanton zu Verfügung standen.
- **Nutzung/Bewirtschaftung:** ob drainiert wurde oder nicht hängt auch von der Wichtigkeit der Flächen für die Versorgung der Bevölkerung ab. Die meisten Drainagen wurden in Krisen/Kriegszeit gefördert und verlegt, um die Schweiz weitgehend unabhängig von Importen zu machen.
- **Nutzung/Bewirtschaftung:** Der Parameter Ackerland/Wiese floss zwar in die Berechnungen als Faktor mit ein, wurde aber vom Algorithmus nicht sehr hoch gewichtet. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass Ackerland eher zur Ertragsteigerung und Landgewinnung drainiert wurde als Weideland. Somit können auch viele Potentialflächen Weiden sein, die aufgrund ihrer Nutzung nicht drainiert wurden.
- Drainagen zum Torfabbau.
- Drainagen zur Verbesserung der Erträge auf Ackerland, welches ohne Drainage zwar nicht dauerhaft vernässt wäre, aber ohne Drainage mit Ertragseinbussen gerechnet werden müsste.
- Umnutzung in neuerer Zeit als Naturschutzgebiet, Bauland, Wiese, Wald.

Die Drainagekarte ist auf einem Raster von 25 m x 25 m dargestellt und berechnet. Damit ist sie in der Auflösung gröber als z. B. die Erosionsrisikokarte (REF), die Gewässeranschlusskarte (REF), oder die Feuchttackerkarte (REF). Allerdings sind die Eingabedaten für die Berechnung der Drainagekarte auch einer gewissen Ungenauigkeit unterlegen, die sich aus der Skalierung, Pixelung oder Digitalisierung ergeben. Bei der Daten-Verarbeitung kann es zu Flächenverlusten durch Verschneidung oder Umrechnung in Pixel kommen. So sind die Flächen, die in die ML-Berechnung eingingen, etwas kleiner als die Originalflächen.

Mittels Luftbildern wurde an ausgewählten Orten plausibilisiert, inwieweit die ML-Ergebnisse zuverlässig sind. Schon aus den ersten GIS-Analysen war ersichtlich, dass ein Teil der als «drainiert» angegebenen Fläche ausserhalb der LN liegt. Die Luftbilder legen nahe, dass es sich dabei zumeist um inzwischen überbaute oder anderweitig umgenutzte Flächen handelt. Im Bergland des Kantons BE sind die drainierten Flächen sehr grob verzeichnet; hier spielt die Detailgenauigkeit und die tatsächliche Topographie bzw. Landnutzung eine grosse Rolle. Durch die Überlagerung der Luftbilder (Aufnahmezeitraum: 2017/2016) mit den Ergebnissen der Pixel-Statistik wird ebenfalls ersichtlich, dass die durch die Modellierung erheblich grösser ausfallende Potentialfläche für Drainagen häufig dadurch zustande kommt, dass die tatsächlich drainierten Felder auch nur einen Teil der durch Umwelt-Parameter berechneten Fläche ausmachen.

Für die Drainagepotentialkarte wurde die landwirtschaftlich genutzte Fläche ohne Bergwiesen und -weiden sowie Sömmerungsflächen verwendet. Es wurde davon ausgegangen, dass Wiesen und Weiden in Bergregionen sehr wenig Potential für eine Flächendrainage aufweisen. Auch die Umfrage von Béguin und Smola (2010) ergab, dass sich 79 % der Drainagen in Tallagen befinden. Lediglich 13 % befanden sich der Umfrage nach in der Bergzone I und 8 % in der Bergzone II – IV oder in Sömmerungsflächen. Die vorhandenen Drainage-Geodaten und die ML-Modellierung bestätigen, dass Drainagen bevorzugt in Tallagen angelegt wurden. Die Hangneigung $< 6^\circ$ ist neben dem TWI in allen Modellen einer der wichtigsten Faktoren. Die verschiedenen Bodentypen und Bodenparameter wie Gründigkeit, Vernässung und Wasserdurchlässigkeit unterscheiden sich in ihrer Relevanz (als Rang in der ML-Modellierung) zwischen den Regionen. Da nur die relativ schlecht aufgelösten Bodendaten aus der BEK200 flächendeckend zur Verfügung standen, ist anzunehmen, dass mit besseren Bodendaten ein räumlich differenzierteres Ergebnis entstehen würde.

Die Drainagepotentialkarte ist in ihren verschiedenen Ausführungen als Anwendungs-Werkzeug für die Forschung und als Hilfsmittel für die Praxis gedacht. Sie stellt nur Wahrscheinlichkeiten dar. Ob unter einer ausgewählten Fläche tatsächlich eine Drainage liegt, muss vor Ort überprüft werden. Auch kann die Drainagepotentialkarte keine Aussage über die Funktionsfähigkeit, das Alter, die Tiefe und Art einer Drainage machen. Diese Angaben fehlen in fast allen Geodatensätzen. Eine Ausnahme ist das Geoportal des Kantons

NE, in dem angegeben wird, ob eine Drainage «alt» oder «neu» ist, ob es sich um eine Rohr- oder Maulwurfdrainage handelt und ob die Rohre eher Haupt- oder Nebenrohre sind.

Nach Béguin und Smola (2010) waren 2008 ca. 35 % der Drainagen in der Schweiz in keinem guten oder in einem unbekanntem Zustand und somit vermutlich sanierungsbedürftig. Diese Zahl dürfte sich bis heute noch vergrößert haben. Funktionsfähige Drainagen benötigen regelmässige Wartungen. Daher kann davon ausgegangen werden, dass ältere Drainage, die lange nicht gewartet wurden, weniger funktionstüchtig sind. Dabei kann die Wasseraufnahme und -abgabe beeinträchtigt sein, oder das Wasser auch an anderer Stelle austreten. Berichte über die Erneuerung von einzelnen Drainagen gibt es aus den Kantonen SO, BL und BE. Stark drainierte Gebiete (z. B. Rheintal und Linthebene) sind häufig besser kartiert, wobei die Daten oft (Rheintal, Linth) gesondert erhoben wurden (www.melioration-rheinebene.ch) und nicht öffentlich verfügbar sind.

Vergleich zu früheren Studien

Die Umfrage von Béguin und Smola (2010) fand 2008 statt, unsere Studie stellt den Stand der Geodaten im Jahr 2019 dar. Es kann davon ausgegangen werden, dass in den letzten 10 Jahren nur sehr wenige Felder neu drainiert wurden, da schon Béguin und Smola (2010) die Anlage von Drainageflächen in der Schweiz als abgeschlossen betrachteten. Auch der Naturschutz spielt inzwischen eine grössere Rolle als zu Zeiten der Anlage der Drainagen, so dass Feuchtgebiete häufiger ausgewiesen und geschützt werden. Allerdings wurden seither einige alte Drainagen ersetzt und erneuert. Im Vergleich zu der Datenqualität wird bei Béguin und Smola (2010) noch beschrieben, dass die meisten Angaben zu Drainagen Schätzungen sind. Die heute verfügbaren Geodaten sind da hingegen genauer und liefern neben der Flächengrösse auch die Lage der Drainagen. Doch auch hier gibt es Ungenauigkeiten, je nach Art der Digitalisierung der Pläne. Auch die Ansprüche an die neuen Geodaten sind unterschiedlich. Für eine Angabe im Leitungskataster ist die Lage der Rohre wichtig, während Entwässerungspläne meist lediglich Flächen beinhalten. Manche der Geodaten sind auch heute noch grobe Schätzungen, wie z. B. die Drainagen in den Berner Berggebieten.

Gemäss der Studie von Béguin und Smola sind insgesamt rund 192 000 ha landwirtschaftliche Flächen drainiert, was 4,7 % der Fläche der Schweiz bzw. knapp einem Fünftel (18.1 %) der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) entspricht. Die ausgedehntesten drainierten Flächen findet man in den Kantonen VD, BE, ZH, FR, SG, AG und TG mit drainierten Flächen von jeweils über 10 000 ha. Diese machen 75 % der drainierten Flächen der Schweiz aus (Béguin und Smola 2010). Die nun vorliegenden Geodaten und die ML-Modellierung (= 25 % der LWF mit mittlerer oder hoher Wahrscheinlichkeit drainiert) bestätigen, dass ca. 20 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche drainiert sind. Der Anteil an drainierter Fläche variiert aber sehr stark zwischen den einzelnen Regionen und Kantonen (vgl. Tabelle 2 und Tabelle 13). Die Regionen mit den höchsten Anteilen an Drainageflächen befinden sich in der Westschweiz im Waadtland und Genf mit ca. 40 % drainierter Fläche an der LWF. In der Ostschweiz spielen Drainagen mit 19–25 % Fläche an der LWF in den Kantonen TG, AG, ZH, SG und BL eine grössere Rolle.

Verwendung der Drainagepotentialkarte

Die Karte kann als Ausdruck zur Übersicht herangezogen werden, ist aber als Rasterkarte in eine GIS-Applikation eingebunden oder in Grossansicht ausgedruckt detailreicher. Die beste Anwendung ist in einer GIS-Applikation, in der bei Bedarf andere Kartenebenen hinzugeladen werden können. Die Karte gibt lediglich Hinweise in Form von Wahrscheinlichkeiten auf das mögliche Vorhandensein von Drainageflächen. Die Ergebnisse der ML-Modellierung zeigen Flächen auf, die aufgrund ihrer spezifischen Umwelteigenschaften (Lage, Bodeneigenschaften, Geologie, TWI etc.) eine hohe Wahrscheinlichkeit haben, drainiert zu sein. Die Drainagepotentialkarte kann dazu dienen, Regionen oder Einzugsgebiete mit hohem oder niedrigem Drainageanteil zu finden. In der Überlagerung mit z. B. Luftbildern kann sie Hinweise auf möglicherweise drainierte Flächen geben, die noch nicht als solche in den Geodaten verzeichnet sind.

Die Drainagepotentialkarte kann auch dazu dienen in Zusammenhang mit anderen Kartendaten wie Erosionsrisiko, Gewässeranschluss, Gewässereinzugsgebiete und Landnutzung mögliche Risikoflächen für einen Stoffeintrag in Gewässer zu erkennen. In einem Folgeprojekt (Projekt PSM-Risikokarten) wird die drainierte Fläche mit der für den PSM-Einsatz relevanten LWF auf Kleineinzugsgebietsebene schweizweit (ca. 22 000 Einzugsgebiete von durchschnittlich 2 km² Fläche) verschnitten. Dadurch können die 22 000 Einzugsgebiete bezüglich des Risikos von PSM-Einträgen über Drainagen charakterisiert werden.

Fazit

Es existieren noch nicht für alle Kantone der Schweiz Geodatenätze zu Drainageflächen. Die vorhandenen Geodaten variieren in ihrer Ausführung und Qualität stark. Daher wurde mittels Machine Learning (ML) eine schweizweite Karte erstellt, welche Flächen abbildet, die ein Potential haben, drainiert zu sein. Diese mittels ML erstellte Drainagepotentialkarte der Schweiz zeigt Flächen, die aufgrund verschiedener Standorteigenschaften möglicherweise drainiert sind. Die Darstellung erfolgt kontinuierlich sowie stufenweise in 3 oder 6 Klassen. Nicht alle Flächen, die aufgrund der Standorteigenschaften ein Potential für Drainagen haben, wurden in der Realität auch tatsächlich drainiert. Daher ist die gesamte modellierte Potentialfläche deutlich grösser als die drainierte Fläche nach kantonalen Angaben. Aber auch nicht jede drainierte Fläche weist aufgrund der Standorteigenschaften ein Potential auf. Daher stimmen auch hier Modell und Realität nicht immer überein. Die Karten liefern einen nationalen Überblick über die mögliche bzw. wahrscheinliche Verbreitung von drainierten Flächen. Dies soll helfen, zu beurteilen, wie repräsentativ z. B. NAWA-SPEZ-Messstellen sind (siehe Anhang A4) und ob bzw. wo es eventuell zusätzliche Messstellen braucht. Weiterhin können z. B. Ressourcenprojekte in problematischen Regionen bezüglich PSM-Einträge über Drainagen lanciert bzw. beurteilt werden. Die ML-Berechnungen bestätigen weiterhin die kantonalen Angaben, dass rund 20 % der LN drainiert sind. Neben dieser statistischen Bestätigung können die drainierten Flächen nun aber in allen Kantonen lokalisiert werden (wenn auch mit bestimmten Unsicherheiten). Dies hilft Kantonen und Bund aufzuzeigen, ob und wo allenfalls Handlungsbedarf besteht. Für die Risikobewertung von PSM in Bezug auf die Zulassung/Regulierung eignet sich die Karte dagegen nicht. Sie kann weder für die verbindliche Produktezulassung als Referenz genutzt werden, noch kann sie für das Verfügen von Massnahmen auf drainierten Parzellen eingesetzt werden. Dafür sind die Unsicherheiten zu gross. Im Einzelfall müssen daher immer detaillierte Abklärungen im Feld, mit dem Bewirtschaftenden und/oder der Gemeinde bzw. dem Kanton durchgeführt werden.

6 Literaturverzeichnis

- Band, L.E., Moore, I.D. (1995): Scale - Landscape attributes and geographical information systems. *Hydrological Processes* 9, 401–422.
- Béguin, J., Smola S. (2010): Stand der Drainagen in der Schweiz, Bilanz der Umfrage 2008, Schweizerische Eidgenossenschaft, Eidgenössisches Volkswirtschaftsdepartement EVD, Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Referenz/Aktenzeichen 2009-09-25/85, 24 S.
- Behrens, T. (2003): Digitale Reliefanalyse als Basis von Boden-Landschafts-Modellen – Am Beispiel der Modellierung periglazialer Lagen im Ostharz. *Boden und Landschaft: Schriftenreihe zur Bodenkunde, Landeskultur und Landschaftsökologie* 42. JustusLiebig-Universität. Gießen.
- Bradley A. (1997): The Use of the Area Under The ROC Curve in the Evaluation of Machine Learning Algorithms. *Pattern Recognition*, Vol. 30, No. 7, pp. 1145–1159.
- Braun Ch., Gälli R., Leu Ch., Munz N., Schindler Wildhaber Y., Strahm I. Wittmer I. (2015): Mikroverunreinigungen in Fließgewässern aus diffusen Einträgen. Situationsanalyse. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1514: 78 S.
- Breiman, L. (2001): Random Forests, *Machine Learning volume* 45, 5–32.
- Doppler, T.; Mangold, S.; Wittmer, I.; Spycher, S.; Stamm, C.; Singer, H.; Junghans, M.; Kunz, M. (2017) Hohe Pflanzenschutzmittelbelastung in Schweizer Bächen, *Aqua & Gas* 4, 46–56.
- Eidgenössisches Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer, (Gewässerschutzgesetz, GSchG, SR814.20).
- Eidgenössische Gewässerschutzverordnung, (GSchV, SR 814.201).
- Friedman, J.; (1999): Stochastic Gradient Boosting.
- Friedman, J., Hastie, T., and Tibshirani, R. (2000): Special invited paper. Additive logistic regression: A statistical view of boosting. *Annals of statistics*, p 337–374.
- Friedman, J. H. (2001): Greedy function approximation: a gradient boosting machine. *Annals of Statistics*, p 1189–1232.
- Gimmi, U., Lachat, T., Bürgi, M., (2011): Reconstructing the collapse of wetland networks in the Swiss lowlands 1850–2000. *Landscape Ecol.* 26, 1071–1083.
- Gramlich, A., Stoll, S., Stamm, C., Walter, T., Prasuhn, V., (2018): Effects of artificial land drainage on hydrology, nutrient and pesticide fluxes from agricultural fields – A review. *Agric., Ecosyst. Environ.* 266, 84–99.
- Gramlich A., Stoll S, Aldrich A., Stamm C., Walter T., Prasuhn V. (2018): Einflüsse landwirtschaftlicher Drainage auf den Wasserhaushalt, auf Nährstoffflüsse und Schadstoffaustrag - Eine Literaturstudie. *Agroscope Science*, 73, 1–53.
- Hürdler, J., Prasuhn, V., Spiess E. (2015): Abschätzung diffuser Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Gewässer der Schweiz; MODIFFUS 3.0. Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung (WBF) Agroscope, Forschungsbereich Umweltressourcen und Landwirtschaft. Bericht im Auftrag des BAFU, 117 S.
- Knauer, K. (2016): Pesticides in surface waters: a comparison with regulatory acceptable concentrations (RACs) determined in the authorization process and consideration for regulation. *Environ. Sci. Eur.* 28. 13 DOI: 10.1186/s12302-016-0083-8
- Ling, C.X., Huang, J. Zhang, H. (2003): AUC: A Better Measure than Accuracy in Comparing Learning Algorithms. Published in Canadian Conference on AI 2003. Zugang: https://doi.org/10.1007/3-540-44886-1_25.
- Malohlava, M., Candel, A. (2019): Gradient Boosting Machine with H2O. Edited by: Angela Bartz. March 2019: Seventh Edition.
- Mueller, J.P., Massaron, L. (2017): Maschinelles Lernen mit Python und R. Wiley Verlag. 402 S.

- Nelder, J., Wedderburn, R. (1972): Generalized Linear Models. Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General). 135, 370-384. Zugang: <https://doi.org/10.2307/2344614>.
- Prasuhn V., Doppler, T., Spycher, S., Stamm, C. (2018): Pflanzenschutzmitteleinträge durch Erosion und Abschwemmung reduzieren. Agrarforschung Schweiz, 9, (2), 2018, 44–51.
- Seitz, N. (2013): Drainagen in der Schweiz Zeitlicher Verlauf, Masterarbeit, aktuelle Datenlage und Einfluss auf die Landschaftsentwicklung. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), 119 S.
- Spycher, S., Mangold, S., Doppler, T., Junghans, M., Wittmer, M., Stamm Chr., and Singer, H; (2018): Pesticide Risks in Small Streams- How to Get as Close as Possible to the Stress Imposed on Aquatic Organisms; Environ. Sci. Technol. 2018, 52, 4526–4535.
- Spycher, S., Teichler, R., Vonwyl, E., Longrée, P., Stamm, C., Singer, H., Kunz, M. (2019): Anhaltend hohe PSM-Belastung in Bächen. NAWA SPEZ 2017: kleine Gewässer in Gebieten mit intensiver Landwirtschaft verbreitet betroffen. Aqua & Gas, 99(4), 14–25.
- Stoll, S., von Arb, C., Jörg, C., Kopp, S., Prasuhn, V.; (2019): Evaluation der stark zur Phosphorbelastung des Baldeggersee beitragenden Flächen, Agroscope Zürich, Schlussbericht, 149 S.
- Szerencsits, E., Prasuhn, V., Churko, G., Herzog, F., Utiger, Chr., Zihlmann, U., Thomas Walter, Th., Anja Gramlich, A. (2018): Karte potenzieller Feucht-(Acker-)Flächen in der Schweiz Agroscope Science 2018, Nr. 72, 68 S.
- Wittmer, I.; Moschet, C.; Simovic, J.; Singer, H.; Stamm, C.; Hollender, J.; Junghans, M.; Leu, C. (2014): Über 100 Pestizide in Fliessgewässern. Programm NAWA Spez zeigt die hohe Pestizidbelastung der Schweizer Fliessgewässer auf, Aqua & Gas, 94(3), 32–43.
- Zeileis, A. (2009): Verallgemeinerte lineare Modelle in R.
- Zollinger, F. (2006): Drainagen: Unterhalt bis in alle Ewigkeit? Geomatik Schweiz 12, 660–664.

Weitere Quellen

Eidgenössisches Gewässerschutzgesetz(GSchG) und -Verordnung (SR814, Anhang 2).

„Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln“, Bericht des Bundesrates, 2017, 78 S.

„Zustand der Schweizer Fliessgewässer, Ergebnisse der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA) 2011-2014“. 2016, 87 S, Bundesamt für Umwelt BAFU, UZ-1620-D.

Software

ESRI-ArcGIS 10.6; www.esri.com

<https://www.R-project.org/>

H2O für R: <http://h2o.ai/resources/>

Geodatenquellen

<https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/politik/datenmanagement/geografisches-informationssystem-gis/download-geodaten.html>

<https://map.geo.admin.ch>

<https://www.suissemelio.ch>

Geoportale der Kantone

<https://www.ag.ch>

<https://www.ge.ch>

<https://www.ne.ch>

<https://www.bl.ch>

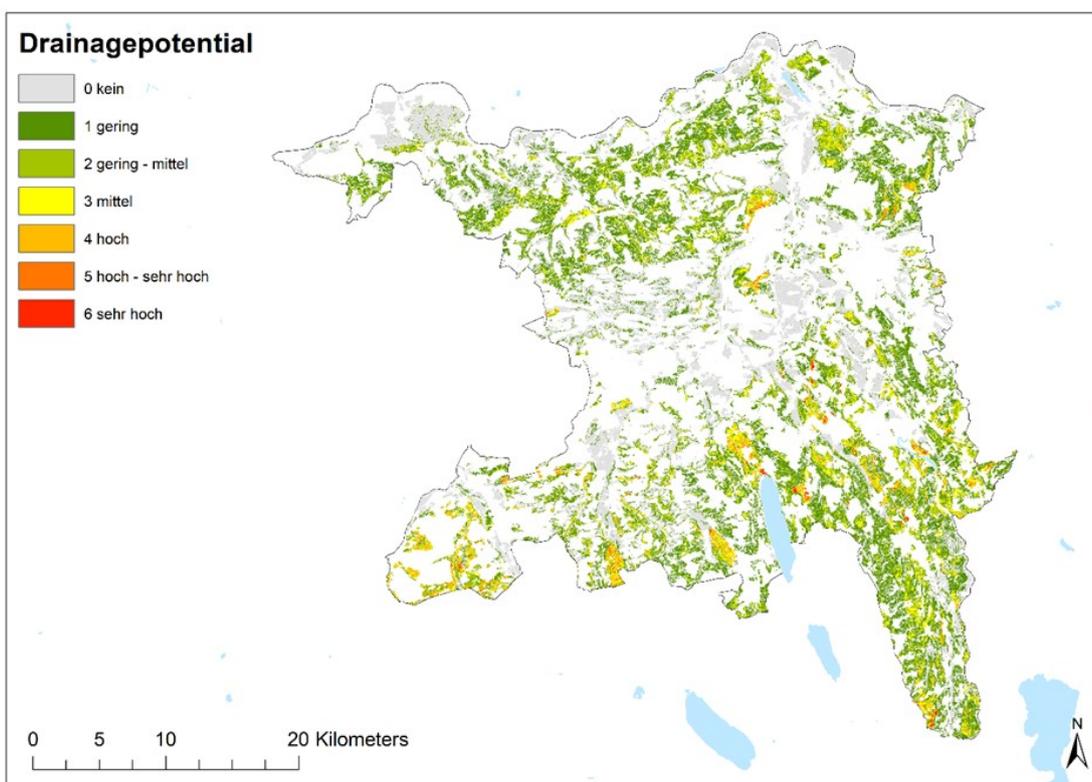
<https://www.zh.ch>

Anhänge zur Drainagepotentialkarte

Anhang 1: Karten und Tabellen zu den einzelnen Kantonen sowie für die Modellregion West

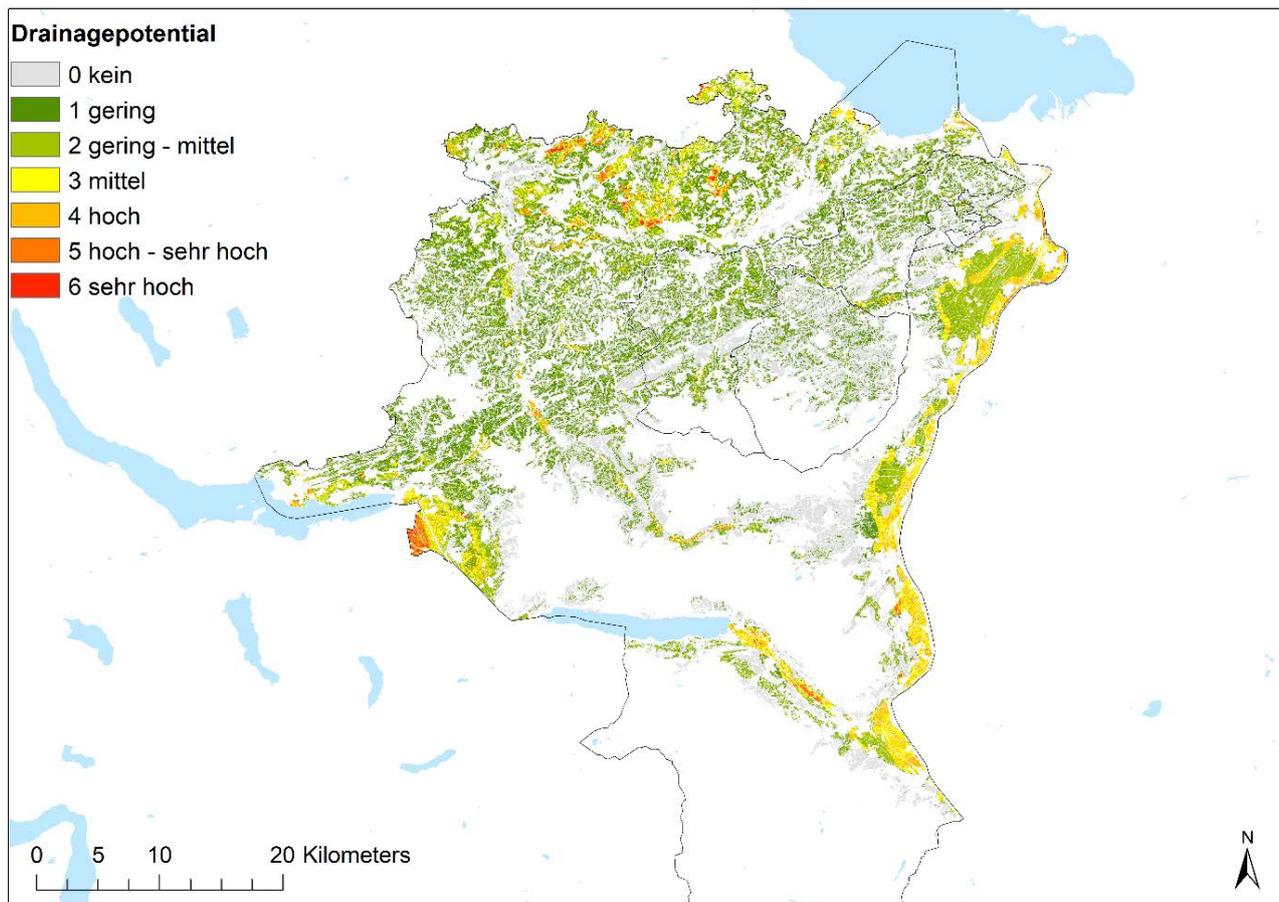
Für jeden Kanton (alphabetisch geordnet) wird eine 6-stufige klassifizierte ML-Karte der potentiell drainierten LWF dargestellt. Pro Kanton gibt es weiterhin eine Tabelle mit den Angaben zu den prozentualen Anteilen der ML-Klassen der LWF. Wenn vorhanden, werden zusätzlich Angaben zur vorhandenen drainierten Fläche gemacht. Die prozentualen Angaben zur Drainage (% drainierte Fläche) beziehen sich auf den Anteil drainierter LWF-Fläche nach kantonalen Angaben innerhalb der ML-Klasse. Keine Angabe bedeutet, dass der Kanton keine Drainagedaten erhoben hatte.

Aargau (Modell Ost)



Drainagepotential	Verteilung bei Reklassifizierung			
	Klasse	Werte ML	% LWF	% drainierte Fläche
Kein Potential	0	< 0,1	38,2	0
Geringes Potential	1	0,1-0,2	34,4	16,9
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	16,7	27,2
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	7,0	39,9
Hohes Potential	4	0,4-0,5	2,8	55,1
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	0,7	69,6
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,3	89,3

Appenzell Innerrhoden (AI), Appenzell Ausserrhoden (AR) und St. Gallen (SG) (Modell Ost)



Karte SG, AI, AR: Übersicht zum klassifizierten berechneten Drainagepotential der Region St. Gallen und Appenzell. Einzelkarten zu den drei Kantonen finden sich jeweils im entsprechenden Absatz der alphabetischen Reihenfolge.

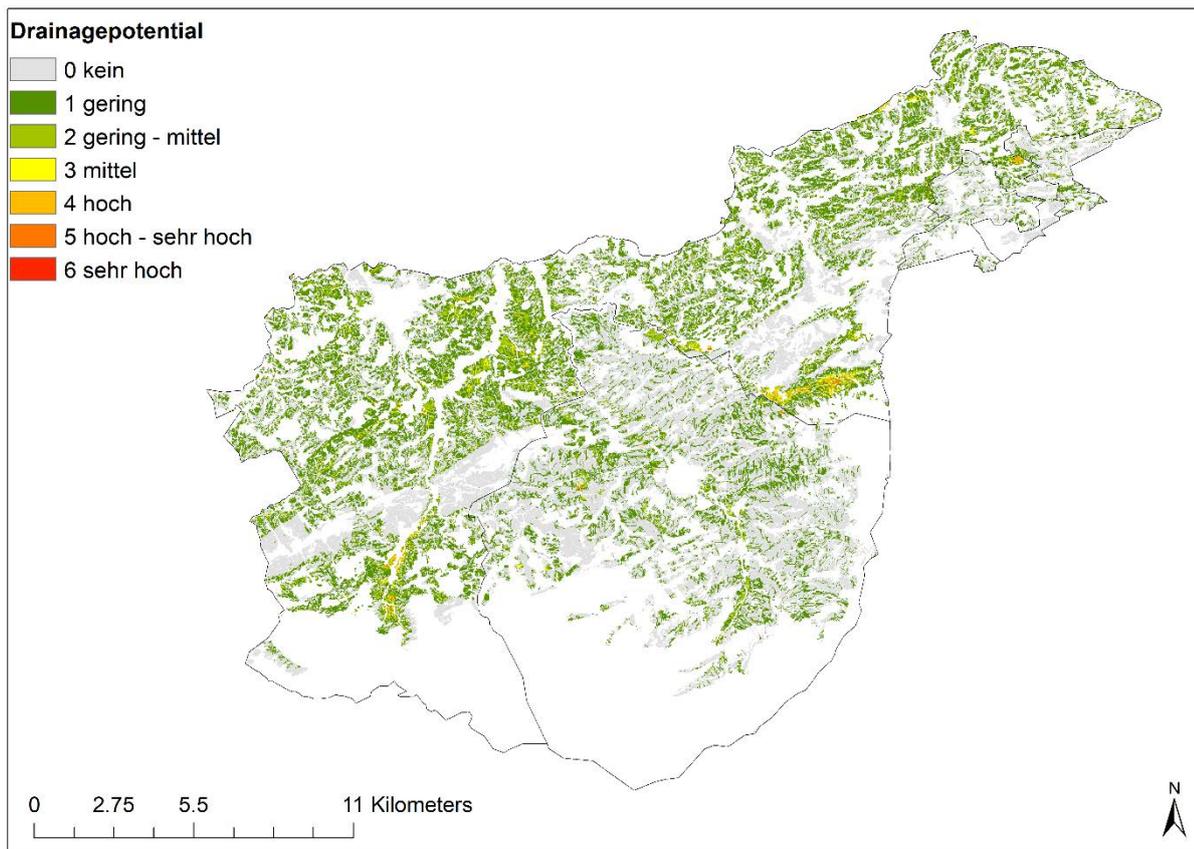
Anmerkung:

Die drainierten Flächen in der Region St. Gallen liegen vor allem in den grossen Flusstälern – Rheinebene und Linthebene. Für beide existieren eigene Drainage-Kataster. Das Potential ist in der gesamten LWF der Talböden hoch.

Im Appenzell gibt es kaum drainierte Flächen (auch nach Angaben des Kantons). Der kantonale Datensatz St. Gallen ist unvollständig, aber in den Talgebieten recht genau. Schächte wurden als gepufferte Punkte eingespeist.

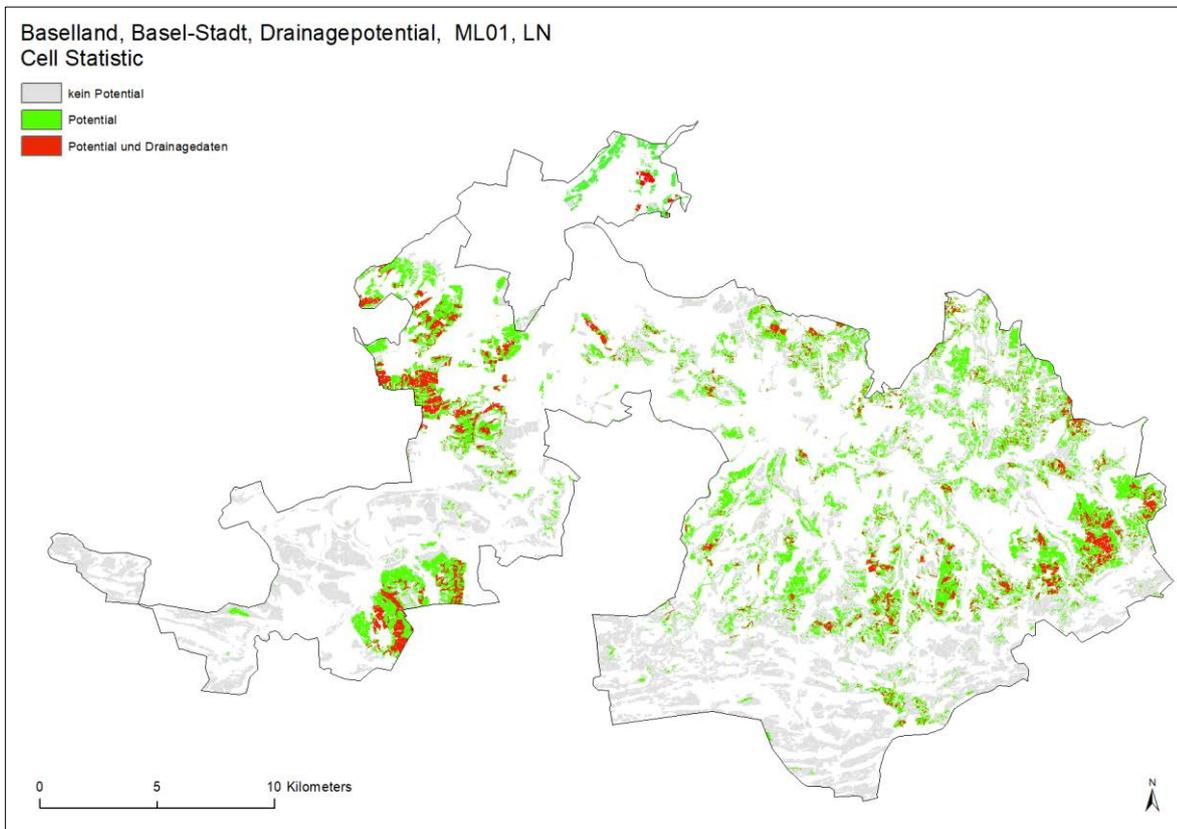
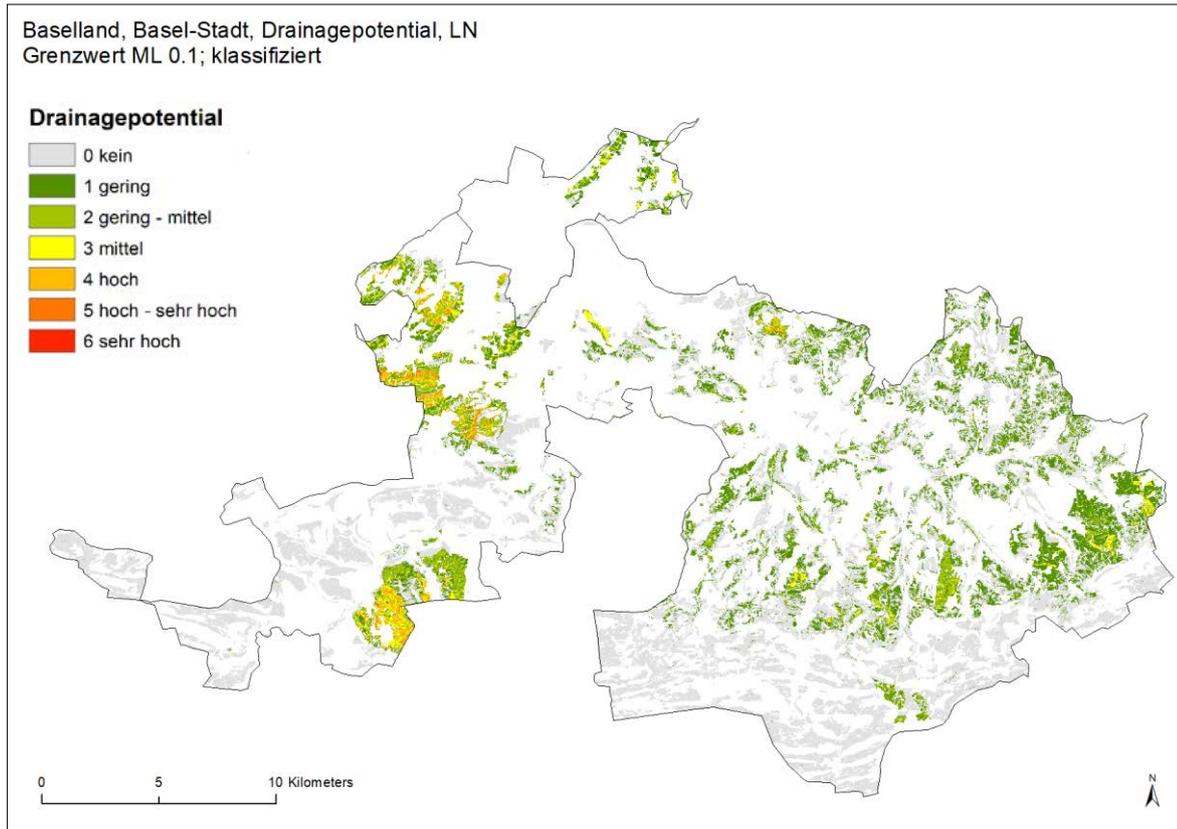
Die Werte-Tabelle zum Kanton St. Gallen befindet sich im Abschnitte «St. Gallen» unten.

Appenzell



Drainagepotential	Werte Verteilung bei Reklassifizierung			
Modell Ost, AI	Klasse	Werte ML	% LWF	% drainierte Fläche
Kein Potential	0	< 0,1	73,8	-
Geringes Potential	1	0,1-0,2	24,2	-
Geringes – mittleres Potential	2	0,2-0,3	1,9	-
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	0,1	-
Hohes Potential	4	0,4-0,5	0,0	-
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	0,0	-
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,0	-
Drainagepotential	Werte Verteilung bei Reklassifizierung			
Modell Ost, AR	Klasse	Werte ML	% LWF	% drainierte Fläche
Kein Potential	0	< 0,1	48,5	-
Geringes Potential	1	0,1-0,2	41,0	-
Geringes – mittleres Potential	2	0,2-0,3	9,1	-
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	0,8	-
Hohes Potential	4	0,4-0,5	0,5	-
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	0,1	-
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,0	-

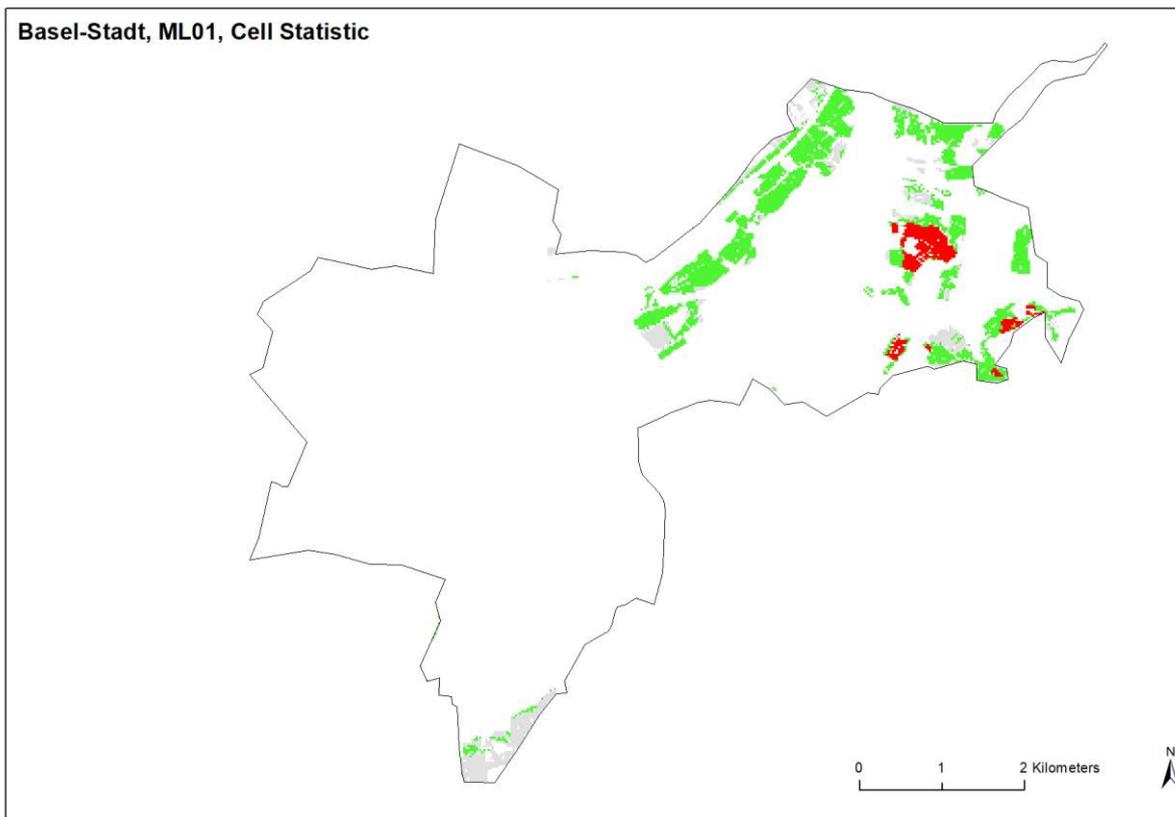
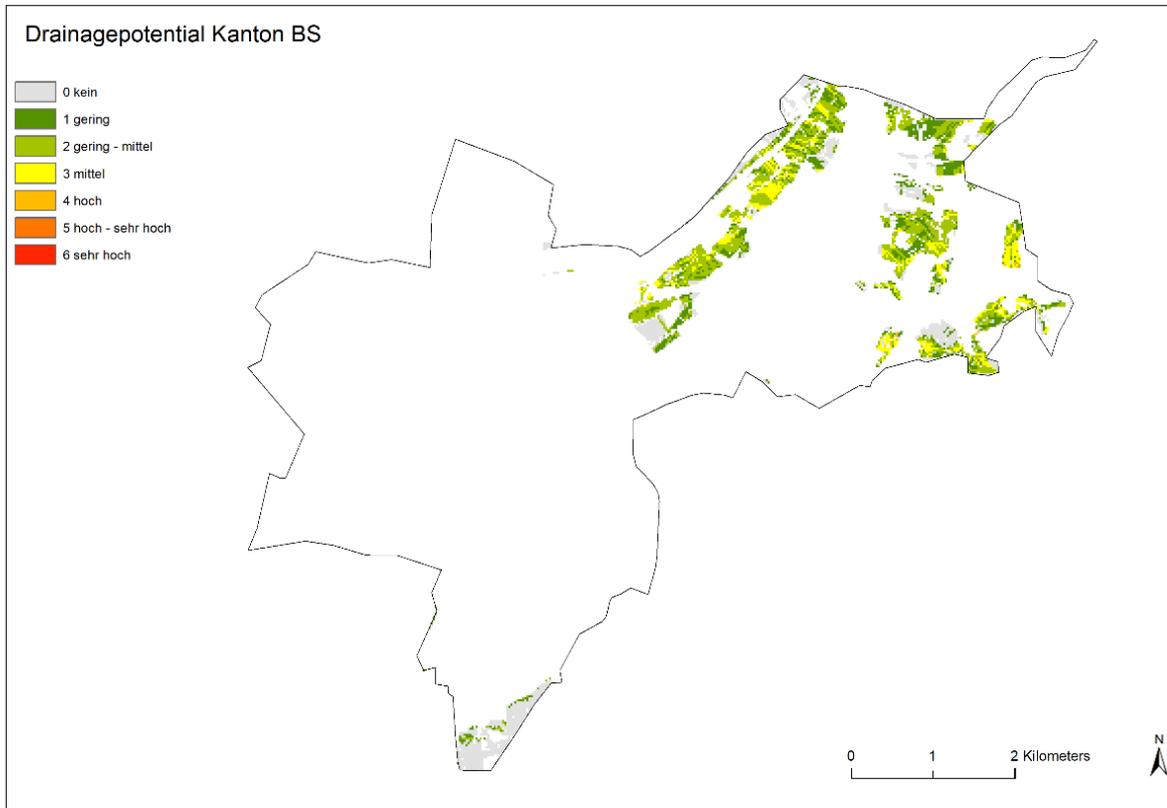
Basel-Landschaft (Modell Jura)



Karten BL: Klassifiziertes Drainagepotential (1) und Pixelauswertung (2): Drainagepotential (Grenzwert 0.1, grün) und Übereinstimmung mit kantonalen Daten (rot).

Drainagepotential	Werte Verteilung bei Reklassifizierung			% drainierte Fläche
	Modell Jura, BL	Klasse	Werte ML	
Kein Potential	0	< 0,1	65,2	4,6
Geringes Potential	1	0,1-0,2	23,6	16,6
Geringes – mittleres Potential	2	0,2-0,3	6,7	28,2
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	2,4	39,6
Hohes Potential	4	0,4-0,5	1,6	52,5
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	0,5	62,3
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,02	92,5

Basel-Stadt (Modell Ost)



Karte BS1: Klassifiziertes Potential für die LWF des Kantons Basel-Stadt.

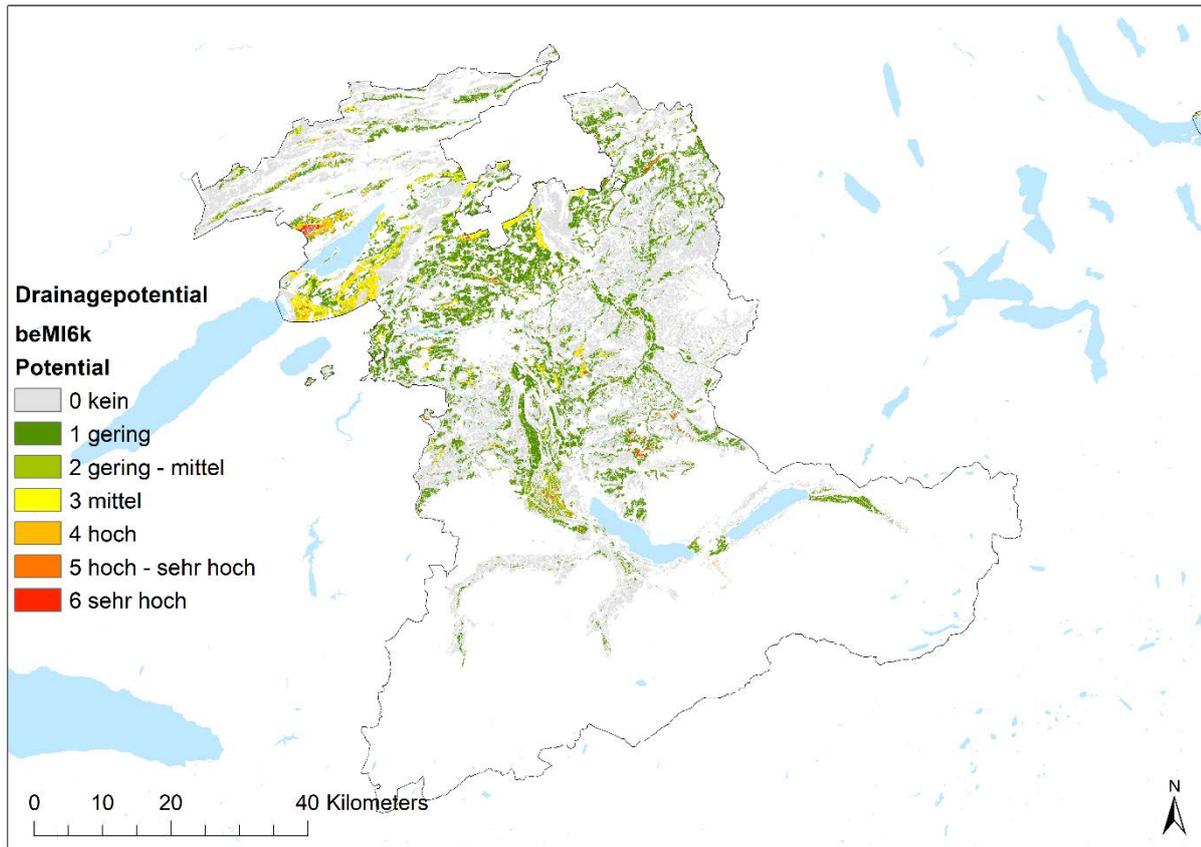
Karte BS2: Pixelauswertung Basel-Stadt. Rot: Drainagedaten und Potential, grün: Potential, grau kein Potential.

Anmerkung

Der Kanton Basel-Stadt ist vergleichsweise klein und hat als Stadt-Kanton zudem wenig LN. Die Daten zu den drainierten Flächen sind nicht ganz vollständig, eigenen sich aber zur Modellüberprüfung. Besonders ist hier, dass alle drainierten Flächen in Hanglagen liegen. Die Ebene der Wiese ist nicht drainiert, da sie ein REN-Schutzgebiet/Korridor ist.

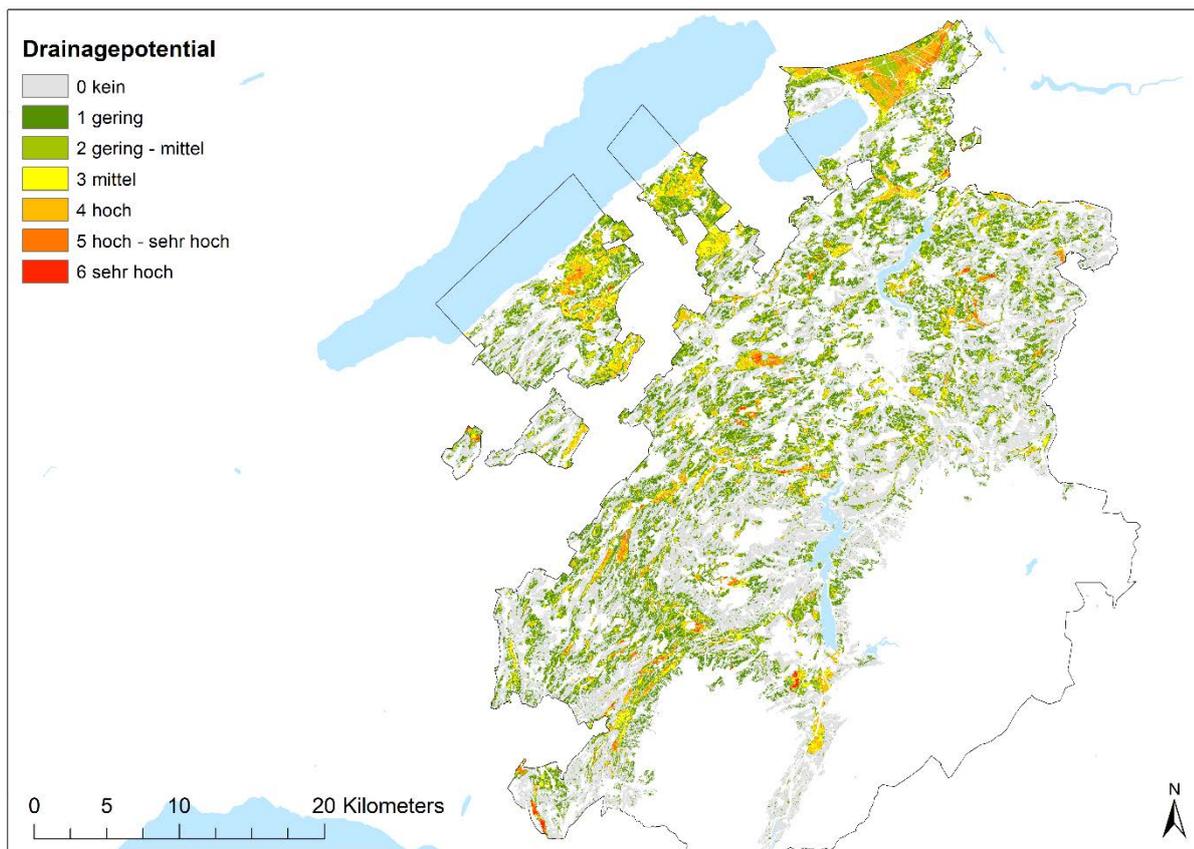
Drainagepotential	Werte Verteilung bei Reklassifizierung			% drainierte Fläche
	Klasse	Werte ML	% LWF	
Kein Potential	0	< 0,1	28,9	2,3
Geringes Potential	1	0,1-0,2	21,0	12,9
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	35,7	11,1
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	14,0	16,3
Hohes Potential	4	0,4-0,5	0,3	27,8
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	0,0	0
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,0	0

Bern (Modell Bern)



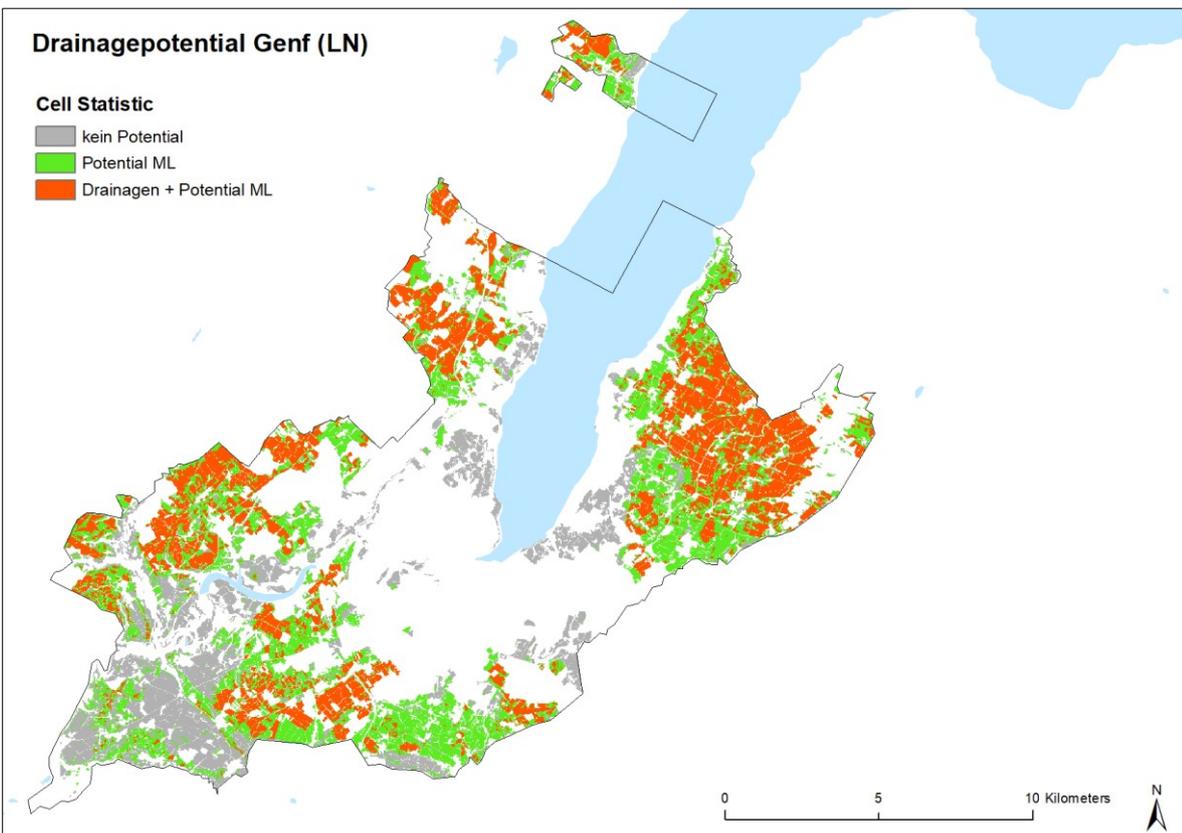
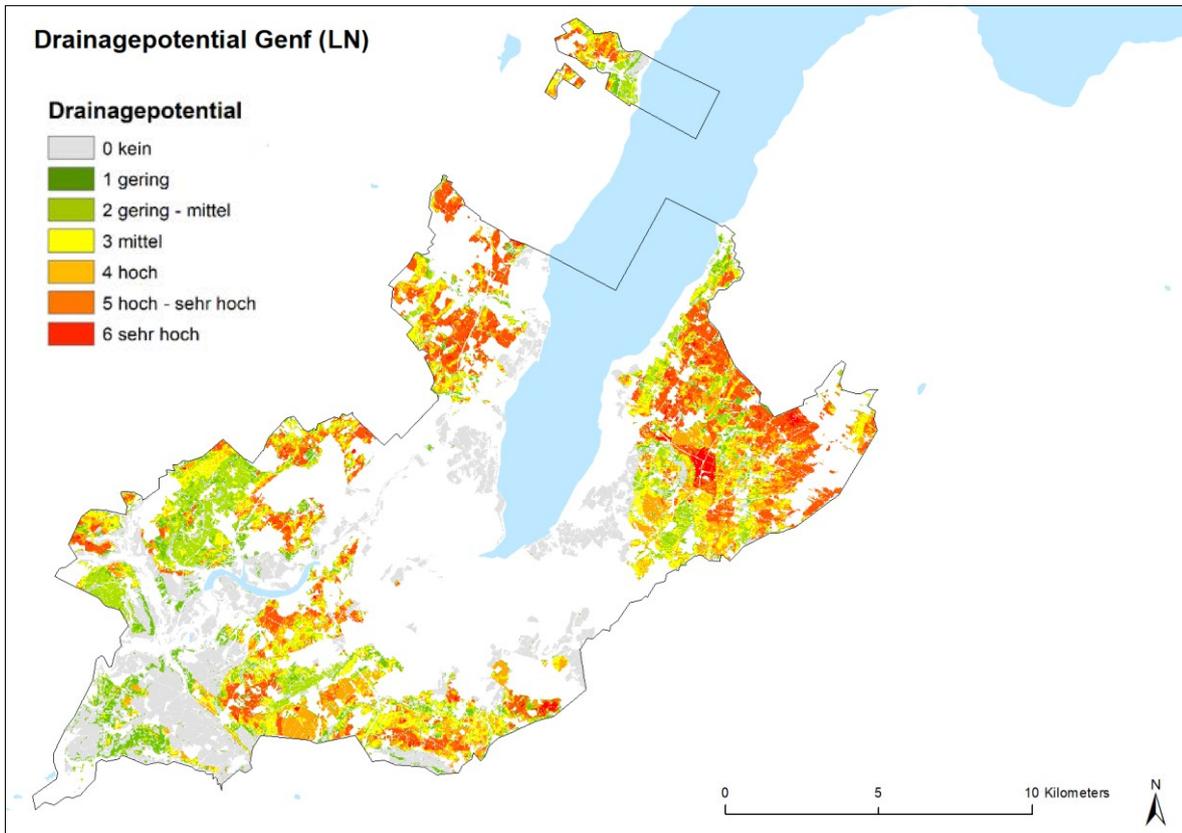
Drainagepotential	Werte Verteilung bei Reklassifizierung			
	Klasse	Werte ML	% LWF	
Modell Bern, Bern				% drainierte Fläche
Kein Potential	0	< 0,1	62,8	5,4
Geringes Potential	1	0,1-0,2	28,0	14,8
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	3,8	25,6
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	3,3	37,2
Hohes Potential	4	0,4-0,5	1,6	46,9
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	0,1	60,7
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,4	79,4

Fribourg (Modell West)



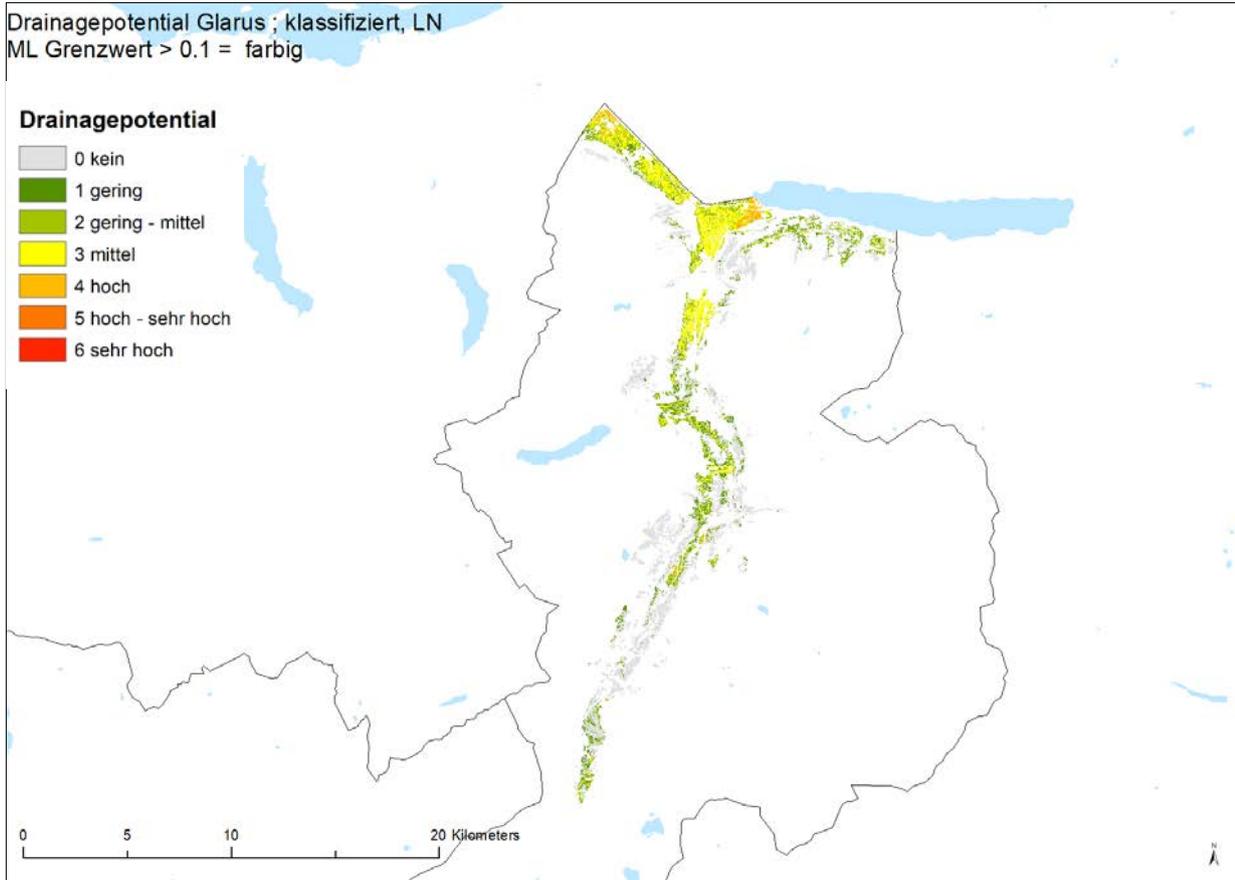
Drainagepotential	Verteilung bei Reklassifizierung			
	Klasse	Werte ML	% LWF	% drainierte Fläche
Kein Potential	0	< 0,1	53,9	6,4
Geringes Potential	1	0,1-0,2	23,9	15,7
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	9,8	26,5
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	5,9	38,4
Hohes Potential	4	0,4-0,5	4,8	49,1
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	1,3	59,4
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,3	86,5

Genf (Modell West)



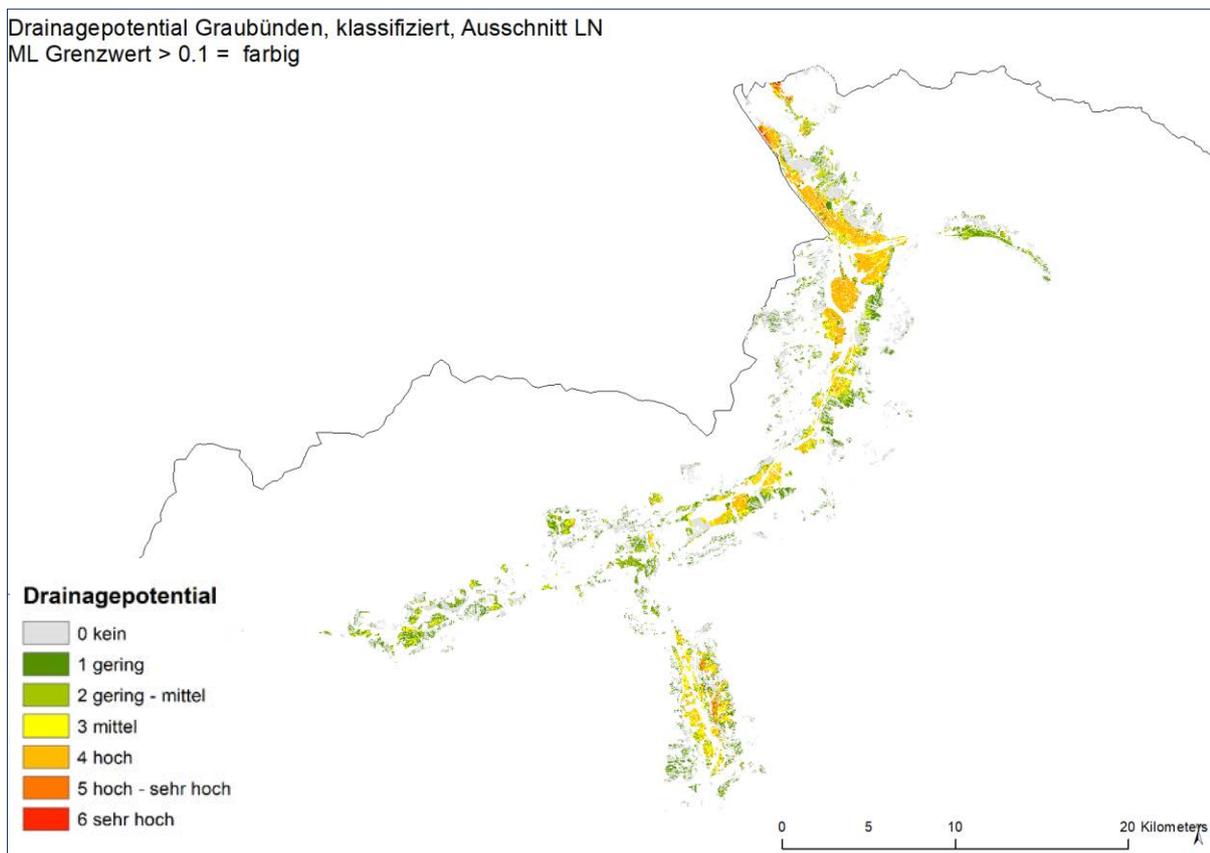
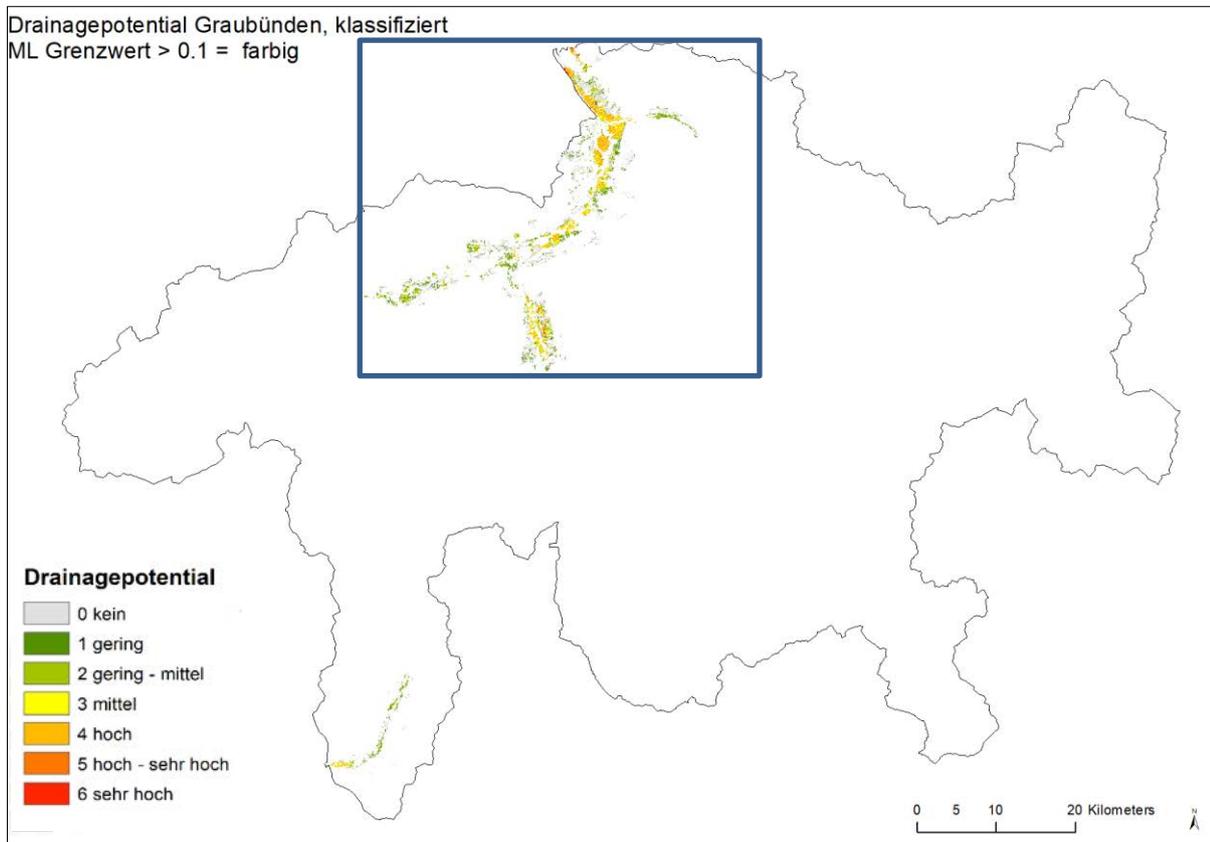
Drainagepotential	Werte Verteilung bei Reklassifizierung			
Modell West, Genf	Klasse	Werte ML	% LWF	% drainierte Fläche
Kein Potential	0	< 0,1	30,5	10,0
Geringes Potential	1	0,1-0,2	9,1	29,3
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	11,6	39,6
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	15,2	42,6
Hohes Potential	4	0,4-0,5	15,2	54,9
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	16,8	66,6
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	1,5	85,3

Glarus (Modell Ost)



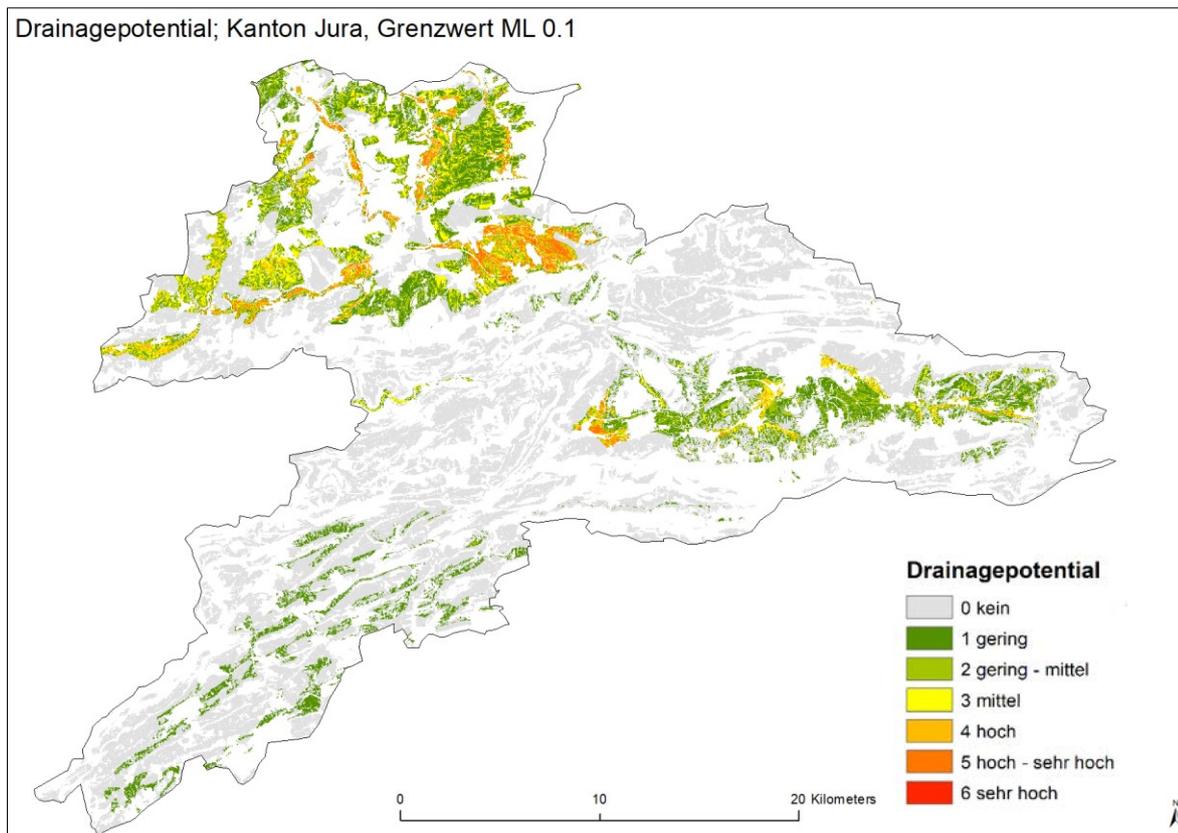
Drainagepotential	Verteilung bei Reklassifizierung			
	Klasse	Werte ML	% LWF	% drainierte Fläche
Kein Potential	0	< 0,1	48,2	-
Geringes Potential	1	0,1-0,2	13,6	-
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	15,1	-
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	20,2	-
Hohes Potential	4	0,4-0,5	2,9	-
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	0,03	-
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,0	-

Graubünden (Modell FR)



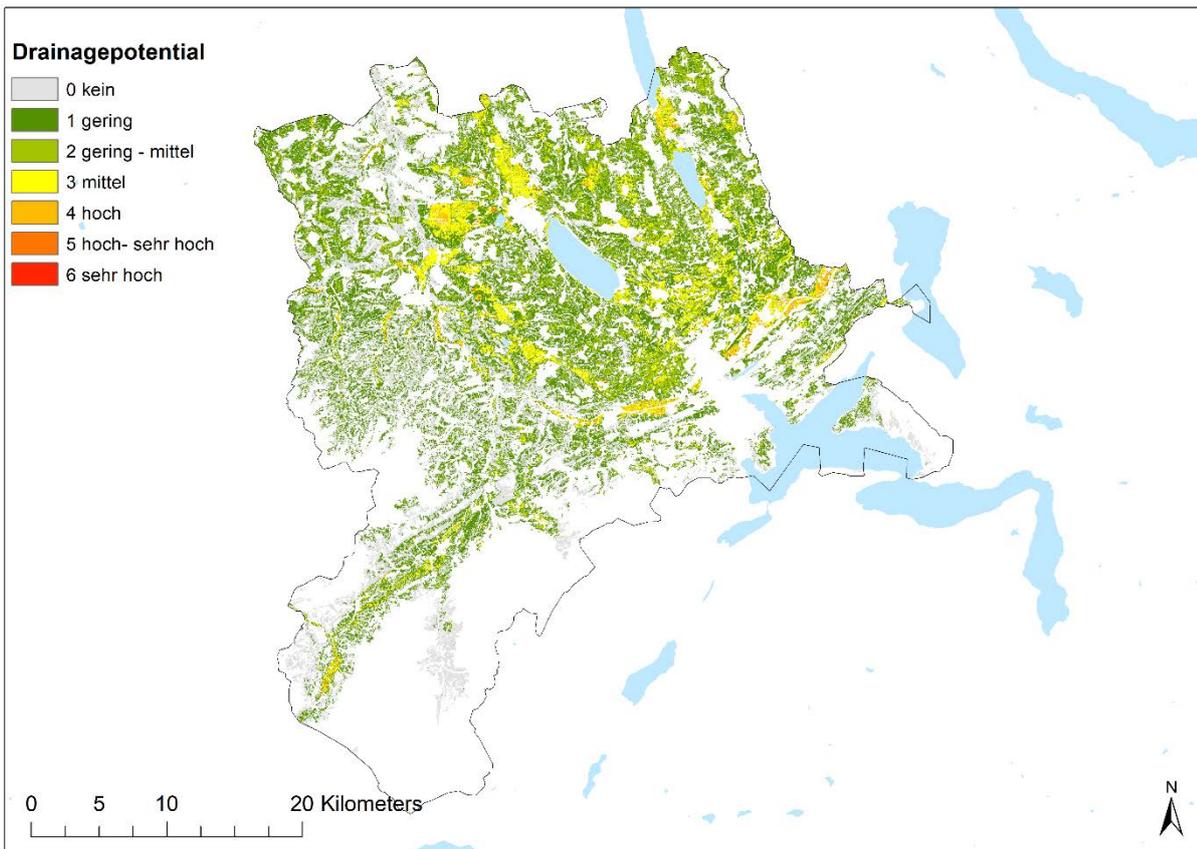
Drainagepotential	Werte Verteilung bei Reklassifizierung			% drainierte Fläche
	Modell FR, GR	Klasse	Werte ML	
Kein Potential	0	< 0,1	44,1	-
Geringes Potential	1	0,1-0,2	17,8	-
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	10,7	-
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	9,7	-
Hohes Potential	4	0,4-0,5	16,5	-
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	0,7	-
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,4	-

Jura (Modell Jura)



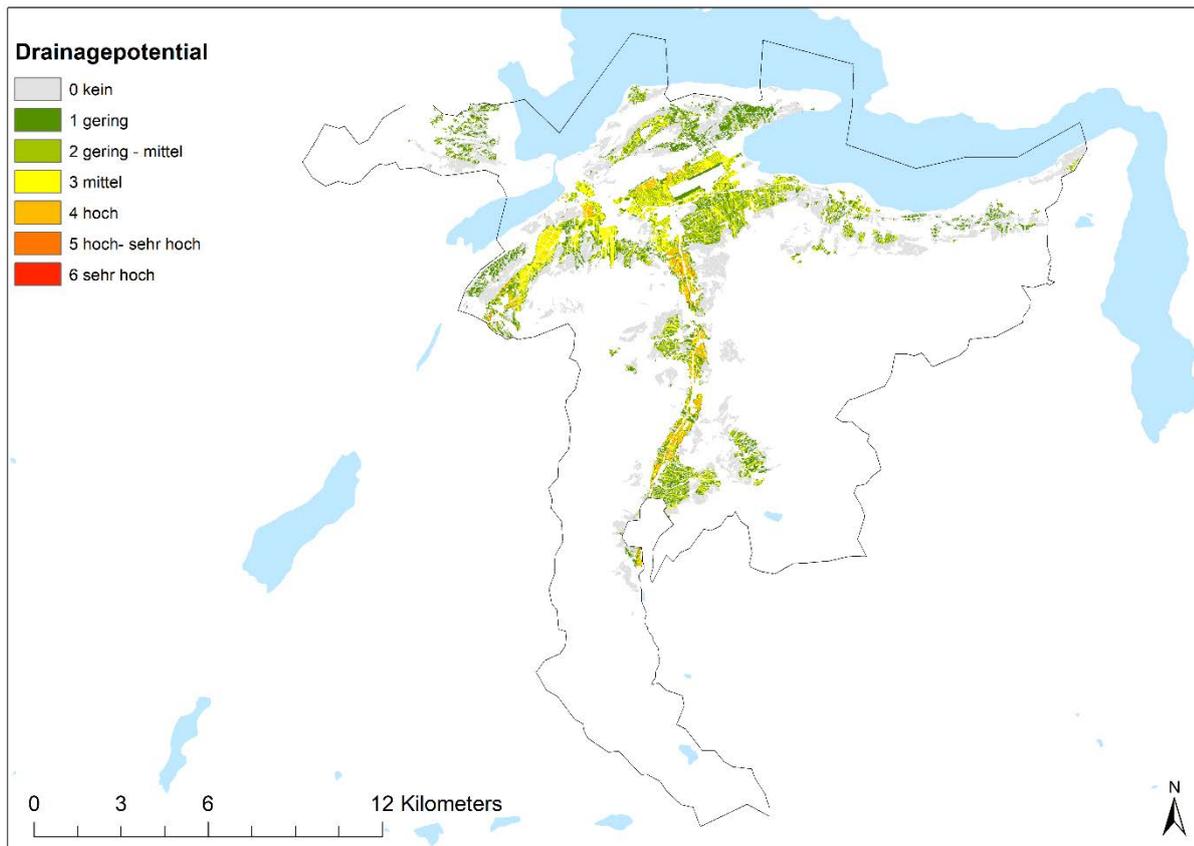
Drainagepotential	Wertevertelung bei Reklassifizierung			
	Klasse	Werte ML	% LWF	% drainierte Fläche
Kein Potential	0	< 0,1	67,3	-
Geringes Potential	1	0,1-0,2	15,8	-
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	7,6	-
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	4,5	-
Hohes Potential	4	0,4-0,5	3,0	-
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	1,8	-
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,008	-

Luzern (Modell Ost)



Drainagepotential	Werte Verteilung bei Reklassifizierung			% drainierte Fläche
	Klasse	Werte ML	% LWF	
Kein Potential	0	< 0,1	32,1	-
Geringes Potential	1	0,1-0,2	41,5	-
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	17,0	-
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	8,0	-
Hohes Potential	4	0,4-0,5	1,2	-
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	0,2	-
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,009	-

Nidwalden (Modell Ost)



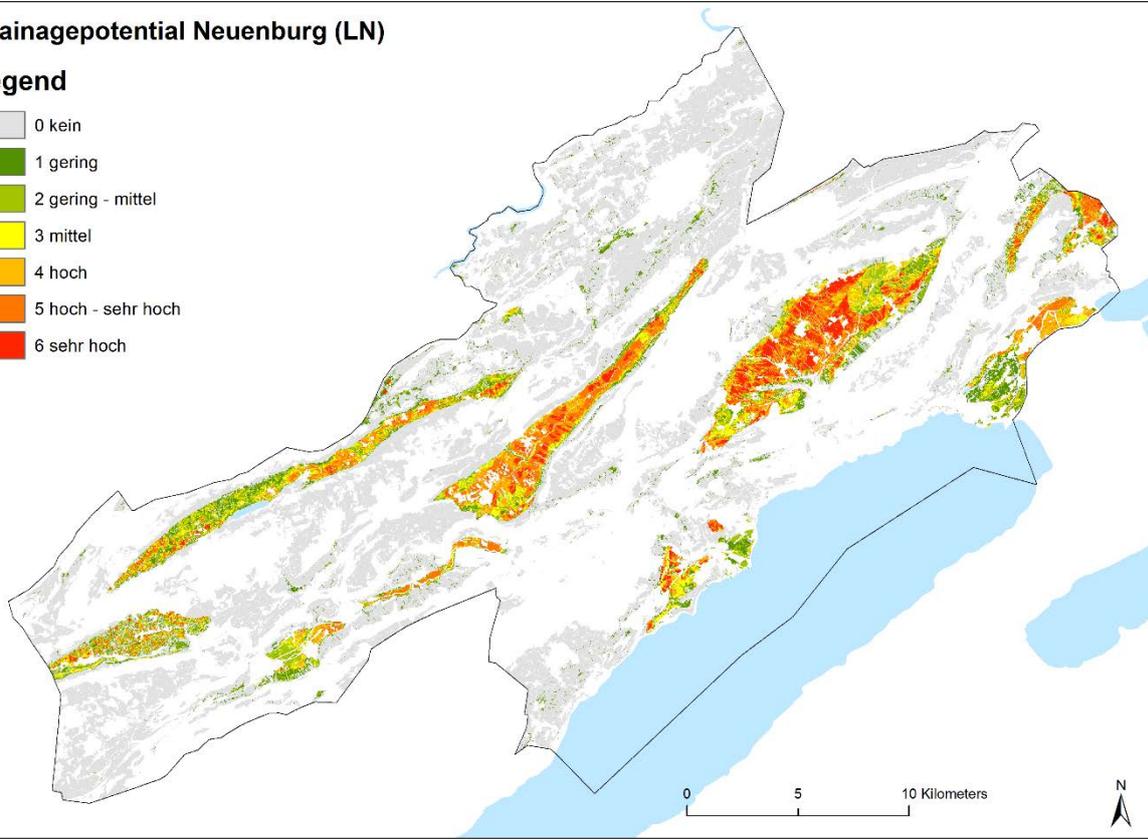
Drainagepotential	Werte Verteilung bei Reklassifizierung			% drainierte Fläche
	Klasse	Werte ML	% LWF	
Modell Ost, Nidwalden				
Kein Potential	0	< 0,1	49,6	-
Geringes Potential	1	0,1-0,2	18,2	-
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	15,3	-
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	13,3	-
Hohes Potential	4	0,4-0,5	3,4	-
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	0,3	-
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,0	-

Neuenburg (Modell West)

Drainagepotential Neuenburg (LN)

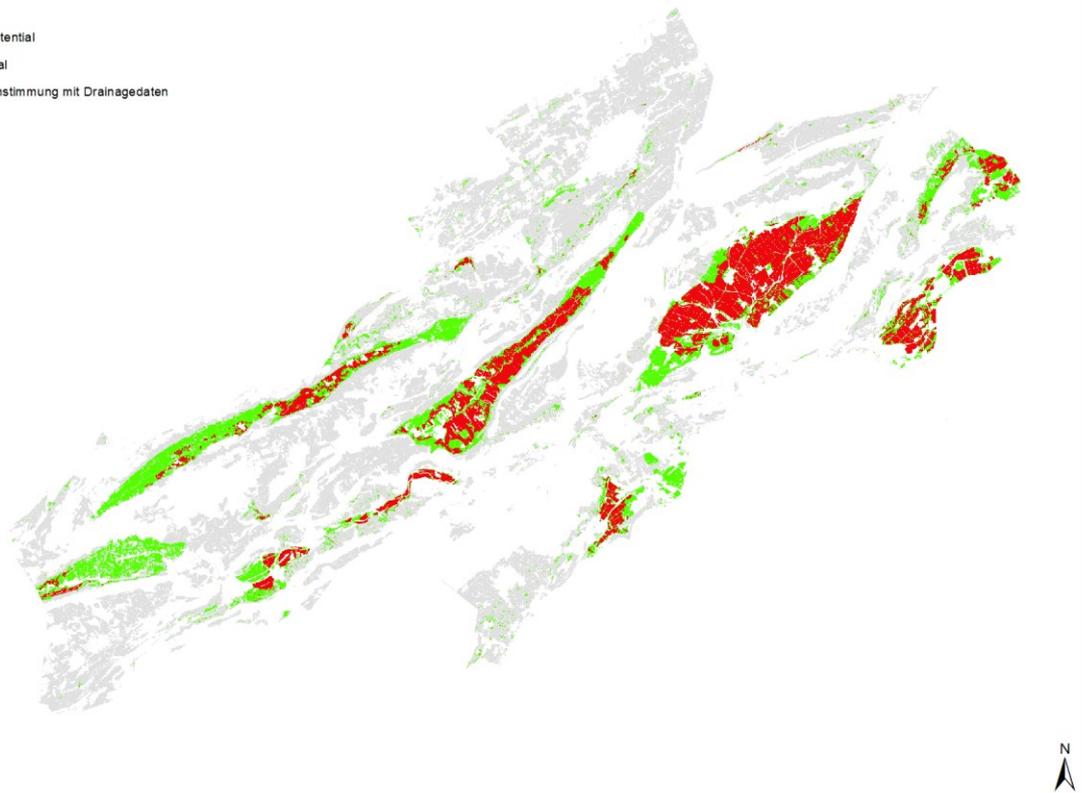
Legend

- 0 kein
- 1 gering
- 2 gering - mittel
- 3 mittel
- 4 hoch
- 5 hoch - sehr hoch
- 6 sehr hoch



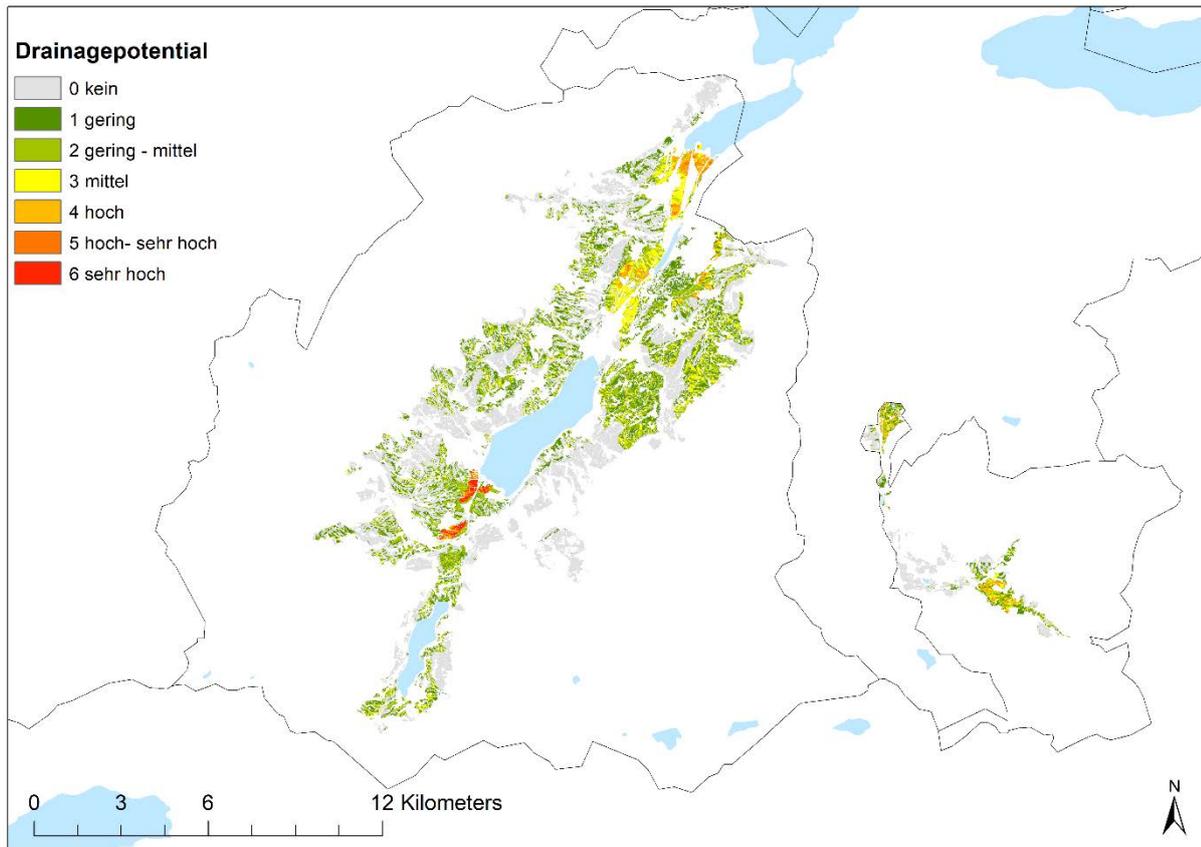
Drainagepotential Neuchatel (LN)

- kein Potential
- Potential
- Übereinstimmung mit Drainagedaten



Drainagepotential	Werte Verteilung bei Reklassifizierung			% drainierte Fläche
	Modell West, NE	Klasse	Werte ML	
Kein Potential	0	< 0,1	70,4	2,2
Geringes Potential	1	0,1-0,2	5,9	23,1
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	5,2	32,1
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	4,0	43,4
Hohes Potential	4	0,4-0,5	5,3	59,0
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	6,1	69,9
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	3,2	78,2

Obwalden (Modell Ost)



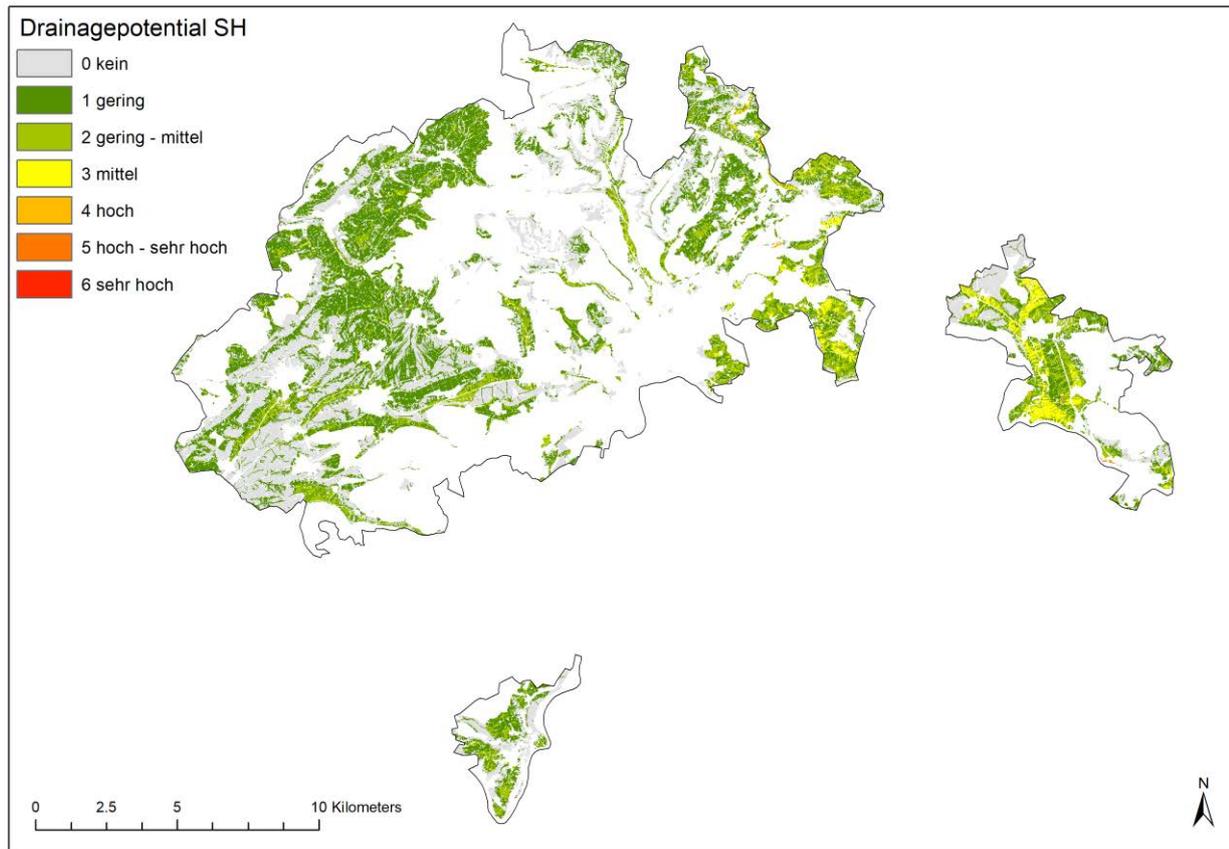
Drainagepotential	Wertevertelung bei Reklassifizierung			
	Klasse	Werte ML	% LWF	% drainierte Fläche
Kein Potential	0	< 0,1	55,6	-
Geringes Potential	1	0,1-0,2	17,6	-
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	16,1	-
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	7,3	-
Hohes Potential	4	0,4-0,5	2,1	-
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	0,8	-
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,5	-

St. Gallen (Modell Ost)

Die Karte befindet sich unter Appenzell

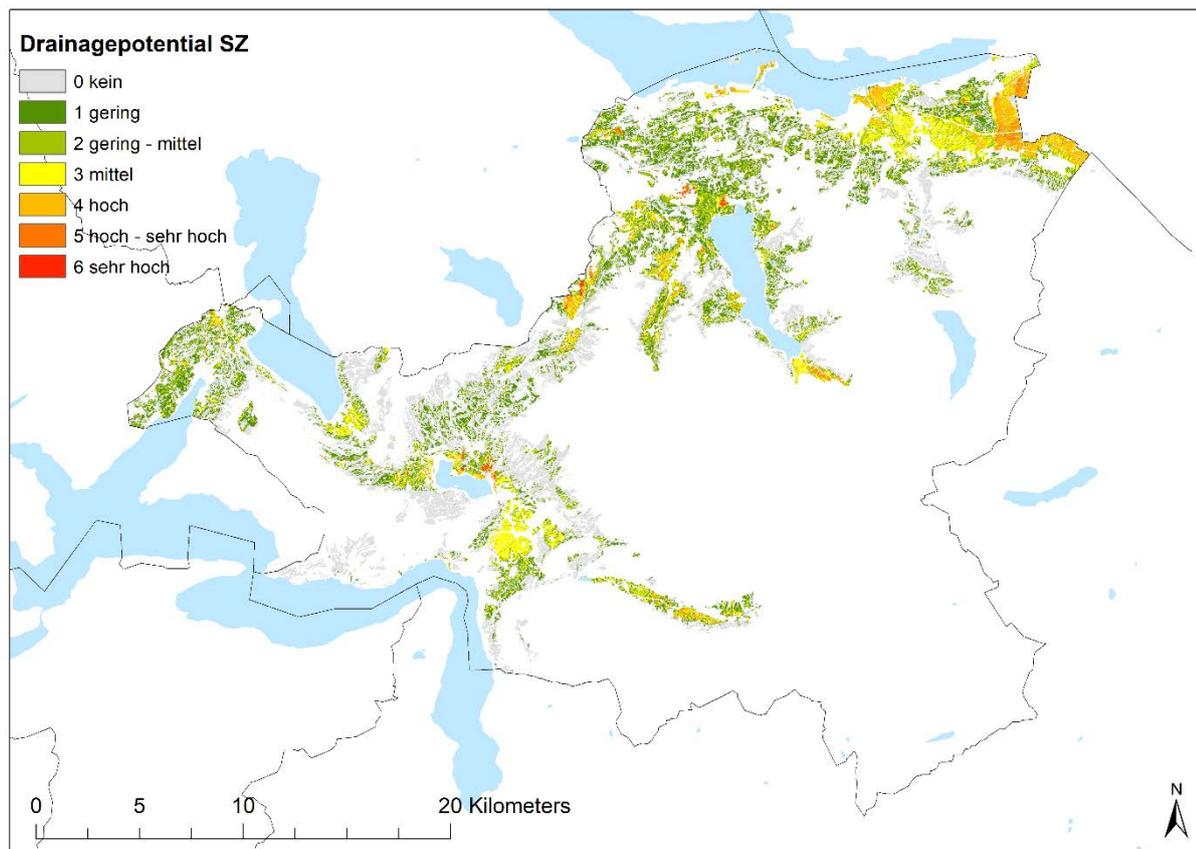
Drainagepotential	Werte Verteilung bei Reklassifizierung			% drainierte Fläche
	Klasse	Werte ML	% LWF	
Modell Ost, SG				
Kein Potential	0	< 0,1	35,4	2,8
Geringes Potential	1	0,1-0,2	29,8	4,1
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	17,8	14,6
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	9,9	15,2
Hohes Potential	4	0,4-0,5	4,9	19,8
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	1,7	22,7
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,5	28,9

Schaffhausen (Modell Ost)



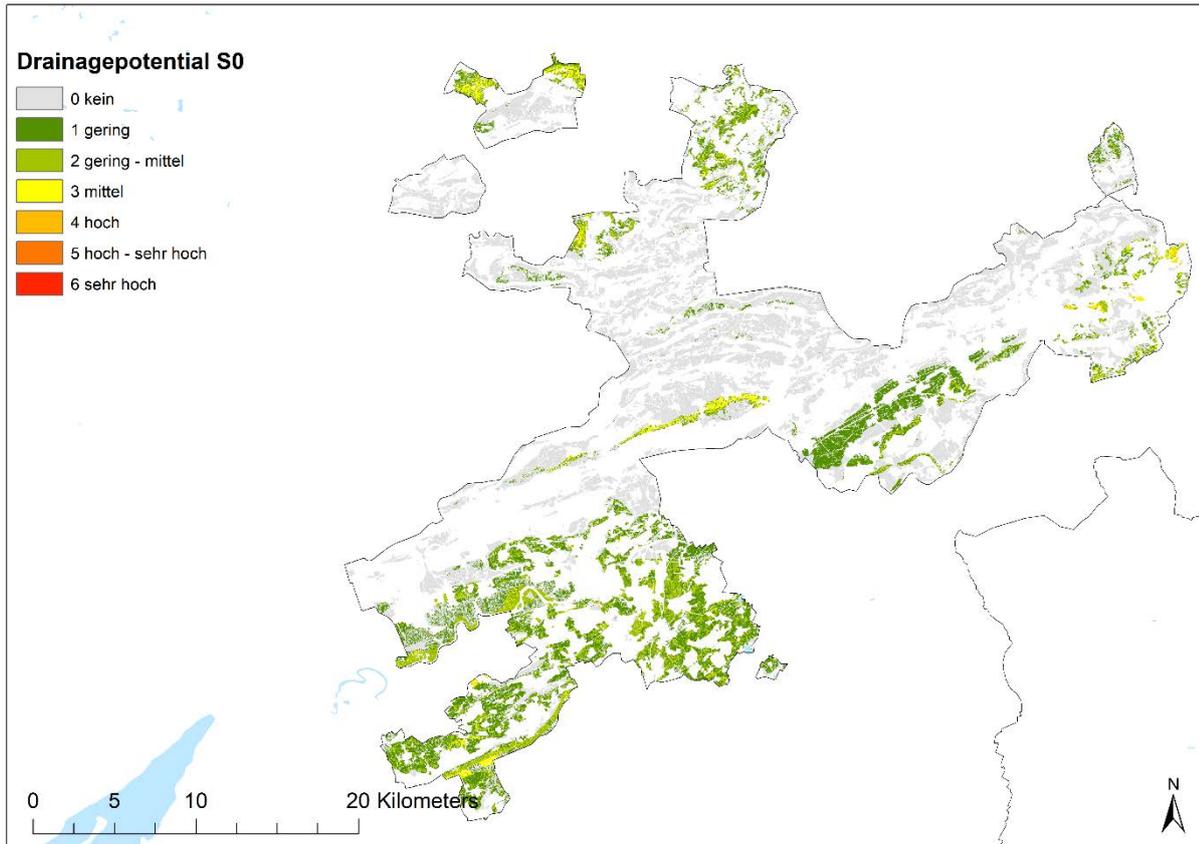
Drainagepotential	Verteilung bei Reklassifizierung			
	Klasse	Werte ML	% LWF	% drainierte Fläche
Modell Ost, SH (unvollständige Drainagedaten)				
Kein Potential	0	< 0,1	39,4	5,7
Geringes Potential	1	0,1-0,2	43,3	10,1
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	14,2	6,9
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	2,9	6,8
Hohes Potential	4	0,4-0,5	0,15	4,8
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	0,04	0
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,004	0

Schwyz (Modell Ost)



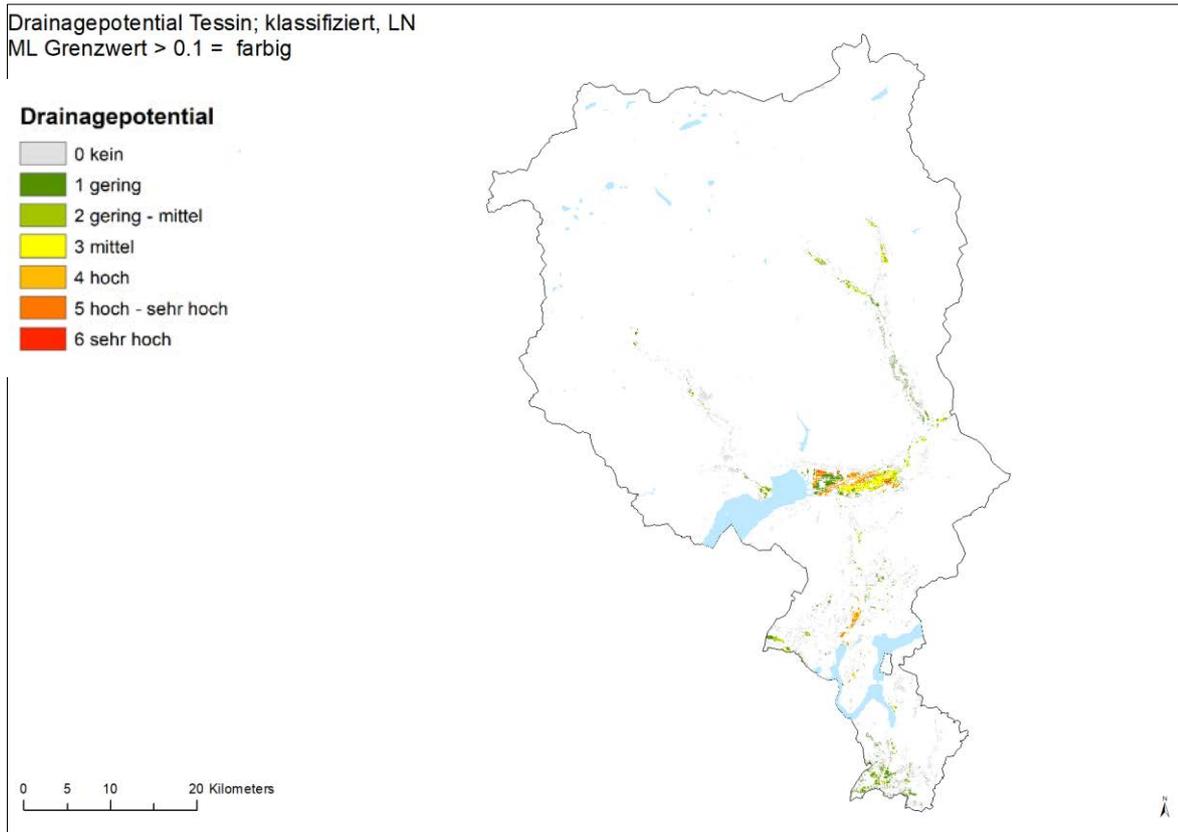
Drainagepotential	Verteilung bei Reklassifizierung			
	Klasse	Werte ML	% LWF	% drainierte Fläche
Kein Potential	0	< 0,1	43,0	-
Geringes Potential	1	0,1-0,2	21,9	-
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	14,3	-
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	14,3	-
Hohes Potential	4	0,4-0,5	5,4	-
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	0,9	-
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,2	-

Solothurn (Modell Jura)



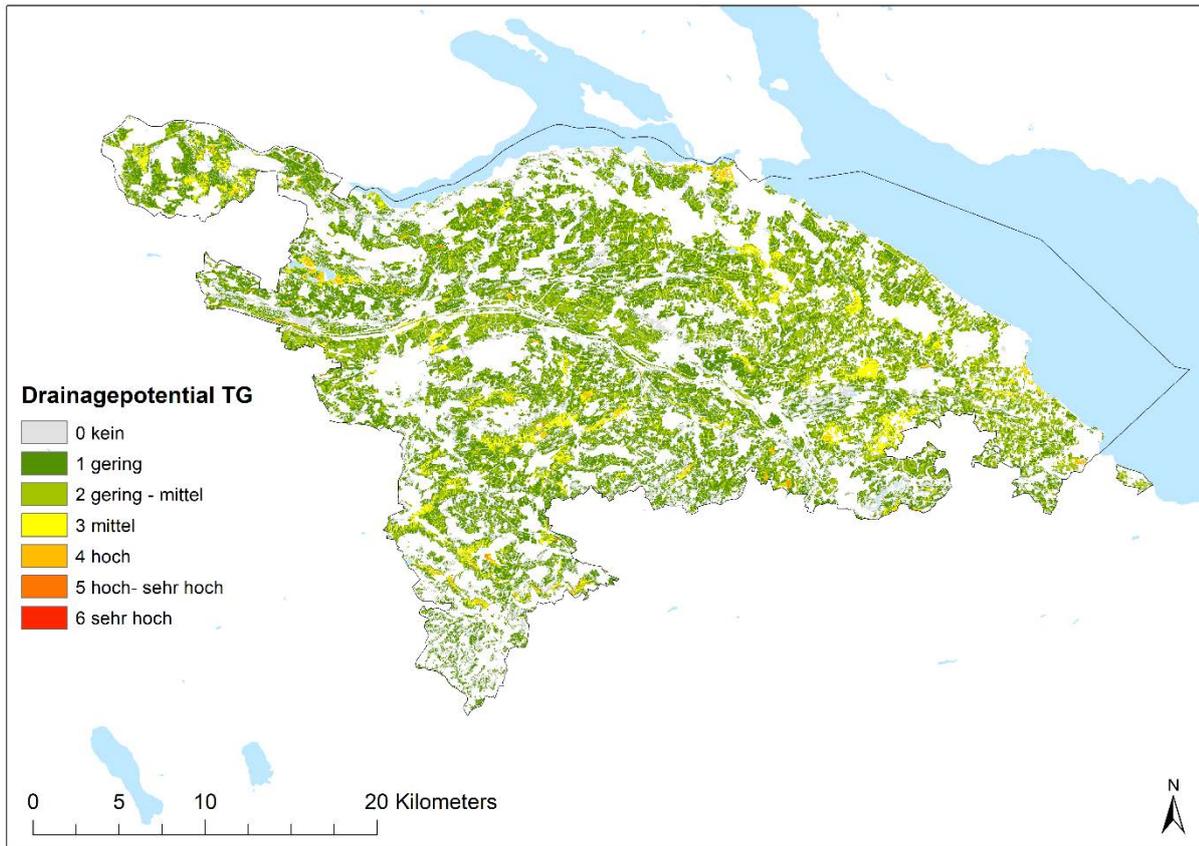
Drainagepotential	Verteilung bei Reklassifizierung			% drainierte Fläche
	Klasse	Werte ML	% LWF	
Modell Jura, SO				
Kein Potential	0	< 0,1	60,7	-
Geringes Potential	1	0,1-0,2	24,8	-
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	11,4	-
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	3,0	-
Hohes Potential	4	0,4-0,5	0,2	-
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	0,0	-
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,0	-

Tessin (Modell FR)



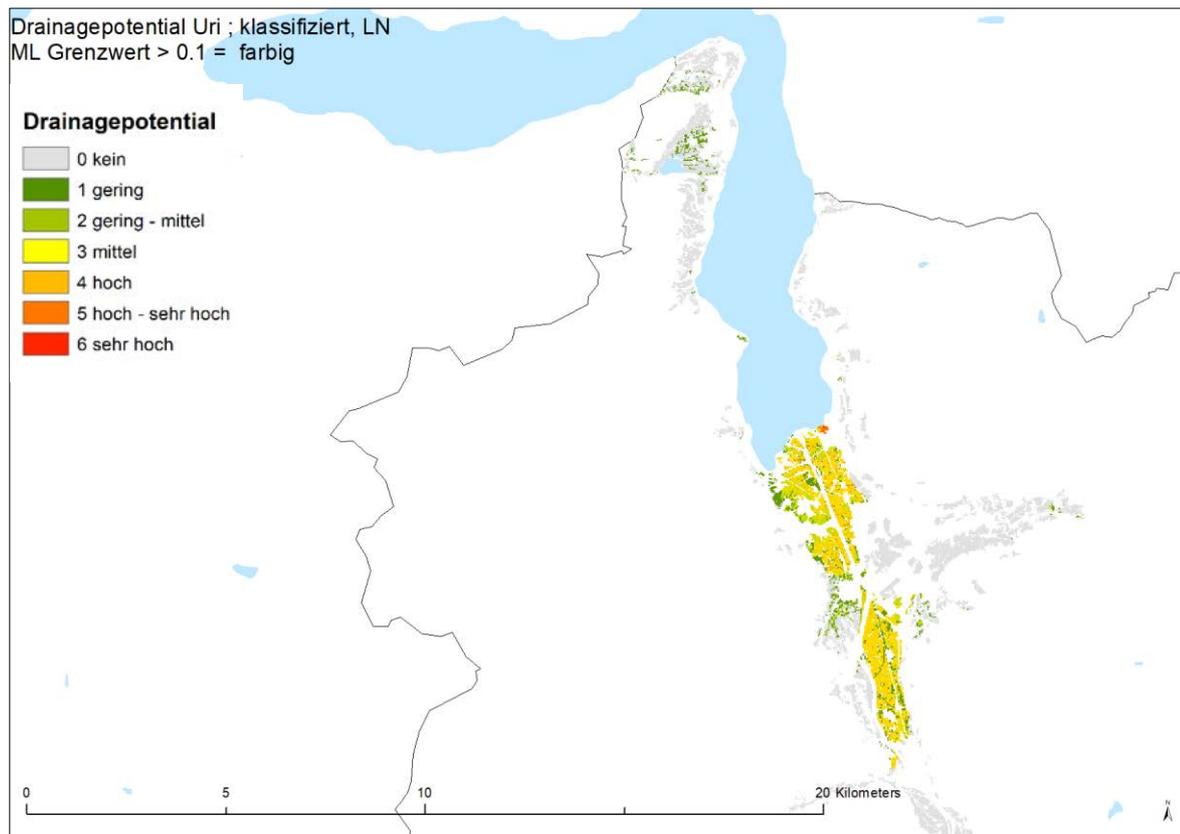
Drainagepotential	Werte Verteilung bei Reklassifizierung			
	Klasse	Werte ML	% LWF	% drainierte Fläche
Kein Potential	0	< 0,1	64,7	-
Geringes Potential	1	0,1-0,2	14,8	-
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	5,9	-
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	7,7	-
Hohes Potential	4	0,4-0,5	2,9	-
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	3,8	-
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,3	-

Thurgau (Modell Ost)



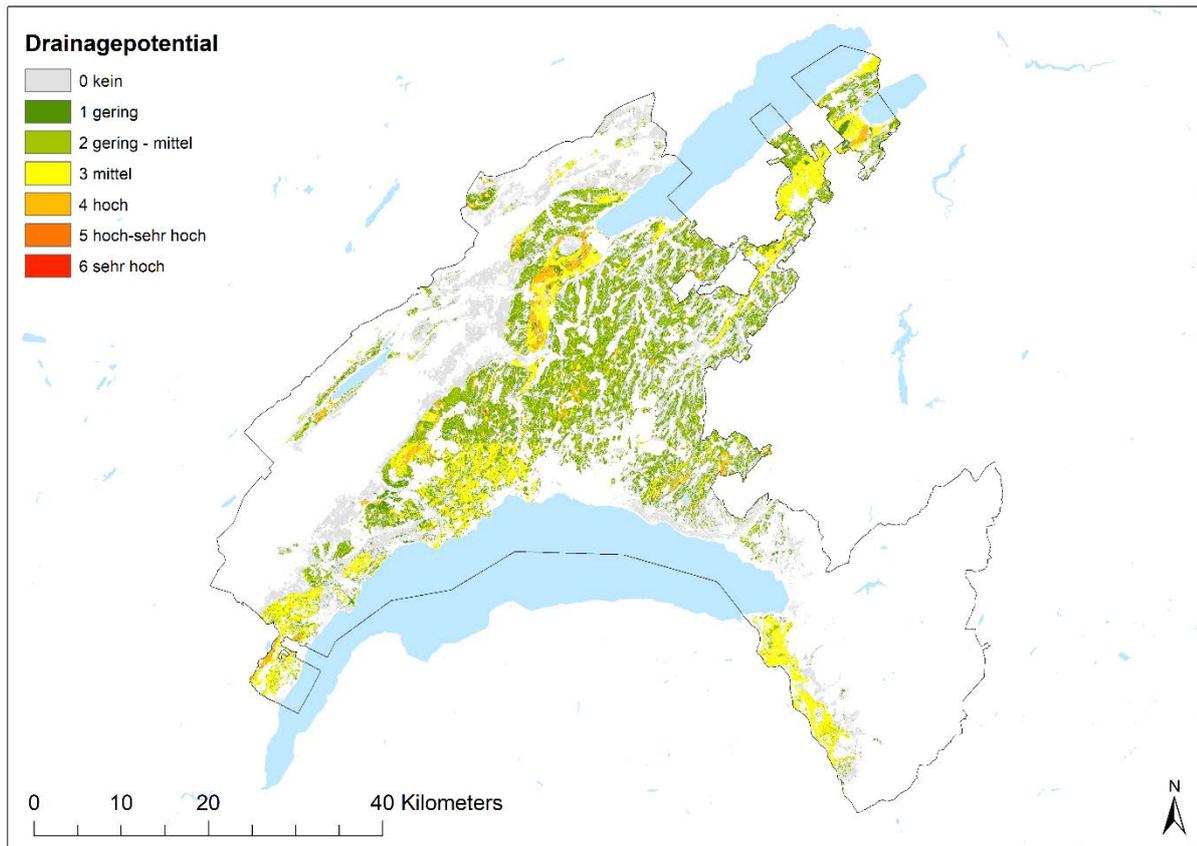
Drainagepotential	Verteilung bei Reklassifizierung			% drainierte Fläche
	Klasse	Werte ML	% LWF	
Modell Ost, Thurgau				
Kein Potential	0	< 0,1	15,9	-
Geringes Potential	1	0,1-0,2	47,9	-
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	28,9	-
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	6,4	-
Hohes Potential	4	0,4-0,5	0,8	-
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	0,1	-
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,006	-

Uri (Modell Ost)



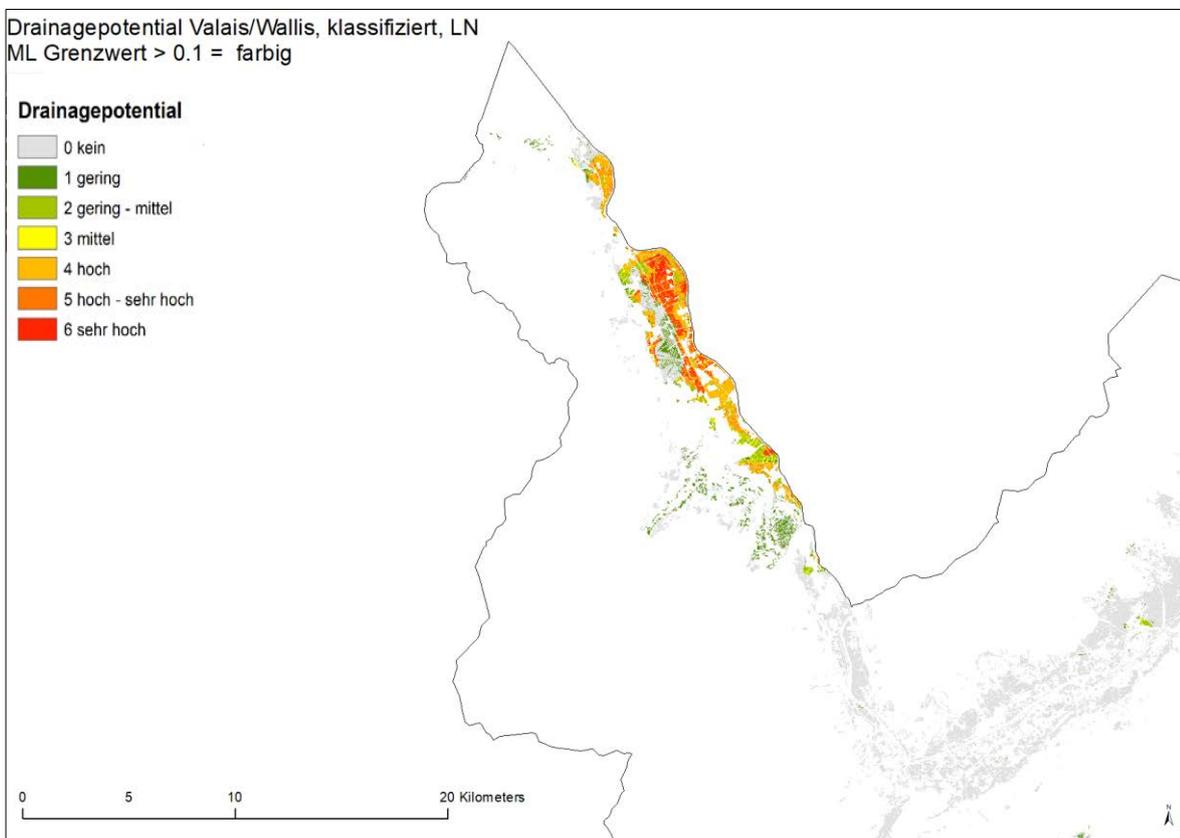
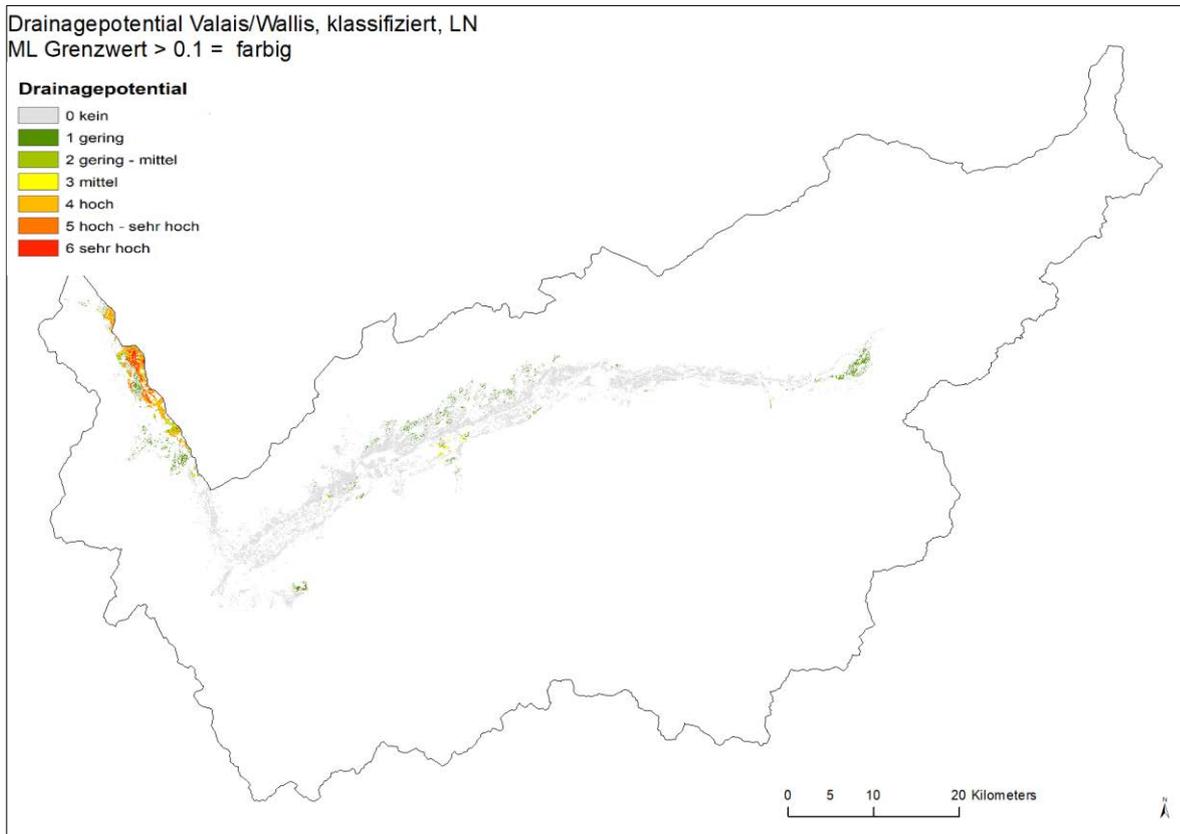
Drainagepotential	Wertevertelung bei Reklassifizierung			
	Klasse	Werte ML	% LWF	% drainierte Fläche
Kein Potential	0	< 0,1	64,1	-
Geringes Potential	1	0,1-0,2	8,5	-
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	6,0	-
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	20,4	-
Hohes Potential	4	0,4-0,5	0,9	-
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	0,03	-
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,00	-

Waadtland, Vaud (Modell West)



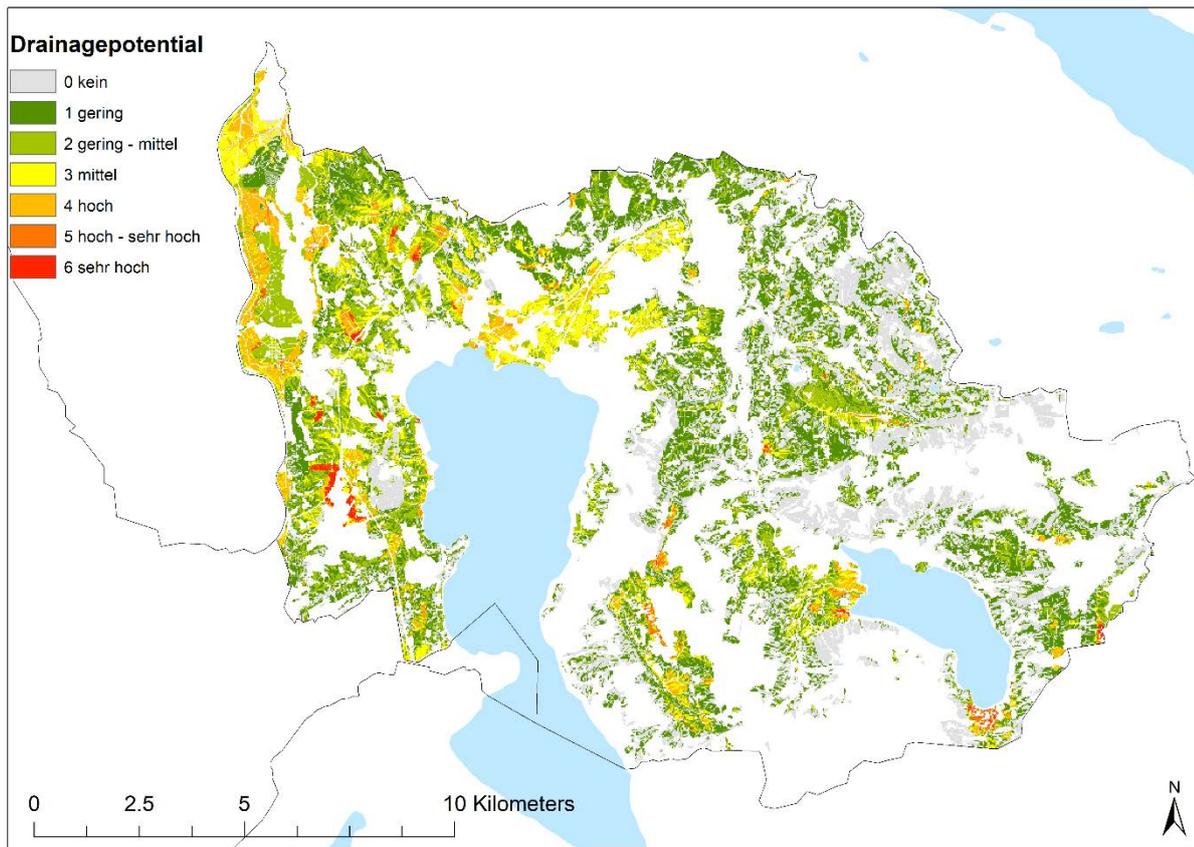
Drainagepotential	Wertevertelung bei Reklassifizierung			
	Klasse	Werte ML	% LWF	% drainierte Fläche
Modell West, VD				
Kein Potential	0	< 0,1	38,3	-
Geringes Potential	1	0,1-0,2	18,0	-
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	22,7	-
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	17,6	-
Hohes Potential	4	0,4-0,5	3,3	-
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	0,05	-
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,05	-

Wallis, Valais (Modell West)



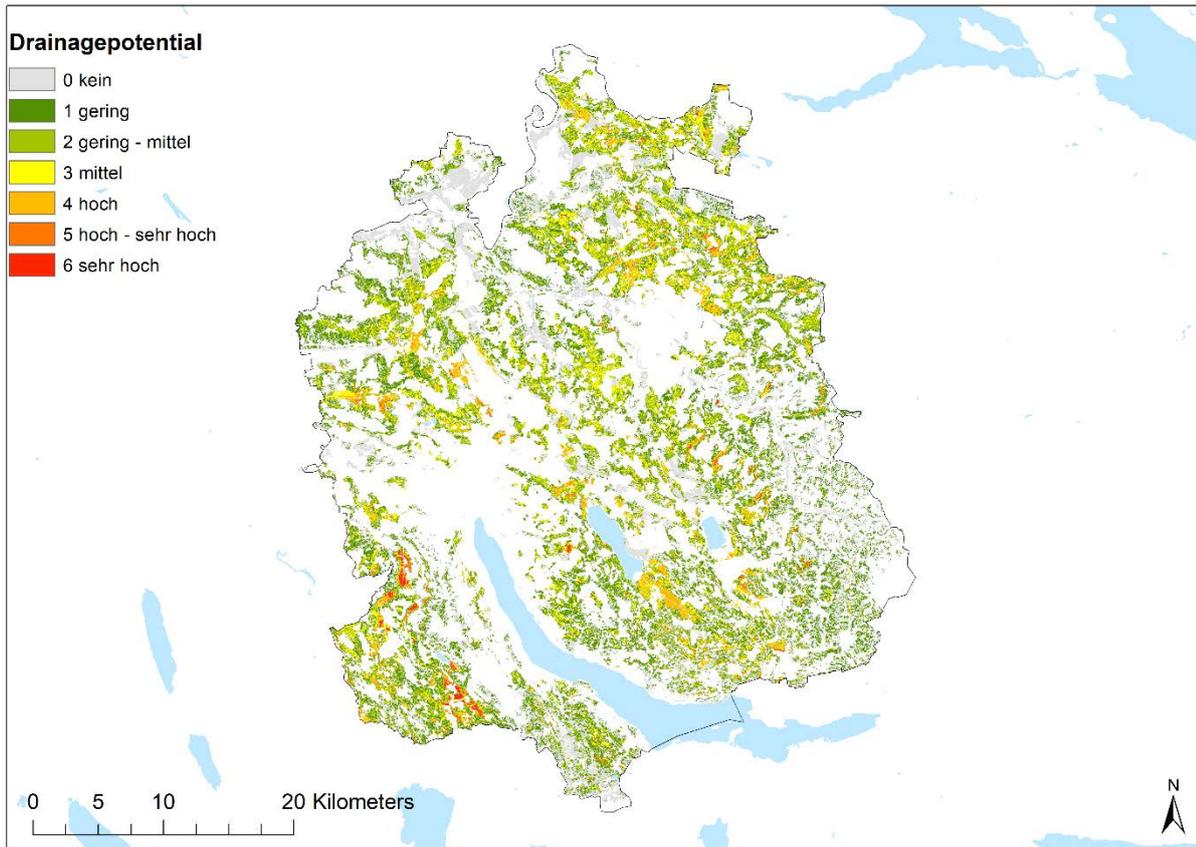
Drainagepotential	Verteilung bei Reklassifizierung			% drainierte Fläche
	Klasse	Werte ML	% LWF	
Kein Potential	0	< 0,1	84,9	-
Geringes Potential	1	0,1-0,2	5,7	-
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	2,0	-
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	0,8	-
Hohes Potential	4	0,4-0,5	3,4	-
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	1,9	-
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	1,2	-

Zug (Modell Ost)



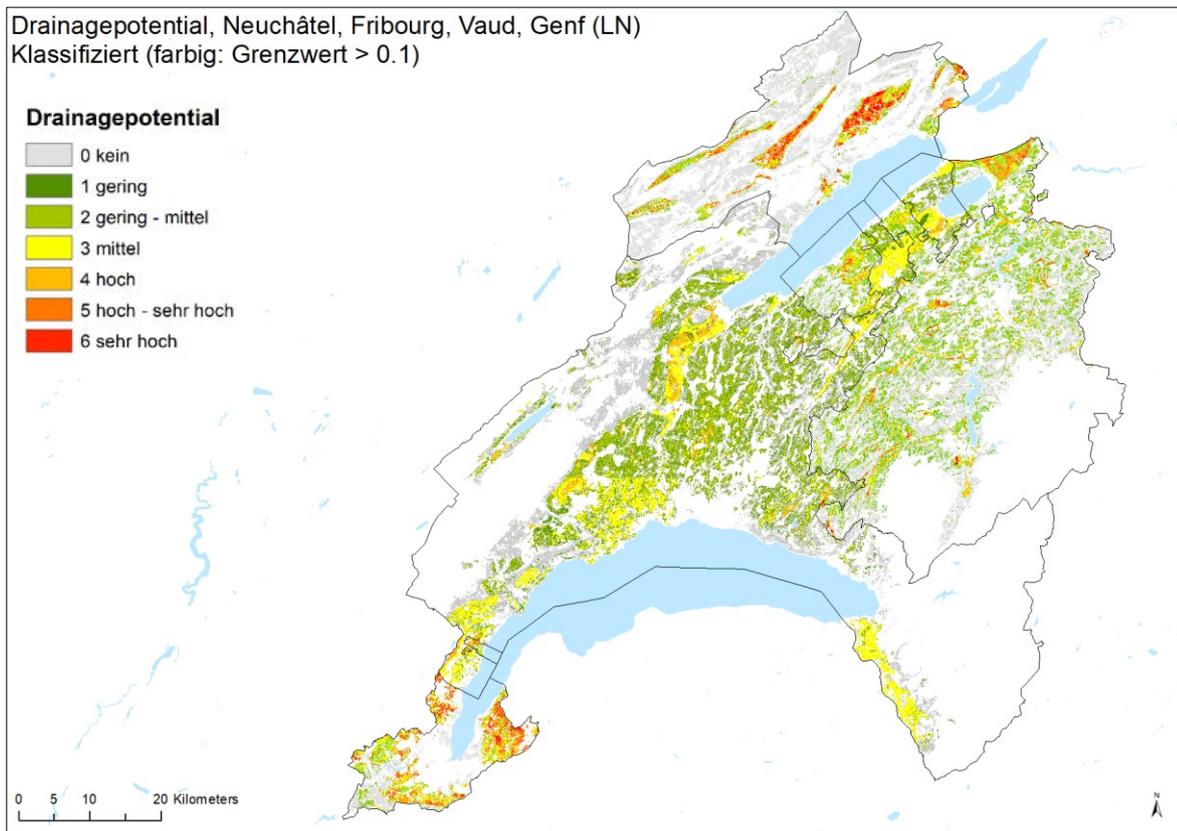
Drainagepotential	Verteilung bei Reklassifizierung			
	Klasse	Werte ML	% LWF	% drainierte Fläche
Kein Potential	0	< 0,1	31,9	-
Geringes Potential	1	0,1-0,2	31,2	-
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	19,4	-
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	10,4	-
Hohes Potential	4	0,4-0,5	5,5	-
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	1,0	-
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,6	-

Zürich (Modell Ost)



Drainagepotential	Verteilung bei Reklassifizierung			
	Klasse	Werte ML	% LWF	% drainierte Fläche
Kein Potential	0	< 0,1	31,6	0,0
Geringes Potential	1	0,1-0,2	31,5	15,8
Geringes – mittleres Potential	2	0,2-0,3	19,1	28,7
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	10,9	39,8
Hohes Potential	4	0,4-0,5	4,7	56,4
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	1,4	66,7
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	0,7	80,6

Übersicht über die Modellregion «West»



Drainagepotential	Verteilung bei Reklassifizierung			% drainierte Fläche
	Klasse	Werte ML	% LWF	
Modell West, NE, FR, GE, VD				
Kein Potential	0	< 0,1	56,0	5,2
Geringes Potential	1	0,1-0,2	17,6	17,1
Geringes - mittleres Potential	2	0,2-0,3	8,7	29,2
Mittleres Potential	3	0,3-0,4	6,3	40,3
Hohes Potential	4	0,4-0,5	6,0	52,9
Hohes - sehr hohes Potential	5	0,5-0,6	4,2	66,5
Sehr hohes Potential	6	> 0,6	1,2	80,3

Anhang 2: Zusammenstellung der Modellparameter

In diesem Anhang finden sich die Ausgabewerte der Modelle geordnet nach Region.

Hyperparameter sind die übergeordneten Rechenparameter, die dem Modell vorgegeben werden. Die Hyperparameter wurden in unserer Modellierung für alle Modelle/Regionen und Rechnungen einheitlich gesetzt, da eine schweizweite Karte das Ziel war.

Hyperparameter für die Modellrechnungen	
learn_rate = seq	(0.01, 0.1, 0.01)
max_depth = seq	(2, 20, 1)
ntrees = Seq	(50, 150, 5)
sample_rate = seq	(0.5, 1.0, 0.1)
Col_sample_rate = seq	(0.1, 1.0, 0.1)

Modell Ost (AGZH)

Modell-Werte	
MSE	0.04094735
RMSE	0.2023545
LogLoss	0.1441967
Mean Per-Class Error	0.2425059
AUC	0.9128365
pr_auc	0.3752969
Gini	0.8256729

Variable Importances				
	variable	relative_importance	scaled_importance	percentage
1	twi	853163.062500	1.000000	0.568808
2	bekbt	190971.921875	0.223840	0.127322
3	hn6	178680.546875	0.209433	0.119127
4	fg18	84382.062500	0.098905	0.056258
5	beqv	80539.492188	0.094401	0.053696
6	bekg	42374.148438	0.049667	0.028251
7	geo1	29103.617188	0.034113	0.019404
8	beksk	13894.242188	0.016286	0.009263
9	bekaw	12011.091797	0.014078	0.008008
10	bekwd	9013.770508	0.010565	0.006010
11	bekws	5778.690430	0.006773	0.003853

Beispiel für die Werte-Angaben zu den Vorhersagen. Wichtig sind vor allem Minimum und Maximum der Datenwerte.

Predictions					
SZ					
Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.01130	0.01148	0.01337	0.04096	0.02514	0.73124
ZG					
0.01089	0.01148	0.01464	0.06673	0.05873	0.73093
OW					
0.01117	0.01148	0.01346	0.03239	0.02110	0.73124
NW					
0.01148	0.01148	0.01148	0.02866	0.02065	0.51603

Modell Freiburg (Süd)

Modell-Werte	
MSE	0.03776754
RMSE	0.1943387
LogLoss	0.136321
Mean Per-Class Error	0.2797622
AUC	0.9068817
pr_auc	0.3259625
Gini	0.8137634

Variable Importances				
	variable	relative_importance	scaled_importance	percentage
1	twi	213605.296875	1.000000	0.356083
2	hn6	110803.390625	0.518730	0.184711
3	geo1	82098.375000	0.384346	0.136859
4	bekbt	60253.355469	0.282078	0.100443
5	bekws	40097.210938	0.187716	0.066843
6	bekv	30765.558594	0.144030	0.051287
7	bekg	19548.755859	0.091518	0.032588
8	bekaw	14482.493164	0.067800	0.024143
9	fg18	14383.833984	0.067338	0.023978
10	beksk	10143.559570	0.047487	0.016909
11	bekwd	3692.358398	0.017286	0.006155

Modell Bern

Modell-Werte	
MSE	0.01481578
RMSE	0.1217201
LogLoss	0.05684915
Mean Per-Class Error	0.3324937
AUC	0.9405361
pr_auc	0.2631795
Gini	0.8810721

Variable Importances				
	variable	relative_importance	scaled_importance	percentage
1	twi	99186.156250	1.000000	0.282543
2	hn6	58510.242188	0.589903	0.166673
3	bekv	40935.210938	0.412711	0.116609
4	bekg	36503.121094	0.368026	0.103983
5	fg18	22483.396484	0.226679	0.064046
6	bekws	21369.777344	0.215451	0.060874
7	beksk	20028.896484	0.201932	0.057055
8	bekaw	19582.830078	0.197435	0.055784
9	bekwd	12485.835938	0.125883	0.035567
10	geo1	11225.285156	0.113174	0.031976
11	bekbt	8737.33594	0.08809	0.024889

Modell Jura (BL)

Modell-Werte	
MSE	0.01920759
RMSE	0.1385914
LogLoss	0.07164913
Mean Per-Class Error	0.2901258
AUC	0.9393811
pr_auc	0.277374
Gini	0.8787621

Variable Importances				
	variable	relative_importance	scaled_importance	percentage
1	twi	35282.628906	1.000000	0.350187
2	bekg	14277.109375	0.404650	0.141703
3	hn6	12100.747070	0.342966	0.120102
4	bekv	10354.334961	0.293468	0.102769
5	bekbt	8777.925781	0.248789	0.087123
6	beksk	6072.729004	0.172117	0.060273
7	bekaw	4523.362305	0.128204	0.044895
8	bekws	3305.469727	0.093685	0.032807
9	geo1	3301.011475	0.093559	0.032763
10	bekwd	2746.226318	0.077835	0.027257
11	fg18	12.267400	0.000348	0.000122

Modell West

Modell-Werte	
MSE	0.01370435
RMSE	0.1170656
LogLoss	0.04992549
Mean Per-Class Error	0.2287218
AUC	0.9764323
pr_auc	0.4729487
Gini	0.9528646

Variable Importances				
	variable	relative_importance	scaled_importance	percentage
1	twi	1328381.125000	1.000000	0.394909
2	hn6	1025611.500000	0.772076	0.304900
3	bekbt	264257.468750	0.198932	0.078560
4	bekg	227058.250000	0.170929	0.067501
5	bekv	177389.562500	0.133538	0.052735
6	geo1	87287.687500	0.065710	0.025949
7	beksk	81568.210938	0.061404	0.024249
8	bekaw	50755.382812	0.038208	0.015089
9	bekws	49852.769531	0.037529	0.014821
10	bekwd	47618.964844	0.035847	0.014156
11	fg18	23983.818359	0.018055	0.007130

Anhang 3: R-Script zum Modell

R Script Beispiel AGZH (GBM22)

(R)

```

library(h2o)
library(raster)
setwd ("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m")
h2o.init(nthreads=-1,max_mem_size = "2G")
h2o.removeAll()

drain <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/ag_zh//drain_zhag")
bekaw <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/ag_zh/bekaw_agzh")
bekv <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/ag_zh/bekv_zhag")
bekbt <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/ag_zh/bekbt_agzh")
bekg <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/ag_zh/bekg_agzh")
beksk <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/ag_zh/bekskr2_agzh")
bekwd<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/ag_zh/bekwd2k_agzh")
bekws<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/ag_zh/bekwsr_agzh")
geo1 <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/ag_zh/geo1_agzh")
twi <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/ag_zh/twi_ag_zh")
fg18 <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/ag_zh/fg1880_agzh")
hn6<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/ag_zh/hn6_zhag")

#slope <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/ag_zh/slope_agzh")

m_drain <-as.matrix(drain)
m_bekaw <- as.matrix(bekaw)
m_bekv <- as.matrix(bekv)
m_bekbt <-as.matrix(bekbt)
m_bekg <- as.matrix(bekg)
m_beksk <- as.matrix(beksk)
m_bekwd <- as.matrix(bekwd)
m_bekws <- as.matrix(bekws)
m_geo1 <- as.matrix(geo1)
m_twi <- as.matrix(twi)
m_fg18 <-as.matrix(fg18)
m_hn6 <-as.matrix(hn6)

v_drain <-as.vector(m_drain)
v_bekaw <- as.vector(m_bekaw)
v_bekv <- as.vector(m_bekv)
v_bekbt <-as.vector(m_bekbt)
v_bekg <- as.vector(m_bekg)
v_beksk <- as.vector(m_beksk)
v_bekwd <- as.vector(m_bekwd)
v_bekws <- as.vector(m_bekws)
v_geo1 <- as.vector(m_geo1)
v_twi <- as.vector(m_twi)
v_fg18 <-as.vector(m_fg18)
v_hn6 <-as.vector(m_hn6)

data_matrix <-cbind(v_drain, v_bekaw, v_bekv, v_bekbt, v_bekg, v_beksk, v_bekwd, v_bekws, v_geo1,
v_twi, v_fg18, v_hn6)

```

```
colnames(data_matrix)<-  
c("drain", "bekaw", "bekv", "bekbt", "bekg", "beksk", "bekwd", "bekws", "geo1", "twi", "fg18", "hn6")  
  
summary(data_matrix)  
  
df_data<-as.data.frame(data_matrix)  
df_data[is.na(df_data)] <- 0  
data<-df_data  
  
summary(data)  
  
#df_data<-as.data.frame(data_matrix)  
#df_dataNA<-na.omit(df_data)  
#data<-df_dataNA  
  
data$drain<-as.factor(data$drain)  
  
df<- as.h2o(data)  
  
df_full<-as.h2o(df_data)  
  
splits <- h2o.splitFrame(df, c(0.7,0.15), seed=1234)  
train <- h2o.assign(splits[[1]], "train.hex")  
valid <- h2o.assign(splits[[2]], "valid.hex")  
test<- h2o.assign(splits[[3]], "test.hex")  
  
hyper_params <- list(learn_rate = seq(0.01, 0.1, 0.01),  
max_depth = seq(2, 20, 1),  
ntrees = seq(50, 150, 5),  
sample_rate = seq(0.5, 1.0, 0.1),  
col_sample_rate = seq(0.1, 1.0, 0.1))  
  
search_criteria <- list(strategy = "RandomDiscrete",  
max_models = 30)  
  
y= "drain"  
  
gbm_grid <- h2o.grid("gbm", x = setdiff(names(data), y), y = y,  
grid_id = "gbm_grid",  
training_frame = train,  
validation_frame = valid,  
seed = 1234,  
hyper_params = hyper_params,  
search_criteria = search_criteria)  
  
gbm_sorted_grid <- h2o.getGrid(grid_id = "gbm_grid", sort_by = "AUC")  
  
print(gbm_sorted_grid)  
  
gbm22 <- h2o.getModel(gbm_sorted_grid@model_ids[[30]])  
  
h2o.performance(gbm22, newdata = test)  
  
h2o.varimp(gbm22)  
plot(h2o.performance(gbm22),type='roc')  
  
df_full<-as.h2o(df_data)
```

```

res<- h2o.predict(object = gbm22, newdata = df_full)
resdf<-as.data.frame(res)
a=as.numeric(resdf$p1)

matrix_pp<-raster(matrix(data=a, nrow= 2468, ncol=3849))

model_drain<-slope
values(model_drain)<-values(matrix_pp)
writeRaster(model_drain,"I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/out/AGZH_4.tif",fo
rmat="GTiff",overwrite=FALSE)

saveRDS(gbm22, file = "/gbm22agzh.rds")

slope <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/ag_zh/slope2_agzh")

rasteragzh<- raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/ag_zh/agzh25cl")
model_drain<-rasteragzh
values(model_drain)<-values(matrix_pp)
writeRaster(model_drain,"I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/out/AGZH_6.tif",fo
rmat="GTiff",overwrite=FALSE)

#####

bekaw <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/tg/klein2/bekaw_tg") bekv
<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/tg/klein2/bekv_tg")
bekbt <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/tg/klein2/bekbt_tg")
bekg <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/tg/klein2/bekg_tg")
beksk <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/tg/klein2/bekskr_tg")
bekwd <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/tg/klein2/bekwd2_tg")
bekws <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/tg/klein2/bekwsr_tg")
geo1 <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/tg/klein2/geo1_tg")
twi <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/tg/klein2/twi_tg")
fg18 <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/tg/klein2/1880_tg")
hn6<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/tg/klein2/hn6_tg")
slopeTG <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/tg/klein2/slope_tg")
rasterTG <- raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/tg/klein2/tg25")

m_drain <-as.matrix(rasterTG)
m_bekaw <- as.matrix(bekaw)
m_bekv <- as.matrix(bekv)
m_bekbt <-as.matrix(bekbt)
m_bekg <- as.matrix(bekg)
m_beksk <- as.matrix(beksk)
m_bekwd <- as.matrix(bekwd)
m_bekws <- as.matrix(bekws)
m_geo1 <- as.matrix(geo1)
m_twi <- as.matrix(twi)
m_fg18 <-as.matrix(fg18)
m_hn6 <-as.matrix(hn6)

v_drain <- as.vector(NA)
v_bekaw <- as.vector(m_bekaw)
v_bekv <- as.vector(m_bekv)
v_bekbt <-as.vector(m_bekbt)
v_bekg <- as.vector(m_bekg)
v_beksk <- as.vector(m_beksk)
v_bekwd <- as.vector(m_bekwd)
v_bekws <- as.vector(m_bekws)

```

```
v_geo1 <- as.vector(m_geo1)
v_twi <- as.vector(m_twi)
v_fg18 <- as.vector(m_fg18)
v_hn6 <- as.vector(m_hn6)

data_matrixTG <- cbind(v_drain, v_bekaw, v_bekv, v_bekbt, v_bekg, v_beksk, v_bekwd, v_bekws, v_geo1,
v_twi, v_fg18, v_hn6)

#data_matrixTG <- cbind(v_bekaw, v_bekv, v_bekbt, v_bekg, v_beksk, v_bekwd, v_bekws, v_geo1,
v_twi, v_fg18, v_hn6)

colnames(data_matrixTG) <-
c("drain", "bekaw", "bekv", "bekbt", "bekg", "beksk", "bekwd", "bekws", "geo1", "twi", "fg18", "hn6")

#colnames(dataTG) <- c("bekaw", "bekv", "bekbt", "bekg", "beksk", "bekwd", "bekws", "geo1", "twi", "fg18", "hn6")

dataTG <- data_matrixTG

df_TG <- as.data.frame(dataTG)
#dfTG_dataNA <- na.omit(df_TG)
#dataTG <- dfTG_dataNA

#summary(dataTG)

#v_drain = NA

#dataTG %>% replace_with_na_all(drain)

#summary(TG)

dataTG$drain <- as.factor(dataTG$drain)

dfTG <- as.h2o(dataTG)

tg.gbm <- h2o.gbm(gbm12, y="drain",
x=c("bekaw", "bekv", "bekbt", "bekg", "beksk", "bekwd", "bekws", "geo1", "twi", "fg18", "hn6"), newdata=dfTG)

resTG <- h2o.predict(object = gbm12, newdata = dfTG)
resdfTG <- as.data.frame(resTG)
aTG = as.numeric(resdfTG$p1)

summary(aTG)

matrixTG <- raster(matrix(data=aTG, nrow= 1408, ncol=2535))

model_drainTG <- slopeTG

values(model_drainTG) <- values(matrixTG)

writeRaster(model_drainTG, "I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/out/TG_5.tif", fo
rmat="GTiff", overwrite=FALSE)

#drain$dataTg <- as.factor(drain$dataTG)

matrixTG <- raster(matrix(data=aTG, nrow= 1408, ncol=2535))

model_drainTG <- rasterTG
```

```

values(model_drainTG)<-values(matrixTG)

writeRaster(model_drainTG,"I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/out/TG_4r.tif",f
ormat="GTiff",overwrite=FALSE)

res<- h2o.predict(object = gbm1, newdata = df_full)
resdf<-as.data.frame(res)
a=as.numeric(resdf$p1)
dfTG<- as.h2o(dataTG)

#####

bekaw<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sh/bekaw_sh")
bekv<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sh/bekv_sh")
bekbt <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sh/bekbt_sh")
bekg<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sh/bekg_sh")
beksk<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sh/bekskr2_sh")
bekwd<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sh/bekwd2k_sh")
bekws<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sh/bekwsr_sh")
geo1 <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sh/geo1_sh2")
twi <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sh/twi_sh")
fg18 <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sh/fg18_sh")
hn6<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sh/hn6_sh")
slopeSH<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sh/slope_sh")
rasSH<- raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sh/sh_kt_25cl")

#m_drain <-as.matrix(rasSH)
m_bekaw <- as.matrix(bekaw)
m_bekv <- as.matrix(bekv)
m_bekbt <-as.matrix(bekbt)
m_bekg <- as.matrix(bekg)
m_beksk <- as.matrix(beksk)
m_bekwd <- as.matrix(bekwd)
m_bekws <- as.matrix(bekws)
m_geo1 <- as.matrix(geo1)
m_twi <- as.matrix(twi)
m_fg18 <-as.matrix(fg18)
m_hn6 <-as.matrix(hn6)

#v_drain <- as.vector(m_drain)
v_drain <- as.vector(NA)
v_bekaw <- as.vector(m_bekaw)
v_bekv <- as.vector(m_bekv)
v_bekbt <-as.vector(m_bekbt)
v_bekg <- as.vector(m_bekg)
v_beksk <- as.vector(m_beksk)
v_bekwd <- as.vector(m_bekwd)
v_bekws <- as.vector(m_bekws)
v_geo1 <- as.vector(m_geo1)
v_twi <- as.vector(m_twi)
v_fg18 <-as.vector(m_fg18)
v_hn6 <-as.vector(m_hn6)

data_matrixSH <-cbind(v_drain, v_bekaw, v_bekv, v_bekbt, v_bekg, v_beksk, v_bekwd, v_bekws, v_geo1,
v_twi, v_fg18, v_hn6)

#data_matrixSH <-cbind(v_bekaw, v_bekv, v_bekbt, v_bekg, v_beksk, v_bekwd, v_bekws, v_geo1,
v_twi, v_fg18, v_hn6)

```

```
colnames(data_matrixSH)<-
c("drain","bekaw","bekv","bekbt","bekg","beksk","bekwd","bekws","geo1","twi","fg18","hn6")

dataSH<- data_matrixSH

df_SH<-as.data.frame(dataSH)

summary(dataSH)

dfSH<- as.h2o(dataSH)

resSH<- h2o.predict(object = gbm12, newdata = dfSH)
resdfSH<-as.data.frame(resSH)
aSH=as.numeric(resdfSH$p1)

summary(aSH)

matrixSH<-raster(matrix(data=aSH, nrow= 1117, ncol=1420))

model_drainSH<-slopeSH

values(model_drainSH)<-values(matrixSH)

writeRaster(model_drainSH,"I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/out/SH4_MLA
GZH.tif",format="GTiff",overwrite=FALSE)

matrixSH<-raster(matrix(data=aSH, nrow= 1117, ncol=1420))

model_drainSH<-rasSH

values(model_drainSH)<-values(matrixSH)

writeRaster(model_drainTG,"I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/out/SH3_MLA
GZH.tif",format="GTiff",overwrite=FALSE)

#####3###
#####3
bekaw<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/lu/ML_neu/bekaw_lu2")
bekv<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/lu/ML_neu/bekv_lu2")
bekbt <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/lu/ML_neu/bekbt_lu2")
bekg<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/lu/ML_neu/bekg_lu2")
beksk<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/lu/ML_neu/bekskr_lu2")
bekwd<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/lu/ML_neu/bekwd2k_lu")
bekws<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/lu/ML_neu/bekwsr_lu2")
geo1 <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/lu/ML_neu/geo1_lu")
twi <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/twi_kt/twi_lu")
fg18 <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/lu/ML_neu/fg1880_lu")
hn6<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/lu/ML_neu/hn6_lu2")
slopeLU <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/lu/ML_neu/slope_lu")
rasLU <- raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/lu/ML_neu/lu25")

#m_drain <-as.matrix(rasSH)
m_bekaw <- as.matrix(bekaw)
m_bekv <- as.matrix(bekv)
m_bekbt <-as.matrix(bekbt)
m_bekg <- as.matrix(bekg)
```

```
m_beksk <- as.matrix(beksk)
m_bekwd <- as.matrix(bekwd)
m_bekws <- as.matrix(bekws)
m_geo1 <- as.matrix(geo1)
m_twi <- as.matrix(twi)
m_fg18 <- as.matrix(fg18)
m_hn6 <- as.matrix(hn6)

v_drain <- as.vector(NA)
v_bekaw <- as.vector(m_bekaw)
v_bekv <- as.vector(m_bekv)
v_bekbt <- as.vector(m_bekbt)
v_bekg <- as.vector(m_bekg)
v_beksk <- as.vector(m_beksk)
v_bekwd <- as.vector(m_bekwd)
v_bekws <- as.vector(m_bekws)
v_geo1 <- as.vector(m_geo1)
v_twi <- as.vector(m_twi)
v_fg18 <- as.vector(m_fg18)
v_hn6 <- as.vector(m_hn6)

data_matrixLU <- cbind(v_drain, v_bekaw, v_bekv, v_bekbt, v_bekg, v_beksk, v_bekwd, v_bekws, v_geo1,
v_twi, v_fg18, v_hn6)

#data_matrixLU <- cbind(v_bekaw, v_bekv, v_bekbt, v_bekg, v_beksk, v_bekwd, v_bekws, v_geo1,
v_twi, v_fg18, v_hn6)

colnames(data_matrixLU) <-
c("drain", "bekaw", "bekv", "bekbt", "bekg", "beksk", "bekwd", "bekws", "geo1", "twi", "fg18", "hn6")

#colnames(dataLU) <- c("bekaw", "bekv", "bekbt", "bekg", "beksk", "bekwd", "bekws", "geo1", "twi", "fg18", "hn6")

dataLU <- data_matrixLU

#df_LU <- as.data.frame(dataLU)
#dfSH_dataNA <- na.omit(df_SH)
#dataSH <- dfSH_dataNA
#summary(dataSH)

summary(dataLU)

#dataLU$drain <- as.factor(dataLU$drain)

dfLU <- as.h2o(dataLU)

#lu.gbm <- h2o.gbm(gbm12, y="drain",
x=c("bekaw", "bekv", "bekbt", "bekg", "beksk", "bekwd", "bekws", "geo1", "twi", "fg18", "hn6"), newdata=dfLU)

resLU <- h2o.predict(object = gbm12, newdata = dfLU)
```

```
resdfLU<-as.data.frame(resLU)
aLU=as.numeric(resdfLU$p1)

summary(aLU)

matrixLU<-raster(matrix(data=aLU, nrow= 2286, ncol=2065))

model_drainLU<-slopeLU

values(model_drainLU)<-values(matrixLU)

writeRaster(model_drainLU,"I:/AP18_21/SFF14_Oekoefizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/out/LU4_AGZH
.tif",format="GTiff",overwrite=FALSE)

matrixLU<-raster(matrix(data=aLU, nrow= 2286, ncol=2065))

model_drainLU<-rasLU

values(model_drainLU)<-values(matrixLU)

writeRaster(model_drainTG,"I:/AP18_21/SFF14_Oekoefizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/out/LU3_AGZH
.tif",format="GTiff",overwrite=FALSE)

#####4#####

bekaw <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoefizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sg/klein/bekaw_sg")
bekv <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoefizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sg/klein/bekv_sg")
bekbt <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoefizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sg/klein/bekbt_sg")
bekg <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoefizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sg/klein/bekg_sg")
beksk <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoefizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sg/klein/bekskr_sg")
bekwd <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoefizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sg/klein/bekwd2k_sg")
bekws <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoefizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sg/klein/bekwsr_sg")
geo1 <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoefizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sg/klein/geo1_sg")
twi <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoefizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/twi_kt/twi_sg")
fg18 <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoefizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sg/klein/fg1880_sg")
hn6<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoefizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sg/klein/hn6_sg")
slopeSG <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoefizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sg/klein/slope_sg")
rasSG <- raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoefizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/sg/klein/sg25")

#m_drain <-as.matrix(rasSG)
m_bekaw <- as.matrix(bekaw)
m_bekv <- as.matrix(bekv)
m_bekbt <-as.matrix(bekbt)
m_bekg <- as.matrix(bekg)
m_beksk <- as.matrix(beksk)
m_bekwd <- as.matrix(bekwd)
m_bekws <- as.matrix(bekws)
m_geo1 <- as.matrix(geo1)
m_twi <- as.matrix(twi)
m_fg18 <-as.matrix(fg18)
m_hn6 <-as.matrix(hn6)

v_drain <- as.vector(NA)
v_bekaw <- as.vector(m_bekaw)
```

```
v_bekv <- as.vector(m_bekv)
v_bekbt <- as.vector(m_bekbt)
v_bekg <- as.vector(m_bekg)
v_beksk <- as.vector(m_beksk)
v_bekwd <- as.vector(m_bekwd)
v_bekws <- as.vector(m_bekws)
v_geo1 <- as.vector(m_geo1)
v_twi <- as.vector(m_twi)
v_fg18 <- as.vector(m_fg18)
v_hn6 <- as.vector(m_hn6)

data_matrixSG <- cbind(v_drain, v_bekaw, v_bekv, v_bekbt, v_bekg, v_beksk, v_bekwd, v_bekws, v_geo1,
v_twi, v_fg18, v_hn6)

#data_matrixSG <- cbind(v_bekaw, v_bekv, v_bekbt, v_bekg, v_beksk, v_bekwd, v_bekws, v_geo1,
v_twi, v_fg18, v_hn6)

colnames(data_matrixSG) <-
c("drain", "bekaw", "bekv", "bekbt", "bekg", "beksk", "bekwd", "bekws", "geo1", "twi", "fg18", "hn6")

#colnames(dataSG) <- c("bekaw", "bekv", "bekbt", "bekg", "beksk", "bekwd", "bekws", "geo1", "twi", "fg18", "hn6")

dataSG <- data_matrixSG

summary(dataSG)

dfSG <- as.h2o(dataSG)

#gbm22 <- readRDS("/gbm12agzh.rds")

#sg.gbm <- h2o.gbm(gbm12, y="drain",
x=c("bekaw", "bekv", "bekbt", "bekg", "beksk", "bekwd", "bekws", "geo1", "twi", "fg18", "hn6"), newdata=dfSG)

resSG <- h2o.predict(object = gbm22, newdata = dfSG)
resdfSG <- as.data.frame(resSG)
aSG <- as.numeric(resdfSG$p1)

summary(aSG)

matrixSG <- raster(matrix(data=aSG, nrow= 3014, ncol=2642))

model_drainSG <- slopeSG

values(model_drainSG) <- values(matrixSG)

writeRaster(model_drainSG, "I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/out/SG_AGZH.
tif", format="GTiff", overwrite=TRUE)

matrix2SG <- raster(matrix(data=aSG, nrow= 3014, ncol=2642))

model_drainSG <- rasSG

values(model_drainSG) <- values(matrixSG)
```

```
writeRaster(model_drainSG,"I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/out/SG2_AGZ  
H.tif",format="GTiff",overwrite=TRUE)
```

```
#res <- h2o.predict(object = gbm1, newdata = df_full)  
#resdf<-as.data.frame(res)  
#a=as.numeric(resdf$sp1)  
#dfTG <- as.h2o(dataTG)
```

```
#####AI_Test#####
```

```
bekaw<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ai/bekaw2_ai")  
bekv<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ai/bekv_ai")  
bekbt<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ai/bekbt_ai")  
bekg<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ai/bekg_ai")  
beksk<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ai/bekskr_ai")  
bekwd<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ai/bekwd2k_ai")  
bekws<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ai/bekwsr_ai")  
geo1 <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ai/geo1_ai")  
twi <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/twi_ai")  
fg18 <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ai/fg1880ai")  
hn6<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/hn6/hn6_ai")
```

```
#slope_ai <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ai/slope_ai")  
rasAI<- raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ai/ai_25")
```

```
#m_drain <-as.matrix(rasAI)  
m_bekaw <- as.matrix(bekaw)  
m_bekv <- as.matrix(bekv)  
m_bekbt <-as.matrix(bekbt)  
m_bekg <- as.matrix(bekg)  
m_beksk <- as.matrix(beksk)  
m_bekwd <- as.matrix(bekwd)  
m_bekws <- as.matrix(bekws)  
m_geo1 <- as.matrix(geo1)  
m_twi <- as.matrix(twi)  
m_fg18 <-as.matrix(fg18)  
m_hn6 <-as.matrix(hn6)
```

```
v_drain <- as.vector(NA)  
v_bekaw <- as.vector(m_bekaw)  
v_bekv <- as.vector(m_bekv)  
v_bekbt <-as.vector(m_bekbt)  
v_bekg <- as.vector(m_bekg)  
v_beksk <- as.vector(m_beksk)  
v_bekwd <- as.vector(m_bekwd)  
v_bekws <- as.vector(m_bekws)  
v_geo1 <- as.vector(m_geo1)  
v_twi <- as.vector(m_twi)  
v_fg18 <-as.vector(m_fg18)  
v_hn6 <-as.vector(m_hn6)
```

```

data_matrixAI <-cbind(v_drain, v_bekaw, v_bekv, v_bekbt, v_bekg, v_beksk, v_bekwd, v_bekws, v_geo1,
v_twi, v_fg18, v_hn6)

#data_matrixAI<-cbind(v_bekaw, v_bekv, v_bekbt, v_bekg, v_beksk, v_bekwd, v_bekws, v_geo1, v_twi,
v_fg18, v_hn6)

colnames(data_matrixAI)<-
c("drain","bekaw","bekv","bekbt","bekg","beksk","bekwd","bekws","geo1","twi","fg18","hn6")

#colnames(dataAI)<-c("bekaw","bekv","bekbt","bekg","beksk","bekwd","bekws","geo1","twi","fg18","hn6")

dataAI<- data_matrixAI

summary(dataAI)

dfAI<- as.h2o(dataAI)

#gbm22 <- readRDS("/gbm12agzh.rds")

#ai.gbm <- h2o.gbm(gbm12, y="drain",
x=c("bekaw","bekv","bekbt","bekg","beksk","bekwd","bekws","geo1","twi","fg18","hn6"), newdata=dfAI)

resAI<- h2o.predict(object = gbm22, newdata = dfAI)
resdfAI<-as.data.frame(resAI)
aAI=as.numeric(resdfAI$p1)

summary(aAI)

matrixAI<-raster(matrix(data=aAI, nrow= 926, ncol=918))

model_drainAI<-rasAI

values(model_drainAI)<-values(matrixAI)

writeRaster(model_drainAI,"I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/out/AI1_AGZH.tif",format="GTiff",overwrite=TRUE)

#####

matrix2AI<-raster(matrix(data=aAI, nrow= 926, ncol=918))

model_drainAI<-rasAI

values(model_drainAI)<-values(matrixAI)

writeRaster(model_drainAI,"I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/out/AI_AGZH.tif",format="GTiff",overwrite=TRUE)

#####AR#####

bekaw <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ar/ml/bekaw_ar")
bekv <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ar/ml/bekv_ar")
bekbt <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ar/ml/bekbt_ar")
bekg <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ar/ml/bekg_ar")
beksk <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ar/ml/beksk_ar")

```

```
bekwd <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ar/ml/bekwd2k_ar")
bekws <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ar/ml/bekwsr_ar")
geo1 <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ar/ml/geo1_ar")
twi <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/twi_ar")
fg18 <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ar/ml/fg1880_ar")
hn6<-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ar/ml/hn6_ar")

#slope_ar <-raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ar/slope_ar")
rasAR <- raster("I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/aiao/ar/ml/ar_25")

#m_drain <-as.matrix(rasAR)
m_bekaw <- as.matrix(bekaw)
m_bekv <- as.matrix(bekv)
m_bekbt <-as.matrix(bekbt)
m_bekg <- as.matrix(bekg)
m_beksk <- as.matrix(beksk)
m_bekwd <- as.matrix(bekwd)
m_bekws <- as.matrix(bekws)
m_geo1 <- as.matrix(geo1)
m_twi <- as.matrix(twi)
m_fg18 <-as.matrix(fg18)
m_hn6 <-as.matrix(hn6)

v_drain <- as.vector(NA)
v_bekaw <- as.vector(m_bekaw)
v_bekv <- as.vector(m_bekv)
v_bekbt <-as.vector(m_bekbt)
v_bekg <- as.vector(m_bekg)
v_beksk <- as.vector(m_beksk)
v_bekwd <- as.vector(m_bekwd)
v_bekws <- as.vector(m_bekws)
v_geo1 <- as.vector(m_geo1)
v_twi <- as.vector(m_twi)
v_fg18 <-as.vector(m_fg18)
v_hn6 <-as.vector(m_hn6)

data_matrixAR <-cbind(v_drain, v_bekaw, v_bekv, v_bekbt, v_bekg, v_beksk, v_bekwd, v_bekws, v_geo1,
v_twi, v_fg18, v_hn6)

#data_matrixAR <-cbind(v_bekaw, v_bekv, v_bekbt, v_bekg, v_beksk, v_bekwd, v_bekws, v_geo1,
v_twi, v_fg18, v_hn6)

colnames(data_matrixAR)<-
c("drain","bekaw","bekv","bekbt","bekg","beksk","bekwd","bekws","geo1","twi","fg18","hn6")

#colnames(dataAR)<-c("bekaw","bekv","bekbt","bekg","beksk","bekwd","bekws","geo1","twi","fg18","hn6")

dataAR<- data_matrixAR

summary(dataAR)

dfAR<- as.h2o(dataAR)

#gbm22 <- readRDS("/gbm12agzh.rds")

#ar.gbm <- h2o.gbm(gbm12, y="drain",
```

```
x=c("bekaw","bekv","bekbt","bekg","beksk","bekwd","bekws","geo1","twi","fg18","hn6"), newdata=dfAI)

resAR<- h2o.predict(object = gbm22, newdata = dfAR)
resdfAR<-as.data.frame(resAR)
aAR=as.numeric(resdfAR$p1)

summary(aAI)

matrixAR<-raster(matrix(data=aAR, nrow= 1005, ncol=1319))

model_drainAR<-slopeAR

values(model_drainAR)<-values(matrixAR)

writeRaster(model_drainAR,"I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/out/AR1_AGZH
.tif",format="GTiff",overwrite=TRUE)

matrixAR<-raster(matrix(data=aAR, nrow= 1005, ncol=1319))

model_drainAR<-rasAR

values(model_drainAR)<-values(matrixAR)

writeRaster(model_drainAR,"I:/AP18_21/SFF14_Oekoeffizienz/DrainagePSM/Map/ML/25m/out/AR2_AGZH
.tif",format="GTiff",overwrite=TRUE)
```

Anhang 4: Drainagevorkommen in ausgewählten Einzugsgebieten (NAWA-SPEZ)

Die NAWA-SPEZ-Kampagne der EAWAG (e.g. Doppler et al., 2017) untersucht Bäche in intensiv genutzter Landwirtschaft auf ihre Belastung durch PSM. Um die Bedeutung von Drainagen in den Einzugsgebieten in einer ersten Annäherung aufzuzeigen, wurde eine GIS-Analyse über die NAWA-SPEZ Einzugsgebiete gemacht und analysiert, wie gross jeweils die landwirtschaftlich genutzte Fläche (LWF) ist und welchen Anteil diese an Drainageflächen haben. Für acht NAWA-SPEZ Gebiete lagen kantonale Daten über drainierte Flächen vor: Surb, Furtbach, Hoobach, Weiherbach, Chruemlisbach, Limpach, Brüttelermoos, Bainoz (Abb. A1). Tabelle A1 zeigt die Grösse der einzelnen Einzugsgebiete (EZG), die Grösse der drainierten Fläche im EZG, sowie Grösse und Anteil der LWF am EZG und den Anteil der drainierten Fläche am Gesamt-EZG sowie der LWF des EZG. Die folgenden Karten zeigen die einzelnen EZG im Detail. Das EZG des Hoobach (SH) hat keine verzeichneten Drainagen. In dem Gebiet liegen Rebberge (Abb. A1, Tab. 1). In den übrigen EZG variiert der Anteil an drainierter LN stark zwischen 5 % (Bainoz) und 94 % (Brüttelermoos). Auch die Grösse der EZG variiert stark zwischen 93 ha (Hoobach) und 6631 ha (Surb). Die Drainagedaten sind jeweils überlagernd dargestellt.

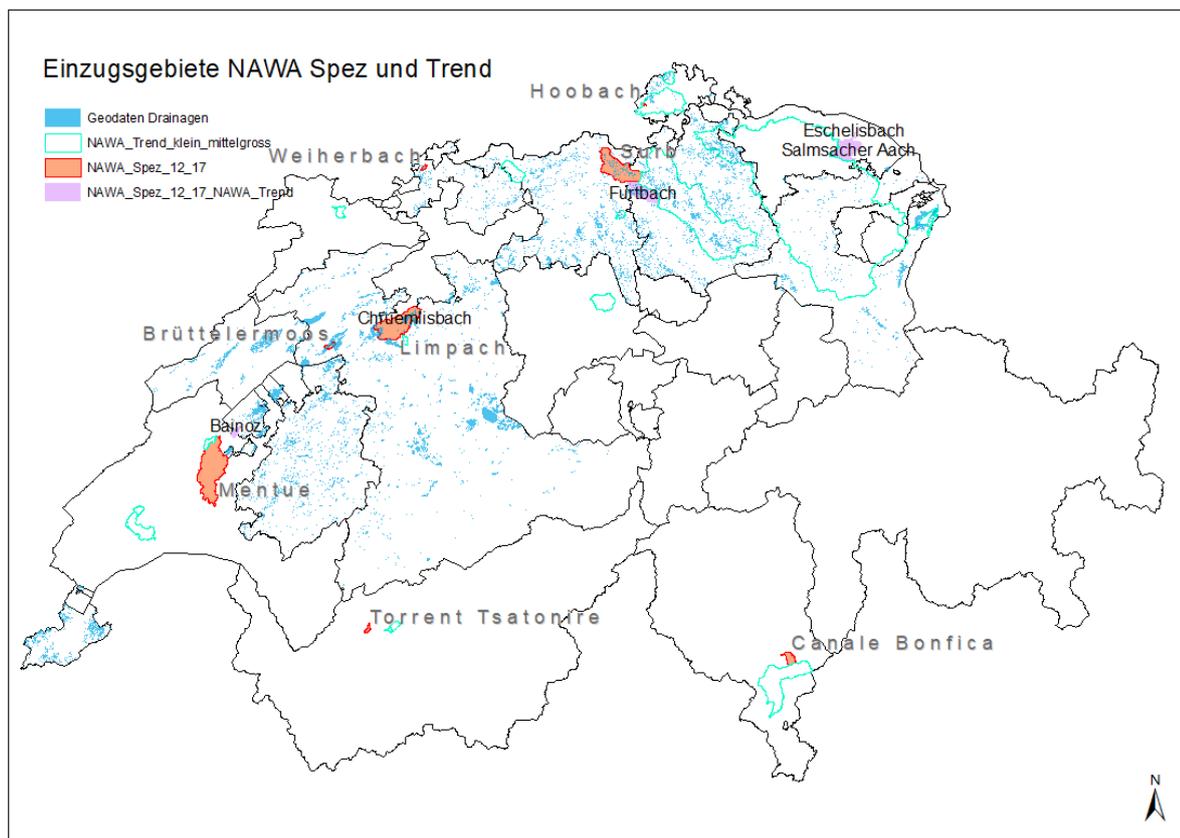


Abbildung A1: Übersicht über die NAWA-SPEZ und NAWA-Trend Einzugsgebiete und die vorhandenen Drainagedaten

Tabelle A1: Daten zu den NAWA-SPEZ Einzugsgebieten mit vorhandenen Drainagedaten.

Einzugsgebiet (EZG)	Kt.	Fläche EZG (ha)	Fläche drainiert (ha)	Fläche LWF	Fläche LWF drainiert (ha)	% LWF drainiert	% Fläche EZG drainiert
Weierbach	BL	157	54	118	46	46	34
Surb	AG	6631	1065	3360	856	32	16
Hoobach	SH	93	0	76.4	0	0	0
Brüttelermoos	BE	335	216	229	179	94	64
Limpach	BE	7346	1267	4230	1122	30	17
Furtbach	ZH	3918	548	1641	446	33	14
Chruemlisbach	BE	351	143	194	132	74	41
Bainoz	FR	670	26	555	22	5	4

1. Weierbach

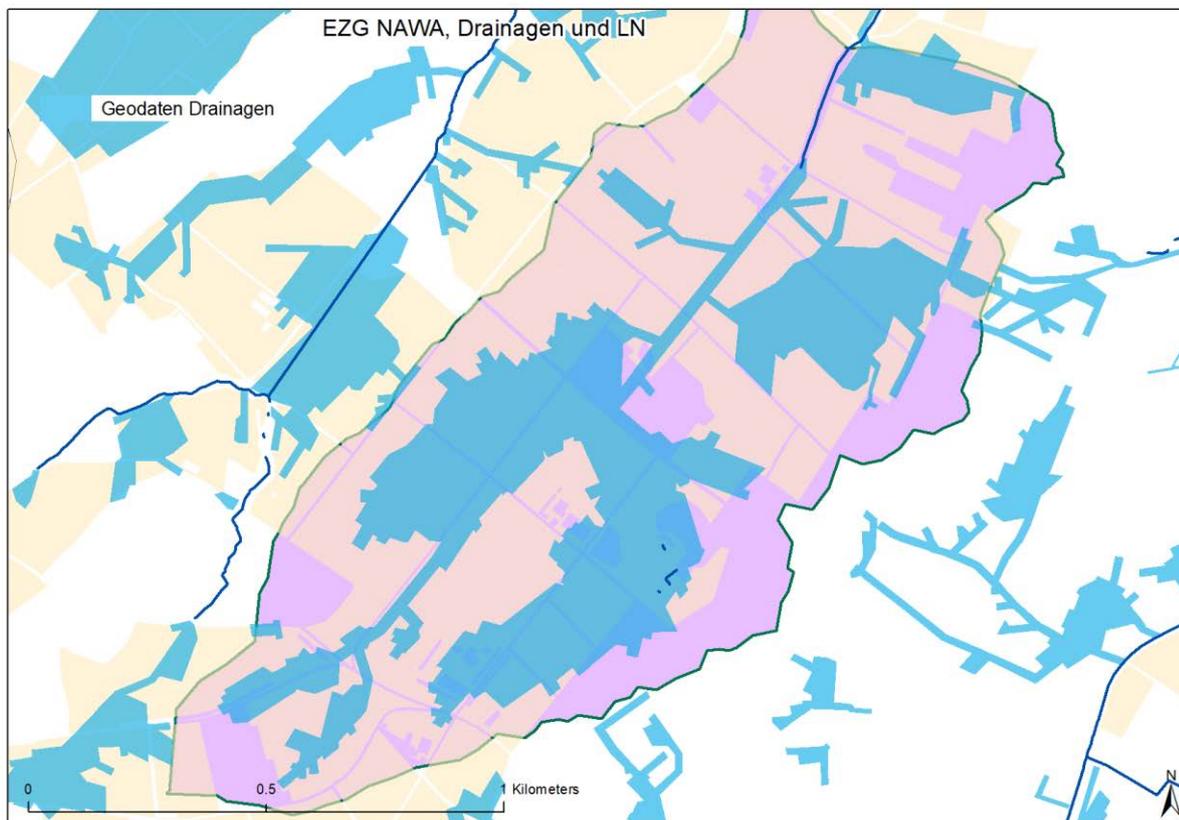


Abbildung A2: Einzugsgebiet Weierbach (grün umrandet, lila) mit Drainagedaten (blau) und LWF (ocker).

2. Surb

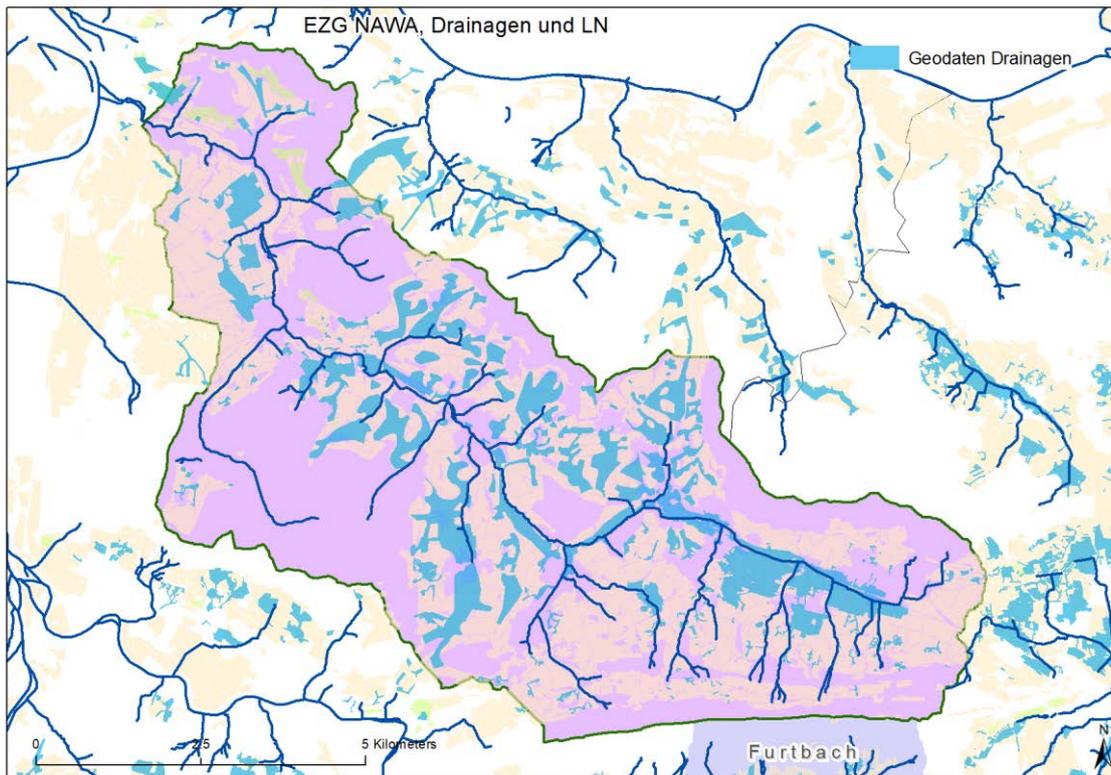


Abbildung A3: Einzugsgebiet Surb (grün umrandet, lila) mit Drainagedaten (blau) und LWF (ocker).

3. Hoobach

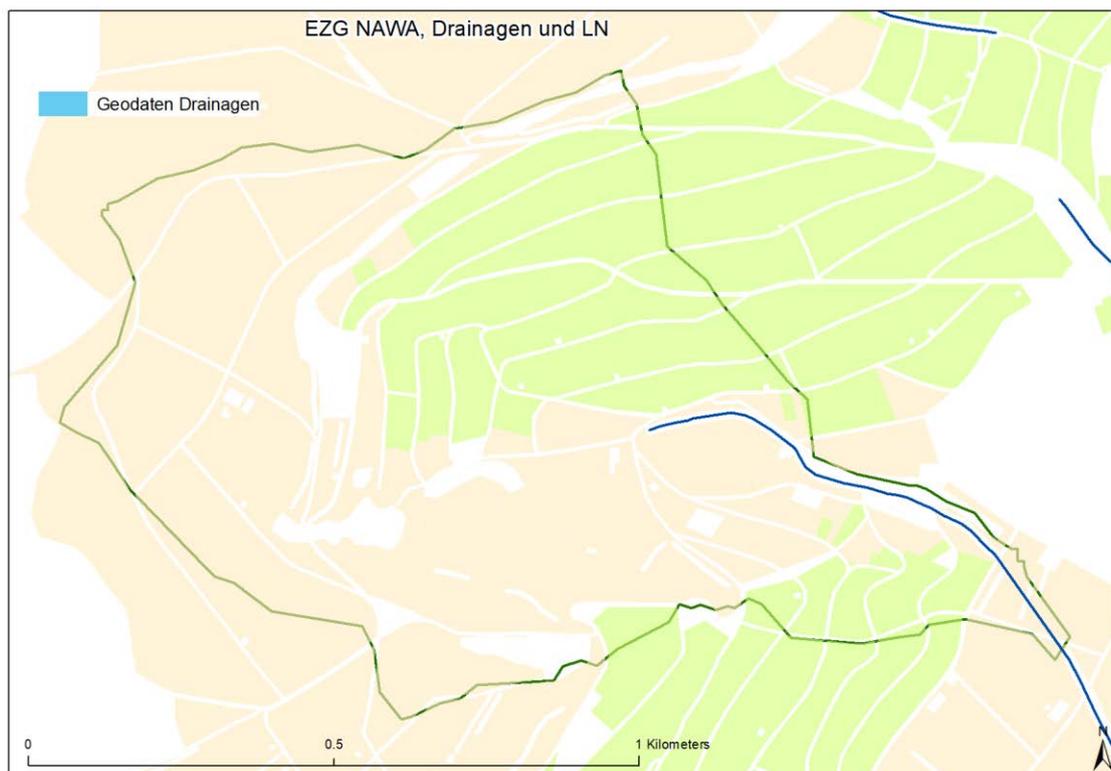


Abbildung A4: Einzugsgebiet Hoobach (grün umrandet, lila) mit Drainagedaten (blau) und LWF (ocker).

4. Brüttelermoos

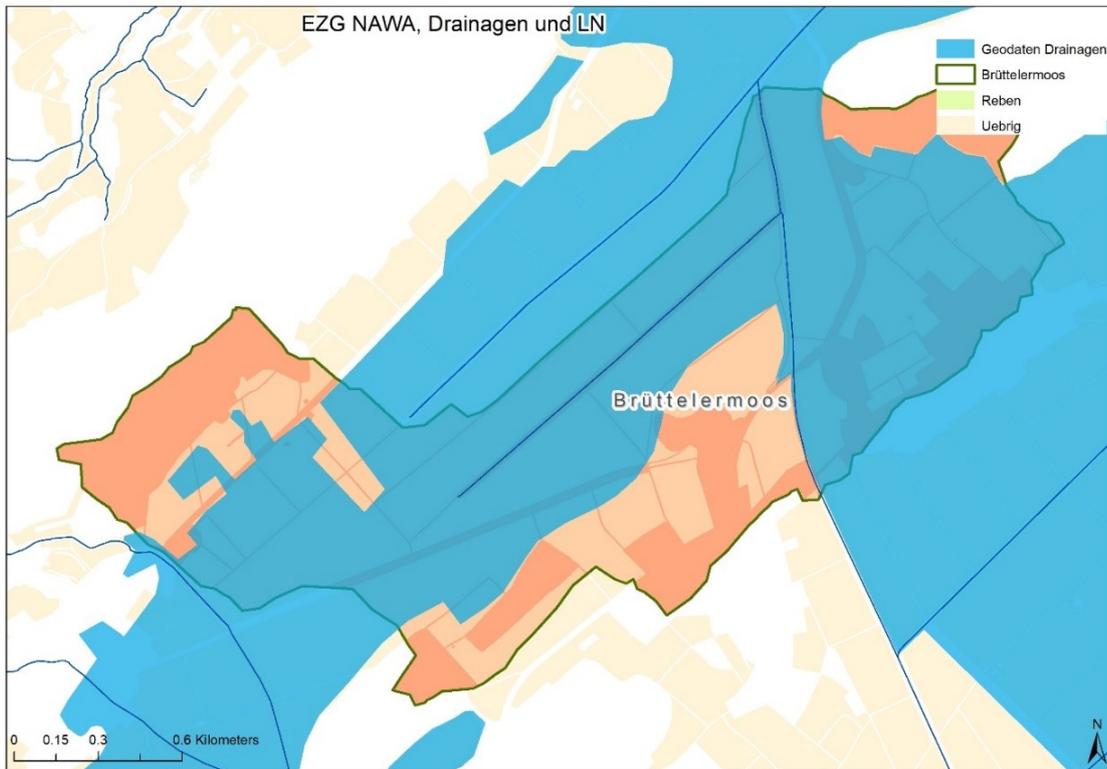


Abbildung A5: Einzugsgebiet Brüttelermoos (grün umrandet, orange) mit Drainagedaten (blau) und LWF (ocker).

5. Limpach

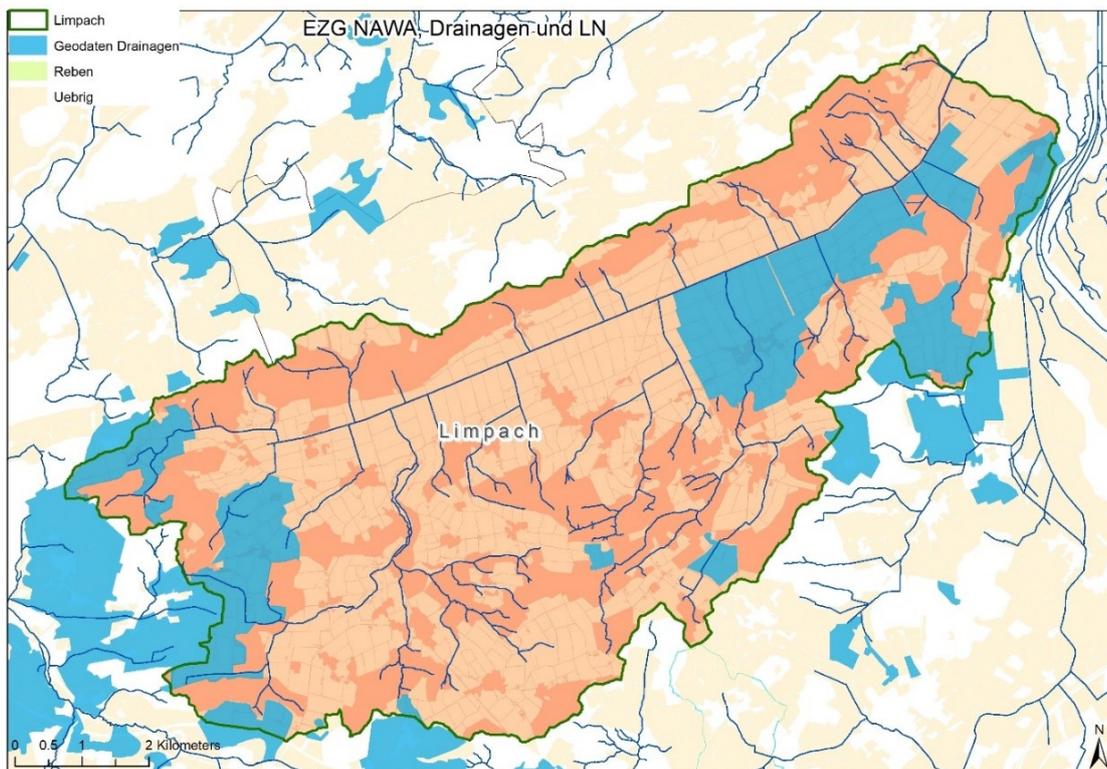


Abbildung A6: Einzugsgebiet Limpach (grün umrandet, orange) mit Drainagedaten (blau) und LWF (ocker).

6. Furtbach

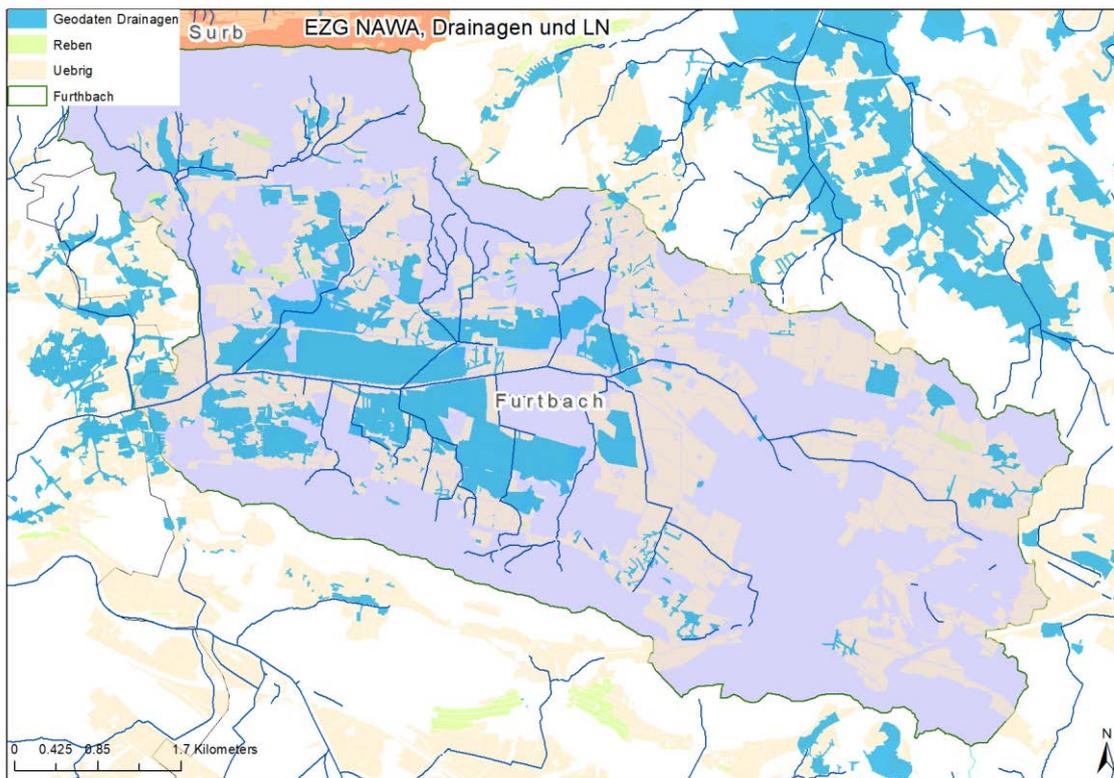


Abbildung A7: Einzugsgebiet Furtbach (lila, grün umrandet); Drainagen (blau) und LWF (ocker).

7. Chruemlisbach

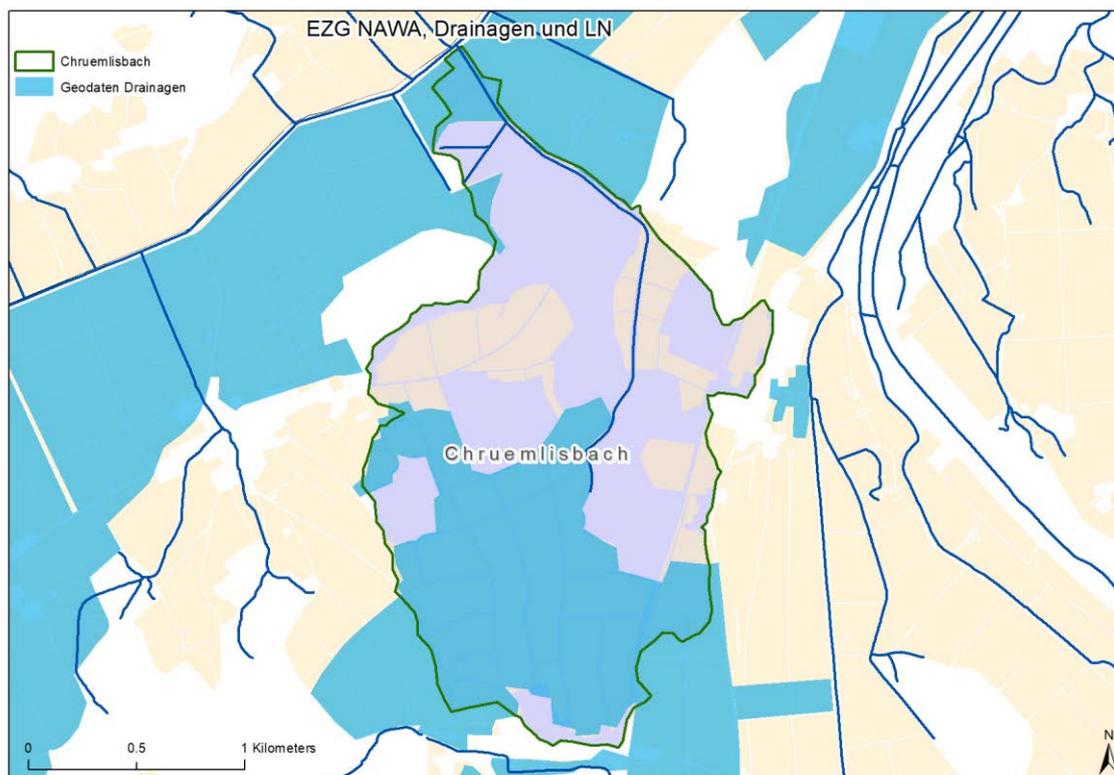


Abbildung A8: Einzugsgebiet Chruemlisbach (grün umrandet, lila) mit Drainagedaten (blau) und LWF (ocker).

8. Bainoz

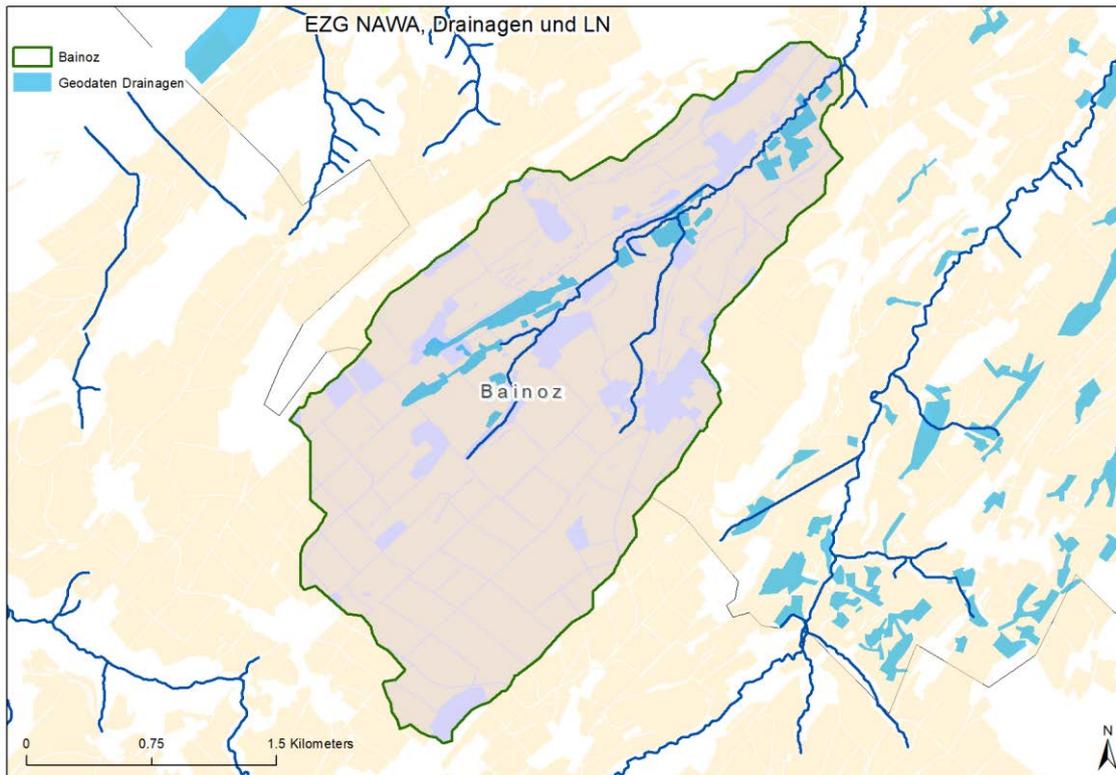


Abbildung A9: Einzugsgebiet Bainoz (grün umrandet, lila) mit Drainagedaten (blau) und LWF (ocker).

9. Salmsacher Aach

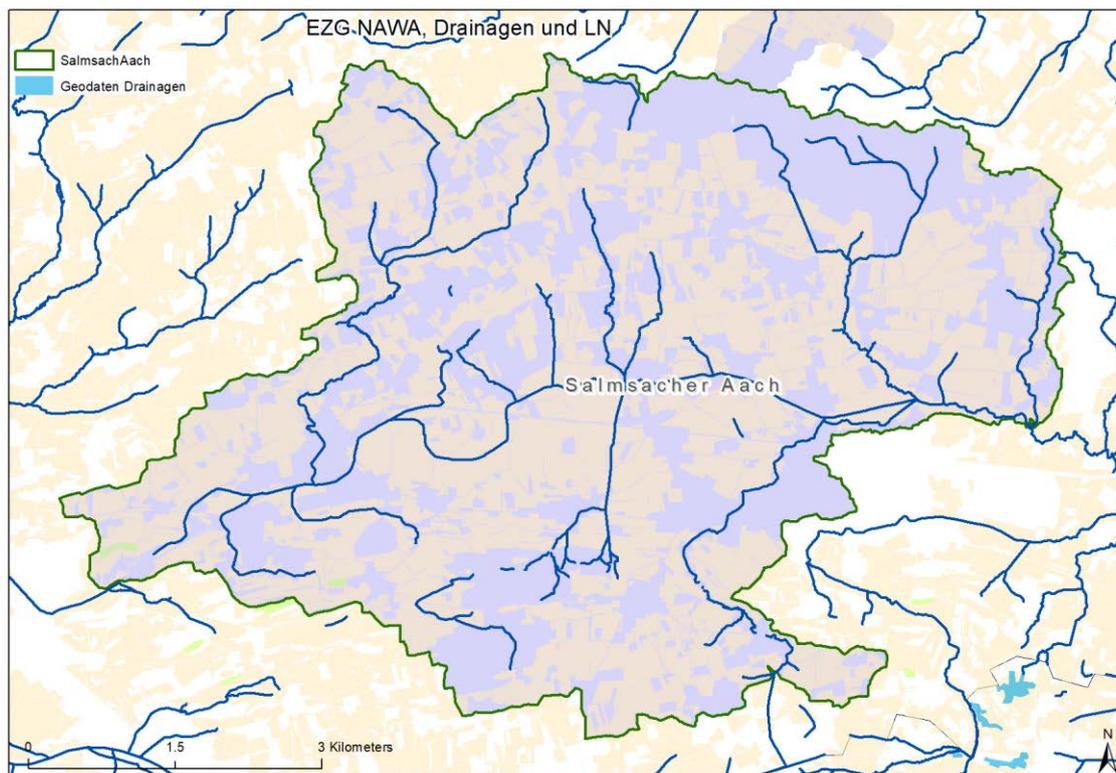


Abbildung A10: Einzugsgebiet Salmsacher Aach, (grün umrandet, lila) mit LWF (ocker); hier liegen keine digitalen Daten zu Drainagedaten vor.