



Thema:

Vergleich zweier aus Fernerkundungsdaten abgeleiteter globaler Gewässerdatensätze in arktischen Permafrostgebieten

Masterarbeit

Gutachter:

Prof. Dr. Fabian Fassnacht

Dr. Ingmar Nitze

Freie Universität Berlin

Fachbereich Geowissenschaften

Institut für Geographische Wissenschaften

Bearbeitung: Patrick William Varchmin (5092817)

Semester: 9. Fachsemester Master

Kontakt: patrick.var@t-online.de

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis.....	VII
Abstract	1
1. Einleitung	3
1.1 Forschungsstand	4
1.2 Fragestellungen und Hypothesen.....	7
2. Untersuchungsgebiet	9
2.1 Untersuchungsgebiete.....	10
2.1.1 Untersuchungsgebiet 1	11
2.1.2 Untersuchungsgebiet 2	11
2.1.3 Untersuchungsgebiet 3	12
2.1.4 Untersuchungsgebiet 4	12
2.1.5 Untersuchungsgebiet 5 und 6	13
2.1.6 Untersuchungsgebiet 7	14
2.1.7 Untersuchungsgebiet 8	14
2.1.8 Untersuchungsgebiet 9	15
2.1.9 Untersuchungsgebiet 10	15
2.1.10 Untersuchungsgebiet 11	16
2.1.11 Untersuchungsgebiet 12	16
2.2 Flüsse	17
2.2.1 Mackenzie River (Buffer 1)	19
2.2.2 Kuskokwim River (Buffer 2)	19
2.2.3 Kolyma (Buffer 3).....	19
2.2.4 Lena River (Buffer 4 (Nord) und Buffer 5 (Süd)).....	19
2.2.5 Colville River (Buffer 6)	20
2.2.6 Yukon-Kuskokwim-Delta (Y-K-Delta, Buffer 7).....	20

2.2.7	Ob (Buffer 8).....	21
3.	Methodik	22
3.1	Grundlagen der Fernerkundung.....	23
3.2	Datensätze.....	25
3.2.1	Wasserdatensatz PICKENS et al. (2020).....	25
3.2.2	Datensatz zum Wasservorkommen von PEKEL et al. (2016).....	26
3.2.3	<i>MERIT DEM</i> von YAMAZAKI et al. (2017).....	27
3.2.4	Global Forest Change v1.9 (2000-2021) von HANSEN et al. (2013).....	27
3.2.5	<i>ESA WorldCover 10 m 2020 v100</i> von ZANAGA et al. (2021).....	28
3.2.6	<i>Permafrost-Datensatz</i> von OBU et al. 2018.....	28
3.3	Vorgehen	28
3.3.1	Google Earth Engine	29
3.3.2	Genauigkeitsanalyse.....	31
4.	Ergebnisse	33
4.1.1	Untersuchungsgebiet 1	33
4.1.2	Untersuchungsgebiet 2	36
4.1.3	Untersuchungsgebiet 3	39
4.1.4	Untersuchungsgebiet 4	42
4.1.5	Untersuchungsgebiet 5	45
4.1.6	Untersuchungsgebiet 6	47
4.1.7	Untersuchungsgebiet 7	50
4.1.8	Untersuchungsgebiet 8	52
4.1.9	Untersuchungsgebiet 9	54
4.1.10	Untersuchungsgebiet 10.....	57
4.1.11	Untersuchungsgebiet 11	60
4.1.12	Untersuchungsgebiet 12	63
4.2	Buffer.....	66
4.2.1	Buffer 1 (Mackenzie River)	66

4.2.2	Buffer 2 (Kuskokwim)	69
4.2.3	Buffer 3 (Kolyma).....	72
4.2.4	Buffer 4 (Lena-Nord)	75
4.2.5	Buffer 5 (Lena-Süd)	77
4.2.6	Buffer 6 (Colville).....	80
4.2.7	Buffer 7 (Yukon).....	83
4.2.8	Buffer 8 (Ob).....	86
5.	Diskussion	89
5.1	Technischer Vergleich zwischen PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016)	89
5.2	Fehleranalyse	90
5.3	Vergleich der Datensätze anhand der Referenzdaten	94
5.4	Genauigkeitsanalyse der Untersuchungsgebiete	99
5.5	Genauigkeitsanalyse der Buffer.....	102
6.	Fazit.....	107
	Literatur.....	110
	Anhang	119

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Zusammenfassung der Fragestellungen und Hypothesen	7
Abbildung 2 Übersichtskarte der Untersuchungsgebiete	10
Abbildung 3 Übersichtskarte der Flüsse	18
Abbildung 4 Visualisierung des Vorgehens	22
Abbildung 5 Spektrale Signaturen von grüner Vegetation, vegetationsfreiem Boden (Sand) und Wasser (ULRICH 2006).....	24
Abbildung 6 Formeln der Parameter nach CONGALTON (1991), MATTHIES (2020) und WU et al. (2021)	32
Abbildung 7 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 1	35
Abbildung 8 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 1.....	35
Abbildung 9 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 1	36
Abbildung 10 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 2.....	38
Abbildung 11 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 2.....	38
Abbildung 12 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 2.....	39
Abbildung 13 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 3.....	41
Abbildung 14 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 3.....	41
Abbildung 15 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 3.....	42
Abbildung 16 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 4.....	44
Abbildung 17 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 4.....	44
Abbildung 18 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 4.....	45
Abbildung 19 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 5.....	46
Abbildung 20 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 5.....	47
Abbildung 21 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 5.....	47
Abbildung 22 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 6.....	49
Abbildung 23 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 6.....	49
Abbildung 24 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 6.....	50
Abbildung 25 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 7.....	51

Abbildung 26 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 7.....	52
Abbildung 27 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 7.....	52
Abbildung 28 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 8.....	53
Abbildung 29 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 8.....	54
Abbildung 30 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 8.....	54
Abbildung 31 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 9.....	56
Abbildung 32 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 9.....	56
Abbildung 33 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 9.....	57
Abbildung 34 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 10.....	59
Abbildung 35 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 10.....	59
Abbildung 36 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 10.....	60
Abbildung 37 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet.....	62
Abbildung 38 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 11.....	63
Abbildung 39 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 11.....	63
Abbildung 40 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 12.....	65
Abbildung 41 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 12.....	65
Abbildung 42 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 12.....	66
Abbildung 43 Genauigkeitsparameter im Buffer 1.....	67
Abbildung 44 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Buffer 1.....	68
Abbildung 45 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 1.....	68
Abbildung 46 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 1.....	69
Abbildung 47 Genauigkeitsparameter im Buffer 2.....	70
Abbildung 48 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Buffer 2.....	71
Abbildung 49 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 2.....	71
Abbildung 50 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 2.....	72
Abbildung 51 Genauigkeitsparameter im Buffer 3.....	73
Abbildung 52 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Buffer 3.....	73
Abbildung 53 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 3.....	74

Abbildung 54 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 3	74
Abbildung 55 Genauigkeitsparameter im Buffer 4	75
Abbildung 56 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Buffer 4	76
Abbildung 57 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 4	76
Abbildung 58 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 4	77
Abbildung 59 Genauigkeitsparameter im Buffer 5	78
Abbildung 60 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Buffer 5	78
Abbildung 61 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 5	79
Abbildung 62 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 5	79
Abbildung 63 Genauigkeitsparameter im Buffer	81
Abbildung 64 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Buffer 6	81
Abbildung 65 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 6	82
Abbildung 66 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 6	82
Abbildung 67 Genauigkeitsparameter im Buffer 7	84
Abbildung 68 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Buffer 7	84
Abbildung 69 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 7	85
Abbildung 70 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 7	85
Abbildung 71 Genauigkeitsparameter im Buffer 8	87
Abbildung 72 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Buffer 8	87
Abbildung 73 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 8	88
Abbildung 74 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 8	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Klasseneinteilung nach PICKENS et al. (2020)	30
--	----

Abstract

Der globale Klimawandel ist ein aktuelles Problem, das in vielen Publikationen thematisiert wird. Jedoch geben die Daten nur begrenzt Möglichkeiten zur Detektion zukünftiger Folgen. Oberflächengewässerdynamiken werden zwar anhand einiger Beispiele beschrieben, dennoch geben diese nur einen kleinen Einblick in die Komplexität dieses Systems. Mithilfe von Fernerkundungsmethoden können vergangene und gegenwärtige Dynamiken analysiert werden. Dennoch ist die Zahl der Datensätze mit globalen Datenreihen sehr gering. Der Klimawandel bewirkt eine Modifikation des „System Erde“, wodurch es zur Veränderung der Oberflächendynamik kommt. In den hohen Breiten ist diese noch wenig erforscht und eine Analyse der Daten kann einen wichtigen Aufschluss über zukünftige Folgen geben. So ist es wichtig, arktische Oberflächengewässerdynamiken zu beobachten.

In dieser Masterarbeit werden die Datensätze von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) hinsichtlich ihrer Ergebnisse in der Oberflächengewässerdynamik für arktische Permafrostgebiete von 2000 bis zum Jahr 2020 miteinander verglichen. Diesbezüglich wurden beide Datensätze im Programm „*Google Earth Engine*“ homogenisiert und in einer Genauigkeitsanalyse untersucht. Jegliche Bereiche, in denen beide Datensätze verschiedene Ergebnisse aufweisen, werden detektiert und hinsichtlich möglicher Ursachen geprüft. Hierfür dienen verschiedene Referenzdatensätze, welche die Topographie, den Vegetationsbestand, die Landschaftsklassifikation und den Permafrostgehalt als Indikatoren visuell abdecken. Nachfolgend wurden im Programm „*Microsoft Excel*“ die Daten aus der Genauigkeitsanalyse für jedes Untersuchungsgebiet aufbereitet und bezüglich ihrer Ergebnisse analysiert.

Dabei zeigte sich, dass permanente Gewässerflächen in jedem Untersuchungsgebiet beinahe identisch zwischen den Datensätzen klassifiziert wurden. Die größten Differenzen zwischen den Ergebnissen von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) wurden bei saisonalen Gewässerflächen gefunden. Die Berechnungen zur „*Producer- und Consumer Accuracy*“ ergaben in einem Untersuchungsgebiet Genauigkeitswerte von unter 65 %. In diesen landschaftlichen Gefilden existiert das Problem der Mischpixel, wo je nach Pixelgröße und derzeitigen Wasserstand eine genaue Klassifikation erschwert wird. Weitere Faktoren, wie saisonale Ereignisse, Wolkenbildungen oder technische Fehler sind nicht auszuschließen und verursachen Differenzen zwischen den Ergebnissen von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016). Anhand der Topographie, des Waldbestandes, der Landschaftsklassen und dem Permafrostgehalt konnten Unterschiede zwischen den Datensätzen erkannt und markante Formen bestimmt werden.

Global climate change is a current problem that is discussed in many publications. The data provides only limited possibilities for the detection of future consequences. Surface water dynamics are described with some examples, but these give only a small insight into the complexity of this system. Using remote sensing methods, past and present dynamics can be analyzed. Nevertheless, the number of data sets with global data series is very small. Due to modifications of the "System Earth" caused by climate change, the global surface water dynamics is also changing. In high latitudes this is still poorly understood and an analysis of the data can provide an important insight into future consequences. Therefore, it is important to monitor Arctic surface water dynamics.

In this master's thesis, the datasets of PICKENS et al. (2020) and PEKEL et al. (2016) are compared with respect to their results in surface water dynamics for Arctic permafrost areas from 2000 to 2020. In regards to this, both datasets were homogenized using the program "*Google Earth Engine*" and examined in an accuracy analysis. Any areas where both datasets show different results are detected and checked for possible causes. For this purpose, different reference datasets were used, which visually cover the topography, vegetation cover, landscape classification and permafrost content as indicators. Subsequently, in the program "*Microsoft Excel*", the data from the accuracy analysis were processed for each study area and analyzed in regards to the results.

This shows that permanent water body areas in each study area were classified almost identically between the data sets. The largest differences between the results of PICKENS et al. (2020) and PEKEL et al. (2016) were found for seasonal water areas. The "*Producer and Consumer Accuracy*" calculations even yielded accuracy values below 65% in one study area. In these scenic areas, the problem of mixed pixels exists where, depending on pixel size and current water level, accurate classification becomes difficult. Also other factors, like seasonal events, cloud formations or technical errors cannot be excluded and have a share in the differences between the results of the data sets. Based on topography, the forest cover, the landscape classes and the permafrost content, differences between the data sets were recognized and distinctive shapes determined.

1. Einleitung

Unsere Erde entstand vor ca. 4,566 Mrd. Jahren (WHITE 2007). Seither prägten verschiedene Warm- und Kaltphasen unser Erdsystem. Diese Phasen verlaufen über Zeiträume von mehreren Tausend bis Millionen Jahren (STEFFEN et al. 2016). Nun befinden wir uns in einem Zeitabschnitt, wo die Erderwärmung anthropogen bedingt, schneller voranschreitet. Die heutige stratigraphische Zeiteinheit wird von vielen Wissenschaftlern als das Anthropozän verstanden (u.a. HABER et al. 2016; WATERS et al. 2016; STEFFEN et al. 2007). Der Begriff wurde erstmalig von Paul Crutzen erwähnt und beschreibt die Veränderungen unseres heutigen und zukünftigen Erdsystems, primär durch den Menschen. Infolge des Industrialismus nahm unter anderem die Kohlenstoffdioxid-Konzentration auf der Erde zu, was als eine Initialzündung des heutigen Klimawandels beschrieben wird (SCHWÄGERL und LEINFELDER 2014). Daraufhin steigt die globale Durchschnittstemperatur und die Eiskappen schmelzen, genauso wie der Permafrostgehalt. Infolgedessen steigt der Meeresspiegel immer weiter an und es kommt zu Veränderungen an der Erdoberfläche (IPCC 2023). Dabei ist nur noch 25 % der eisfreien Landoberfläche, im ursprünglichen Zustand (LEINFELDER 2020). Gerade Gewässersysteme werden durch den Gebrauch anthropogen, für die Energie- und Trinkwassergewinnung, verändert (BORETTI und ROSA 2019). Durch geoinformatische Untersuchungen wird versucht, ein geeignetes Management für die Nutzung des Wassers zu generieren. So werden verschiedene Regionen mittels Fernerkundung beurteilt und hinsichtlich ihres Gewässervorkommens analysiert. Für die Detektion von Gewässerdynamiken sind die Datensätze von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) von großer Bedeutung. Beide Datensätze stellen global, jährliche Karten von Oberflächengewässern bereit und können somit für die Beobachtung der zeitlichen Dynamik, das Gewässermanagement und den dazugehörigen Verbrauch weitreichende Informationen liefern (siehe Kapitel 3).

Im Rahmen dieser Masterarbeit werden die aus Fernerkundungsdaten abgeleiteten Datensätze von PEKEL et al. (2016) und PICKENS et al. (2020) analysiert und hinsichtlich ihrer Ergebnisse zum globalen Oberflächengewässervorkommen, miteinander verglichen. Dafür wurden 12 Gebiete ausgewählt und bezüglich der Unterschiede zwischen den beiden Datensätzen geprüft. Die Auswahl der Untersuchungsgebiete basiert dabei auf Arbeiten von NITZE et al. (2018) und einem visuell erkennbaren, erhöhten Gewässeranteil in den jeweiligen Regionen. Beide Datensätze wurden in drei Klassen unterteilt: Festland („Land“), Saisonale Oberflächengewässer („Saisonal“) und permanente Oberflächengewässer („Permanent“). Dafür mussten zuerst die beiden Datensätze von PICKENS et al. (2020) mit dem von PEKEL

et al. (2016) harmonisiert werden. Erste Vergleiche zwischen den Daten wurden visuell durchgeführt. Dies diente nur, um einen groben Überblick über die Datenlagen zu erhalten. Für weitere Untersuchungen wurden statistische Analysen angewandt. Als Mittel dienen Genauigkeitsanalysen, zur Ermittlung jeglicher Abweichungen zwischen den Klassen. Anschließend wurde versucht die Unterschiede in den zwei Gewässerprodukten mittels diverser Umweltfaktoren zu erklären (siehe Kapitel 3.3). Diesbezüglich werden die Referenzdatensätze zum Waldbewuchs von HANSEN et al. (2013), zu den Landschaftsklassen nach ZANAGA et al. (2021), zum Permafrost von OBU et al. (2018) und zur Topographie von YAMAZAKI et al. (2017) in Betracht gezogen. Anhand dieser Parameter wird untersucht, inwieweit markante Unterschiedsflächen auftreten und was genaue Gründe für die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Datensätze sind. Für eine detailliertere Analyse wurden Buffer um den Mackenzie River, den Kuskokwim River, das Yukon-Kuskokwim-Delta, den Kolyma, den Colville, den Ob und der Lena gelegt. Dies dient dazu, um einen Zusammenhang für mögliche Unterschiede zwischen den Ergebnissen detektieren zu können. Alle genannten Gewässerabschnitte befinden sich in den 12 Untersuchungsgebieten und wurden wegen ihrer markanten Größe ausgewählt. Eine Analyse dieser Daten ist wichtig, um den globalen Wasserkreislauf zu untersuchen und mögliche Veränderungen zu detektieren. Beide Datensätze wurden bezüglich ihres wichtigen wissenschaftlichen Beitrages zur Zeitreihen Akquise globaler Gewässerdynamik ausgewählt.

1.1 Forschungsstand

Die Forschungsgebiete der Hydrologie und Hydrogeologie nehmen immer weiter an Bedeutung zu. Mit dem Anstieg der Bevölkerung steigt auch der Wasserbedarf weiter an (BORETTI und ROSA 2019). Speziell für die Bereiche Landwirtschaft und Industrie wurde der höchste Bedarf festgestellt (SHIKLOMANOV 1998). Durch Misswirtschaften und steigende globale Durchschnittstemperaturen (MOLOBELA und SINHA 2011) wächst der Bedarf an nutzbarem Wasser, wodurch verschiedene Konzepte zur Überwachung, Management und des Schutzes erstellt werden müssen (LINS 2008). Die nachhaltige Verwendung von Wasserressourcen ist ein weltweit wichtiges Ziel. Eine wichtige Informationsgrundlage hierfür ist das Monitoring der Entwicklung von Oberflächengewässer.

Eine Möglichkeit zur Detektion von Gewässerflächen, ist die Satellitenfernerkundung. Basierend auf diesem Ansatz, sind die Arbeiten von PEKEL et al. (2016) und PICKENS et al. (2020) wichtige Datensätze für die Analyse von Gewässerdynamiken. PICKENS et al. (2020) leitete aus mehrere Millionen Landsat 5, 7 und 8 Szenen, die Ausdehnungen und

Veränderungen der globalen Oberflächengewässer ab. Diesbezüglich wurden Wasser- und Landflächen jährlich seit 1999 klassifiziert und als Karten bereitgestellt. Aus diesen lässt sich die zeitliche Dynamik der Oberflächengewässer darstellen und liefern dabei einen methodisch homogen abgeleiteten globalen Datensatz für die Ausdehnung von Oberflächengewässer und deren zeitliche Veränderungen (PICKENS et al. 2020). Dagegen beschäftigt sich PEKEL et al. (2016) mit der Lage und Saisonalität von Gewässern ab 1984. In dem Datensatz von PEKEL et al. (2016) wird zwischen saisonalen und permanenten Wasserflächen unterschieden. Hierfür wurden auch Landsat-Daten in Betracht gezogen, die benötigten Werte klassifiziert und als jährliche Kartenprodukte ausgegeben (PEKEL et al. 2016).

Neben den eben angesprochenen Datensätzen existieren noch einige weitere Forschungsprojekte, die sich mit der Dynamik von globalen Gewässersystemen beschäftigen, wie das „*Water Dynamics Mapping System*“ (SIMS) von SOMAN und INDU 2022. Das „*Water Dynamics Mapping System*“ (SIMS) wurde entwickelt, um eine automatisierte Kartierung der Binnengewässerdynamik auszugeben. Diese Daten basieren in Gegensatz zu PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016), auf Sentinel-1-Radarbilder und sind in einer Open-Source-Webanwendung verfügbar. Die dazugehörigen Ergebnisse können als numerische Daten sowie als Zeitreihen-Shapefiles heruntergeladen und analysiert werden (SOMAN und INDU 2022).

Zur fernerkundlichen Erforschung der Dynamiken von Gewässersystemen existieren verschiedene Beiträge mit unterschiedlicher Methodik, wie von DRUCE et al. (2021), der mit der Zusammenführung von optischen und Synthetic Aperture Radar (SAR)-Daten, eine Kartierung der Oberflächendynamik auf dem chinesischen Festland vorgenommen hat (DRUCE et al. 2021). Für das Jangtse-Einzugsgebiet bestimmten WANG et al. (2018), mittels Random Forest Analyse, die minimale sowie maximale Ausdehnung. Dafür wurden die Jahre 1990, 2000, 2010 und 2017 ausgewählt und die Ergebnisse miteinander verglichen. Für die dazugehörige Analyse dienten 2343 Landsat-Szenen (WANG et al. 2018). Ein Überblick über eine Vielzahl weiterer Projekte zum Bereich der Gewässerdynamiken weltweit, ist in der Publikation von SOGNO et al. (2022) gelistet und hinsichtlich der gesamten Analysetechniken zusammengefasst (SOGNO et al. 2022).

Auch für Sibirien sind verschiedene wissenschaftliche Beiträge zur Detektierung von Gewässersystemdynamiken veröffentlicht worden. TARENTIEVA et al. (2016) beschäftigte sich mit der Detektierung von Feuchtgebieten in der Taigazone des Westsibirischen Tieflands, basierend auf Landsat- und Felddaten. Dafür wurden die verschiedenen Typen, wie offene oder gemusterte Niedermoore, kategorisiert und hinsichtlich ihrer Eigenschaften analysiert. Dies

dient als Grundlage, um die Risiken des Klimawandels hinsichtlich Gewässerdynamiken zu verstehen (TERENTIEVA et al. 2016). BARTSCH et al. (2012) beschäftigte sich hingegen mit der Modellierung von Überschwemmungsdynamiken in der borealen und tundrischen Umgebung mithilfe von SAR-Daten (BARTSCH et al. 2012). Als weiteres Beispiel haben GRIGORIEV und ZATSEPIN (2014) im Zuge des „ARENA“- und des „ECOOP“-Projekts, Daten für die Modellierung der Dynamik des Schwarzen Meeres an der russischen Küste gesammelt. Dafür wurde ein 1 km Buffer um die russische Küste gelegt und täglich untersucht. Jegliche Ergebnisse wurden mit hydrologischen Messungen verglichen (GRIGORIEV und ZATSEPIN 2014). Ein ähnliches Vorgehen hatte auch SHEVYRNOGOV et al. (2001). Dieser verglich dabei anhand von AVHRR-Daten und Bodenmessdaten, die Strahlungstemperatur mit der Trübung im Shira-See in Khakasia, Sibirien (SHEVYRNOGOV et al. 2002).

Neben Sibirien, wurden auch verschiedene Publikationen zu diesem Themenbereich aus Nordamerika veröffentlicht. CARROLL et al. (2016) zeigte auf Grundlagen von Landsat 5, 6 und 8 die Ausdehnung der oberflächigen Gewässersysteme von 1991 bis 2011 (CARROLL et al. 2016). Für die Mackenzie-Ebene haben TRAVERS-SMITH et al. (2021) die Auswirkungen der Klima- und Geländefaktoren auf die Fläche von Seen und Teiche überprüft. Dafür wurden mittels Landsat-Daten die Veränderungen, auf Grundlage der *Generalized Additive Models*- und *Random Forest Klassifikation*, detektiert und kartiert. So stellte sich heraus, dass 29 % der 5328 Seen und Teiche einen ansteigenden und nur 11 % einen sinkenden Trend in der Fläche aufweisen (TRAVERS-SMITH et al. 2021). Als ein weiteres Beispiel zeigt LU (2012) die Veränderung der Methanemissionen von der Bodenbedeckung des Yukon-River-Beckens seit dem Jahr 1980. Dafür wurden die Veränderungen der Bodenbedeckung zwischen 1986 und 2005, auf Basis des *National Land Cover Dataset*, kurz NLCD, klassifiziert und modelliert. Somit stellte sich unter anderem heraus, dass die vorhandenen Gewässer, je nach Permafrosttyp schrumpfen, beziehungsweise sich ausdehnen. Insgesamt wurde beobachtet, dass die Fläche der geschlossenen Gewässer im Trend sinkt (LU 2012). Ebenfalls in Alaska, untersuchten JONES et al. (2020) räumliche und zeitliche Dynamiken des Biberdamm-Baus in Bezug auf die Thermokarst-Landformen und der Oberflächenwasserdynamik für zwei Tundragebiete. Für die Analyse wurden Satellitendaten basierend aufs „*DigitalGlobe Inc. imagery archive*“ in Betracht gezogen. Die Ergebnisse verdeutlichen, inwieweit Veränderungen der Landschaft durch Biberaktivitäten auch Einfluss auf Gewässerdynamiken ausüben können (JONES et al. 2020).

Trotz der genannten zahlreichen Publikationen müssen noch diverse Fragen hinsichtlich der Dynamik von Oberflächengewässern beantwortet werden, um die Komplexität der Gewässerdynamiken weltweit besser zu verstehen. Gerade in arktischen Permafrostgebieten ist die Zahl der Vorarbeiten bisher sehr gering. Zwar existieren lokale Studien, wie in diesem Kapitel erläutert, diese sind jedoch meist sehr kleinräumig und bilden nur eine kurze Zeitepoche ab. Benötigt werden globale Projekte mit denen zeitliche Dynamiken erkannt werden können. Es ist wichtig die Hydrologie in Permafrostgebieten zu monitoren um Folgen des Klimawandels zu ermitteln und mögliche Veränderungen des Permafrosts zu detektieren (BOIKE et al. 2009). Die Projekte von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) sind jeweils wichtige Datensätze, mit denen globale Daten über mehrere Jahre hinweg analysiert werden können (PICKENS et al. 2020; PEKEL et al. 2016). Diese Masterarbeit dient als Entscheidungshilfe, welcher Datensatz präferiert wird. Dabei sollen die beiden Datensätze vergleichend gegenübergestellt werden, um folgende Fragestellungen und Hypothesen zu bearbeiten:

1.2 Fragestellungen und Hypothesen

Fragestellungen

- Wie signifikant sind die Ergebnisse aus den Datensätzen von PEKEL et al. (2016) und PICKENS et al. (2020) miteinander?
- Wo zeigen sich Abweichungen und was sind deren mögliche Ursachen und Auswirkungen?
- Was ist der größte Unsicherheitsfaktor zwischen den Ergebnissen von PEKEL et al. (2016) und PICKENS et al. (2020)?

Hypothesen

- Beide Datensätze zeigen sehr ähnliche Ergebnisse mit wenigen Abweichungen
- Die Datensätze von PEKEL et al. (2016) und PICKENS et al. (2020) zeigen Abweichungen, die durch räumliche Gegebenheiten beeinflusst werden
- Die Abweichungen in Küstennähe werden die höchsten Dimensionen aufweisen

Abbildung 1 Zusammenfassung der Fragestellungen und Hypothesen (Eigene Darstellung 24.04.2023)

In Abbildung 1 werden die Fragestellungen und Hypothesen dieser Arbeit dargestellt. Die übergeordnete Frage lautet, wie ähnlich die jeweiligen Ergebnisse zwischen den Datensätzen sind. Gibt es Unterschiede und wenn ja, wo? Wichtig sind dabei die Ursachen, weshalb verschiedene Datensätze eingesetzt werden, um diese zu analysieren (Fragestellung Nr. 2). In Fragestellung Nr. 3 soll nochmal speziell auf die Hauptgründe für die Differenzen zwischen PEKEL et al. (2016) und PICKENS et al. (2020) eingegangen werden.

Als Haupthypothese, werden beide Datensätzen als sehr ähnlich dargestellt. Beide Datensätze beruhen auf ähnliche Datengrundlagen und sollten daher identische Ergebnisse anzeigen (Hypothese 1). Falls sich die Hypothese als falsch herausstellt, wird angenommen, dass verschiedene räumliche Parameter für diese Unterschiede verantwortlich sind (Hypothese 2). Der größte Unterschiedsfaktor wird daraufhin in Küstennähe erwartet (Hypothese 3).

2. Untersuchungsgebiet

Für eine differenzierte Analyse wurden 12 Untersuchungsgebiete ausgewählt und hinsichtlich ihrer Gewässerdatierung überprüft. Davon befinden sich fünf Areale in Asien und sieben in Nordamerika (siehe Abb.2). Die Untersuchungsgebiete wurden hinsichtlich ihres Gewässerreichturns, des Vorkommens von Permafrost sowie deren verschiedenen Landschaftseinheiten ausgewählt. Innerhalb dieser Areale wurden sieben Flüsse ausgewählt, die einen wichtigen Einfluss auf ihre jeweiligen Umgebungen ausüben (siehe Abb.3). Die dazugehörigen Übersichtskarten wurden dem Anhang beigefügt.

2.1 Untersuchungsgebiete

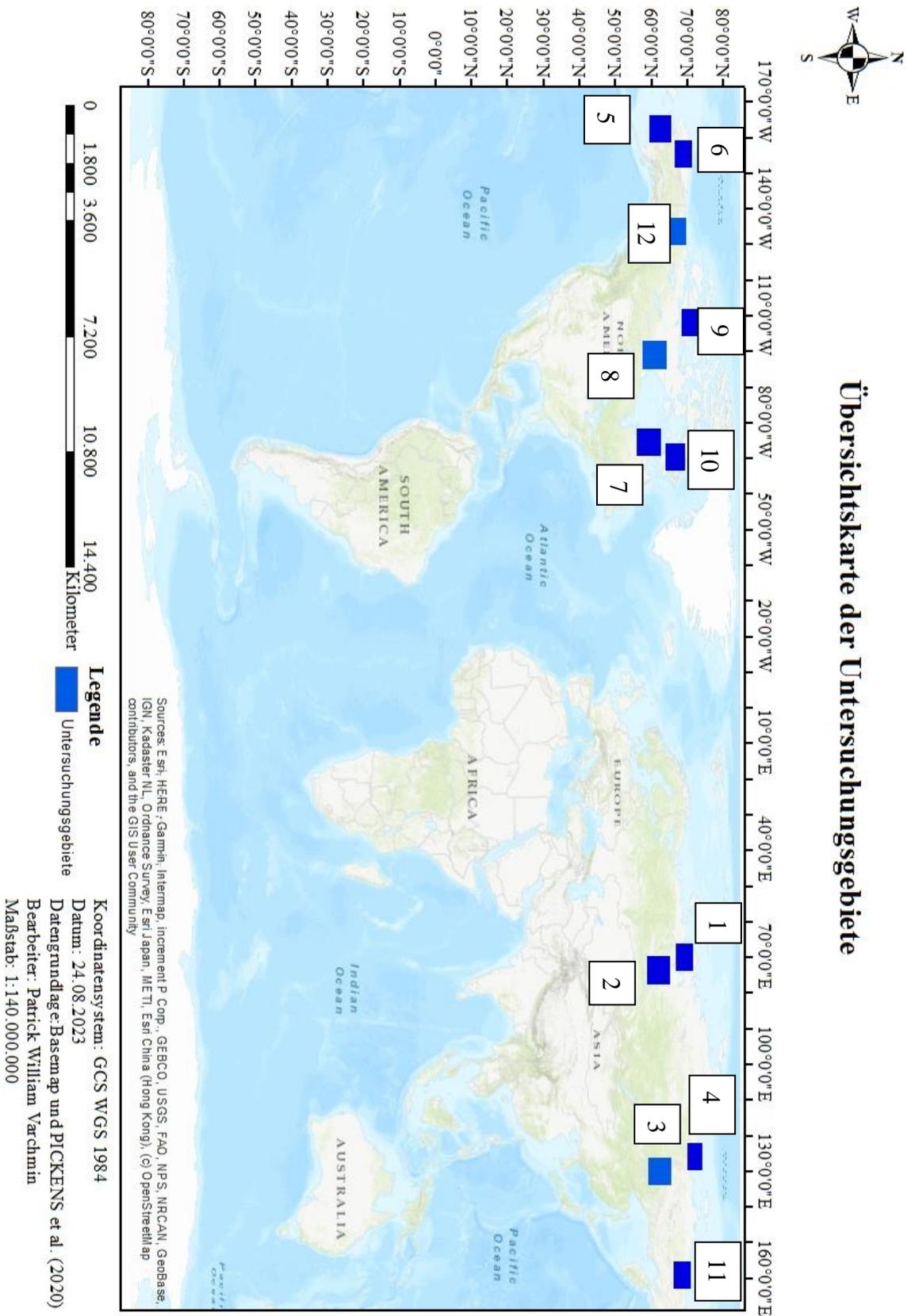


Abbildung 2 Übersichtskarte der Untersuchungsgebiete (Eigene Darstellung 24.08.2023)

2.1.1 Untersuchungsgebiet 1

Das Untersuchungsgebiet 1 befindet sich im russisch-autonomen Kreis Jamal-Nenzen bei den Koordinaten 66°01' bis 73°73' nördliche Breite und bei 66°93' bis 71°71' östliche Länge. Somit wurde dieses Areal in die subpolare Zone mit humidem Kontinentalklima lokalisiert (SIEGMUND 2014). Die Tagestemperaturen schwanken dabei zwischen ca. 226 Kelvin und ca. 300 Kelvin (COPERNICUS 2017). Im äußersten Südwesten sind einige Ausläufer des Uralgebirges für das Landschaftsgebiet prägend. Das restliche Areal ist jedoch sehr flach (YAMAZAKI et al. 2017). Dieses Gelände befindet sich auf der Jamal-Halbinsel und ist im Osten vom Obusen und im Westen vom Karasee umgeben. Der angesprochene Ob durchfließt wenige Bereiche des Untersuchungsgebietes, ist aber trotzdem prägend für den Wasserhaushalt in dieser Region (YAMAZAKI et al. 2017). So besteht der Großteil des Areals aus permanenten Wasserflächen und krautreichen Sumpflandschaften. Auch Graslandschaften sowie Moose und Flechten weisen eine weite Verbreitung in diesem Gebiet auf (ZANAGA et al. 2021). Sekundär sind im Süden einige Waldflächen mit eher spärlicher Vegetation erkennbar (ZANAGA et al. 2021, HANSEN et al. 2013). Auch Permafrost, speziell Thermokarst- und periglaziale Permafrostflächen (OLEFELDT et al. 2016; FRENCH 1996), sind in diesem Bereich reichlich vorhanden, jedoch zeigen diese vereinzelt geringere Ausmaße, beziehungsweise nehmen sie im Süden gar ab (OBU et al. 2018).

2.1.2 Untersuchungsgebiet 2

Das zweite Untersuchungsgebiet wurde südlich des ersten Untersuchungsgebietes lokalisiert. Es liegt ungefähr bei den Koordinaten 69°71' bis 77°44' nördliche Breite und bei 58°97' bis 65°29' östliche Länge. Somit befindet sich das Untersuchungsgebiet in Teilen der Distrikte Krasnojarsk, Oblast Tomsk, Chanten und Mansen sowie im autonomen Kreis Jamal-Nenzen. Der Norden gehört wie Untersuchungsgebiet 1 zur subpolaren Zone mit humidem Kontinentalklima. Weiter im Süden wurde das Gefilde zu den Mittelbreiten mit semihumidem Kontinentalklima kategorisiert (SIEGMUND 2014). Hier werden Tagestemperaturen von ca. 222 Kelvin bis zu ca. 300 Kelvin gemessen (COPERNICUS 2017). Auch dieses Gebiet wird durch den Ob und in diesem Fall durch seine Nebenflüsse Agan und Wach geprägt. Des Weiteren ist das Gelände aufgrund des Westsibirischen Tieflandes, mit Höhenlagen von 2,17768 m bis 157,508 m über NN., sehr flach. Dabei befinden sich die tiefsten Punkte in den Flusstälern (YAMAZAKI et al. 2017). Außerhalb der permanenten Gewässerflächen ist das Gebiet hauptsächlich durch dichten Nadelwaldbewuchs und krautreiches Sumpfgebiet geprägt. Im zentralen Bereich sind einige Strauchlandschaften und am Ob einige Grasflächen erkennbar.

Des Weiteren sind im geringen Maß auch spärliche Vegetation, Moose und Flechten sowie einige Siedlungen am Ob gelegen (HANSEN et al. 2021; ZANAGA et al. 2021). Dazu ist das gesamte Gelände ausschließlich von periglazialen Permafrost geprägt (OLEFELDT et al. 2016; FRENCH 1996).

2.1.3 Untersuchungsgebiet 3

Östlich vom Untersuchungsgebiet 2, wird das dritte Untersuchungsgebiet auf die Koordinaten 126°21' bis 133°94' nördliche Breite und bei 59°46' bis 65°54' östliche Länge lokalisiert. Somit gehört das Areal im Osten zum Distrikt Jakutien und im Westen zur Region Krasnojarsk. Nach SIEGMUND (2014) ist dieses Areal in der subpolaren Zone mit humidem bis semihumidem Hochkontinentalklima lokalisiert (SIEGMUND 2014). Die Tagestemperaturen variieren von ca. 219 Kelvin (niedrigster Wert aller Untersuchungsgebiete) bis ca. 301 Kelvin (COPERNICUS 2017). Das Gebiet besteht hauptsächlich aus borealem Nadelwald (HANSEN et al. 2013). Einige Grasflächen, permanente Gewässerflächen, Strauchlandschaften, Bereiche spärlicher Vegetation sowie Moose und Flechten sind sekundäre Merkmale, die hauptsächlich im Nordosten, im Werchojansker Gebirge und dessen Ausläufern sichtbar sind. Im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes sind dazu Ausläufer des Mittelsibirischen Berglandes erkennbar (YAMAZAKI et al. 2017; ZANAGA et al. 2021). Der Anteil des Permafrosts im Untersuchungsgebiet ist überall ausgeprägt hoch (OBU et al. 2018). Dieser taut teilweise im Sommer auf und bildet kleine Seen und Flüsse (BOIKE et al. 2016). Karst konnte jedoch nicht innerhalb des betrachteten Areals nachgewiesen werden (GORDEEV und SIDOROV 1993). Der Großteil der Fläche wird von der Lena und den Aldan gespeist, die einen wichtigen Faktor für die Prägung der Landschaft ausüben.

2.1.4 Untersuchungsgebiet 4

Das Untersuchungsgebiet 4 wurde im Norden Sibiriens auf den Koordinaten 121°86' bis 129°61' nördliche Breite und bei 70°06' bis 74°21' östliche Länge lokalisiert. Dabei befindet sich das gesamte Areal in der humiden und hochkontinentalen polaren Zone (SIEGMUND 2014) mit Tagestemperaturen zwischen 223 Kelvin und 297 Kelvin (COPERNICUS 2017). Neben einigen Ausläufern des Werchojansker Gebirges, wird das Untersuchungsgebiet hauptsächlich durch das Nordsibirische Tiefland und dem Lenadelta im Norden geprägt (YAMAZAKI et al. 2017). Das Lenadelta mündet in den Laptev See und in den Arktischen Ozean (AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY 2022). Dazu ist es im Osten vom Buor-Chaja-Busen und im Westen von der Olenjokbucht umgeben.

Neben der Lena, fließt auch der Olenjok durch das Untersuchungsgebiet, welcher einen Großteil der Landschaftsgestaltung ausmacht (YAMAZAKI et al. 2017). Der nördliche Teil weist keine Waldflächen auf. Mit dem Weg nach Süden nimmt der Waldgehalt jedoch leicht zu (HANSEN et al. 2013). Insgesamt ist das Untersuchungsgebiet durch das permanente Gewässer im Norden und dem angrenzenden krautreichen Sumpfgelände, den zentral gelegenen Grasflächen sowie durch Moose und Flechten gezeichnet (ZANAGA et al. 2021). Dazu weist das gesamte Gebiet einen erhöhten Permafrostgehalt auf. Der Thermokarstanteil nimmt von Nordwesten nach Südosten ab. Ein kontinuierlicher periglazialer Anteil ist vorhanden (OLEFELDT et al. 2016; FRENCH 1996).

2.1.5 Untersuchungsgebiet 5 und 6

Die Untersuchungsgebiete 5 und 6 sind in Alaska gelegen. Wobei das Untersuchungsgebiet Nummer 5 an der Westküste zum Beringmeer lokalisiert ist. Die Koordinaten lauten $-158^{\circ}61'$ bis $-166^{\circ}32'$ nördliche Breite und bei $59^{\circ}52'$ bis $65^{\circ}73'$ östliche Länge. Nach SIEGMUND (2014) befindet sich dieses Gebiet in der subpolaren Zone mit humidem Kontinentalklima (SIEGMUND 2014). Die Tageswerte liegen hier zwischen 228 Kelvin und 299 Kelvin (COPERNICUS 2017). Das Untersuchungsgebiet Nr. 5 ist geprägt durch Höhenlagen der Alaskakette im Norden, Nordosten sowie im Südosten. Dazu zeigt das Yukon-Kuskokwim-Delta seine Ausmaße (YAMAZAKI et al. 2017). Der Waldbestand nimmt Richtung Küste ab. So wird im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes ein niedriger Waldanteil gemessen (HANSEN et al. 2013). Nach Landschaftsklassifikation von ZANAGA et al. (2021) besteht ein großer Teil des Areals aus Grasland. Auch krautreiche Sumpfgebiete, Wälder und permanente Wasserflächen sind weit verbreitet. Vereinzelt sind einige Strauchlandschaften im zentralen Bereich sowie Moose und Flechten im nördlichen Teil auffindbar (ZANAGA et al. 2021). Es wurde ein heterogener Permafrostanteil für das Untersuchungsgebiet 5 bestätigt. Der Permafrostgehalt ist im Vergleich zu den anderen Bereichen niedrig ausgeprägt (OBU et al. 2018). Der periglaziale, subarktische Anteil ist diskontinuierlich und der Thermokarstanteil sehr hoch (OLEFELDT et al. 2016; FRENCH 1996).

Das Untersuchungsgebiet 6 wurde auf die Koordinaten $-151^{\circ}62'$ bis $-159^{\circ}34'$ nördliche Breite und bei $66^{\circ}81'$ bis $71^{\circ}60'$ östliche Länge lokalisiert. Der Süden des Areals befindet sich in der subpolaren Zone und der nördlichste Teil in der polaren Zone mit humiden Kontinentalklima (SIEGMUND 2014). Die Tageswerte variieren dabei von 228 Kelvin bis 294 Kelvin (COPERNICUS 2017).

Die Topographie ist durch ein Süd-Nord-Gefälle geprägt, wobei der höchste Punkt des gesamten Untersuchungsgebietes bei 2428,16 m über NN. liegt (YAMAZAKI et al. 2017). Nach Hansen et al. (2013) gilt das Gebiet als relativ waldarm. Vereinzelt sind Waldflächen anzufinden, jedoch hauptsächlich am südlichsten Rand des Untersuchungsgebietes sowie am Colville River (HANSEN et al. 2013). Der Großteil des Areal weist Grasflächen auf. Daneben sind vor allem im Norden zahlreiche krautreiche Sumpflandschaften und einige permanente Gewässerflächen auffindbar. Im geringen Maß sind Flächen spärlicher Vegetation, Schnee- und Eisflächen sowie Strauchlandschaften im südlichen Teil erkennbar (ZANAGA et al. 2021). Von Westen nach Osten nimmt der Permafrostgehalt ab. Der Thermokarstanteil nimmt hingegen von Süden nach Norden zu (OBU et al. 2018; OLEFELDT et al. 2016).

2.1.6 Untersuchungsgebiet 7

An der Ostküste des Hudson Bays und südlich der Hudsonstraße, wurde das siebte Untersuchungsgebiet lokalisiert. Dieses liegt im kanadischen Distrikt Quebec innerhalb der Koordinaten $-70^{\circ}89'$ bis $-78^{\circ}57'$ nördliche Breite und bei $56^{\circ}04'$ bis $62^{\circ}91'$ östliche Länge in der subpolaren Zone mit humiden Kontinentalklima (SIEGMUND 2014). Die Tagestemperatur schwankt im Jahr zwischen 229 Kelvin und 295 Kelvin (COPERNICUS 2017). Dieses Gebiet bildet die Ugava-Halbinsel sowie die Gilmour Islands, Digges Island und Charles Island ab. Dabei ist das Areal relativ flach und weist eine einheitliche Höhenlage auf (YAMAZAKI et al. 2017). Geprägt ist das Untersuchungsgebiet durch permanente Gewässer- (ZANAGA et al. 2021) und den darunterliegenden Permafrostflächen. Dieser zeigt einen geringen Thermokarst-, sowie einen diskontinuierlichen periglazialen Permafrostanteil (OLEFELDT et al. 2016; FRENCH 1996). Der Baumbestand ist bis zum nördlichsten Ende ausgeprägt, jedoch dominieren in diesem Untersuchungsgebiet Grasflächen sowie Moose und Flechten. Vereinzelt ist das Gebiet durch spärliche Vegetation und Strauchlandschaften beschichtet (HANSEN et al. 2013; ZANAGA et al. 2021).

2.1.7 Untersuchungsgebiet 8

Am anderen Ufer der Hudson Bay ist das Untersuchungsgebiet 8 auf die Koordinaten $-95^{\circ}26'$ bis $-103^{\circ}00'$ nördliche Breite und bei $57^{\circ}81'$ bis $64^{\circ}35'$ östliche Länge lokalisiert. Somit gehört es im Norden zum kanadischen Distrikt Nunavut und im Süden zu Manitoba in der subpolaren Zone mit humidem Hochkontinentalklima (SIEGMUND 2014). Die Tagestemperatur schwankt im Jahr zwischen 229 Kelvin und 296 Kelvin (COPERNICUS 2017). Aufgrund des kanadischen Schildes werden im Westen Höhen bis zu 517,215 m über NN. erreicht. Nach Osten wird es flacher (YAMAZAKI et al. 2017).

Das Gelände weist einen hohen Permafrostanteil mit einer Minderung bei den Gewässerflächen auf (OBU et al. 2018; ZANAGA et al. 2021). Dieser ist Großteils periglazial geprägt, Thermokarst-Permafrost ist im geringen Maß sichtbar (OLEFELDT et al. 2016; FRENCH 1996). Sonst ist das Gebiet stark durch großflächige Graslandschaften gekennzeichnet, die den ansonsten im Süden bewaldeten Teil dominieren. Außerdem gibt es im zentral östlichen Bereich Flächen mit Moosen und Flechten sowie im südöstlichen Teil spärliche Vegetation von sekundärer Substanz (HANSEN et al. 2013; ZANAGA et al. 2021).

2.1.8 Untersuchungsgebiet 9

Die in den Northwest Territories gelegene Insel Victoria Island, befindet sich auf den Koordinaten $-104^{\circ}41'$ bis $-112^{\circ}14'$ nördliche Breite und bei $68^{\circ}61'$ bis $73^{\circ}04'$ östliche Länge in der polaren Zone mit humidem Hochkontinentalklima (SIEGMUND 2014). Die Tageswerte schwanken hier zwischen 225 Kelvin bis 295 Kelvin (COPERNICUS 2017). Das Untersuchungsgebiet weist im Nordwesten Höhenlagen von bis zu 600,509 m über NN auf. Das restliche Areal ist durch einige Höhenlagen geprägt (YAMAZAKI et al. 2017). Wald ist in diesem Untersuchungsgebiet nicht vorhanden, da dieses Untersuchungsgebiet nördlich der Baumgrenze lokalisiert wurde (FRENCH 1996; HANSEN et al. 2013). Dafür besteht dieses Areal Großteils aus Moose und Flechten sowie permanenten Gewässern, spärlicher Vegetation, Grünflächen und geringfügig aus krautreichen Sumpfbereichen (ZANAGA et al. 2021). Der Permafrostanteil ist im gesamten Untersuchungsgebiet sehr hoch, wobei der Thermokarstanteil moderat und der glaziale Anteil sehr hoch sind (OLEFELDT et al. 2016; FRENCH 1996; OBU et al. 2018)).

2.1.9 Untersuchungsgebiet 10

Das zehnte Untersuchungsgebiet befindet sich mit den Koordinaten $-66^{\circ}71'$ bis $-74^{\circ}40'$ nördliche Breite und bei $64^{\circ}22'$ bis $69^{\circ}53'$ östliche Länge auf Baffin Island im Nunavut Distrikt. Mit einer Länge von 1.600 km und einer maximalen Breite bis zu 600 km ist Baffin Island die größte Insel des kanadisch arktischen Archipels (MILLER et al. 2005). Sie befindet sich nördlich des nordamerikanischen Festlandes und ist umgeben von verschiedenen Gewässern. Dabei kommt die größte Prägung vom Grönlandstrom, welcher Salzwasser aus dem Atlantik vorbei an Baffin Island bringt (MILLER et al. 2005). Der östliche Teil der Insel ist geprägt durch die Baffin Island Mountains (YAMAZAKI et al. 2017). Dieses Gebirge und die dazugehörigen Fjorde entwickelte sich im frühen Tertiär, als es zu einer Trennung von Grönland und Nordamerika kam. Durch fluviale und glaziale Erosionen kam es zu einer weiteren Prägung der Insel.

Noch heute bedecken Gletscher und eine kontinuierliche Permafrostdecke Baffin Island (MILLER et al. 2005). Der Permafrostgehalt ist im gesamten Untersuchungsgebiet sehr hoch (OBU et al. 2018), jedoch ist der periglaziale Anteil diskontinuierlich (OLEFELDT et al. 2016). Der Thermokarst-Permafrost ist im Westen sehr hoch, nimmt in den anderen Himmelsrichtungen kontinuierlich ab (FRENCH 1996). Nach SIEGMUND (2014) ist der Norden der polaren Zone mit humidem Hochkontinentalklima und die Südküste der subpolaren Zone mit humidem Kontinentalklima zugerechnet (SIEGMUND 2014). Dabei werden Tageswerte zwischen 233 Kelvin und 284 Kelvin erreicht (COPERNICUS 2017). In dieser glazial geprägten Karstregion findet sich nahezu keine Vegetation. Eine spärliche Vegetationslandschaft mit Moosen und Flechten sind hier verbreitet. Auch eine hohe Zahl an permanenten Gewässern konnte beobachtet werden. Kleine Grasflächen und Sumpfgebiete schließen sich dem an (HANSEN et al. 2013; ZANAGA et al. 2021).

2.1.10 Untersuchungsgebiet 11

Mit den Koordinaten $155^{\circ}13'$ bis $162^{\circ}87'$ nördliche Breite und bei $66^{\circ}21'$ bis $71^{\circ}13'$ östliche Länge, befindet sich das elfte Untersuchungsgebiet im Distrikt Jakutien. Dabei ist das gesamte Areal in der semihumiden und hochkontinentalen polaren Zone lokalisiert (SIEGMUND 2014). Es wurden Tagestemperaturen zwischen 222 Kelvin und 302 Kelvin gemessen (COPERNICUS 2017). Umgeben wird dieses, im Kolyma-Tiefland gelegene Areal, im Norden von der Ostsibirischen See mit den Medweschi-Inseln, im Osten vom Anjuigebirge und im Süden vom Oloigebirge. Im Norden prägen der Kolyma, der Omolon sowie der Maly Anjuj mit permanenten Gewässerflächen die Landschaft (YAMAZAKI et al. 2017; ZANAGA et al. 2021). An dessen Küsten wurde krauthaltiges Sumpfgebiet klassifiziert, das mit Verlauf nach Süden für Gras- und Waldflächen weicht. In sehr geringem Maß sind Flächen mit spärlicher Vegetation, Moose und Flechten sowie Strauchlandschaften (HANSEN et al. 2013; ZANAGA et al. 2021) im dazu sehr Permafrost reichem Gelände vertreten (OBU et al. 2018). Im Westen ist der Anteil an Thermokarst-Permafrost sehr hoch. Dieser nimmt Richtung Osten in moderate Verhältnisse ab. Dazu ist in diesem Areal kontinuierlicher periglazialer Permafrost erkannt worden (FRENCH 1996).

2.1.11 Untersuchungsgebiet 12

Bei den Koordinaten $-129^{\circ}91'$ bis $-137^{\circ}63'$ nördliche Breite und bei $64^{\circ}75'$ bis $69^{\circ}96'$ östliche Länge, wurde das zwölfte Untersuchungsgebiet erstellt. Es gehört Großteils zum Northwestern Territory und im westlichsten Teil zum Yukon. Nach SIEGMUND (2014) ist das Areal dem subpolaren und semihumiden Hochkontinentalklima und der nördlichste Teil der polaren Zone

mit humidem hochkontinentalem Klima zugerechnet (SIEGMUND 2014). Dabei schwanken die Tagestemperaturen in einem Wertebereich zwischen 230 Kelvin bis 300 Kelvin. Die Landschaft ist im Westen durch die Brooks Range, im Süden durch das Mackenzie-Gebirge und im Osten durch den Mackenzie River mit Delta geprägt. Der Waldanteil nimmt mit der Höhe ab, ist in den niedrigen Gefilden jedoch sehr hoch (HANSEN et al. 2013; YAMAZAKI et al. 2017). Abgesehen von den Waldgebieten, machen permanente Gewässerflächen und das Grasland den Großteil des Untersuchungsgebietes aus. Strauch- und Buschlandschaften sowie Moose und Flechten machen dazu auch einen weiten Teil des Untersuchungsgebiets aus. Krautreiche Sumpfgebiete sowie spärliche Vegetation sind in geringem Maß vertreten, Schnee- und Eisflächen dahingegen kaum (ZANAGA et al. 2021). Der Permafrostanteil für das gesamte Untersuchungsgebiet ist diskontinuierlich hoch. Der Großteil ist periglazial geprägt, der Thermokarstanteil ist gering (OLEFELDT et al. 2016; FRENCH 1996).

2.2 Flüsse

Für einen differenzierteren Blick auf die Ergebnisse wurden sieben Flusssysteme für die weitere Analyse in Betracht gezogen (siehe Abb. 3). Dabei soll überprüft werden, ob ein Unsicherheitsfaktor bei der Darstellung der Flusssysteme generiert wird, oder ob andere mögliche Faktoren Unterschiede beider Datensätze beeinflussen. Dahingegen wurden Bufferdistanzen von 100 m, 500 m, 5.000 m und 10.000 m ausgewählt. Hiermit soll überprüft werden, wie die Küstenlinien klassifiziert und wie groß die Abweichungen zwischen den Ergebnissen von PEKEL et al. (2016) und PICKENS et al. (2020) dargestellt werden. Die jeweiligen Bufferdistanzen wurden hinsichtlich der Breite der jeweiligen Flüsse ausgewählt.

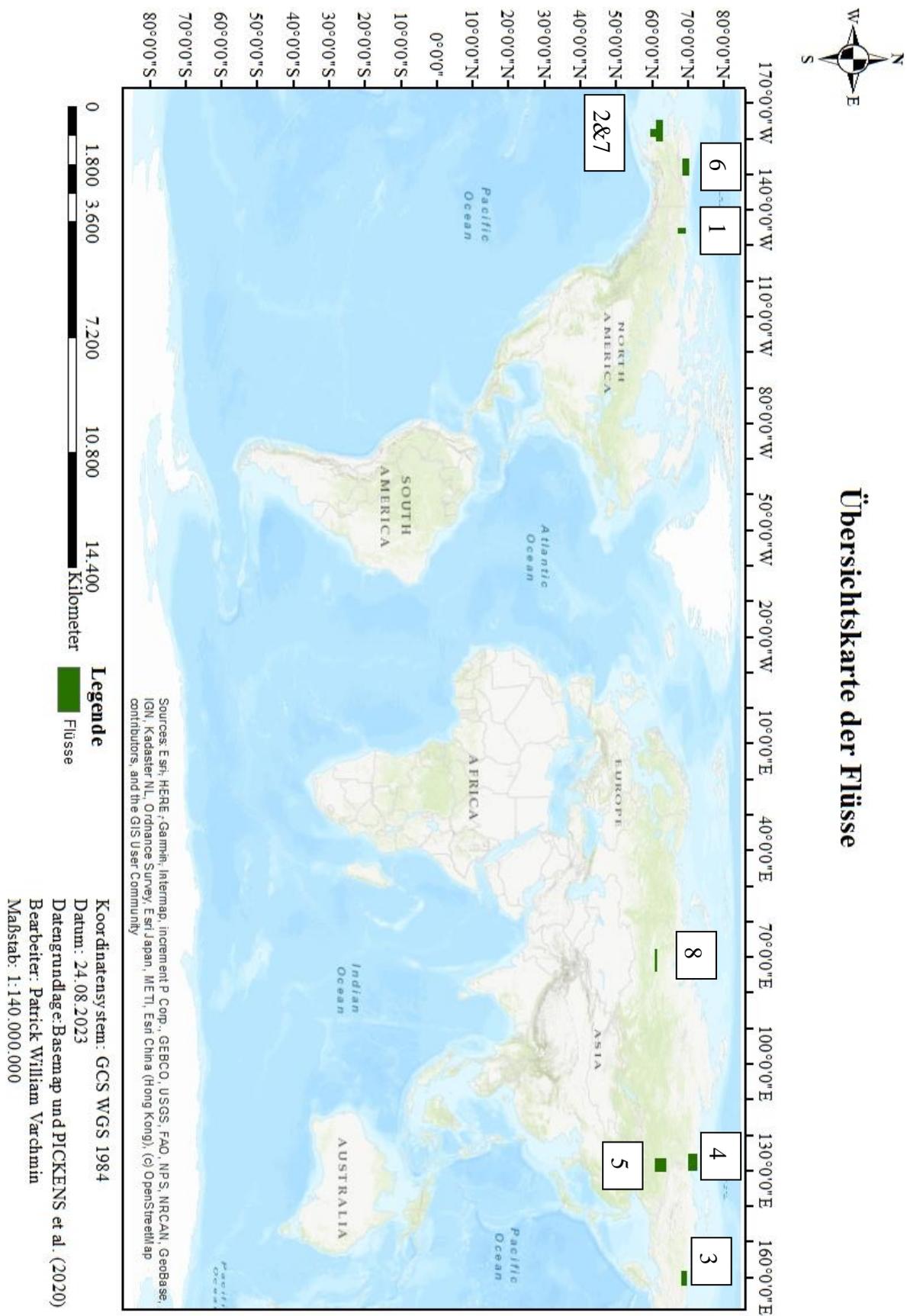


Abbildung 3 Übersichtskarte der Flüsse (Eigene Darstellung 24.08.2023)

2.2.1 Mackenzie River (Buffer 1)

Der Mackenzie River ist im zwölften Untersuchungsgebiet, im kanadischen Teil gelegen. Sein Weg bis zum Delta beträgt ca. 1650 km (ROBINSON 2019). Dabei entspringt er dem Great Slave Lake und endet im arktischen Ozean (COPERNICUS 2020). Sein Gesamtsystem wird auf eine Länge von 4241 km geschätzt (MARSH 2016). Somit durchfließt er mit seinen Nebenflüssen ein Fünftel der Fläche Kanadas (COPERNICUS 2020). Dazu gehört ein Einzugsgebiet von ca. 1.805.200 km², was in etwa der Fläche von Mexiko entspricht. Somit ist das Mackenzie River System, hinter dem Mississippi-Missouri-System, das zweigrößte Flusssystem Kanadas (ROBINSON 2019).

2.2.2 Kuskokwim River (Buffer 2)

Mit einer Länge von 1.130 km (STUBY 2007), ist der Kuskokwim River der zweitgrößte Wasserlauf des Bundesstaats Alaska. Dabei entspringt er aus den Kuskokwim Mountains und verläuft in südwestlicher Richtung bis zur Beringsee. Das Flusssystem befindet sich in einer abgelegenen Region mit mehreren Dörfern und wenigen Straßen. Bekanntheit erlangt dieses Gebiet durch den Fischerei-Sport (ALASKA DEPARTMENT OF FISH AND GAME 2023). Der analysierte Teil des Flusssystems befindet sich im Untersuchungsgebiet Nr. 5.

2.2.3 Kolyma (Buffer 3)

Der Kolyma ist mit einer Länge von 2.129 km und einem Einzugsgebiet von ca. 647.000 km² einer der größten Flüsse Nordasiens. Er entspringt dabei dem Kolyma- und Werchojansker Gebirgszug und mündet in die Ostsibirischen See. Bezüglich seiner Großteils unbesiedelten Natur und der kaum vorhandenen Besiedlung angrenzend des Flusses (MOCHALOVA und FRISOV 2008), wurde der Kolyma als eines der Untersuchungsgebiete auserkoren. Die analysierte Fläche befindet sich ausschließlich im Untersuchungsgebiet 11.

2.2.4 Lena River (Buffer 4 (Nord) und Buffer 5 (Süd))

Innerhalb des dritten sowie des vierten Untersuchungsgebietes, ist die Lena gelegen. Sie entspringt dem nördlichen Transbaikalischen Gebirge (TANANAEV et al. 2016), südlich der Mittelsibirischen Hochebene und westlich des Baikalsees. Von dort aus geht die Fließrichtung Richtung Nordost bis in den Laptew See und in den Arktischen Ozean. Die Lena ist mit einer Länge von ca. 4.400 km, der zehnt längste Fluss der Welt und drittlängste Fluss Sibiriens (AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY 2022). Dabei beläuft sich das Einzugsgebiet auf 2.430.000 km² (TANANAEV et al. 2016). Mit einer jährlichen Gesamtabflussmenge von 527 km³/ Jahr, ist die Lena in dieser Hinsicht auf dem achten Platz im weltweiten Vergleich, obwohl sie von Oktober bis Mai zugefroren ist (SHIKLOMANOV et

al. 2006). Während der restlichen vier Monate kann es zu Überschwemmungen kommen, trotz des teils 10 km breiten Flusstals. Angrenzend an die Region um die Lena, leben ca. 150.000 Einwohner* innen. Dazu wird die angrenzende Fläche für den Anbau von Gerste, Hafer, Weizen, Kartoffeln und Gurken sowie für die Viehzucht genutzt (AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY 2022).

2.2.5 Colville River (Buffer 6)

Der Colville River entspringt aus dem Zusammenfluss des Thunder und dem Storm Creeks am Nordhang des DeLong Gebirgszugs (ALASKA.ORG 2023). Von da fließt er insgesamt über 563 km (ALASKA GUIDE CO 2023), zuerst Richtung Norden, anschließend verläuft seine Bahn Richtung Osten in das Colville-Delta bis in die Beaufort Sea (ALASKA WILDERNESS LEAGUE 2022). Seine Bahn wird mit der Nähe zum Delta immer breiter, da er von verschiedenen Nebenflüssen gespeist wird. Auch Hochwasser, durch das Auftauen von Eis, ist im Frühjahr Normalität (ALASKA.ORG 2023). Das dazugehörige betrachtete Abteil befindet sich im Untersuchungsgebiet Nr. 6.

2.2.6 Yukon-Kuskokwim-Delta (Y-K-Delta, Buffer 7)

Das Yukon-Kuskokwim-Delta wird im Untersuchungsgebiet 5 aufgeführt. Dabei wird nur ein möglicher Flussverlauf betrachtet, da dieses Gebiet ein zu großes Ausmaß an Möglichkeiten der Flussläufe aufweist. Insgesamt umfasst dieses Gebiet eine Fläche von über 194.249 km², was in etwa der Größe des Bundesstaates Oregon entspricht. Dazu umfasst dieses Areal 58 ländliche Gemeinden mit zusammengerechnet ungefähr 23.000 Einwohner* innen (YUKON-KUSKOKWIM HEALTH CORPORATION 2018), darunter die indigenen Völker der Yup'ik und der Cup'ik. Somit gehört diese Region zu den am dichtest besiedelten Gebieten Alaskas. Neben der dichten Besiedlung durch den Menschen, ist hier eine der größten Ansammlungen von Wasservögeln zu bestaunen. Mit der reichhaltigen Natur ist dieses Gebiet ein Lebensraum für Schwarzbären, Karibus und Moschusochsen. Dazu befindet sich hier eines der wichtigsten Laich- und Aufzuchthabitate pazifischer Lachsarten (U.S. FISH And WILDLIFE SERVICE 2023).

2.2.7 Ob (Buffer 8)

Das Flussnetz des Ob ist eines der größten und weitverzweigtesten unserer Erde. Mit einer Länge von über 3.600 km (WWF/TNC 2019), ist er maßgebend prägend für die Landschaftsgestaltung des ersten und zweiten Untersuchungsgebietes. Wird der Irtysh dazugerechnet, wäre dieser Fluss mit seinen über 5.400 km Länge, der siebtgrößte Fluss der Erde. Er entspringt dem Altaigebirge durch den Zusammenfluss des Biya und des Katun und mündet in das Ob-Delta (MICKELIN et al. 2018). Hinter der Insel Bulshiya Yary, verläuft der Weg in die Karasee (WWF/TNC 2019). 85 % des Ob-Beckens gehört zur Westsibirischen Tiefebene. Der südliche Teil ist geprägt durch Hochlagen von unter anderem dem Altaigebirge und dem Kuznetsk-Alatau-Gebirge (MICKELIN et al. 2018). Wegen der geringen Steigung im Westsibirischen Tiefland ist auch der Abfluss gering. Somit kommt es regelmäßig zu Überschwemmungen durch zum Beispiel Schmelzungen und Niederschläge. Während der Springflut überschreiten diese Überschwemmungsflächen 40 km bis 50 km. Diese Eigenschaft prägt auch die landschaftlichen Gegebenheiten. Aufgrund der Überschwemmungszonen ist die gesamte Region um den Fluss sehr sumpfig. Teilweise bildeten sich sogar einige Sumpf- oder Überschwemmungsseen (WWF/TNC 2019). Das Flussnetz breitet sich immer weiter aus, weshalb das Einzugsgebiet von 2.957.000 km², das sechstgrößte der Erde ist (MICKELIN et al. 2018).

3. Methodik

In dieser Masterarbeit wurde mit den Programmen „*Google Earth Engine*“ (GORELICK et al. 2017), „*ArcMap 10.8.1*“ (ESRI 2021) und „*Microsoft Excel*“ (RENTZ 2008) gearbeitet. Eine Zusammenfassung der einzelnen Verarbeitungsschritte wird in Abbildung 4 aufgezeigt. Zu Beginn wurden die Daten von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) in der Cloudumgebung „*Google Earth Engine*“ (GEE) geladen und hinsichtlich ihrer Ergebnisse zur Oberflächengewässerklassifikation zwischen 2000 und dem Jahr 2020 visuell dargestellt. Anschließend mussten beide Daten für den Vergleich homogenisiert und der Datensatz von PICKENS et al. (2020) klassifiziert werden. Daraufhin wurde eine Konfusionsmatrix erstellt, um die Veränderungen pro Jahr festzustellen. Nachfolgend wird eine detailliertere Beschreibung der einzelnen Arbeitsschritte und der betrachteten Datensätze gegeben.

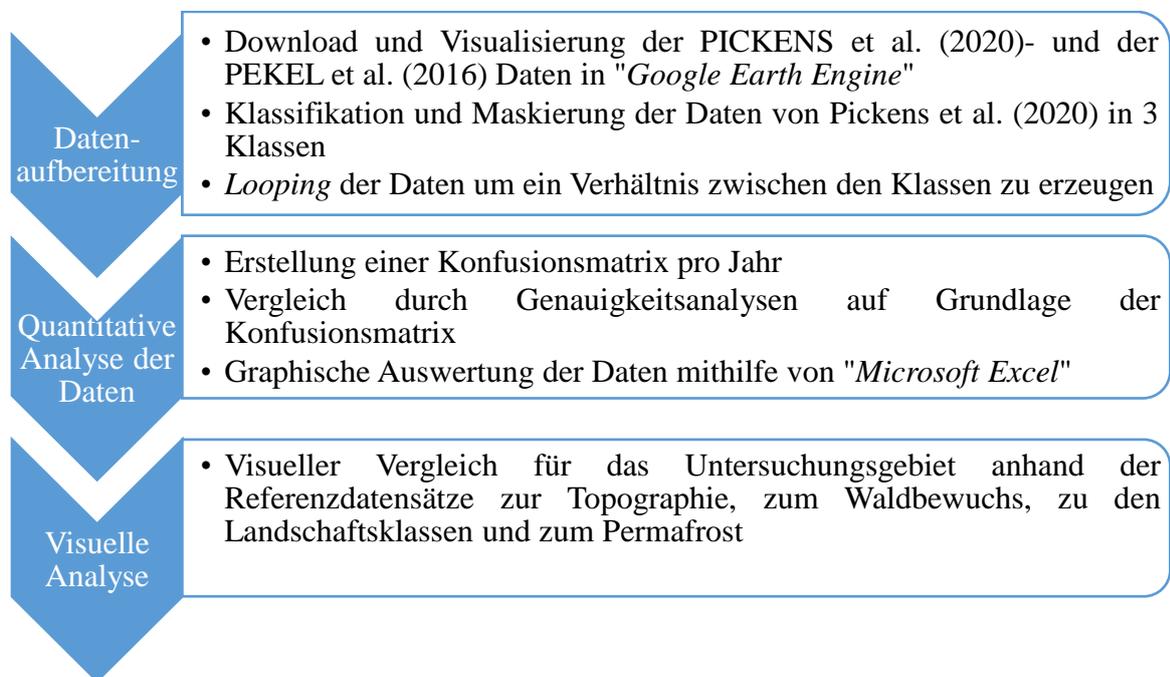


Abbildung 4 Visualisierung des Vorgehens (Eigene Darstellung 24.04.2023)

3.1 Grundlagen der Fernerkundung

Für die Bearbeitung dieser Masterarbeit wurden hauptsächlich Datensätze aus dem Anwendungsbereich der Fernerkundung verwendet. Diese befasst sich mit der Akquise und Analyse von (multitemporalen) flugzeug- und satellitenbasierten (globalen) Bilddaten (BLASCHKE 2002). Erste fernerkundungsbasierte Aufnahmen wurden schon seit Ende der 1850er Jahre, in Form von Ballonaufnahmen, vorgenommen (HEIPKE 2017). Seitdem verbesserte sich die Datengrundlage aufgrund des technischen Fortschritts. Während der Testmissionen für die Apollo-1 Mission wurden zum ersten Mal Fotos von der Landoberfläche der Erde aus dem Weltraum aufgenommen. Dieser Meilenstein gilt als erste Anregung für das Landsat-Programm. Im Jahr 1966 überzeugte das *U.S. Geological Survey* (USGS) das amerikanische Innenministerium ein eigenes Satellitenprogramm zur Erdbeobachtung aufzustellen. So startete im Jahr 1972 das Landsat-Programm mit dem Satelliten ERST-1 (USGS 2023). Mit fortschreitendem Entwicklungsprozess entwickelten sich immer weitere Generationen an Landsat-Systemen. So wurde unter anderem die räumliche Auflösung von anfänglich $80\text{ m} \times 80\text{ m}$ Pixelkantenlänge, auf $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ verbessert. Dazu steigerte sich die zeitliche Abdeckungsrate mit einer höheren Anzahl an Satelliten im Orbit. Heute bietet das Landsat-Programm eine umfangreiche Sammlung digitaler Bilder von der Erdoberfläche und ist dazu die längste ununterbrochene weltraumgestützte Datenaufzeichnung der Landoberfläche. Eine Datenlücke entstand dennoch, da es bei Landsat 6 zu einem Fehlstart kam. Trotzdem ist die Landsat-Datenreihe die bedeutendste Sammlung an Fernerkundungsaufnahmen, mithilfe derer natürliche und anthropogen verursachte Veränderungen und Folgen detektiert und beschrieben werden können. Die Landsat-Systeme verwenden passiv-optische Sensoren, welche die von der Erdoberfläche reflektierte elektromagnetische Strahlung messen (GOWARD et al. 2017). Je nach spektraler Eigenschaft können die verschiedenen Landschaftstypen unterschieden werden (siehe Abb. 5). Vegetation zeichnet sich dabei mit einer hohen Rückstrahlung aus. Dies kann aber je nach Vegetationstyp, wie Nadel-, Laub- oder Mischwald variieren (GAO et al. 2005). Eine weitere Unterteilung kann auf Grundlage der spektralen Bänder des Landsat-Systems und den daraus variierenden Wellenlängen ausgeführt werden (GOWARD et al. 2017). Landschaftstypen mit einer geringen Rückstrahlungsfähigkeit werden als „Gewässerflächen“ bezeichnet (ROERINK et al. 2000). Auf Grundlage dessen können verschiedene Klassifikationen ausgegeben werden. Dabei kann anhand hyperspektraler Signaturen auch eine Messung der Wasserqualität stattfinden. Je nach Eutrophierungsgrad ändert sich das Algenwachstum und somit der Albedo-Wert. Auch Überschwemmungen und Feuchtgebiete können detektiert werden. Bei Feuchtgebieten wird

dies jedoch durch die zusätzliche Biomasse erschwert. Überschwemmungen sind dabei zeitlich variabel und benötigen eine hohe räumliche Auflösung um die Ausmaße zu analysieren (GOVENDER et al. 2007).

Auch in dieser Masterarbeit ist das Landsat-Programm von maßgeblicher Bedeutung. Die Datensätze von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) basieren jeweils auf Aufnahmen aus diesem Programm. Dazu ist die Klassifikation der Gewässergebiete ein wichtiger Grundstein dieser Masterarbeit. Auch die Referenzdaten, wie von HANSEN et al. (2013) wurden auf Grundlage von Landsat-Daten erstellt.

Für die Erstellung der Karten wurde das Programm „ArcMap 10.8.1“ verwendet (ESRI 2021). Dieses Programm diente dem Zweck, Karten aus den erhobenen Daten zu generieren. Dafür wurden die dazugehörigen Daten von „Google Earth Engine“ exportiert, in „ArcMap 10.8.1“ hineingeladen, umformatiert und visualisiert.

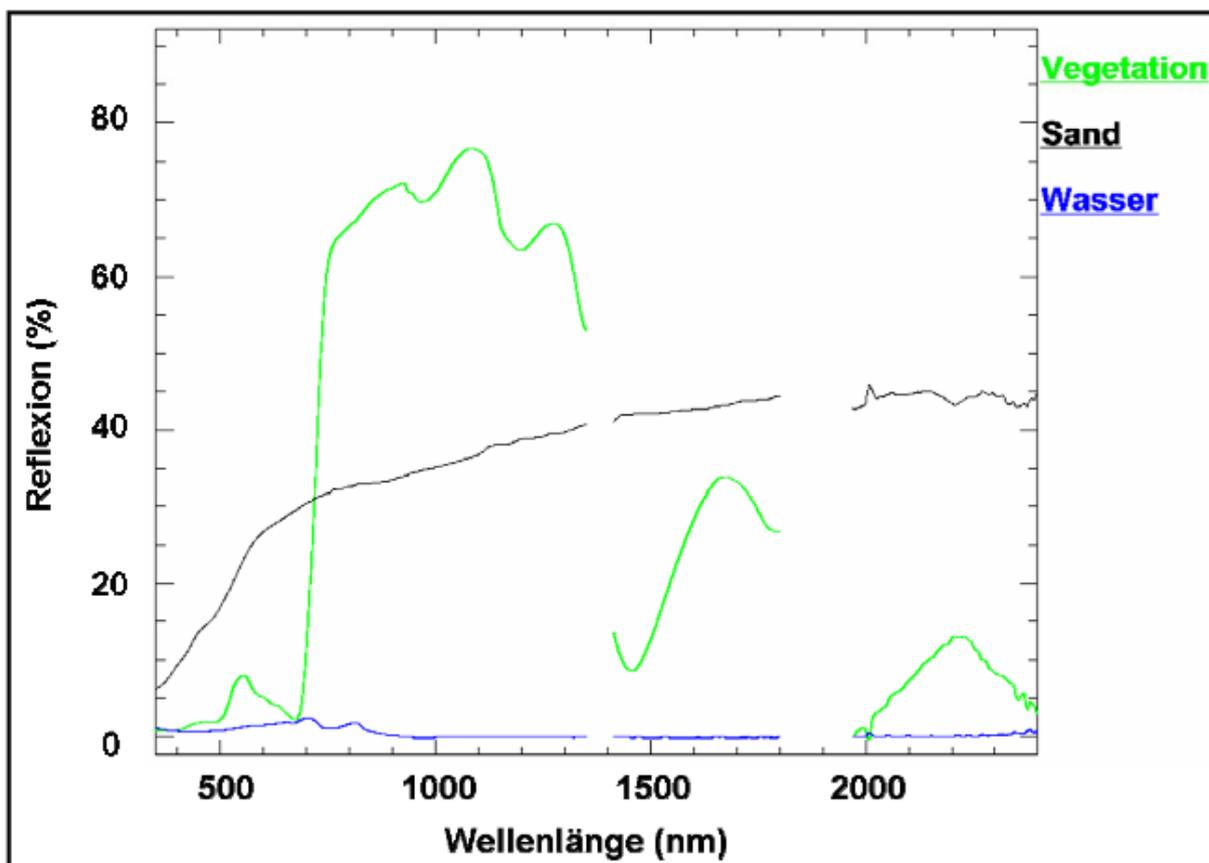


Abbildung 5 Spektrale Signaturen von grüner Vegetation, vegetationsfreiem Boden (Sand) und Wasser (ULRICH 2006)

3.2 Datensätze

In dieser Masterarbeit werden die Datensätze von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) hinsichtlich ihrer Differenzen der Oberflächengewässerdatenanalyse in den arktischen Permafrostgebieten untersucht, wie in Kapitel 3.3 beschrieben. Es folgt eine Erläuterung der wichtigsten Datensätze. Neben den schon erwähnten Datensätzen von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) wurden das „*MERIT DEM*“ von YAMAZAKI et al. (2017), der „*Global Forest Change*“-Datensatz von HANSEN et al. (2013), der „*ESA WorldCover 10 m 2020 v100*“-Datensatz von ZANAGA et al. (2021) und der Permafrost-Datensatz von OBU et al. (2018) in die Analyse integriert. Dabei wird visuell überprüft, wo sich Unterschiedsflächen befinden und welcher Datensatz diese am besten beschreibt.

3.2.1 Wasserdatensatz PICKENS et al. (2020)

PICKENS et al. (2020) beschäftigte sich mit der Quantifizierung von Ausdehnungen und Veränderungen der globalen Binnenoberflächengewässer ab dem Jahr 1999. Dafür wurden mehrere Millionen Landsat 5, 7 und 8 Szenen bezüglich Wasser und Land klassifiziert und in einer Zeitreihenanalyse zusammengefasst. Für die Erstellung der Klassen wird auf das Prinzip der „*classification trees*“ zurückgegriffen. Hierbei kommt es zu einer Regression und anschließender Klassifikation des Anteils der Wasserbedeckung pro Pixel. So wird ab einem Oberflächenwassergehalt von 50 %, Wasser dargestellt. Unterschreitet dieser Wert die 50 %, erfolgt eine Klassifizierung als Landfläche (PICKENS et al. 2020). Für die Zeitreihenanalyse wird angenommen, dass permanente Gewässerflächen zu über 89 % des Zeitraums als solche dargestellt werden. Saisonale Gewässerflächen wurden als Bereiche definiert, welche zwar Wasserflächen aufzeigen, diese aber nicht beständig sind. So wird der Pixel als solches dargestellt, wenn der Gewässeranteil über den betrachteten Zeitraum über 10 % und unter 90 % liegt. Unterschreitet dieser Wert die 10 % wird dieser Pixel als Landfläche klassifiziert. Auf Grundlage dieses Systems konnten Karten erstellt werden, welche jegliche interannuellen und intraannuellen Dynamiken von Oberflächengewässern zeigen. Infolgedessen wurden eine Wahrscheinlichkeitsstichprobe und eine Referenzreihenklassifizierung von Land und Wasser erstellt, um die Genauigkeit der Klassen zu prüfen. Darin integriert werden unter anderem der „*Global Multi - Resolution Terrain Elevation*“-Datensatz von USGS (2010) für die Höhenlagen nördlich und „*Elevation SRTM*“-Daten für Höhenlagen südlich von 60° nördliche Länge, um die Datenanalyse in Gebirgen zu verbessern. Ein Vergleich erfolgt in Anbetracht durch Referenzdaten aus „*RapidEye imagery*“-Daten und *Landsat*-Szenen. Saisonalitäten werden dabei auf Basis der RGB-Bilder ermittelt, wobei Gewinn- und Verlustflächen detektiert werden können (PICKENS et al. 2020).

Anhand der Daten stellte sich heraus, dass zwischen 1999 und 2018, 2,93 Mio. (Standardfehler $\pm 0,09$) km² von permanenten Oberflächengewässern bedeckt waren. Dazu wurde auch ein Wasserverlust von ca. 138.011 (± 28.163) km² und eine Zunahme von schätzungsweise 53.154 (± 10.883) km² erkannt. Der geschätzte Anteil an saisonaler Fläche liegt bei ungefähr 10,9 % ($\pm 1,9$ %) des globalen Binnenoberflächenwassers in gemischten Pixeln mit Landsat-Auflösung, was eine Fläche von 950.719 (± 104.034) km² bedeutet. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass eine zeitliche Überwachung der Oberflächendynamiken von Nöten ist, um die Komplexität der Daten zu erfassen (PICKENS et al. 2020). Die Karten von PICKENS et al. (2020) werden vom Global Land Analysis and Discovery (GLAD) Labor der Universität von Maryland unter folgendem Link bereitgestellt: <https://glad.geog.umd.edu/dataset/global-surface-water-dynamics>

3.2.2 Datensatz zum Wasservorkommen von PEKEL et al. (2016)

Die Arbeiten von PEKEL et al. (2016) beschäftigen sich mit der Lage und Saisonalität von Wasserflächen. Hierbei wird anhand von Dreimillionen Landsat-Szenen und einer Auflösung von 30 m \times 30 m, die Veränderung des globalen Oberflächenwassers quantifiziert. Damit konnten Daten bezüglich des Wasservorkommens erfasst und hinsichtlich nach dessen Saisonalität für jeden Monat seit 1984 analysiert werden. Dabei wurde ähnlich wie bei PICKENS et al. auf „*classification trees*“ zurückgegriffen und mit der spektralen Klasse überprüft, ob Wasser vorliegt oder nicht. Dies erfolgt mithilfe von Trainingsdaten und einer „*Maximum-Likelihood-Klassifikation*“. Mit diesem Algorithmus konnte somit für jede Landsat-Szene, „Wasser“ und „Kein Wasser“ klassifiziert sowie modelliert werden. So sind laut PEKEL et al. (2016) zwischen den Jahren 1984 und 2015, 90.000 km² an permanenten, globalen Oberflächenwassern verschwunden, was in etwa dem Lake Superior entspricht. Mehr als 70 % der Verlustflächen konnten dabei auf den Nahen Osten und Zentralasien verzeichnet werden (PEKEL et al. 2016). Gründe dafür sind Dürre und anthropogene Faktoren (MICKELIN 2016; ZAFARNEJAD 2009). Zur gleichen Zeit kam es zu einer Neubildung von 184.000 km² an globalen permanenten Oberflächengewässern. Dabei ist auffällig, dass auf jedem Kontinent, mit Ausnahme von Ozeanien, ein Nettozuwachs an ständigen Gewässern generiert wird (PEKEL et al. 2016). Ein Teil des Anstiegs kann auf eine anthropogene Komponente, in Form vom Auffüllen von Stauseen oder den Klimawandel zurückzuführen sein (LUTZ et al. 2014). Somit zeigt dieser Datensatz die Auswirkungen des Klimawandels (PEKEL et al. 2016). Auf folgendem Link können die Karten von PEKEL et al. (2016) heruntergeladen werden: <https://global-surface-water.appspot.com/map>

3.2.3 MERIT DEM von YAMAZAKI et al. (2017)

Eine Möglichkeit zur Detektion von Differenzen zwischen den Datensätzen von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016), erfolgt mit dem „MERIT DEM“-Datensatz von YAMAZAKI et al. (2017). Dieser Datensatz gibt Höhendaten mit einer Auflösung von 3“ (~ 90 m am Äquator) für den gesamten Globus an und beinhaltet dabei auch kritische topografische Merkmale in der Landschaft, wie Flussnetze und Hügel-Tal-Strukturen. Die dazugehörigen Daten entstammen aus verschiedenen Quellen, wie dem „NASA SRTM3 DEM v2.1“-Datensatz der NASA, dem „JAXA AW3D - 30 m DEM v1“-Datensatz von der Japan Aerospace Exploration Agency und dem von FERRANTI und HORMANN (2022) erstellten „Viewfinder Panoramas DEM“-Datensatz. Jegliche Höhenfehler aus den Original-DEMs wurden von den tatsächlichen Topographiesignalen getrennt und mit einer Kombination aus Satellitendatensätzen und verschiedenen Filtertechniken entfernt. Somit weist das „MERIT DEM“ von YAMAZAKI et al. (2017) eine höhere Genauigkeit auf als vorherige Höhenmodelle (YAMAZAKI et al. 2017). Für den Vergleich mit den Unterschiedsflächen zwischen PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) werden keine absoluten Zahlen benötigt. Jedoch wird untersucht, ob mithilfe der Höhenlinien markante Formen erkennbar sind. Inwieweit dieser Datensatz mögliche Fehlerindikatoren zwischen den Datensätzen von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) beschreibt, wird in den Kapiteln 4 und 5 aufgezeigt.

3.2.4 Global Forest Change v1.9 (2000-2021) von HANSEN et al. (2013)

Zur weiteren Überprüfung der Unterschiedsflächen innerhalb der Untersuchungsgebiete, wurde unter anderem der „Global Forest Change“-Datensatz von HANSEN et al. (2013) verwendet. Basierend auf Landsat-Daten und der dazugehörigen räumlichen Auflösung von 30 m × 30 m, wird der Vegetationsgehalt sowie der Vegetationsgewinn- und Vegetationsverlust pro Jahr für jedes Pixel auf der gesamten Erde berechnet. Zur Detektion dienen sogenannte „Alarmpixel“, die Veränderungen des Vegetationsgehaltes ab 50 % pro Pixel ermitteln. So sinkt der Vegetationsgehalt bei einer Rodung des Gebietes, was den Pixel verändert und es wird Waldverlust kategorisiert. Aufgrund dieser Pixel können sich leicht Verlust-, sowie Gewinnflächen identifizieren lassen. Gründe für die Veränderungen des Vegetationsgehaltes werden jedoch nicht angezeigt (HANSEN et al. 2013). Auf Basis des Bands „treecover2000“ wird überprüft, ob Unterschiedsflächen mithilfe des „Global Forest Change“-Datensatz von HANSEN et al. (2013) erkannt werden können und ob der Vegetationsgehalt ein möglicher Fehlerindikator ist.

3.2.5 ESA WorldCover 10 m 2020 v100 von ZANAGA et al. (2021)

Des Weiteren wurde auch der „ESA WorldCover 10 m 2020 v100“-Datensatz von ZANAGA et al. (2021) verwendet. Um eine hochauflösende Darstellung der globalen Landbedeckung zu generieren, initiierte die Europäische Weltraumorganisation (ESA) das „WorldCover“-Projekt. Dieses zeigt mit einer räumlichen Auflösung von 10 m × 10 m, 11 verschiedene Landschaftsklassen, wie zum Beispiel „spärliche Vegetation“ oder „Schnee und Eis“. Die Generierung der Ergebnisse erfolgt auf Basis von Sentinel-1- und Sentinel-2-Daten und wird für das Jahr 2020 angezeigt. Die Gesamtgenauigkeit der Werte liegt bei 76,7 %. Mit stetigem Fortschritt der Datenverarbeitung, wird der Algorithmus immer weiter verbessert (ZANAGA et al. 2021). Anhand dieser Daten kann visuell und mathematisch beobachtet werden, in welchen Klassen Unterschiedsflächen vorliegen und ob diesbezüglich ein Trend existiert.

3.2.6 Permafrost-Datensatz von OBU et al. 2018

Zuletzt werden die Ergebnisse mit dem „UiO_PEX_PERPROB_5.0_20181128_2000_2016_NH“-Datensatz von OBU et al. 2018 verglichen. Dieser Datensatz modelliert mit einer räumlichen Auflösung von 1 km × 1 km die mittlere jährliche Bodentemperatur an der Oberfläche des Permafrosts in der nördlichen Hemisphäre. Anhand dieser Werte wird die Permafrostwahrscheinlichkeit von 0 bis 1 für jedes Pixel ermittelt. So konnte nachgewiesen werden, dass 15 % der Landfläche der nördlichen Hemisphäre mit Permafrost bedeckt ist (OBU et al. 2018). Alle Untersuchungsgebiete weisen einen erhöhten Permafrostgehalt auf, jedoch sind lokale Variationen erkennbar. Auf Grundlage dieses Datensatzes wird geprüft, ob dieser Unterschiedsflächen zwischen PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) aufzeigt und ob diesbezüglich ein Trend hinsichtlich des Permafrostgehalts vorliegt.

3.3 Vorgehen

Diese Masterarbeit befasst sich mit dem Vergleich der Oberflächengewässerdynamik-Datensätze von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) in arktischen Permafrostgebieten. Wie in Abb. 4 beschrieben, wurden die Datensätze in „Google Earth Engine“ eingeladen und visualisiert. Daraufhin folgen die Prozessierung und Homogenisierung der Werte, um diese in einer geeigneten Form darzustellen. Mit der anschließenden Genauigkeitsanalyse soll ein Vergleich zwischen den Datensätzen von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) gezogen werden. Daraufhin wurden die Ergebnisse in „Microsoft Excel“ ausgewertet. Für eine tiefgehende Analyse werden Unterschiedsflächen zwischen den

Datensätzen generiert und mit dem „*MERIT DEM*“ von YAMAZAKI et al. (2017), den „*Global Forest Change*“-Datensatz von HANSEN et al. (2013), der „*ESA WorldCover 10 m 2020 v100*“-Klassifikation von ZANAGA et al. (2021) und dem „*UiO_PEX_PERPROB_5.0_20181128_2000_2016_NH*“-Datensatz von OBU et al. (2018) verglichen. Unterschiedsflächen sind Bereiche, in denen die Datensätze von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016), ungleiche Klassifikationen hinsichtlich des Anteils der Wasserbedeckung pro Pixel aufweisen. Das Vorgehen wird im entsprechenden Skript von „*Google Earth Engine*“ detailliert erläutert und ist unter folgendem Link abrufbar: <https://code.earthengine.google.com/d48faf701f283538f1be136fa49ba570>

3.3.1 Google Earth Engine

Die Bearbeitung und Analyse der Daten wurde hauptsächlich mithilfe des Computerprogramms „*Google Earth Engine*“ unternommen. Hierbei erfolgt die Verarbeitung der Datensätze auf Grundlage eines „*Java Scripts*“ (GORELICK et al. 2017).

Im ersten Schritt wurden die Datensätze von PICKENS et al. (2020) und von PEKEL et al. (2016) in der „*Google Earth Engine*“ geladen und visualisiert. Da PICKENS et al. (2020) eine andere Einteilung der Werte vorweist als PEKEL et al. (2016), mussten die Daten zuerst harmonisiert werden. Auf Basis der Daten von PEKEL et al. (2016) wurden 3 Klassen erstellt (siehe Tab.1). Eine Anleitung dazu wird in PICKENS et al. (2020) bereitgestellt. Somit werden Daten mit einer in PICKENS et al. (2020) berechneten „*water occurrence*“ von 1 % bis 9 % als Klasse 1 (Land) klassifiziert. Beim Wertebereich von 10 % bis 89 % wird von „*saisonalen*“ Wasserflächen gesprochen (Klasse 2). Das sind Areale, welche nicht zu jeder Zeit von Wasser, sondern zum Beispiel durch jahreszeitliche Gegebenheiten oder nur nach bestimmten Wetterereignissen, wie Starkregen und daraus folgende Überschwemmungen, bedeckt sind. Ab einer „*water occurrence*“ von 90 % werden „*permanente*“ Wasserflächen, wie Flüsse und Seen, als Klasse 3 klassifiziert (PICKENS et al. 2020, PEKEL et al. 2016). Da PEKEL et al. (2016) jedoch einige Flächen ausmaskiert haben, wurden nochmal Änderungen bei der Unterteilung von PICKENS et al. (2020) vorgenommen, sodass beide Datensätze in homogenisierter und visueller Form angezeigt werden können. Als nächsten Schritt wurden die beiden Datensätze miteinander verknüpft, um ein Verhältnis von Wasserbedeckung zur wasserfreien Zeit zu generieren. Dabei wird ein Wertebereich von -1 bis +1 ausgewählt, wobei -1 und +1 die Unterschiedsflächen und der Wert 0, Flächen mit gleicher Klassifizierung aufzeigen. Diese Einteilung setzte sich daraus zusammen, dass die Datensätze von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) in drei Klassen gegliedert wurden (siehe auch Kapitel 3.2.1). Ist die

Kategorie bei PICKENS et al. (2020) numerisch höher als bei PEKEL et al. (2016), so wird diese, als „-1“ bezeichnet. Dies bedeutet, wurde bei PEKEL et al. (2016) die Klasse 1 „Land“ klassifiziert, muss bei PICKENS et al. (2020) zwangsläufig die Klasse 2 „Saisonal“ oder die Klasse 3 „Permanent“ angezeigt werden. Bei dem Umgekehrten Fall, dass also die Kategorie bei PEKEL et al. (2016) höher angeordnet ist als bei PICKENS et al. (2020), so wird diese Fläche mit „+1“ betitelt. Weisen beide Datensätze ein identisches Ergebnis auf, so wird dieser Bereich als „0“ klassifiziert. Für eine weitere Analyse der Datensätze werden hauptsächlich Unterschiedsflächen analysiert. Diese sind definiert als Areale, welche unterschiedliche Klassifikationen hinsichtlich des Oberflächenwassergehaltsvergleichs zwischen PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) aufweisen.

Tabelle 1 Klasseneinteilung nach PICKENS et al. (2020) (Eigene Darstellung 24.04.2023)

Klasse	Prozentualer Anteil von Wasserflächen pro Pixel	Kategorie
1	1 % - 9 %	Land
2	10 % - 89 %	Saisonal
3	90 % - 100 %	Permanent

Für eine detailliertere Analyse wurden 12 annähernd identisch große Untersuchungsgebiete ausgewählt, die den gesamten arktischen Permafrostbereich repräsentieren sollen (siehe Kapitel 2). Innerhalb der 12 Regionen werden der Mackenzie River, der Kuskokwim River, das Yukon-Kuskokwim-Delta, der Colville sowie der Kolyma, der Ob und die Lena gesondert als Linienpolygone betrachtet, da diese die Hauptflüsse der Untersuchungsgebiete darstellen. Für die Analyse der Daten jedes Untersuchungsgebietes und der wichtigen darin lokalisierten Flusssysteme wurden verschiedene Genauigkeitsanalysen mit „*Bufferdistanzen*“ von 100 m, 500 m, 5.000 m und 10.000 m vorgenommen. Als ein „*Buffer*“ wird eine „Zone von bestimmtem Ausmaß um ein Objekt wie einen Punkt, eine Linie oder Polygon“ (KAPPAS 2001, S.256) definiert. Diese Untersuchung dient dazu einen genauen Überblick der ufernahen Daten zu generieren, da hier Unterschiedsflächen vermutet werden. Dazu sind Flüsse dynamische Systeme, die häufig ihren Flusslauf ändern und somit anfällig für Fehlklassifikationen sind. Sämtliche „*Bufferdistanzen*“ wurden dahingehend ausgewählt, Uferbereiche gesondert zu untersuchen, da diese aufgrund der hydrologischen Bedingungen ein erhöhtes Risiko für Differenzen in den Datensätzen darstellen (PEKEL et al. 2016). Dafür

musste zuerst eine „list“ erstellt werden, in der alle Werte eingetragen sind. Anschließend wurden die Daten zum Vergleich mit Hilfe einer „loop“ innerhalb der verschiedenen Klassen, für den Zeitraum von 2000 bis zum Jahr 2020, miteinander kombiniert. Dabei sollten die jeweils räumlich an derselben Stelle liegenden Pixel der zwei Produkte miteinander verglichen werden. Daraus wurde für jedes Untersuchungsgebiet eine Konfusionsmatrix erstellt. Aus dieser folgt die statistische Untersuchung in Form der Genauigkeitsanalysen. Anschließend sollten Gründe für die Unterschiede erörtert werden.

3.3.2 Genauigkeitsanalyse

Für die Darstellung der Ergebnisse wurde das Programm „Microsoft Excel“ verwendet. Dabei handelt es sich um eine seit Juni 2001 existierende Standard-Software, welche sich mit der Verarbeitung und Visualisierung von Daten beschäftigt (RENTZ 2008). In dieser Masterarbeit dient dieses Computerprogramm hauptsächlich zur Sortierung und Darstellung der Werte. Nach Export der Daten wurden jene in „Microsoft Excel“ eingeladen und in der Genauigkeitsanalyse nach „Accuracy“, „Precision“, „Recall“, „F1“, „Consumer's Accuracy“, „Producer's Accuracy“, „Kappa“, „Producer Accuracy class 1“, „Producer Accuracy class 2“, „Producer Accuracy class 3“, „User Accuracy class 1“, „User Accuracy class 2“, „User Accuracy class 3“ und „Overall Accuracy“ eingeteilt und ausgewertet. Dafür wurden verschiedene Schoeller-Diagramme erstellt. Diese dienen nicht nur zur Auswertung der einzelnen Parameter, sondern werden auch zum Vergleich zwischen den Untersuchungsgebieten herangezogen. Die daraus folgenden Ergebnisse werden in den Kapiteln 4- und 5 aufgezeigt und diskutiert.

Die Formeln zu den berechneten Parametern werden in Abbildung 6 angezeigt. Die dazugehörigen Berechnungen wurden in „Google Earth Engine“ vollzogen und mit „GPT-4“ (OPENAI 2023) überprüft. Das Genauigkeitsmaß wird oft als „Producer Accuracy“ bezeichnet. Hier wird überprüft, wie gut ein bestimmter Bereich klassifiziert werden kann. Die „User Accuracy“ hingegen ist ein Indikator für die Wahrscheinlichkeit, ob ein auf der Karte klassifiziertes Pixel tatsächlich diese Kategorie vor Ort repräsentiert. Die „Overall Accuracy“ beschreibt die Anzahl der richtig klassifizierten Werte dividiert durch die Gesamtzahl an Werten dieser Berechnung (CONGALTON 1991). Die „Precision“ setzt sich aus der Division von *True Positive* (TP) mit *True Positive* (TP) addiert mit *False Positive* (FP) zusammen. Als *True Positive* (TP) ist die Anzahl der Pixel, die korrekt kategorisiert wurde definiert. *False Positive* (FP) ist die Anzahl der Pixel, die unrechtmäßig als diese Kategorie klassifiziert werden. Die Berechnung vom „Recall“ unterscheidet sich von der Precision damit, dass anstatt der FP-Wert, der *False Negativ* (FN) addiert wird. Dieser beschreibt die Anzahl der Pixel, die

fälschlicherweise als eine andere Kategorie erkannt wird. Der „*Precision*“-Wert sowie der „*Recall*“ spiegeln die Klassifikationsleistung der Genauigkeitsanalyse wider. Aus diesen berechneten Parametern setzt sich der „*F1*“-Wert zusammen. Dieser bewertet die Identifizierung binärer Klassifikationen in der Genauigkeitsanalyse (WU et al. 2021). Die „*Accuracy*“ ist eine Kennzahl für die Richtigkeit der Klassifikation. Dabei wird das Verhältnis von korrekt klassifizierten zu den gesamten Objekten wiedergegeben (MATTHIES 2020).

$$\frac{\text{Richtig Klassifizierte Pixel einer Kategorie}}{\text{Gesamtklassifizierte Pixel dieser Kategorie}} = \text{Producer Accuracy}$$

$$\frac{\text{Richtig Klassifizierte Pixel einer Kategorie}}{\text{Gesamtklassifizierte Pixel dieser Kategorie}} = \text{User Accuracy}$$

$$\frac{\text{Richtig Klassifizierte Pixel aller Kategorien}}{\text{Gesamtklassifizierte Pixel}} = \text{Overall Accuracy}$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} ,$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} ,$$

$$F1 = 2 * \frac{\text{Precision} * \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} .$$

$$\text{Accuracy} = \frac{(TP + TN)}{(TP + FP + TN + FN)}$$

Abbildung 6 Formeln der Parameter nach CONGALTON (1991), MATTHIES (2020) und WU et al. (2021)

4. Ergebnisse

Für einen Vergleich der Datensätze von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) wurden die Ergebnisse der drei Klassen ins Verhältnis gesetzt. Die Auswertung erfolgte mithilfe einer Genauigkeitsanalyse und einem Vergleich mit Referenzdaten. Dabei wird der Fokus auf Unterschiedsflächen gelegt. Im Anhang wurden einige Karten beigefügt, um die Ergebnisse visuell darzustellen.

4.1.1 Untersuchungsgebiet 1

Das Untersuchungsgebiet 1 weist einen in jedem Jahr annähernd identischen „Precision“- , „Recall“- und „F1“-Wert auf (siehe Abb. 7). Dabei schwanken alle Diagramme von ca. 96 % bis über 99 % und zeigen einen sehr ähnlichen graphischen Verlauf. Im Jahr 2000 liegt der „Precision“- , „Recall“- und „F1“-Wert jeweils bei 97,4 %. Dieser wächst im Jahr 2001 um 0,1% an. 2002 übersteigt der jeweilige Wert die 99 % Marke, sinkt jedoch bis 2004 auf 97,5 %. Anschließend erfolgen Schwankungen um die 98% Marke, bis 2013 ein Minimum-Wert von knapp über 96 % errechnet wurde. Das darauffolgende Wachstum verläuft unterschiedlich. Der Anstieg bei „Precision“ steigt etwas stärker an, als der „F1“- und der „Recall“-Wert. 2018 weisen alle 3 Parameter einen Wert von ca. 98 % auf, während dieser in den nächsten Jahren wieder sinkt. Der „Accuracy“ Graph zeigt einen sehr ähnlichen Verlauf (siehe Abb. 7). Die Werte liegen jedoch 1 % bis maximal 2 % unter denen von „Precision“, „Recall“ und „F1“. Insgesamt betrachtet sind die „Producer“- und „User Accuracy“ mit über 97 % sehr hoch (siehe Abb. 8). Dazu verlaufen beide Graphiken nahezu identisch mit Ausnahme von 2016, wie es schon in Abbildung 7 der Fall ist. Die „Overall Accuracy“ weist einen niedrigeren Wertebereich auf, dafür aber einen ähnlichen Verlauf des Graphen. Der Verlauf der Graphen ist nahezu identisch zu dem in Abbildung 7 mit den „Precision“- , „Recall“- und „F1“-Daten. Dabei spiegelt der „Precision“-Wert die „Producer Accuracy“, der „Recall“ die „User Accuracy“ und die „Accuracy“ die „Overall Accuracy“ wider. Die Daten sind nur auf Mikroebene verschieden.

Die „Producer“- und „User Accuracy“ schwanken bei den Klassen 1 und 3 zwischen ca. 96% bis 100% (siehe Abb. 9). Dabei zeigt in dieser Untersuchung Klasse 3 die höchsten Werte. Die „Producer Accuracy“ (PA3) der Klasse 3 schwankt zwischen 99,9 % und 100 %, dahingegen variiert die „User Accuracy“ (UA3) zwischen 98 % und 99,9 %, wobei ab dem Jahr 2013 die höchsten Werte gemessen werden. Die „Producer- und User Accuracy“ (PA1 und UA1) der Klasse 1 weisen einen identischen Verlauf miteinander auf. Dabei zeigt die „User Accuracy“ die höheren Prozentzahlen auf. Nach Werten von 97,4 % in den Jahren 2000 und 2001 steigt

der Graph auf 99,2 %. Im Jahr 2004 sinkt dieser Wert wieder auf ca. 97 % und zeichnet bis 2012 leichte Schwankungen auf. Im Jahr 2013 wurde ein Minimalwert von 96,1 % berechnet. In den darauffolgenden Jahren steigt die jeweilige Prozentzahl leicht an. Bei der Klasse 2 sind die „*Producer-* und *User Accuracy*“ (PA2 und UA2) annähernd kohärent, jedoch sind diese eindeutig unter den Wertebereichen der anderen Klassen. Unterschiede finden sich mit Ausnahme vom Jahr 2016 nur auf Mikroebene. Im Jahr 2016 lag die Differenz bei ca. 2% zwischen den Werten. Das absolute Minimum wurde im Jahr 2004 mit ca. 74 % gemessen. 2019 liegen die Werte bei fast 92%. Insgesamt weisen diese beiden Graphen die höchsten Schwankungen auf. Während im Jahr 2002 noch ein Wert über 90 % gemessen wurde, liegt dieser im Jahr 2004 unter 75 %. Bis zum Jahr 2007 folgt ein weiterer Anstieg auf 85,6 %, welcher bis zum Jahr 2009 auf 81,9 % abrutscht. In den nachfolgenden Jahren kommt es zum weiteren Wachstum der Prozentwerte, nur im Jahr 2016 geht ein Pick nach unten. Im Allgemeinen sind alle Graphen sehr unterschiedlich. Zwar liegen die Ergebnisse im selben Wertebereich, jedoch sind Schwankungen nicht in jedem Graphen zur selben Zeit sichtbar.

Anhand der Referenzdaten von YAMAZAKI et al. (2017) konnten Unterschiedsflächen in den tieferen Ebenen sowie in den Ausläufern des Urals beobachtet werden. Die „-1“-Flächen sind in sehr geringem Maß in höheren Lagen erkennbar. „+1“-Bereiche in den niedrigsten Regionen, hauptsächlich an Küsten- und Uferbereichen. Wälder sind ausschließlich im südlichen Teil des Untersuchungsgebiets bestimmt, da hier die Baumgrenze vorliegt. Das bewaldete Areal weist dabei einen geringen Vegetationsgehalt auf. An der Grenze zu den Zonen mit einem erhöhten Waldanteil wurden Unterschiedsflächen detektiert. Waldverlustflächen sind dabei geringflächig im Südwesten als „0“ und in einem Bereich als „+1“ klassifiziert. Auf Grundlage der Landschaftsklassifikation nach ZANAGA et al. (2021) wurden alle Unterschiedsflächen in den Bereichen der permanenten Gewässerflächen und krautreichen Sumpfbereichen lokalisiert. Auch sehr wenige Grasflächen weisen im Südwesten Unterschiedsflächen auf. Anhand des Permafrosts können jedoch keine markanten Formen erkannt werden. Dieser weist im gesamten Untersuchungsgebiet einen sehr hohen Anteil auf.

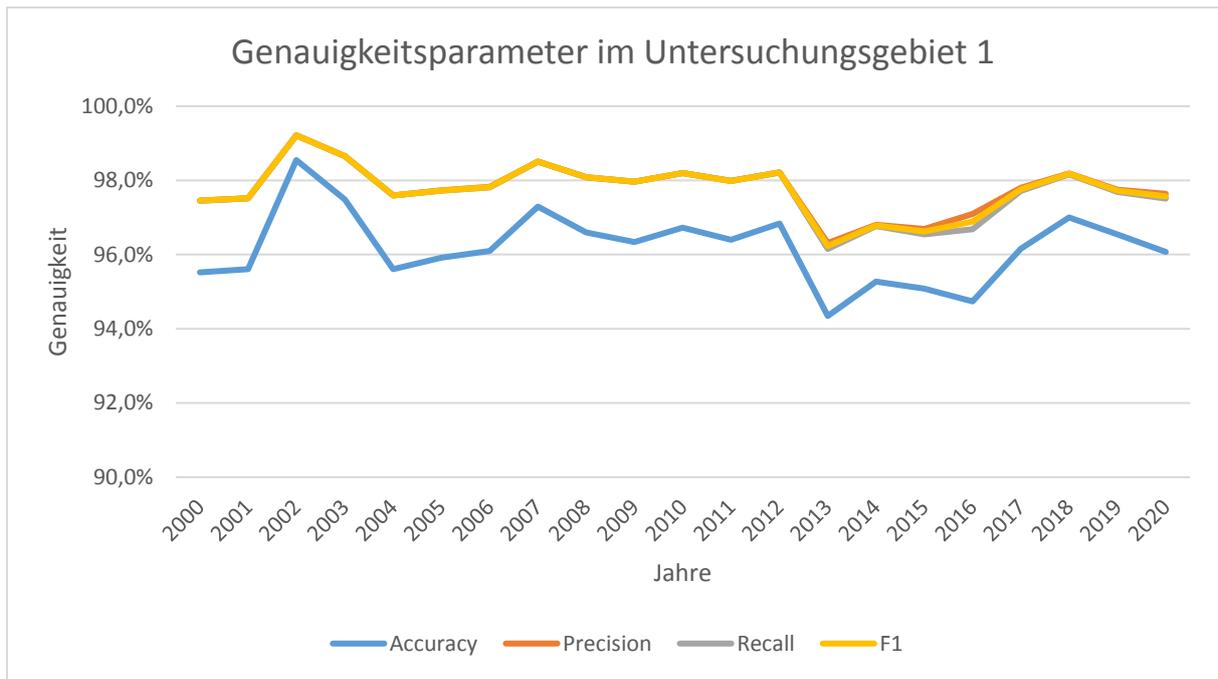


Abbildung 7 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 1 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 1

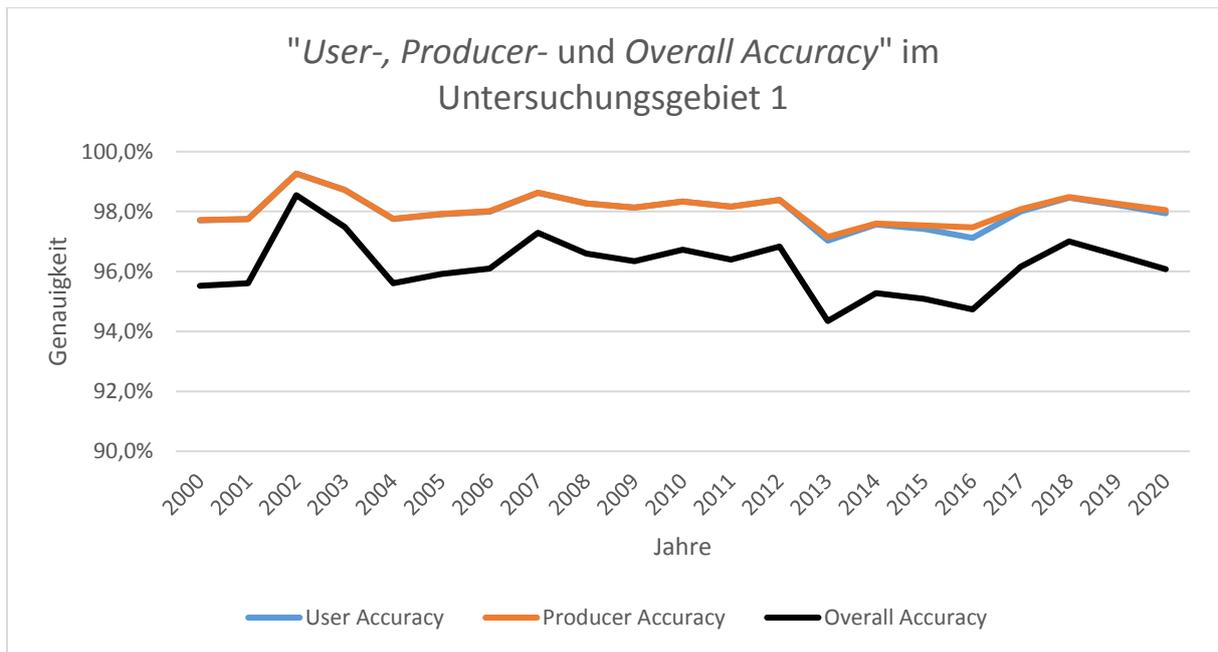


Abbildung 8 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 1 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „User-, Producer- und Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 1

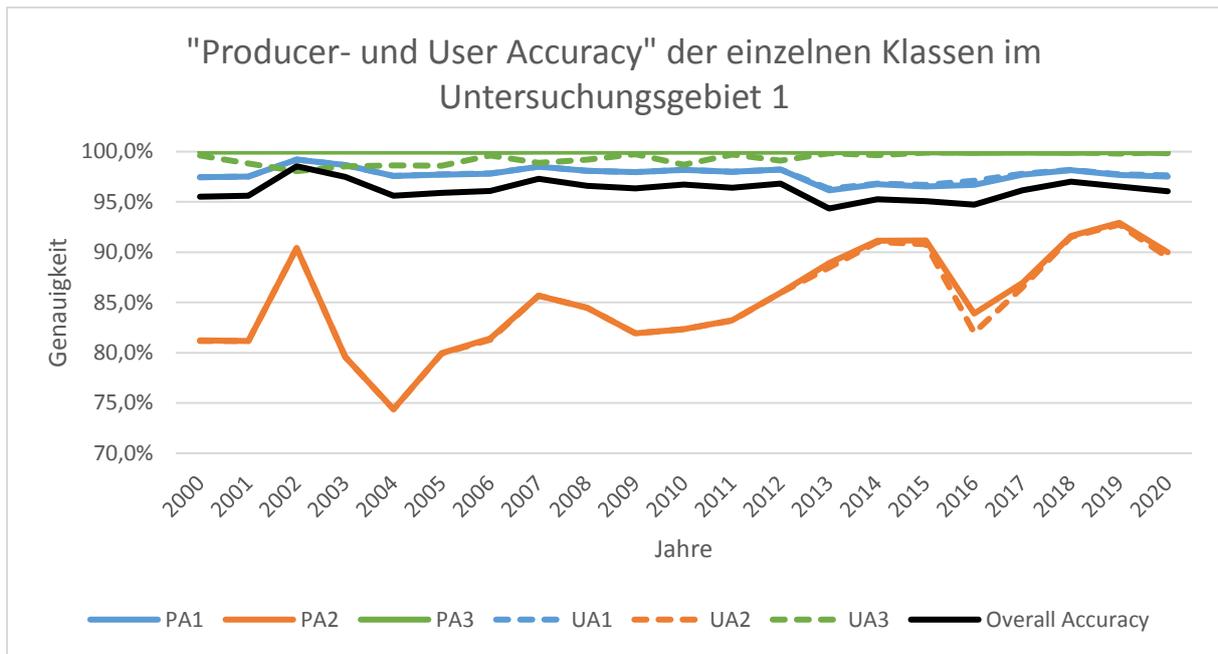


Abbildung 9 „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 1 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 1

4.1.2 Untersuchungsgebiet 2

Das Untersuchungsgebiet 2 zeigt einen identischen Verlauf der „Precision“, „Recall“ und „F1“ Graphen (siehe Abb. 10). Die Werte sind zwar geringmäßig verschieden, dies zeigt sich jedoch nicht im Diagramm. Die „Precision“-, „Recall“- und „F1“-Werte beginnen bei einem Wertebereich von 92,5 %, beziehungsweise 92,6 %. Diese Prozentzahl steigt bis 2002 auf 98,3 % in allen Parametern an. 2006 erfolgte ein Abschwung auf 91,5 %, beziehungsweise 91,6 %. Anschließend gab es ab 2008 wieder einen Anstieg bis auf 95,6 %, bevor die Werte im Jahr 2009 auf 92,2 % fallen. Nach einem kleinen Wachstum im Jahr 2010, sinken der „Precision“-, „Recall“- und „F1“-Wert auf 88 % und schwanken bis 2015 geringmäßig. Nach einem kleinen Hoch in den Jahren 2016 und 2017, nimmt die Prozentzahl auf ca. 95 % zu. 2018 folgt wieder eine Abnahme, jedoch steigen die Werte in den darauffolgenden Jahren wieder an. Die „Accuracy“ weist einen ähnlichen Verlauf des Graphen auf (siehe Abb. 10). Im Jahr 2002 beträgt der Wert beinahe denen der „Precision“, „Recall“ oder „F1“. In den weiteren Jahren liegt eine maximale Differenz von 6 % vor. Neben der „Precision“, „Recall“ und „F1“, weisen auch die „Producer Accuracy“ und die „User Accuracy“ ähnliche Prozentzahlen auf (siehe Abb. 11). Der Verlauf der Graphen ist bis zum Jahr 2012 sehr ähnlich, wie in Abbildung 10. Die „Producer Accuracy“ und die „User Accuracy“ unterschreiten dabei nicht die 90 % Marke und es folgt ein Anstieg auf über 92 %. Ab dem Jahr 2016 ist wieder ein ähnlicher Verlauf zur

Abbildung 10 mit den Ergebnissen von „Precision“, „Recall“ und „F1“ sichtbar. Jedoch sind die Werte der „Producer Accuracy“ und der „User Accuracy“ in jedem Jahr minimal höher. Die „Overall Accuracy“ zeigt einen auch ähnlichen Verlauf des Graphen, wie die „Producer Accuracy“ und die „User Accuracy“. Der Wertebereich liegt jedoch bei 97,7 % bis 81,9 %. In jedem Jahr unterschreitet die „Overall Accuracy“ die Ergebnisse der „Producer Accuracy“ und „User Accuracy“ mit einer maximalen Differenz von ca. 8 % (siehe Abb. 11).

In Abbildung 12 sind die jeweiligen „Producer- und User Accuracies“ der einzelnen Klassen eingetragen. Dabei zeigt sich ein unterschiedlicher Verlauf der verschiedenen Graphen. Die „Producer- und User Accuracy“ der Klasse 1 weisen den gleichen graphischen Verlauf wie die „Overall Accuracy“ auf, mit dem Unterschied des höheren Wertebereichs. Im Gegensatz dazu zeigen die „Producer- und User Accuracy“ der Klasse 3 jeweils unterschiedliche Werte. Während die „Producer Accuracy“ um die 100 % schwankt, was in der Abbildung 12 wegen der Größenordnung nicht sichtbar ist, variiert die „User Accuracy“ der Klasse 3 unterschiedlich zu den anderen Graphen. So wird im Jahr 2002 ein Abschwung auf den Minimalwert von 86,7 % bemessen. Anschließend steigt dieser Wert wieder an, schwankt entgegengesetzt zu den anderen Graphen und ab dem Jahr 2012 verhält sich der Graphverlauf der „User Accuracy“ der Klasse 3 ähnlich den anderen Graphen. Bei der Klasse 2 weisen „Producer- und User Accuracy“ einen beinahe identischen Verlauf auf. Ausschließlich im Jahr 2016 gibt es Unterschiede im Anstieg, da dieser bei der „Producer Accuracy“ stärker ausfällt. Insgesamt betrachtet ist die „Producer Accuracy“ in Klasse 2 höher als die „User Accuracy“, wenn auch nur geringfügig und Großteils nicht im Diagramm erkennbar. Dabei ist der Wertebereich niedriger als bei den anderen Klassen, wobei eine maximale Differenz von über 20 % ermittelt wurde.

Das Untersuchungsgebiet 2 weist Unterschiedsflächen in den niedrigsten Regionen auf. Die Unterschiedsflächen und Höhenlinien sind dabei nahezu kohärent. In den verhältnismäßig höheren Ebenen sind einige kleine „-1“-Areale erkennbar. In den flachen Regionen dominieren „+1“-Flächen, dennoch befindet sich ein erheblicher Teil der „-1“-Gebiete an der Ob. Im Untersuchungsgebiet wurde ein im Vergleich hoher Waldbestand beobachtet. Dieser nimmt in Höhe der Unterschiedsflächen ab, sodass markante Bereiche lokalisiert sind. Waldverlust- und Gewinnflächen hingegen konnten tendenziell mehr in „0“-Arealen erkannt werden. Dazu werden die Unterschiedsflächen am Fluss als Grasflächen, Städte, krautreiche Sümpfe und permanente Wasserflächen gekennzeichnet. Die weiteren Bereiche unterschiedlicher Klassifikation sind geprägt durch krautreiche Sümpfe und permanente Wasserflächen. Auch

ein hoher Permafrostgehalt für das gesamte Untersuchungsgebiet konnte generiert werden. Dabei zeigen sich markante Regionen anhand der Unterschiedsflächen, weil hier der Permafrostgehalt abnimmt.

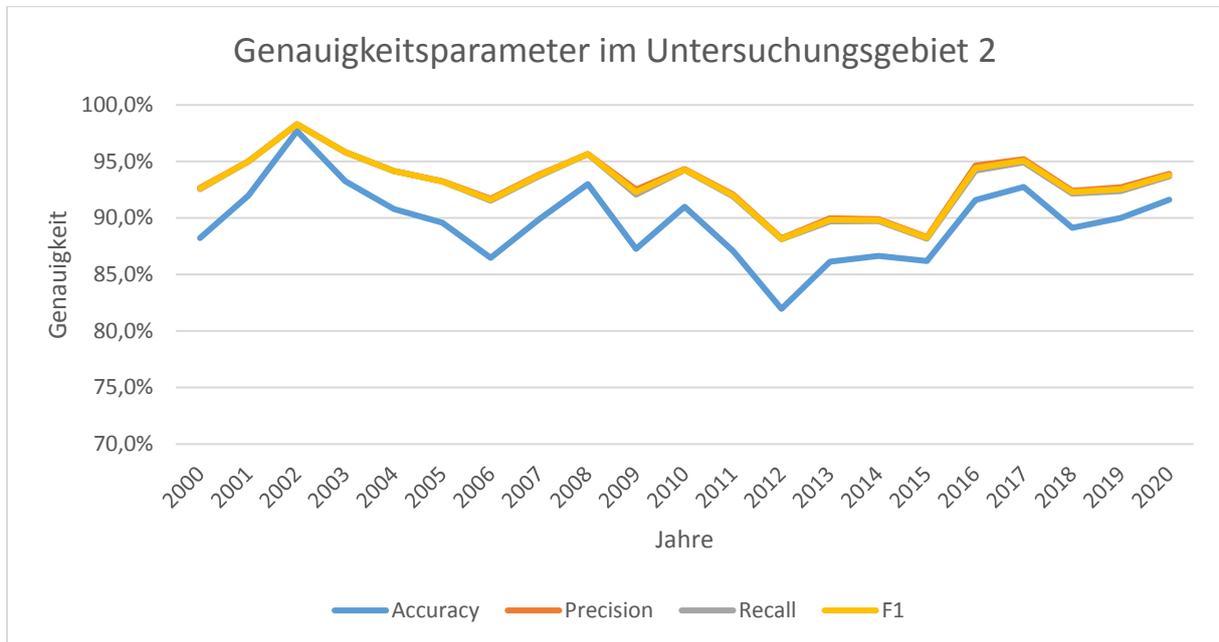


Abbildung 10 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 2 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 2

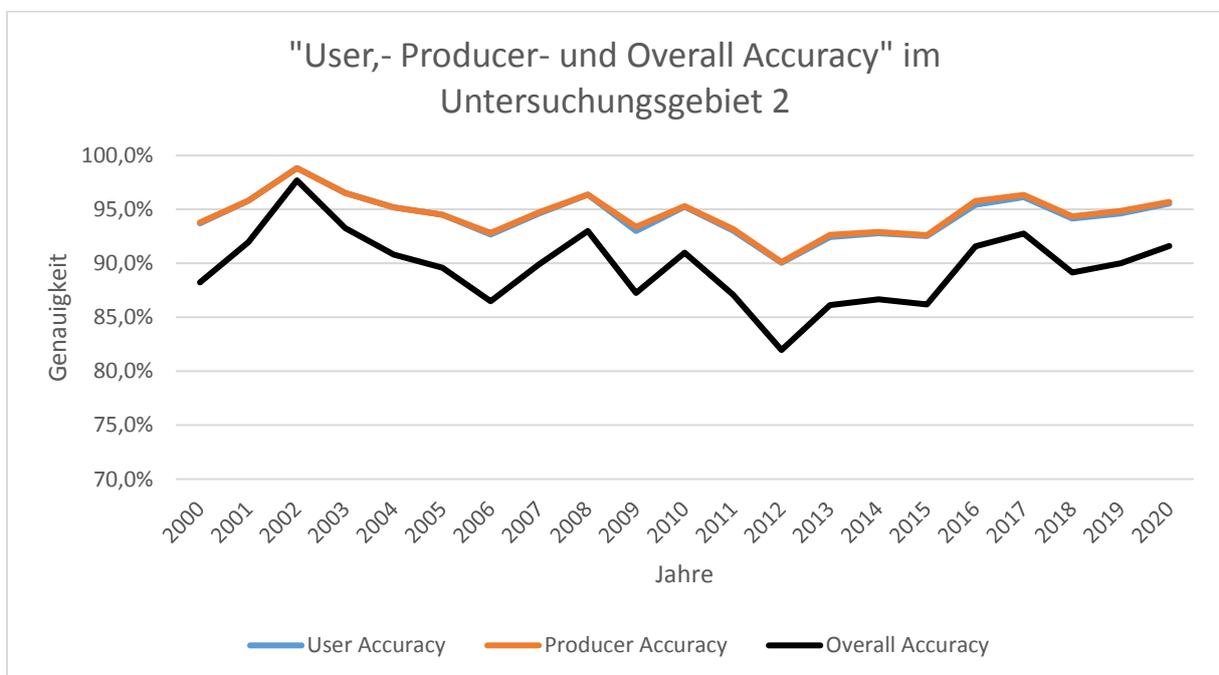


Abbildung 11 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 2 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „User-, Producer- und Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 2

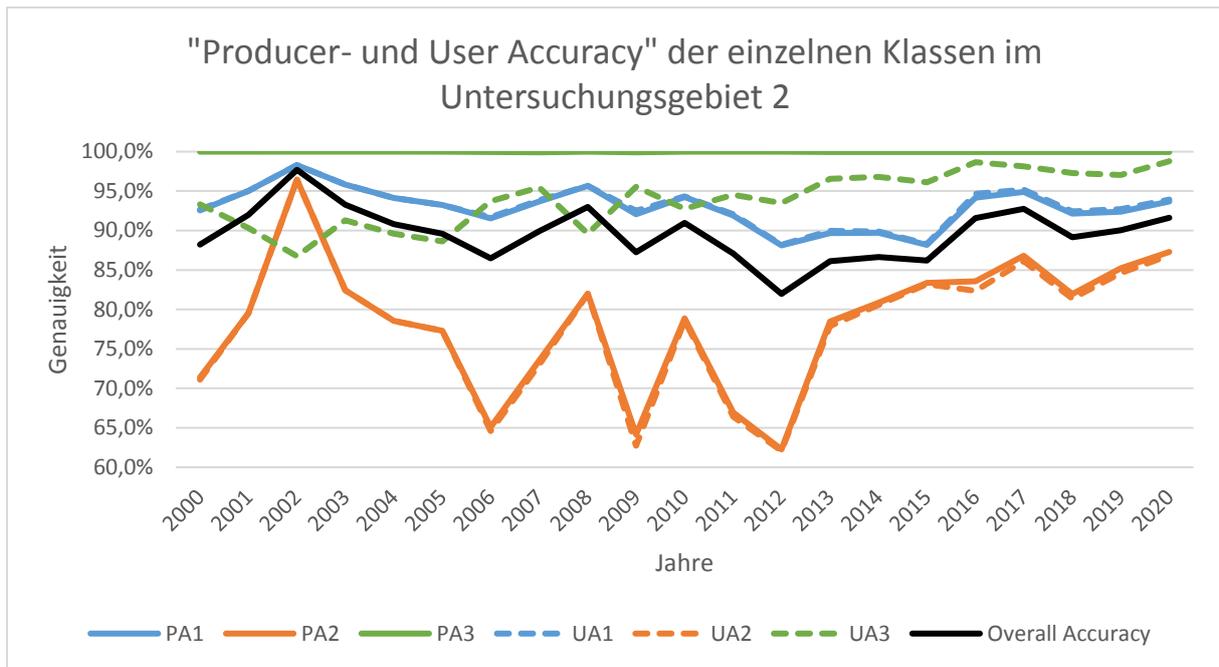


Abbildung 12 „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 2 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 2

4.1.3 Untersuchungsgebiet 3

Das dritte Untersuchungsgebiet weist einen identischen Verlauf der Graphen der „Precision“, „Recall“ und „F1“ bis zum Jahr 2015 auf (siehe Abb. 13). Zwischen den Jahren 2000 und 2004 zeigen alle Graphen Schwankungen im Wertebereich von 87,5 % bis 92,5 %. Bis zum Jahr 2007 wächst die Genauigkeit auf 97,6 %. Anschließend sinkt die Prozentzahl bis zum Jahr 2014 auf 96 % und 2015 auf 91,5 %, beziehungsweise 91,7 %. Ab hier wurde eine 1 %ige Differenz zwischen „Precision“- und „Recall“- berechnet, der „F1“-Wert liegt mit einer jeweiligen Differenz von 0,5% dazwischen. Der Verlauf bleibt in jedem Parameter gleich, jedoch wird die Differenz der Prozentzahlen geringer. Die „Accuracy“ verläuft identisch der anderen Indikatoren, jedoch wird teilweise eine Differenz von 4 % zu den anderen Werten bemessen (siehe Abb. 13). Die „Producer- und User Accuracy“ verlaufen im Diagramm annähernd kohärent zueinander (siehe Abb. 14). Die „Producer Accuracy“ ist dabei geringmäßig höher, wobei die maximale Differenz mit 1 % im Jahr 2017 errechnet wurde. Zwischen Anfang der Zeitreihe und dem Jahr 2004 schwankt die „Producer- und User Accuracy“ jeweils von ca. 93 % bis 96 %. Anschließend variiert die Prozentzahl bis zum Jahr 2014 im Wertebereich von 98 % bis 96,3 %, wobei das Minimum im Jahr 2010 gemessen wurde. Im Jahr 2015 nimmt der jeweilige Wert auf 94 % ab. Der folgende Anstieg ist bei der „Producer Accuracy“ höher, wobei die Differenz auch hier bei 1 % liegt. Am Ende der Zeitreihe erfolgt ein geringmächtiger

Abschwung. Die „*Overall Accuracy*“ zeigt einen sehr ähnlichen Verlauf gegenüber der „*Producer-* und „*User Accuracy*“ (siehe Abb. 14). Es werden Differenzen von über 4 % gemessen, dafür ist der Anstieg der Werte, aber auch der Abschwung stärker, weshalb die Differenz variiert. Mit Ausnahme der „*Producer Accuracy*“ der Klasse 3 zeigen alle Graphen in Abbildung 15 einen ähnlichen Verlauf, jedoch mit anderen Werten. Da hier die Werte bei ungefähr 100 % liegen sind die Abweichungen kaum sichtbar. Bei den weiteren Parametern schwanken die Werte bis zum Jahr 2004. Dies fällt bei der „*User Accuracy*“ der Klasse 3 am geringsten aus. Hier liegen Werte von 92,5 % bis 99,8% vor. Das Minimum wurde im Jahr 2003 berechnet und bildet eine Ausnahme, da sonst kein Wert unter 97 % liegt. Darauf folgend gab es einen Anstieg bis zum Maximalwert. Im Jahr 2015 wurde mit 98 % ein vergleichsweise geringerer Wert berechnet.

Die „*Producer-* und „*User Accuracy*“ der Klasse 1 weisen in jedem Jahr einen geringeren Wertebereich auf und sind bis zum Jahr 2015 im graphischen Verlauf kohärent. Die anfänglichen Schwankungen fangen bei 93,3 % an und enden bei ca. 95 %. Es folgt ein Anstieg bis auf das Maximum von 97,6 %. Bis zum Jahr 2014 nimmt dieser Wert leicht ab und 2015 wird mit 92,4% ein starker Abschwung verzeichnet. Darauf folgend nimmt die „*User Accuracy*“ stärker zu als die „*Producer Accuracy*“. Dabei wird eine maximale Differenz von 1,1 % erkannt. Die „*Producer-* und „*User Accuracy*“ der Klasse 2 verlaufen auch ähnlich zueinander, jedoch ist der Wertebereich im Vergleich zu den anderen Parametern sehr niedrig und die „*Producer Accuracy*“ ist erkennbar um 0,2% höher. So starten beide Werte bei 76 %. Beide Schwankungen erweisen ein Minimum von unter 75 %. In den darauffolgenden Jahren steigt der Wert auf bis zu 89,7 %, beziehungsweise 89,9 %. Der folgende Abschwung lässt die Prozentzahlen auf 85 % sinken. Anschließend steigen die Graphen auf ein Maximum von 92 %, fallen jedoch kurz darauf wieder ab. Ab dem Jahr 2015 teilen sich die Graphen in der Klasse 2 und eine Differenz von maximal 3 % entsteht.

Unterschiedsflächen werden ausschließlich an der Lena und im Werchojansker Gebirge erkannt. Dabei sind die „+1“-Areale verhältnismäßig häufiger an der Lena lokalisiert, als „-1“-Regionen, die sich hauptsächlich auf Mikroebene im Werchojansker Gebirge befinden. Auf Makroebene ist für das Untersuchungsgebiet ein hoher Waldbestand erkennbar. Bei den Unterschiedsflächen sind wenige markante Formen zu beobachten. Waldgewinn- und Verlustflächen sind ausgeprägt und weisen markante Formen in „0“-Arealen auf. Vereinzelt sind „+1“-Gebiete als solche markiert. Dies bildet nur eine Ausnahme in diesem Untersuchungsgebiet. Anhand der Ergebnisse von ZANAGA et al. (2021) konnte der hohe

Waldanteil bestätigt werden, jedoch zeigen sich hier sowie bei Grasland, spärliche Vegetation sowie Moose und Flechten, wenige Unterschiedsflächen. Diese werden hauptsächlich als „-1“ gekennzeichnet. An der Lena wurden Großteils permanente Gewässer als „+1“-Regionen angezeigt. Dazu konnten hier einige „-1“-Areale gekennzeichnet werden. Auch ein hoher Permafrostanteil wurde hier gemessen. Dieser zeigt jedoch keine markanten Formen.

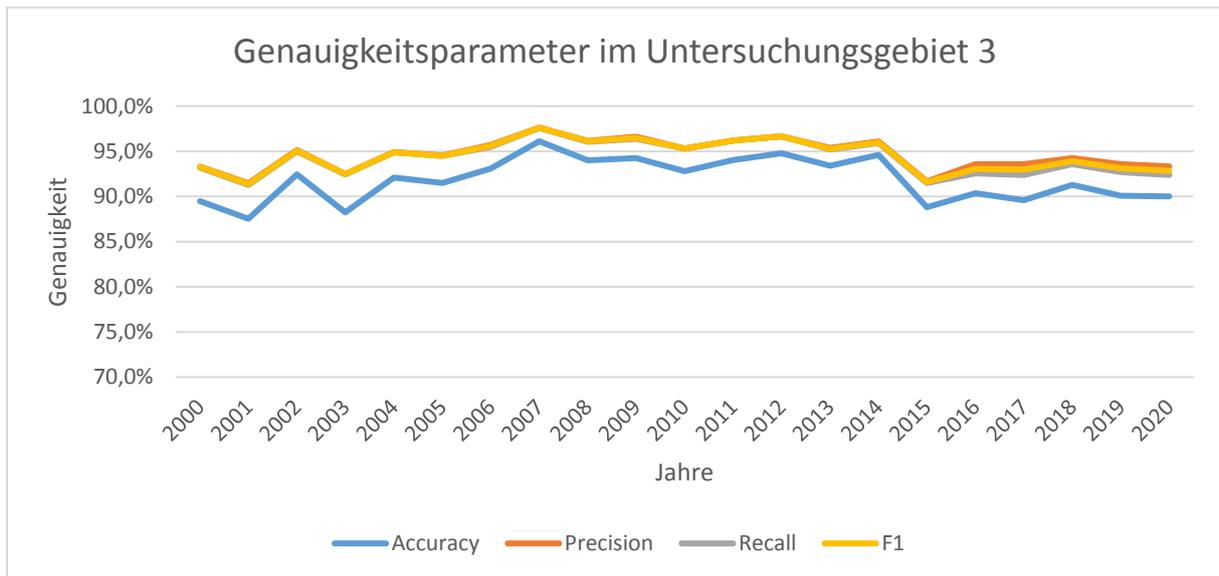


Abbildung 13 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 3 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 3

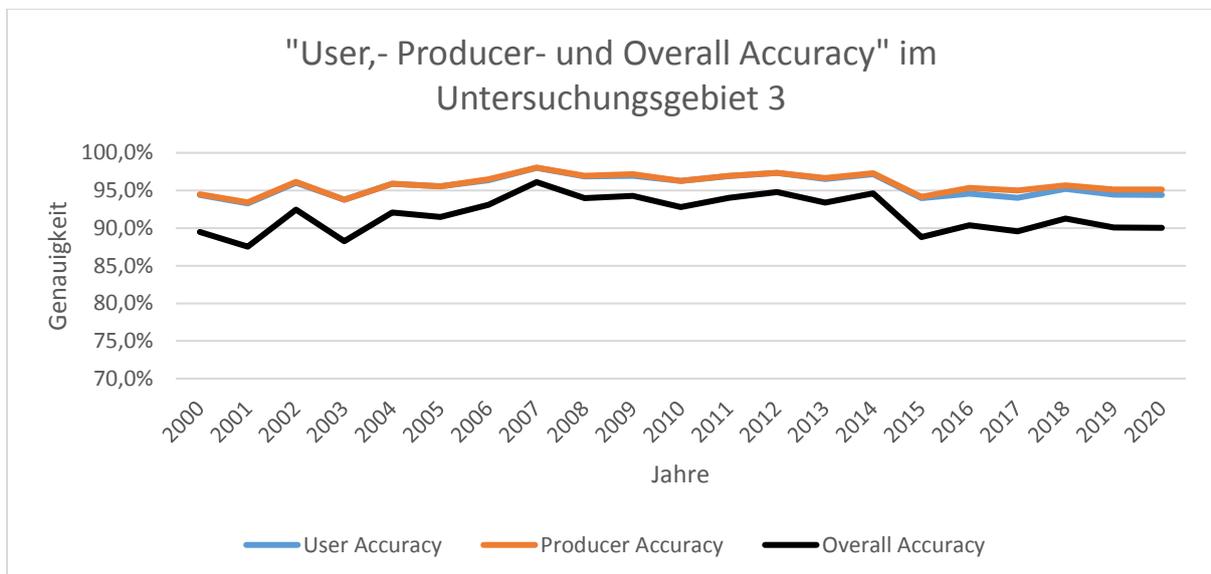


Abbildung 14 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 3 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „User-, Producer- und Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 3

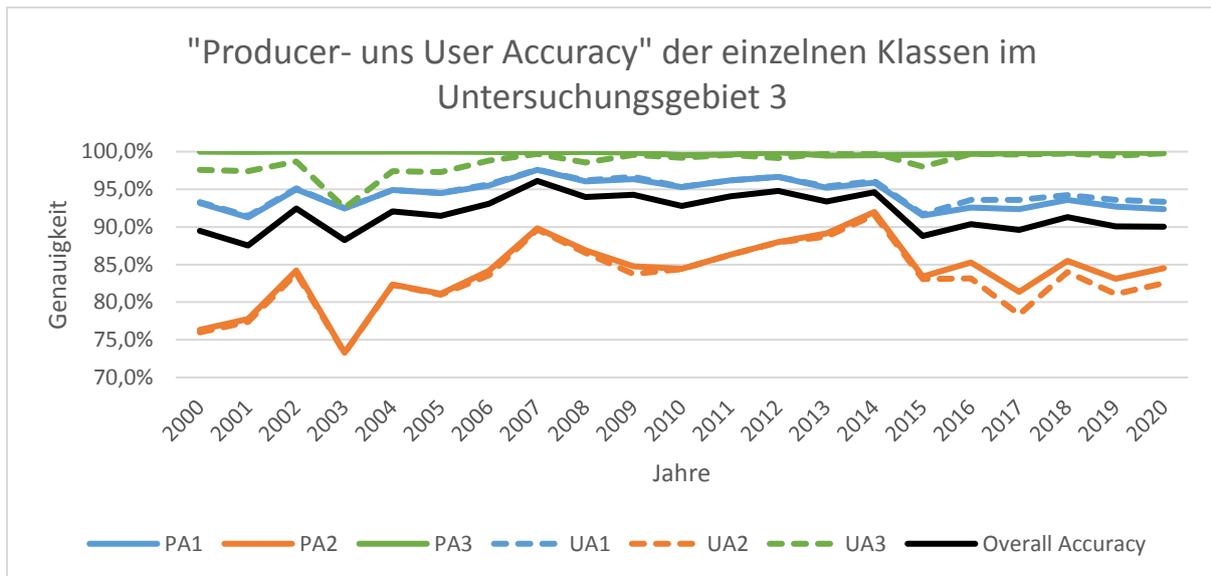


Abbildung 15 „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 3 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 3

4.1.4 Untersuchungsgebiet 4

Auch im vierten Untersuchungsgebiet weisen „Precision“, „Recall“ und „F1“ ähnliche Werte auf (siehe Abb. 16). Die Prozentzahlen steigen von 98,5 % auf 99,6 % an. Nachfolgend sinken die Werte bis zum Jahr 2005 auf 98,7 %. Um diese Genauigkeit schwanken die Ergebnisse der Parameter bis zum Jahr 2012. Es folgt erst eine geringe und nachfolgend eine starke Abnahme der Prozentzahlen. Somit wird im Jahr 2016 ein Minimalwert von 93,9 % gemessen. Nach dem Abschwung erfolgt ein Aufschwung mit Variationen. Auch die „Accuracy“ besitzt denselben Verlauf, aber jährlich geringere Werte (siehe Abb. 16). Die Differenz zu „Precision“, „Recall“ und „F1“ liegt bei zumeist ca. 1 %. Im Jahr 2016 wird eine Differenz von 3,1 % gemessen. Die „Producer- und User Accuracy“ weisen den gleichen graphischen Verlauf wie die „Precision“, „Recall“ und „F1“ auf. Der Wertebereich zur „Overall Accuracy“ ist kohärent zu dem der „Accuracy“ (siehe Abb. 16 und 17).

Die „Producer- und User Accuracy“ der Klassen 1 und 2 weisen einen ähnlichen Verlauf auf, während zur Klasse 3 Unterschiede vorliegen (siehe Abb. 18). Die „Producer Accuracy“ der Klasse 3 zeigt einen Wertebereich von 99,6 % bis 100 %, wobei dem Großteil der Jahre einen Wert von 100 % errechnet wurde. Bei der „User Accuracy“ sinkt der Wert von 99,6 %, beziehungsweise 99,7 %, bis zum Jahr 2005 auf 97,4 %. Darauf folgt die Prozentzahl wieder an und erreicht Werte über 99,5 %. In den Jahren 2015 und 2016 werden Werte von 97,3 % und 97,8 % angegeben, jedoch steigen der Graphen in den letzten Jahren wieder. Die

„*Producer- und User Accuracy*“ der Klasse 1 verlaufen gleich, wobei die „*Producer Accuracy*“ minimal höher ist. Von 98,5 % steigt der prozentuale Wert auf 99,6 % im Jahr 2003 an. Darauf folgend sinkt die Prozentzahl auf 98,7 % ab und schwankt in den folgenden Jahren um die 99 % Marke. Ab dem Jahr 2013 sinkt der Wert bis auf sein Minimum von 93,9 %. Darauf folgend steigt dieser wieder an. Bei der „*Producer- und User Accuracy*“ der Klasse 2 haben die Schwankungen des gesamten Graphen größere Auswirkungen. Jede kleine Schwankung in den anderen Parametern wird hier ausgeprägter dargestellt. Der Wertebereich liegt in jedem Jahr unter denen, der anderen Indikatoren. Bis zum Jahr 2002 beginnt der erste Anstieg auf 97,5 %. Nachfolgend sinken beide Werte auf 92,8 %, steigen jedoch wieder auf 96 %. Es kommt jährlich zu einem starken Anstieg oder Abschwung.

Das Untersuchungsgebiet 4 weist eine minimal geringere Nord-Süd Ausdehnung auf und ist daher nicht exakt gleich groß, wie die anderen Untersuchungsgebiete. Dennoch wird diese Region verwendet und in die Analyse einbezogen. Insgesamt sind mehr „+1“- als „-1“-Flächen im Untersuchungsgebiet 4 lokalisiert. Dieses zeigt Unterschiedsflächen auf der Lena, dem Lenadelta, dem Olenjok, der Küste des Laptev Sees und des Arktischen Ozeans sowie im Werchojansker Gebirge und dessen Ausläufern. Die „-1“-Areale befinden sich hauptsächlich in den höheren Lagen. Einige sind jedoch in den Küsten- und Uferregionen lokalisiert. Anhand des „*Global Forest Change*“-Datensatzes von HANSEN et al. (2013) konnten Bereiche gleicher Klassifikation durch einen erhöhten Waldbestand beobachtet werden. Unterschiedsflächen treten dennoch vermehrt in Regionen ohne beziehungsweise mit sehr geringem Waldanteil auf. Im Süden wurden einige Waldverlustflächen als „0“-Areale und geringmächtig als „+1“-Gebiete eingetragen. Nach ZANAGA et al. (2021) weisen Waldflächen einige wenige Unterschiedsflächen auf. Der Hauptteil wird als krautreiche Sumpflandschaft oder als permanente Gewässerfläche lokalisiert. Einige weitere „-1“-Unterschiedsflächen werden auch als Graslandschaft, spärliche Vegetation sowie Moose und Flechten markiert. Letztere zeigen sich nur an den höchsten Punkten des Werchojansker Gebirges. Mithilfe des Permafrostanteils können jedoch keine markanten Unterschiedsflächen erkannt werden, da der Permafrost im gesamten Untersuchungsgebiet 4 kontinuierlich sehr hoch ist.

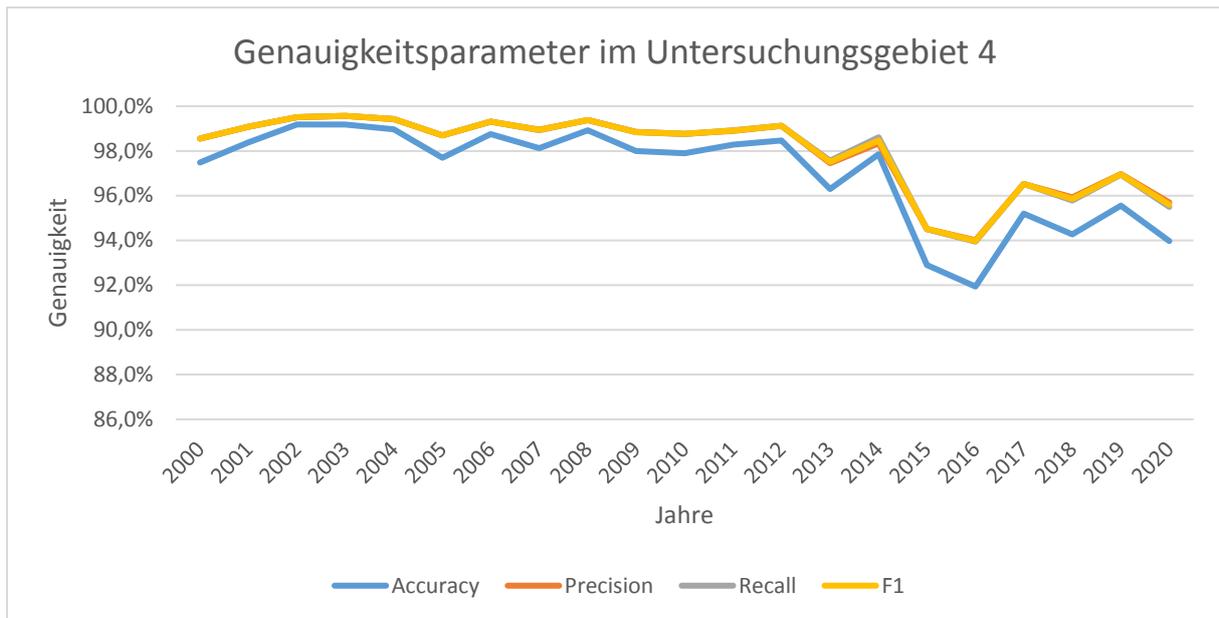


Abbildung 16 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 4 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 4

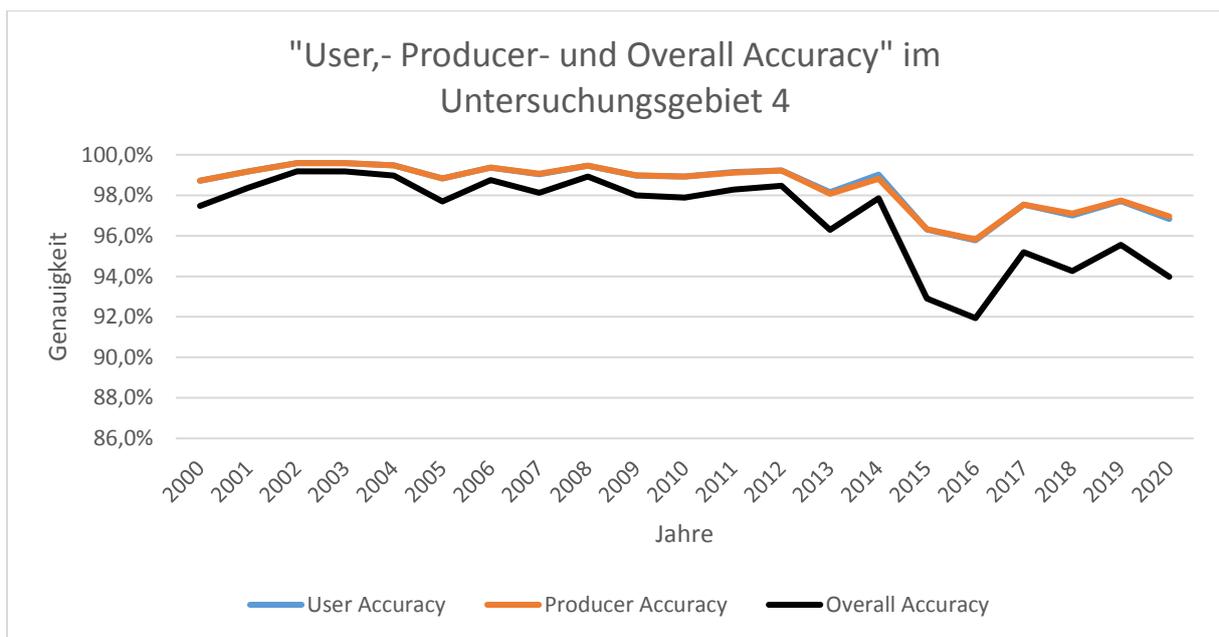


Abbildung 17 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 4 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „User-, Producer- und Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 4

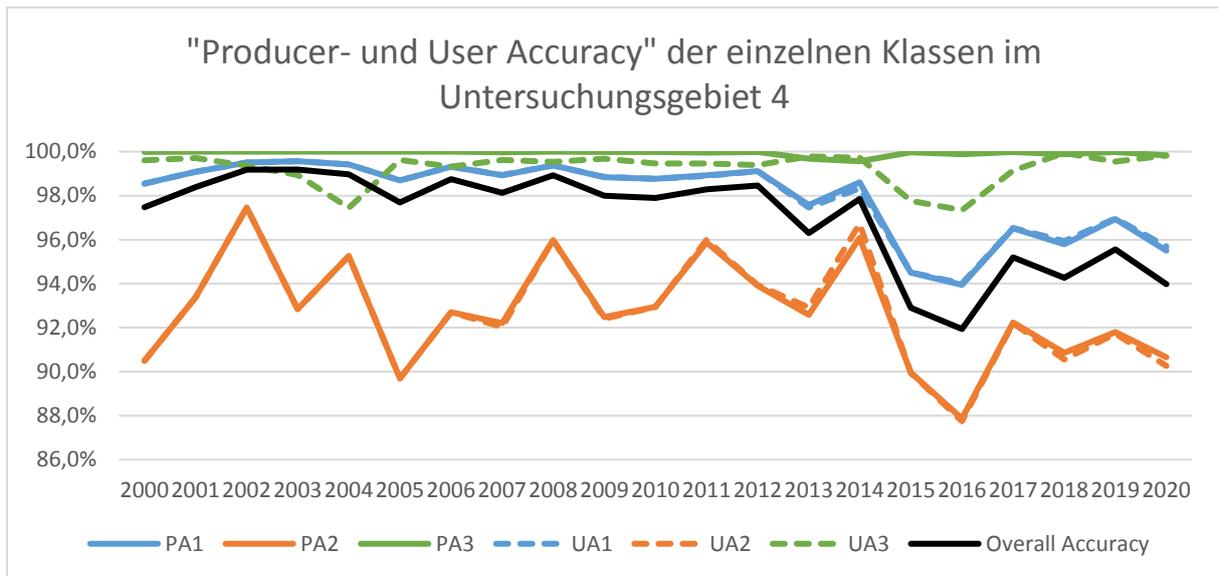


Abbildung 18 „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 4 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 4

4.1.5 Untersuchungsgebiet 5

„Precision“, „Recall“ und „F1“ zeigen im Untersuchungsgebiet 5 bis zum Jahr 2014 einen sehr ähnlichen graphischen Verlauf (siehe Abb. 19). Dabei zeigt die „Precision“ minimal den höchsten Wertebereich. Dieser wird ab dem Jahr 2015 mit einer maximalen Differenz von 0,5 % zum „Recall“ erkenntlich. Der Verlauf des Graphen ist ähnlich der „Accuracy“, nur dass der Wertebereich niedriger ist. So wurde eine maximale Differenz von 2,1 % manifestiert. Alle Graphen in Abbildung 19 sind in den ersten beiden Jahren stabil und schwanken bis 2011. So liegen Zunahmen der Genauigkeit in den Jahren 2003, 2005 bis 2006, 2008 bis 2009 und 2011 sowie Abnahmen in den Jahren 2002, 2004, 2007 und 2010, vor. Zwischen 2014 und 2019 ähneln die Graphen einem Halbkreis mit einem Maximum 2017 und einem weiteren Anstieg 2020. Die gleichen graphischen Verläufe und Wertebereiche sind auch in Abbildung 20 ersichtlich. Die „Overall Accuracy“ entspricht dabei den Graphen der „Accuracy“, die „User Accuracy“ dem „Recall“ und die „Producer Accuracy“ der „Precision“, wenn auch mit minimalen Unterschieden.

Bei Betracht der Klassen 1 und 3 der „Producer Accuracy“ und „User Accuracy“ liegt ein Wertebereich über 95 % vor (siehe Abb. 21). Die „Producer Accuracy“ der Klasse 3 bleibt in der Zeitreihe bis 2014 bei 100 % Genauigkeit. In den folgenden Jahren wird auch mal die 99,9 % angezeigt. Die „User Accuracy“ schwankt zwischen 98,6 % und 100 %, wobei die höchsten Prozentzahlen am Ende der Zeitreihe errechnet wurden. Der graphische Verlauf ist ähnlich, wie

in Abbildung 19 und 20 ersichtlich. Auch die „*Producer Accuracy*“ und „*User Accuracy*“ der Klasse 1 weisen denselben Verlauf auf, jedoch liegen hier Werte von 96,7 % bis 99,3 % vor, was kaum in Abbildung 21 erkennbar ist. Dafür sind die geringen Abweichungen der „*Producer Accuracy*“ und „*User Accuracy*“ ab 2011 markant. Diese sind auch in Klasse 2 ersichtlich. Hier jedoch zwischen den Jahren 2006 und 2009 sowie ab 2012. Der graphische Verlauf ist der gleiche, wie in den Abbildungen 19 und 20 für die verschiedenen Parameter. Nur hier beträgt der Wertebereich 76 % bis 98,4 %, beziehungsweise 98,5 %.

Anhand der Referenzdaten von YAMAZAKI et al. (2017) konnten Unterschiedsflächen in den tieferen Ebenen sowie an den Flüssen bestätigt werden. Der Großteil zeigt sich als „+1“-Gebiete. „-1“-Areale sind kleinflächig und ähnlich lokalisiert, wie die „+1“-Gebiete. Der Waldanteil ist in den Unterschiedsflächen sehr gering. Waldverlust- und Gewinnflächen konnten fast ausschließlich im Süden in den Bereichen gleicher Klassifikation zwischen PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) beobachtet werden. Die Flüsse fungieren meist als Grenze von geringem zu hohem Waldgehalt. Deswegen wurden einige Unterschiedsflächen auch im geringen Maß als Wald klassifiziert. Der Rest sind als permanente Gewässer und krautreiche Sumpfflächen angegeben. Anhand des Permafrostanteils können keine Schlüsse zu Unterschiedsflächen getätigt werden.

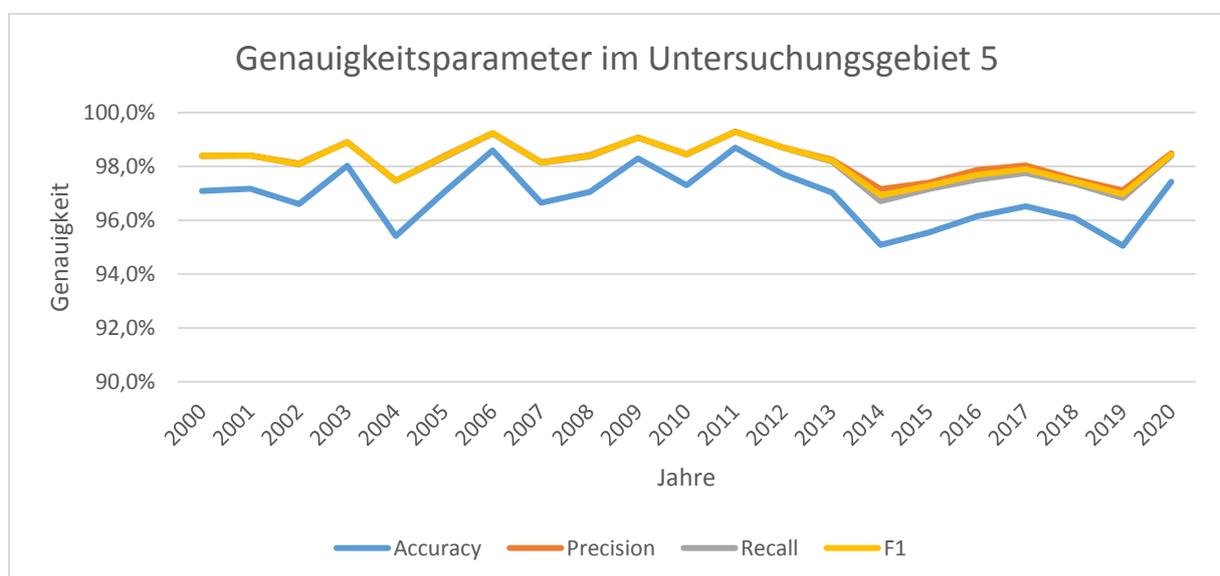


Abbildung 19 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 5 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 5

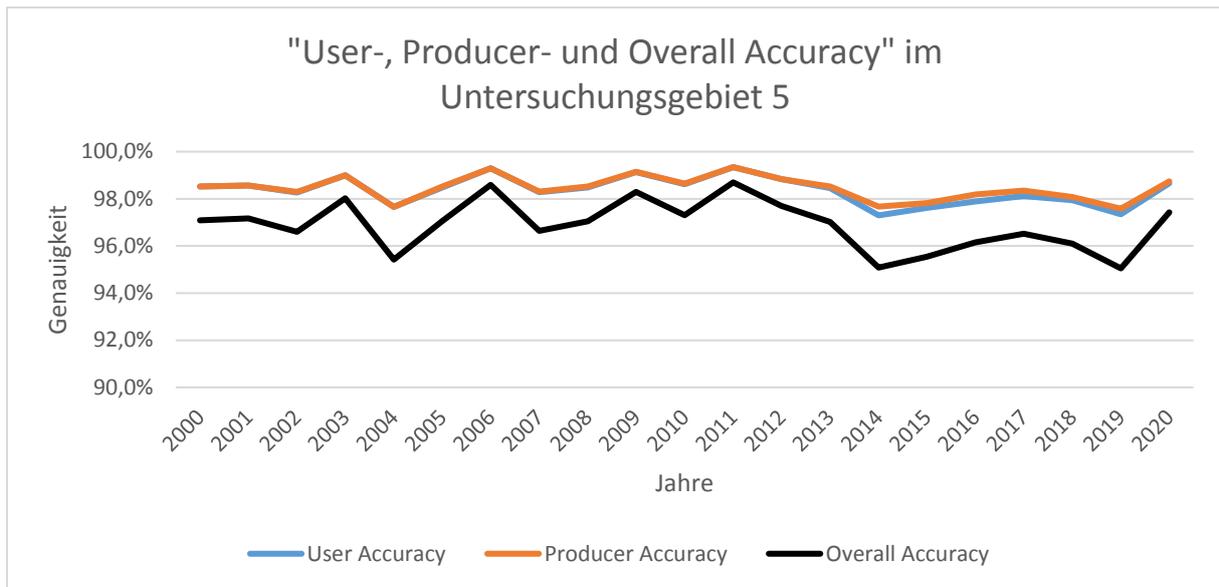


Abbildung 20 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 5 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „User-, Producer- und Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 5

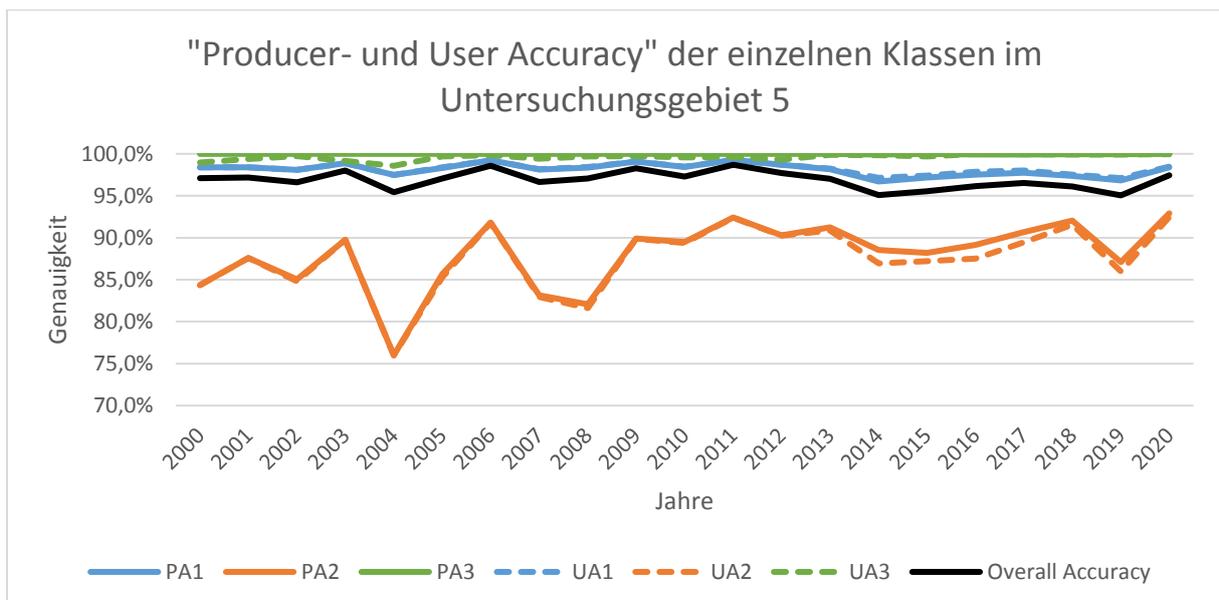


Abbildung 21 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 5 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 5

4.1.6 Untersuchungsgebiet 6

Im Untersuchungsgebiet 6 weisen „Precision“, „Recall“ und „F1“ einen ähnlichen graphischen Verlauf sowie einen fast identischen Wertebereich auf (siehe Abb. 22). Das Anfangsjahr besitzt bei den drei Parametern eine Prozentzahl von 98,1 %. Es kommt zum einjährigen Aufschwung,

darauf zu einer stärkeren einjährigen Abnahme der Prozentzahl und einer weiteren stärkeren einjährigen Zunahme. Anschließend nimmt die Genauigkeit über die Jahre ab und schwankt um die 97 %. Ab dem Jahr 2009 steigt der Wert wieder auf die 98 % Marke an. Es erfolgt eine „V“-förmige Ab- und Zunahme des Graphen, der im Anschluss weiter steigt. Die „Accuracy“ zeigt denselben graphischen Verlauf mit stärkeren Schwankungen. Der Wertebereich liegt unter dem der anderen Parameter mit einer Differenz von bis zu 2,1 %. Der gleiche graphische Verlauf sowie Wertebereich zeigt sich bei der „Overall Accuracy“ (siehe Abb. 23). Auch zwischen „Producer Accuracy“, „User Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „FI“ existiert ein ähnlicher graphischer Verlauf, jedoch ist der Wertebereich bei der „Producer Accuracy“ und der „User Accuracy“ etwas höher, was im Jahr 2015 am besten zu erkennen ist.

Insgesamt betrachtet weisen mit Ausnahme der Klasse 3 alle „Producer Accuracies“ und „User Accuracies“ einen ähnlichen graphischen Verlauf auf (siehe Abb. 24). Die „Producer Accuracy“ der Klasse 3 bleibt bis zum Jahr 2006 bei 100 %. Im Folgejahr nimmt die Genauigkeit auf 99,8 % ab und schwankt bis zum Endpunkt der Zeitreihe zwischen 99,9 % und 100 %. Die „User Accuracy“ der Klasse 3 hingegen schwankt zwischen 99,4 % bis 99,9 %. Einzig in den Jahren 2001 (99,1 %), 2003 (97 %) und 2012 (99 %) wird dieser Wertebereich durchstoßen. Bei der Klasse 1 zeigt sich derselbe graphische Verlauf, wie bei der „Overall Accuracy“ mit jedoch einem höheren Wertebereich. Die maximale Differenz beträgt 3,4 %. 19,7 % ist hingegen die maximale Differenz zwischen Klasse 2 und der „Overall Accuracy“, wobei letztere einen höheren Wertebereich aufzeigt.

Unterschiedsflächen konnten in den höchsten und den tiefsten Bereichen des Untersuchungsgebietes 6 detektiert werden. Dabei zeigen sich „+1“-Arealen in den tieferen Arealen sowie an den Flussufern des Colville und „-1“-Bereiche hauptsächlich in der Brooks Range. Insgesamt ist dieses Untersuchungsgebiet sehr waldarm. Zwar weisen einige Unterschiedsflächen Waldflächen auf, diese haben aber nur einen geringen Anteil im Untersuchungsgebiet. Waldverlust-, sowie Waldgewinnflächen wurde dabei an den Flüssen beobachtet. Ähnlich wie bei der Topographie gibt es auch eine Zweiteilung in der Landschaftsklassifikation. „+1“-Flächen werden als krautreiche Sumpflandschaften und permanente Gewässer markiert, „-1“-Arealen als Moose und Flechten sowie als Grasflächen und spärliche Vegetation gekennzeichnet. Permafrost liegt im gesamten Untersuchungsgebiet vor, jedoch können keine markanten Regionen generiert werden.

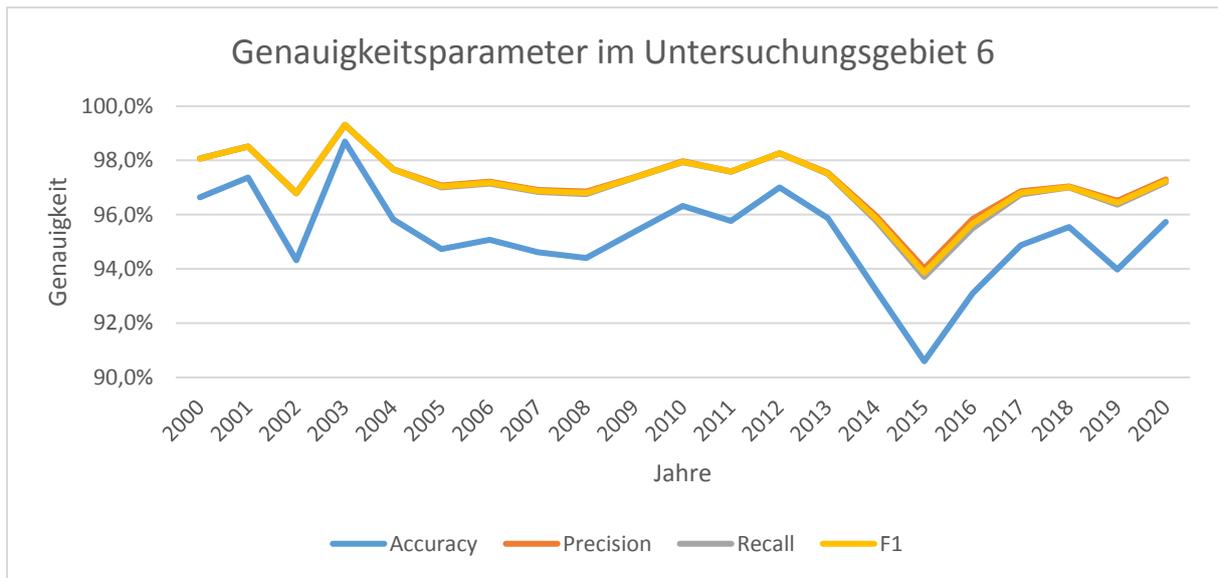


Abbildung 22 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 6 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 6

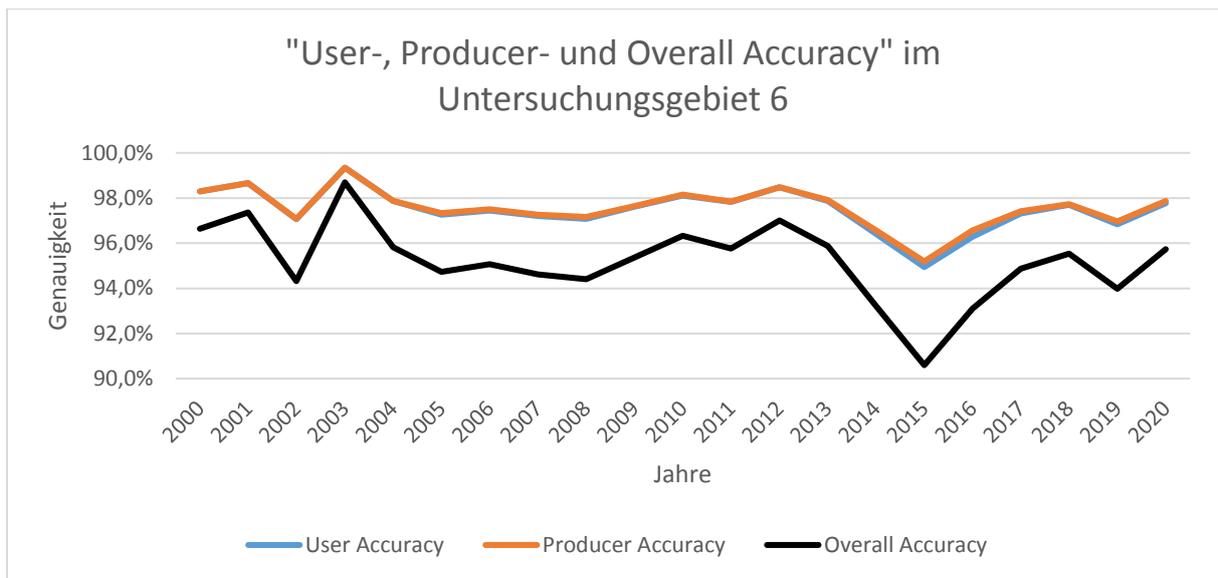


Abbildung 23 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 6 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „User-, Producer- und Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 6

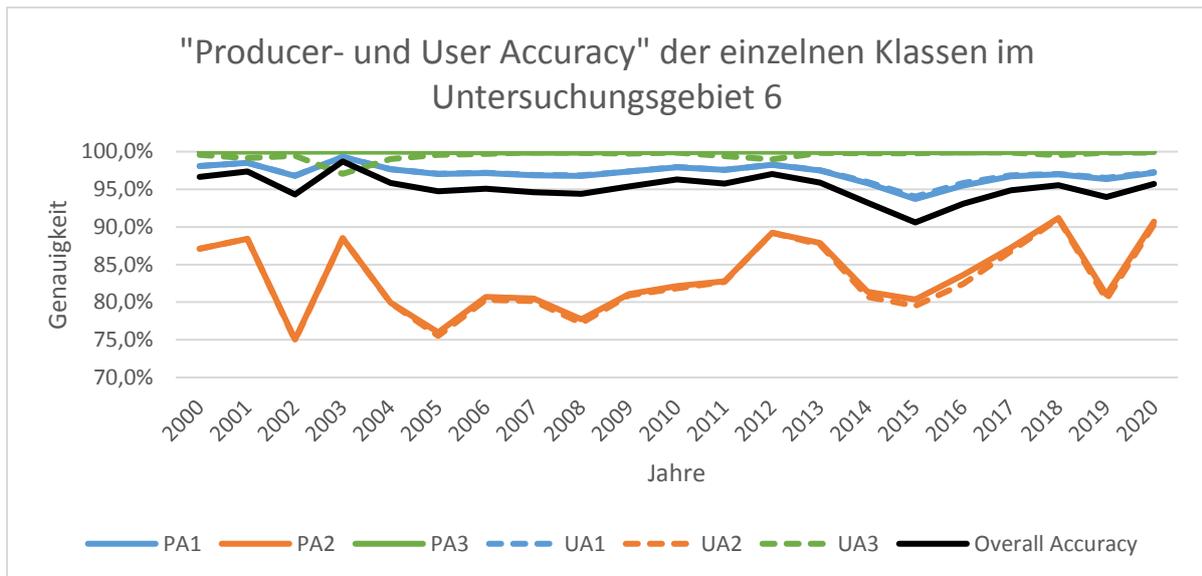


Abbildung 24 „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 6 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 6

4.1.7 Untersuchungsgebiet 7

In Anbetracht der Abbildung 25 stellt sich ein gleicher graphischer Verlauf sowie Wertebereich bei der „Precision“, „Recall“ und „F1“ heraus. Dabei bleiben die Prozentzahlen in einem Wertebereich von 98 % bis 98,5 % bis zum Jahr 2009 stabil. Im Jahr 2010 fällt der jeweilige Wert auf 97,7 % und steigt darauffolgend auf 98,6 % an. Ab 2012 schwankt der Wertebereich zwischen 97,1 % und 98 %, wobei die niedrigsten Werte in den früheren Jahren fallen. Im Vergleich zur „Accuracy“ wurde eine maximale Differenz von 1,9 % gemessen. Zumeist liegt dieser Wert 1,5 % unter dem der anderen Parameter. Ein ähnlicher graphischer Verlauf ist auch in Abbildung 26 ersichtlich. Die „Accuracy“ entspricht hier den ungefähren Verlauf der „Overall Accuracy“, auch wenn der Wertebereich der „Accuracy“ leicht höher ausfällt. Der graphische Verlauf von „Precision“, „Recall“, „F1“, „Producer Accuracy“ und „User Accuracy“ entfällt sehr ähnlich, jedoch sind die Werte ab dem Jahr 2012 bei den letztgenannten Parametern höher.

Die höchsten Prozentzahlen wurden jedoch für die „Producer Accuracy“ der Klasse 3 berechnet (siehe Abb. 27). Hier liegt ein Wertebereich zwischen 99,9 % und 100 % vor. Dabei ist die perfekte Klassifikation dominant. Die „User Accuracy“ gleicher Klasse pendelt sinusförmig zwischen 98,7 % und 99,4 %. Im Jahr 2012 wurde ein Minimalwert von 97,6 % berechnet. In den darauffolgenden Jahren schwankt der Wertebereich zwischen 99,3 % und 99,6 %. Niedriger fällt die „Producer Accuracy“ und „User Accuracy“ der Klasse 1 aus. Hier liegt der

Wertebereich bis zum Jahr 2012 bei 98 % bis 98,5 %. Einzig im Jahr 2010 wurde eine Genauigkeit von 97,7 % bestimmt. Ab 2013 fällt die Prozentzahl auf 97,1 %. Anschließend schwankt die Genauigkeit zwischen 97,6 % und 98 %. Die Klasse 2 zeigt hingegen einen völlig anderen graphischen Verlauf und einen niedrigeren Wertebereich. Bis 2009 bleibt dieser Wert in fast jedem Jahr bei 85 % stabil. In den Jahren 2003, 2010 und 2012 erfolgt eine Abnahme, 2004, 2011 und 2013 eine Zunahme der Genauigkeit. Mit der letzten Zunahme, steigt auch die Genauigkeit über 90 % an

Das Untersuchungsgebiet wird nach Westen hin niedriger, ähnlich der Zahl der Unterschiedsflächen. In den niedrigen Ebenen sowie an den Ufer- und Küstenbereichen konnten „+1“-Areale nachgewiesen werden. „-1“-Regionen zeigen sich großflächig in der Hudson Bay und kleinräumig im gesamten Untersuchungsgebiet. Vom Waldbestand sind keine markanten Formen erkennbar. Ein geringer Waldgehalt für alle Unterschiedsflächen konnte trotzdem nachgewiesen werden, jedoch sind Waldgewinn- und Verlustflächen in diesem Untersuchungsgebiet nicht vertreten. Insgesamt ist das Untersuchungsgebiet eine Mixtur aus mehreren Landschaftsklassen. Der Hauptteil der Unterschiedsflächen wird als permanentes Gewässer beschrieben. Der restliche Teil setzt sich zusammen aus krautreichen Sumpflandschaften, spärlicher Vegetation und Grasland. Auch ein hoher Permafrostgehalt wurde für das gesamte Untersuchungsgebiet bestimmt. Dieser nimmt jedoch in den Bereichen ab, wo Unterschiedsflächen vorliegen.

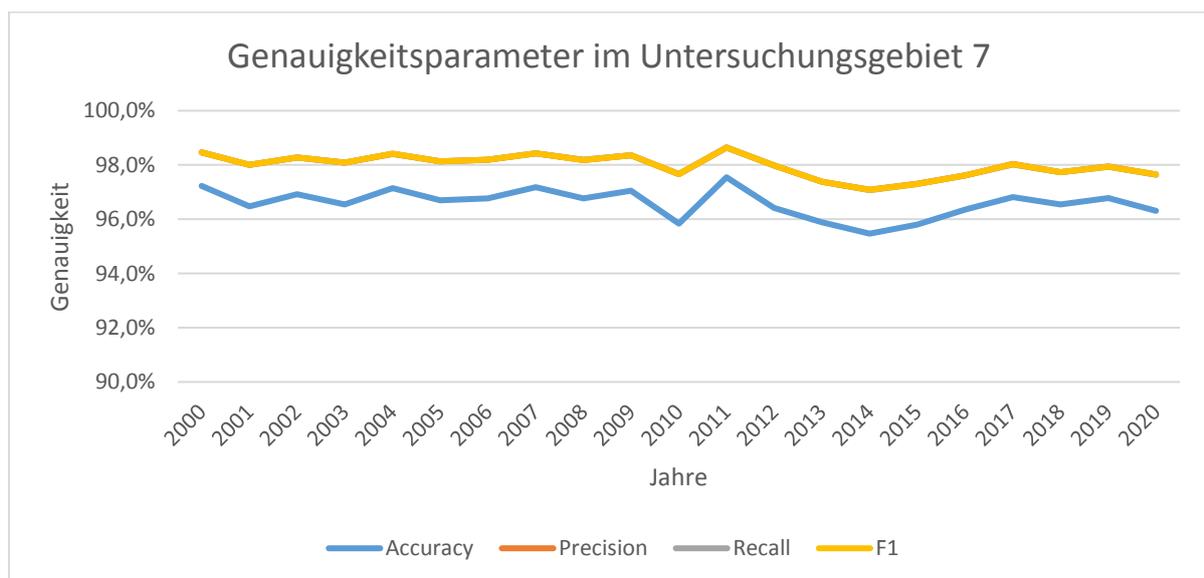


Abbildung 25 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 7 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 7

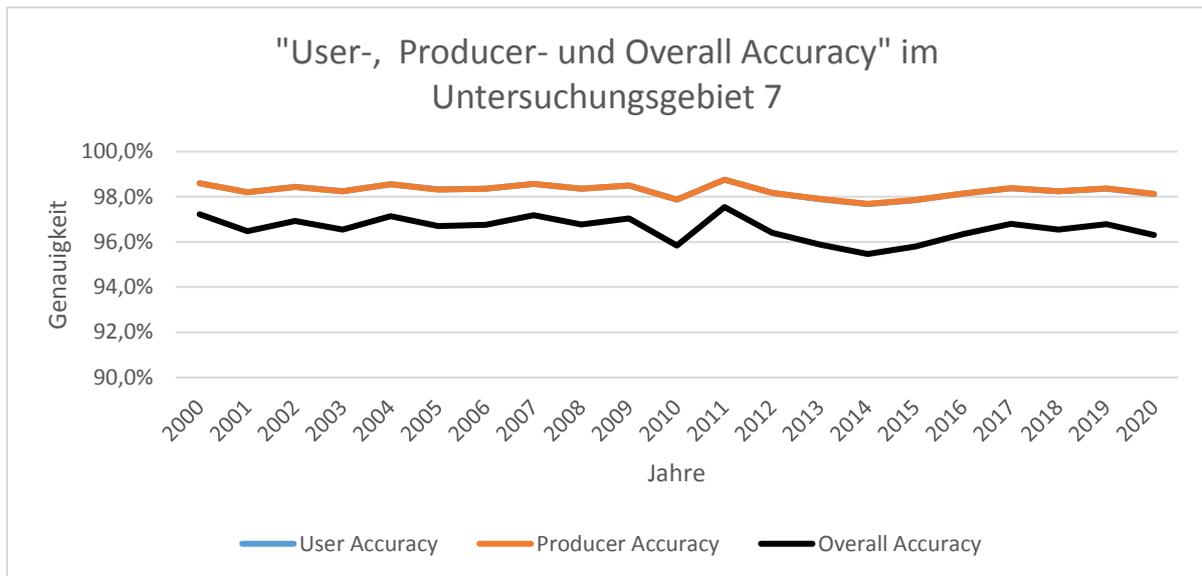


Abbildung 26 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 7 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „User-, Producer- und Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 7.

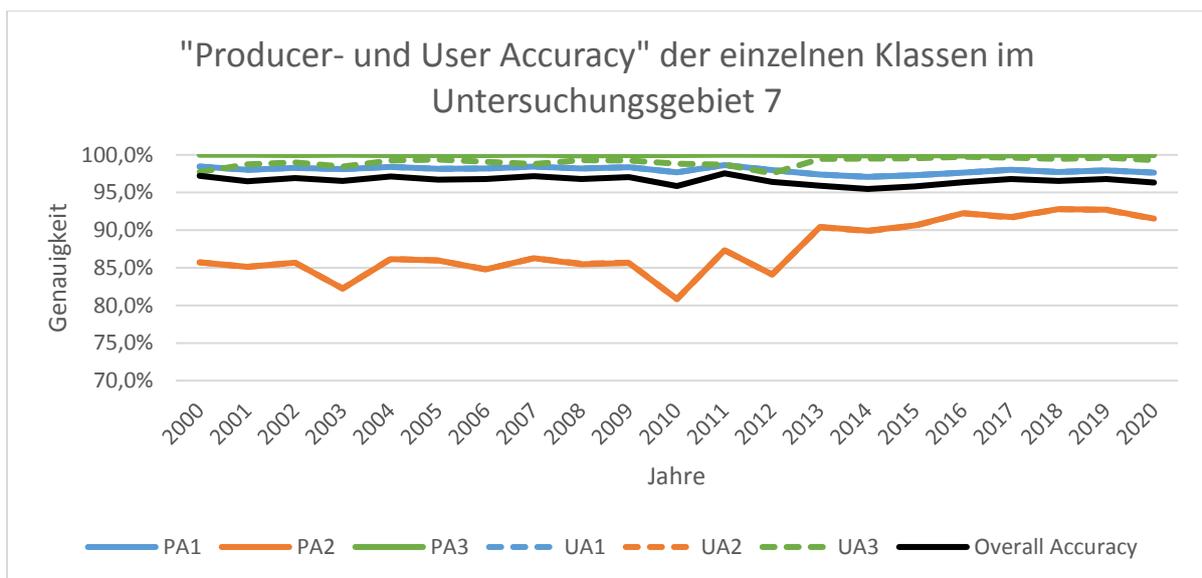


Abbildung 27 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 7 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 7.

4.1.8 Untersuchungsgebiet 8

Auch im achten Untersuchungsgebiet sind „Precision“, „Recall“ und „F1“ im gleichen Wertebereich (siehe Abb. 28). Die „Accuracy“ hingegen ist niedriger mit einer maximalen Differenz von bis zu 2 %. Bis zum Jahr 2012 schwanken die Graphen und bleiben stabil. Dabei nimmt die Differenz zur „Accuracy“ in den Jahren 2002, 2005 und 2011 ab, da hier kleine Anstiege erkennbar sind. Im Jahr 2012 nimmt der jeweilige Wert des Parameters um ca. 1 %

ab und bleibt auch hier stabil. Derselbe Verlauf und ein sehr ähnlicher Wertebereich sind auch bei der „User Accuracy“, „Producer Accuracy“ und „Overall Accuracy“ in Abbildung 29 ersichtlich.

Wie in den vorherigen Untersuchungsgebieten weist die „Producer Accuracy“ der Klasse 3 hauptsächlich Werte an die 100 % auf (siehe Abb. 30). Die „User Accuracy“ hingegen schwankt zwischen 99 % und 100 %. Einzig in den Jahren 2000 und 2012 ist dieser Wert niedriger. Die Klasse 1 bleibt hingegen nahezu stabil (96 %), nur im Jahr 2012 erfolgt eine geringe Abnahme. Eine Ausnahme im Diagramm bildet die Klasse 2. Nach größeren anfänglichen Schwankungen, stagniert der Wert ab 2006 um die 85 %. Ab 2013 erfolgt ein Anstieg auf über 94 %.

Unterschiedsflächen lassen sich aufgrund von Tiefenlagen identifizieren. Dabei konnten sowohl „+1“- und „-1“-Regionen auf Mikroebene im gesamten Untersuchungsgebiet erkannt werden. Nach Norden nimmt der Waldbestand kontinuierlich ab, jedoch kann hier kein Trend hinsichtlich der Unterschiedsflächen generiert werden. Auch auf Basis der Waldgewinn- und Verlustflächen wurden keine markanten Flächen ermittelt. Auf Mikroebene werden sehr wenige Unterschiedsareale als Grasflächen klassifiziert. Der Rest zeigt sich als permanente Gewässer. In diesen Bereichen nimmt der Permafrostgehalt ab und zeigt kohärente Gebiete an. Der Großteil des Untersuchungsgebietes wird zwar als „0“ angegeben, dennoch ist die Anzahl an Unterschiedsflächen im Vergleich sehr hoch.

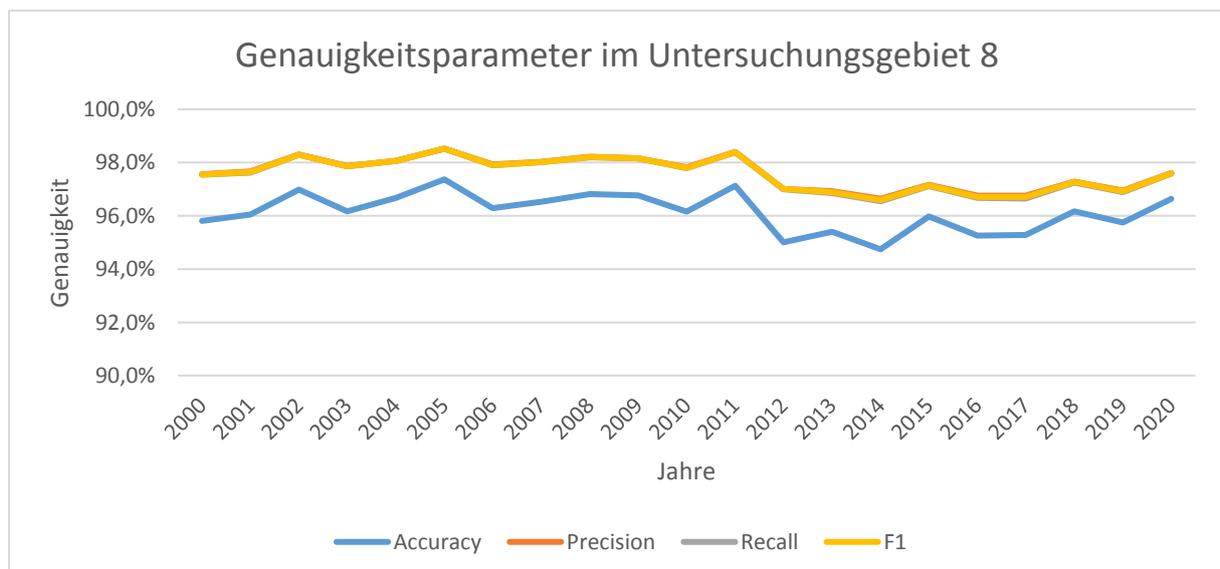


Abbildung 28 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 8 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 8.

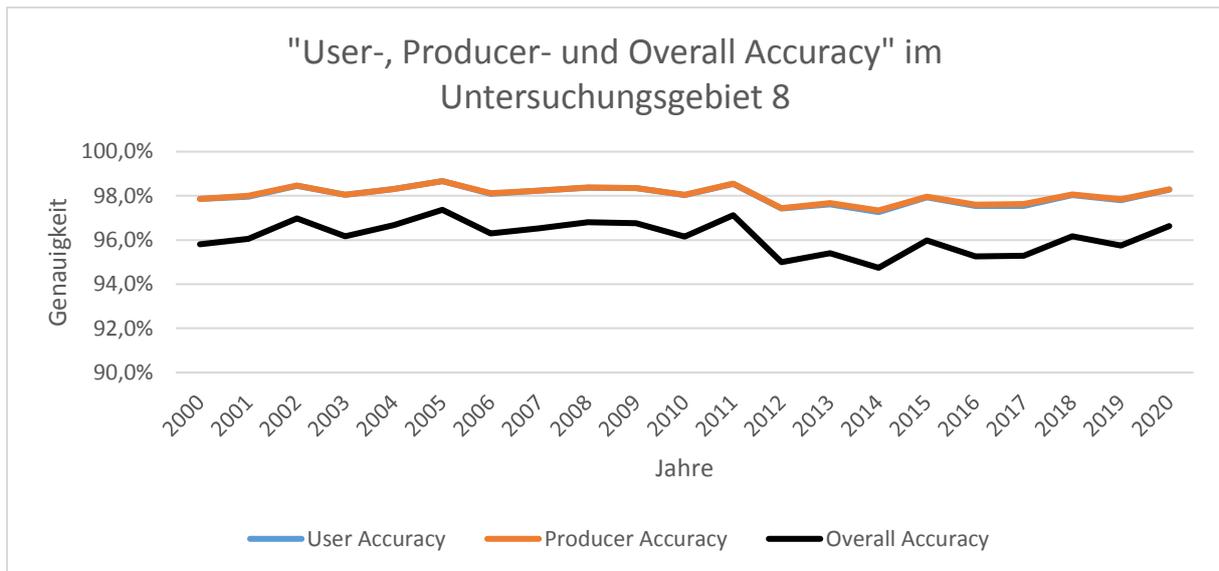


Abbildung 29 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 8 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „User-, Producer- und Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 8.

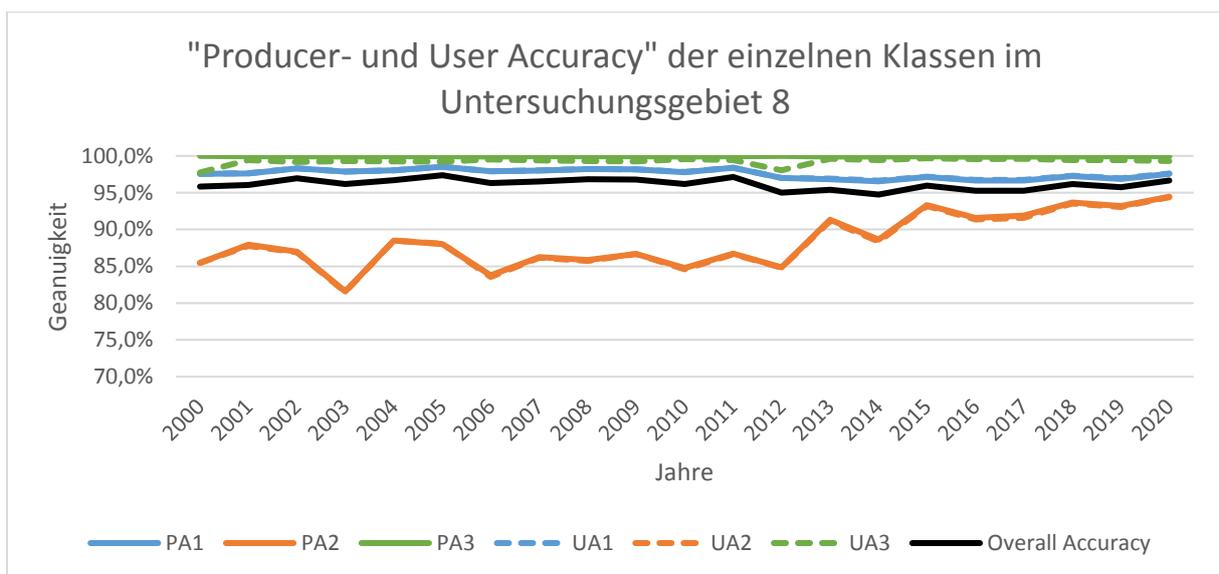


Abbildung 30 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 8 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 8.

4.1.9 Untersuchungsgebiet 9

„Precision“, „Recall“ und „F1“ zeigen im Untersuchungsgebiet 9 zwar einen fast identischen graphischen Verlauf, jedoch weist der „Recall“ die höchsten Prozentzahlen auf, wenn auch in geringem Verhältnis (siehe Abb. 31). Der Wertebereich der Parameter beläuft sich auf 98,5 % bis 99,6 %. Ein leichter Anstieg ist von Anfang der Zeitreihe bis zum Maximalwert im Jahr 2004 erkennbar. Daraufhin nehmen die Werte bis zum Jahr 2006 ab und schwanken

jährlich ohne einen genauen Trend. Die „Accuracy“ weist bis zum Jahr 2006 einen ähnlichen Verlauf auf, wenn auch mit einem niedrigeren Wertebereich. Bis zum Jahr 2011 erfolgt ein kleiner Anstieg. Nach einer Abnahme von 1,1 % schwankt der Wert mit einem Trend Richtung Wachstum. Die Differenz zu „Precision“, „Recall“ und „F1“ beträgt zwischen 0,3 % und 1,2 %. Die „Overall Accuracy“ weist einen sehr ähnlichen graphischen Verlauf und Wertebereich der „Accuracy“ auf (siehe Abb. 32). Ebenso die Parameter „Precision“, „Recall“, „F1“, „Producer Accuracy“ und die „User Accuracy“ zueinander.

In den drei Klassen der „Producer Accuracy“ und „User Accuracy“ können verschiedene Verläufe der Graphen erkannt werden (siehe Abb. 33). Die „Producer Accuracy“ der Klasse 3 weist bis zum Jahr 2005 eine Genauigkeit von 100 % auf. 2006 wurde eine Prozentzahl von 99,7 % berechnet. Daraufauf folgt wieder bis 2013 ausschließlich die 100 % erreicht und anschließend schwankt der Wert zwischen 99,8 % bis 100 %. Die „User Accuracy“ derselben Klasse variiert bis zum Jahr 2006 zwischen 99,7 % bis 100 %. In den darauffolgenden Jahren schwankt der Wert bei 99,9 % bis 100 %. 99,3 % wurden im Jahr 2013 berechnet. Ab diesem Jahr schwankt die Genauigkeit zwischen diesem Wert und 100 %. Die „Producer Accuracy“ und „User Accuracy“ der Klasse 1 weisen in der gesamten Zeitreihe geringe Schwankungen auf. Der Wertebereich liegt dabei zwischen 98,6 % und 99,6 %. Die Klasse 2 weist größere Schwankungen im Verlauf auf. In den ersten beiden Jahren ist die Genauigkeit stabil unter 90 %. Es entsteht ein einjähriger Anstieg, gefolgt von einer ebenso langen Abnahme. 2004 wird mit 95,7 % ein Hochpunkt markiert, 2006 mit 89,5 % einer der niedrigsten Werte. Nach 2007 erfolgt im Trend ein Anstieg. Einzig 2010 und beim Minimalwert 2012 kommt es zu einem Abschwung.

Victoria Island ist im Verhältnis zu den anderen Untersuchungsgebieten sehr flach. Trotzdem können markante Unterschiedsflächen anhand der Höhenlagen lokalisiert werden. „-1“-Areale liegen auf Mikroebene auf der gesamten Insel vor. „+1“-Regionen konnten an Ufer- und Küstenbereichen, aber auch an verschiedenen Höhenlinien markiert werden. Anhand des Baumbewuchses kann keine Aussage über das Untersuchungsgebiet getätigt werden, da sich dieses Areal oberhalb der Baumgrenze befindet. Hier liegen spärliche Vegetation, Moose und Flechten sowie krautreiche Sumpflandschaften vor, wobei jede Klasse Unterschiedsflächen aufweist. Der Großteil wird jedoch als permanente Gewässerflächen lokalisiert. Der Permafrostanteil ist im gesamten Untersuchungsgebiet signifikant hoch, zeigt aber keine markanten Formen.

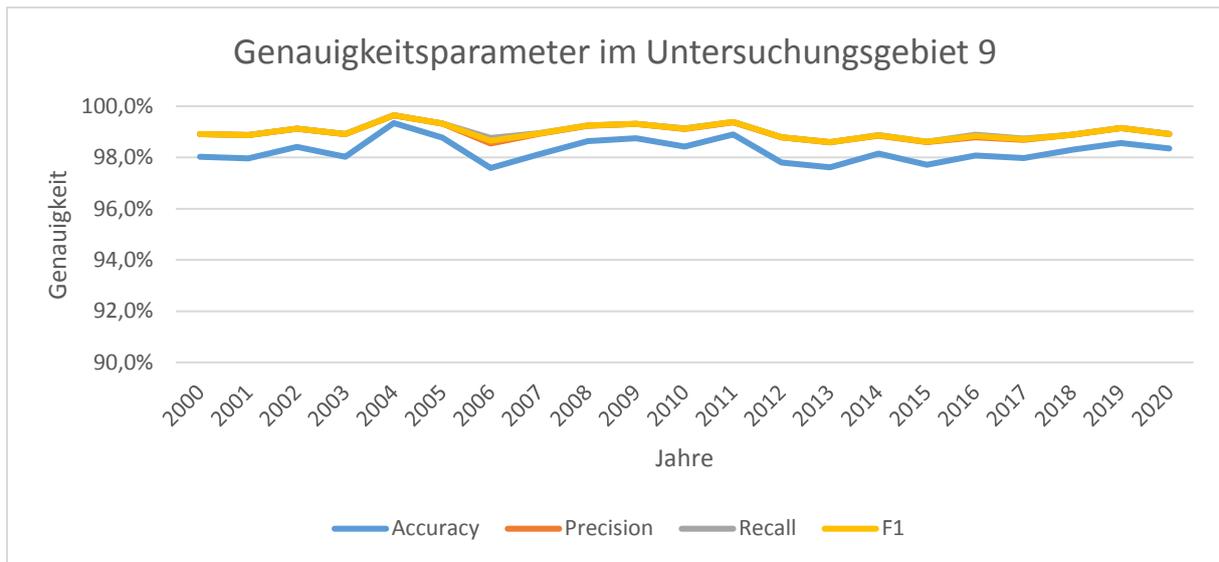


Abbildung 31 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 9 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 9.

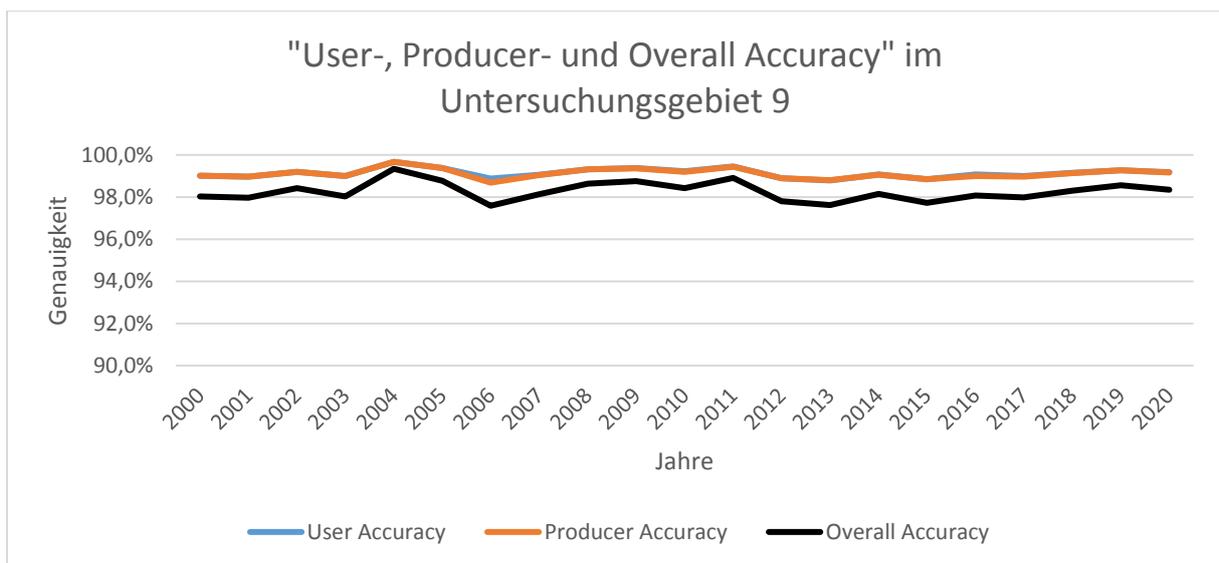


Abbildung 32 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 9 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „User-, Producer- und Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 9.

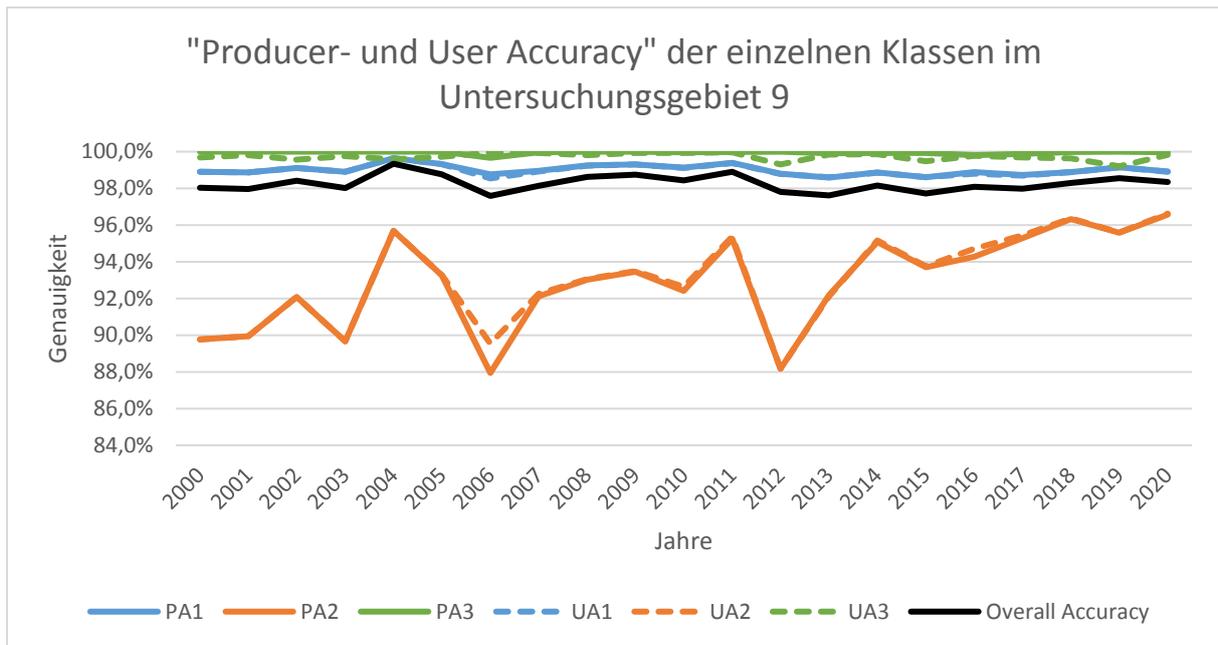


Abbildung 33 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 9 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 9.

4.1.10 Untersuchungsgebiet 10

Auch im zehnten Untersuchungsgebiet weisen „Precision“, „Recall“ und „F1“ sehr ähnliche Ergebnisse auf, wobei die Prozentzahlen des „Recalls“ höher als die der weiteren Parameter ausfallen (siehe Abb. 34). Die jeweiligen Graphen beginnen mit einem Wert von 98,8 % im Jahr 2000. Diese steigen im Jahr darauf auf 99 % an, bevor er bis 2003 auf 98,2 % absinken. Mit einem Anstieg auf den Maximalwert von 99,3 % sinken die Prozentzahlen im Trend bis zum Jahr 2012. Die Genauigkeiten bleiben daraufhin stabil bei 98,4 %. Zuletzt kommt es zu einem Anstieg, der unter 99 % bleibt und einer letzten Minderung. Die „Accuracy“ hingegen weist immer einen geringeren Wertebereich auf, dafür aber einen sehr ähnlichen graphischen Verlauf, wobei die Differenzen in Bereichen des Anstiegs geringer werden und mit Abnahme wieder wachsen. Im Vergleich zur Abbildung 35 sind die „Overall Accuracy“ und „Accuracy“ beinahe identisch. Es liegen nur Nuancen an Unterschieden vor. Rein vom Diagramm kann kein Unterschied erkannt werden. Auch beim Vergleich der „Producer- und User Accuracy“ mit der „Precision“, dem „Recall“ und des „F1“-Werts liegen ähnliche jährliche Ergebnisse vor, dabei ist der Wertebereich bei der „Producer- und User Accuracy“ geringmächtig höher.

In Anbetracht der „*Producer Accuracy*“ und „*User Accuracy*“ liegen Unterschiede in den Ergebnissen der Klasse 3 vor (siehe Abb. 36). Die „*Producer Accuracy*“ wurde hier mit Ausnahme des Jahres 2008 auf 100 % berechnet. Ab 2014 schwankt die Genauigkeit von 99,8 % bis 100 %. Die „*User Accuracy*“ variiert im Wertebereich von 98,5 % bis 100 %. Bis zum Jahr 2004 bleibt die Genauigkeit stabil. Schwankungen folgen in den Jahren darauf. Ab dem Jahr 2010 steigt die Genauigkeit bis zur 100 % Marke an. 2018 erfolgt eine geringe Abnahme. Die „*Producer Accuracy*“ und „*User Accuracy*“ der Klasse 1 bleiben bis zum Jahr 2015 annähernd identisch. Ab hier weist die „*Producer Accuracy*“ einen minimal höheren Wert auf. Der graphische Verlauf beider Parameter verhält sich ähnlich zur „*Overall Accuracy*“. Zwar sind die Werte der Klasse 1 höher, dafür aber die Schwankungen der „*Overall Accuracy*“ größer. Dabei variiert die Differenz zwischen 0,8 % und 1,7 %. Die „*Producer Accuracy*“ und „*User Accuracy*“ der Klasse 2 weisen den gleichen graphischen Verlauf auf, dabei sind deren Ergebnisse sehr ähnlich. Die „*User Accuracy*“ zeigt jedoch minimal höhere Werte. Der Verlauf der Graphen ähnelt der „*Overall Accuracy*“, jedoch beträgt der Wertebereich bei Klasse 2 von 85,7 % bis 96 %. Die Schwankungen zeigen ein höheres Ausmaß im Vergleich zu den anderen Parametern.

Insgesamt weist das Untersuchungsgebiet 10 mehr „+1“-Areale, als „-1“-Flächen auf. Die „+1“-Bereiche zeigen sich hauptsächlich an den Ufer- und Küstenebenen sowie auf Mikroebene Richtung Zentrum der Insel, „-1“-Region in sehr kleinflächig bei den Baffin Mountains, verhältnismäßig großflächig an der Küste und im permanenten Gewässer. Da Baffin Island oberhalb der Baumgrenze liegt, sind keine Vergleiche mit dem „*Global Forest Change*“-Datensatz von HANSEN et al. (2013) möglich. In diesem Gebiet sind Moose und Flechten sowie spärliche Vegetation am weitesten verbreitet. Dennoch zeigen sich hier nahezu keine Unterschiedsflächen, genauso wie in den krautreichen Sumpflandschaften. In diesem Untersuchungsgebiet weisen permanente Gewässerflächen einen verhältnismäßig hohen Anteil von Unterschiedsflächen auf. Diese zeigen sich hauptsächlich an den Ufer- und Küstenebenen. Auf Grundlage vom Permafrost-Datensatz von OBU et al. (2018) können keine Aussagen bezüglich des Einflusses getätigt werden, da im gesamten Untersuchungsgebiet ein konstant hoher Anteil vorliegt.

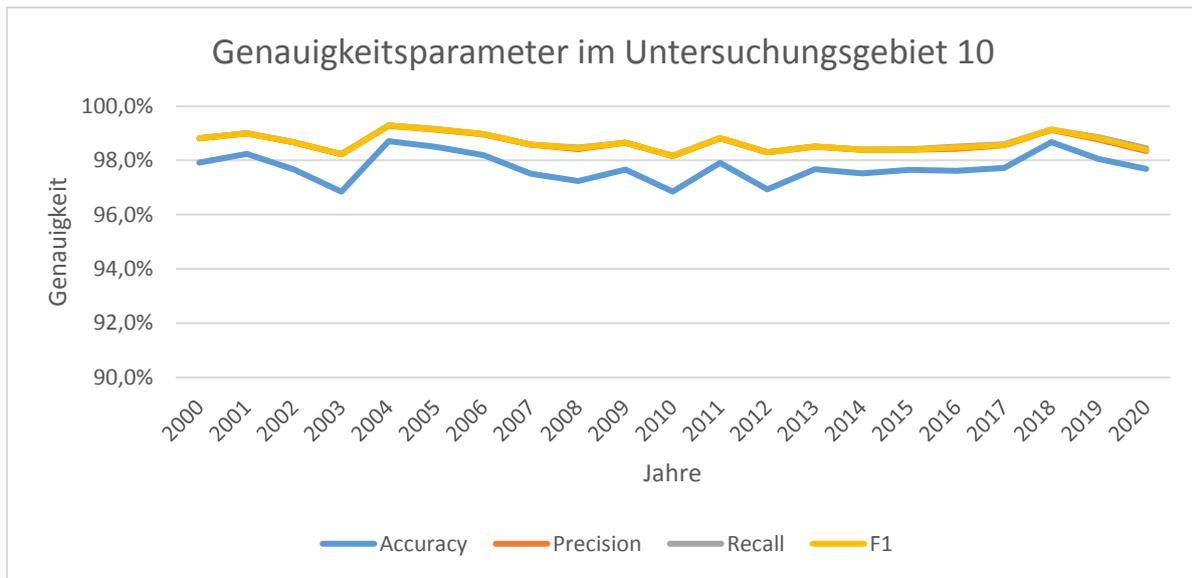


Abbildung 34 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 10 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 10.

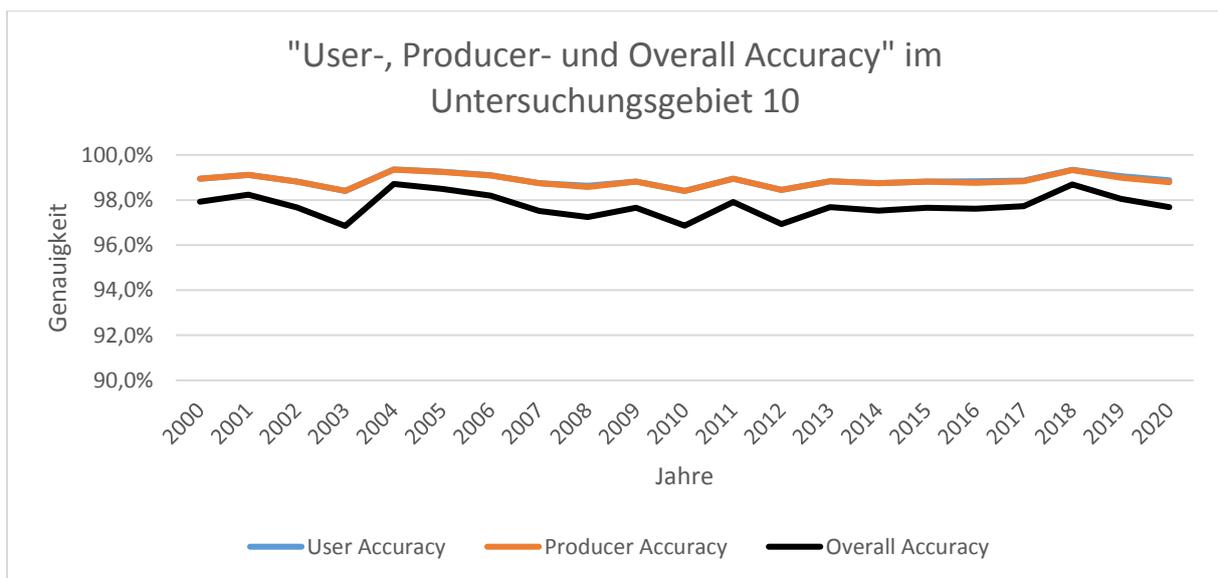


Abbildung 35 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 10 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „User-, Producer- und Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 10.

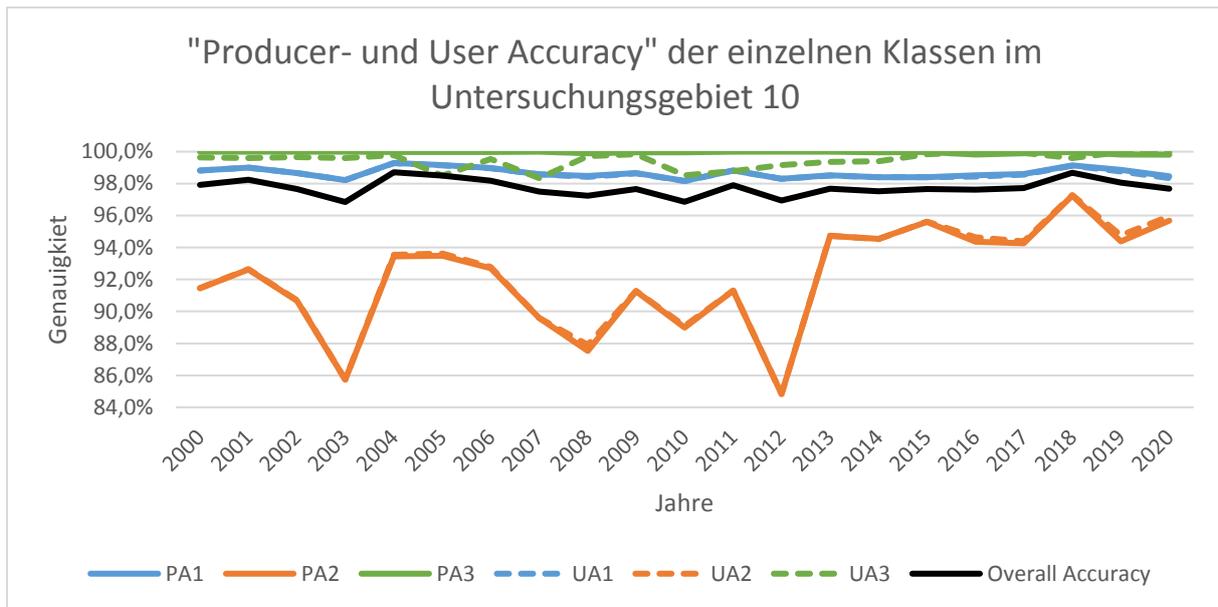


Abbildung 36 „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 10 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 10.

4.1.11 Untersuchungsgebiet 11

Das elfte Untersuchungsgebiet zeigt einen ähnlichen graphischen Verlauf der „Precision“, des „Recall“, des „F1“- Werts und der „Accuracy“ auf (siehe Abb. 37). Dabei weisen „Precision“, „Recall“ und „F1“ einen fast identischen Wertebereich auf, wobei dieser bei der „Precision“ minimal höher angegeben wird. Dies ist zwischen den Jahren 2008 und 2010 sowie von 2015 bis 2020 und vor allem in Abbildung 37 erkennbar. Die „Accuracy“ hingegen zeigt einen deutlich niedrigeren Wertebereich auf, wodurch eine maximale Differenz von bis zu 2,9 % pro Jahr erreicht wird. Die „Precision“, die „Recall“ und die „F1“-Werte beginnen im Jahr 2000 bei 98,3 %. In den darauffolgenden Jahren schwankt die Prozentzahl um die 98 % Marke, wobei ein Wertebereich von 97,5 % bis 98,5 % vorliegt. Zwischen den Jahren 2001 und 2003 erfolgt ein geringmächtiger Anstieg der Werte. Bis zum Jahr 2009 kommt es jedoch wieder zu einem Abschwung, wobei die Differenz zwischen der „Accuracy“ und den „Precision“- , „Recall“- und „F1“-Werten ca. 1 % beträgt. In den folgenden Jahren wird dieser Wert geringer. Mit dem Anstieg der „Precision“, des „Recalls“ und des „F1“-Werts erfolgt die nächste Abnahme, die im Trend 2015 ihren Minimalwert von 95 % aufweist. Speziell zwischen den Jahren 2014 und 2015 ist der Abschwung mit einer Differenz von bis zu 3,7 % vergleichsweise hoch. Ein ebenso starker Anstieg erfolgt im Jahr 2016 mit einer Stabilisierung in den Jahren 2017 und 2018, wo der Maximalwert von 99,2 % erreicht wird. Hier beträgt die Differenz zur „Accuracy“ nur 0,6 %. In den letzten Jahren liegt wieder eine Abnahme der Prozentzahlen vor. Im Vergleich der

Graphen zu denen der „*Producer Accuracy*“, „*User Accuracy*“ und der „*Overall Accuracy*“ ist eine Kohärenz zwischen der „*Accuracy*“ und „*Overall Accuracy*“ erkennbar. Beide Zeitreihen weichen nur minimal voneinander ab (siehe Abb. 37 und 38). Bezüglich der „*Producer Accuracy*“ und „*User Accuracy*“ liegen jedoch Unterschiede im Wertebereich vor. Der graphische Verlauf ist ähnlich zur „*Precision*“, „*Recall*“ und „*F1*“, wenn auch nicht identisch. Auch das „*Producer Accuracy*“ und „*User Accuracy*“ ähnliche Werte zueinander vorweisen, wobei die „*Producer Accuracy*“ minimal höhere Prozentzahlen zeigt. Die Schwankungen bis zum Jahr 2009 sind gleich, wobei diese minimaler an der 98 % Marke kratzen als in Abbildung 37. Im weiteren Verlauf sind die Genauigkeiten der „*Producer Accuracy*“ und „*User Accuracy*“ insgesamt höher, auch wenn es sich in manchen Jahren um Nuancen handelt.

Im Vergleich der „*Producer Accuracy*“ zur „*User Accuracy*“ von den einzelnen Klassen, konnten mit Ausnahme der Klasse 3, Ähnlichkeiten im graphischen Verlauf detektiert werden (siehe Abb. 39). Hier schwankt die „*Producer Accuracy*“ im Wertebereich von 99,9 % bis 100 %. Die „*User Accuracy*“ variiert in den Anfangsjahren zwischen dem Minimalwert von 97,8 % und 98,9%. Ab dem Jahr 2005 steigt die Genauigkeit über 99 % und schwankt jährlich um 0,1 %. Im Jahr 2010 ist ein kleiner Abschwung auf 98,9 % erkennbar. In den Jahren darauf schwankt der Wert aber um die 99,9 %. Die „*Producer Accuracy*“ und „*User Accuracy*“ der Klasse 1 zeigen einen ähnlichen graphischen Verlauf, wie die „*Overall Accuracy*“ auf. Die Schwankungen sind jedoch geringer und der Wertebereich höher. Zwar weisen „*Producer Accuracy*“ und „*User Accuracy*“ zueinander auch sehr ähnliche Werte auf, die „*User Accuracy*“ zeigt jedoch minimal höhere Genauigkeiten. Die Differenzen liegen anfangs bei 2 %, ab 2011 wird diese Prozentzahl um ungefähr 0,9 % geringer. Diese Zahl variiert jährlich. Die „*Producer Accuracy*“ und „*User Accuracy*“ der Klasse 2 weisen markante Unterschiede in den Jahren 2006 bis 2007, 2008 bis 2010, 2014 bis 2017 und ab 2018 auf, wobei die „*User Accuracy*“ immer einen geringeren Wert anzeigt. Der Graph beider Parameter startet im Jahr 2000 mit 84,9 % und sinkt im Jahr darauf auf 78,4 % ab. Anschließend entsteht ein Anstieg bis auf 85,5 % im Jahr 2005. Gefolgt wird dieser von einem weiteren Abschwung bis 2007. Im Jahr 2008 wird mit 87,5 % ein Hochpunkt berechnet, welcher im Jahr darauf auf vorigen Level absinkt. In den Jahren darauf folgt ein weiterer Anstieg auf Genauigkeiten über 90 %. Dabei ist der ersichtlich höchste Anstieg zwischen 2010 und dem Jahr 2011 erkennbar. 2015 ist eine einjährige Absenkung auf 78,7 % markant. Darauffolgend liegt eine Genauigkeit von über 95 % vor, die aber in den letzten Jahren wieder abnimmt.

Durch einen Streifen zeigt dieses Untersuchungsgebiet im Nordosten keine Daten an. Da nur ein kleiner Bereich betroffen ist, wird dennoch eine Untersuchung dieser Region vorgenommen. Mithilfe der Referenzdaten von YAMAZAKI et al. (2017) konnten markante Unterschiedsflächen anhand der Topographie erkannt werden. In den niedrigen Gefilden sowie den Ufer- und Küstenebenen wurden vermehrt „+1“-Areale lokalisiert. Auch einige „-1“-Regionen sind hier markiert. Weitere sind geringmäÙig in den Höhenlagen sichtbar. Der Waldanteil nimmt Richtung Norden hin ab, jedoch sind keine markanten Formen in Verhältnis zu den Unterschiedsflächen sichtbar. Auch anhand von Waldgewinn- und Verlustflächen können keine markanten Formen detektiert werden. Als Hauptrepräsentantengebiete für Unterschiedsflächen gelten krautreiche Sumpflandschaften und permanente Gewässerflächen. Auch Grasland sowie Moos und Flechtengebiete weisen Unterschiedsareale auf. Diese sind aber sehr gering ausgeprägt. Dafür ist der Permafrostgehalt im gesamten Untersuchungsgebiet sehr hoch, jedoch ohne markante Formen.

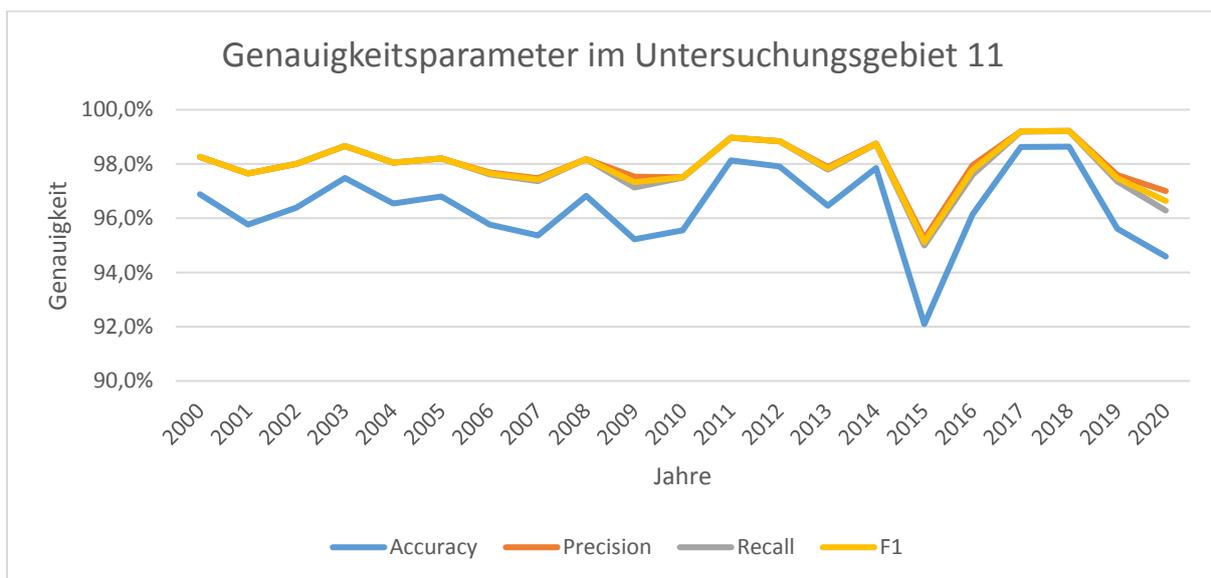


Abbildung 37 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 11.

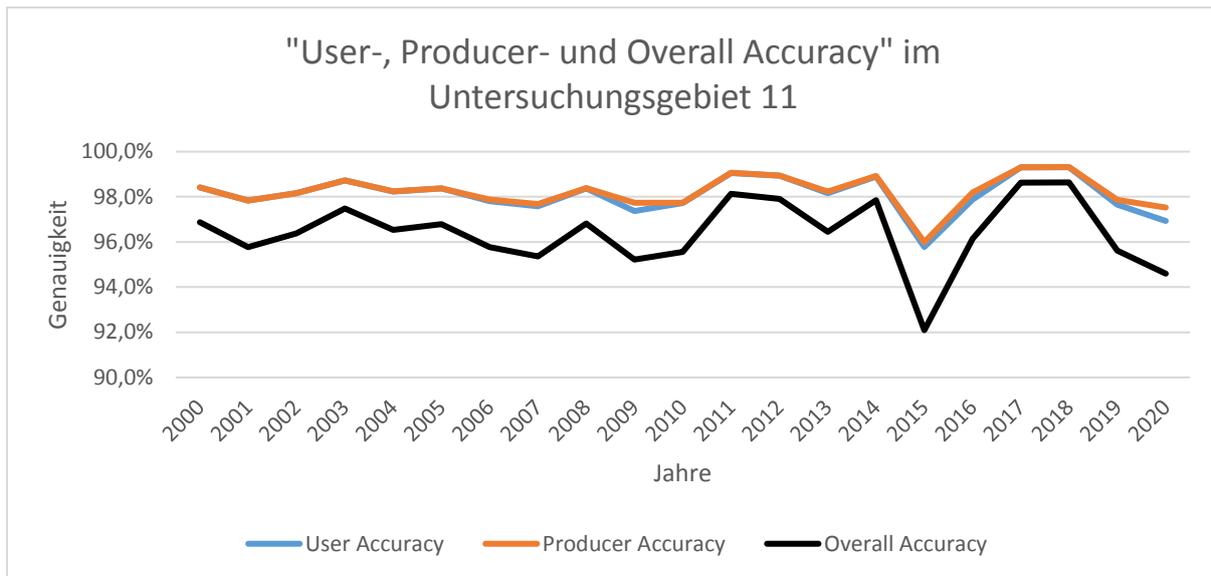


Abbildung 38 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 11 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „User-, Producer- und Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 11.

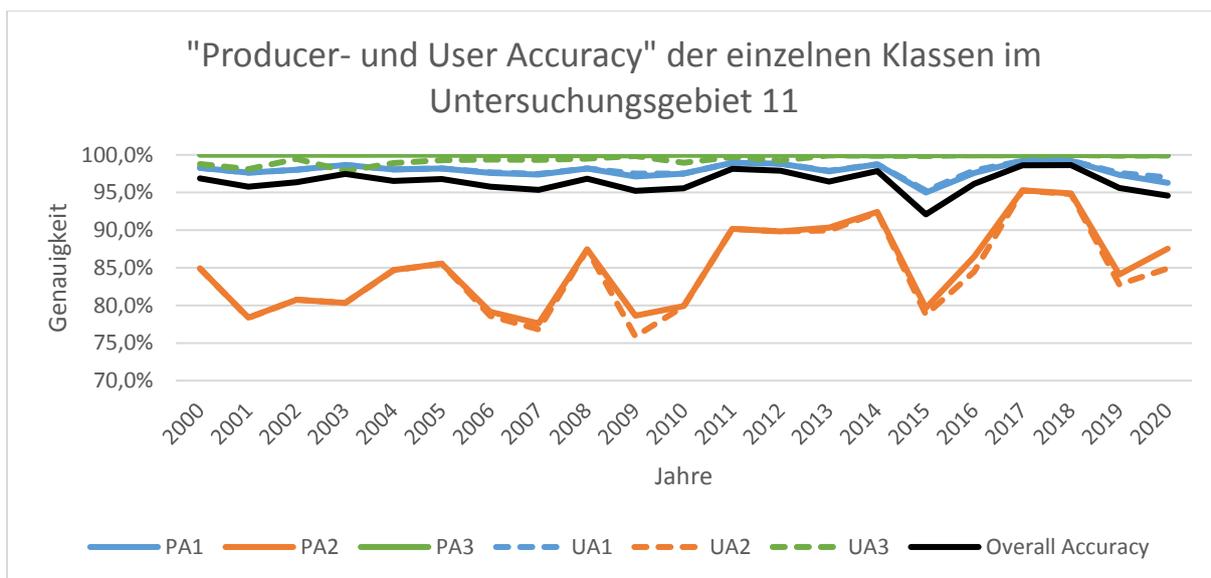


Abbildung 39 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 11 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 11.

4.1.12 Untersuchungsgebiet 12

Auch im letzten Untersuchungsgebiet weisen „Precision“, „Recall“ und „F1“ ähnliche Ergebnisse auf, wobei die „Precision“ die höchsten Werte anzeigt, wenn auch nur gering erkennbar in Abbildung 40. Im Jahr 2000 liegen alle Werte bei ca. 97,9 %. Im Jahr darauf sinkt der Wert auf 96,7 %, beziehungsweise 96,8 %. Bis zum Jahr 2004 bleibt der Wert stabil. Darauf folgend steigt die Genauigkeit auf bis zu 98,4 % an und die Prozentzahl stagniert wieder.

2009 wird das Maximum von 98,7 % erreicht, bis 2013 sinkt die Prozentzahl jedoch leicht. Das Minimum wird beim „Recall“ im Jahr 2015 mit 95,7 % berechnet. Der „Precision“-Wert weist eine um 0,3 % höhere Prozentzahl auf, in den darauffolgenden Jahren steigen bei allen drei Parameter die Werte wieder an. Die „Accuracy“ zeigt den gleichen graphischen Verlauf, jedoch weisen die Genauigkeiten eine maximale Differenz von 2,4 % auf. Dennoch sind auch hier die Prozentzahlen im Vergleich zu „Precision“, „Recall“ und „F1“ geringer (siehe Abb. 40). Die „Producer- und User Accuracy“ weisen nur minimale Unterschiede zu „Precision“, „Recall“ und „F1“ auf, weshalb das Diagramm mit dem Verlauf der Graphen nahezu identisch aussieht (siehe Abb. 41). Auch die „Overall Accuracy“ hat einen sehr ähnlichen Graphen, wobei dieser einen niedrigeren Wertebereich aufweist. So liegt eine Differenz von bis zu 2,7 % vor (siehe Abb. 41).

Die jeweiligen „Producer- und User Accuracies“ der einzelnen Klassen sind sich sehr ähnlich (siehe Abb. 42). Die „Producer Accuracy“ der Klasse 3 schwankt zwischen 99,9 % und 100 %. Bei der „User Accuracy“ liegt der Wertebereich bei 99,2 % und bis zu 100 % in den letzten Jahren. Einzig das Jahr 2003 bildet eine Ausnahme, weil hier die Prozentzahl auf 98,3 % fällt und somit weit niedriger liegt als die anderen Ergebnisse. Bei Anbetracht der Klasse 1 sind kleine Schwankungen erkennbar. Dabei liegt ein Wertebereich von 95,1 % bis 98,1 % vor. Nach einer anfänglichen Abnahme, steigt die Genauigkeit ab 2004 wieder an und bleibt stabil. Kleinen Schwankungen zwischen 2008 und dem Jahr 2011 folgt eine Stabilisierung des Wertes. 2015 wird der Minimalwert erreicht und anschließend ein weiterer Anstieg verzeichnet. Im Vergleich ist in dieser Klasse die „User Accuracy“ höher als die „Producer Accuracy“. Die „Producer- und User Accuracy“ der Klasse 2 weisen jährliche Schwankungen auf. So variiert die Genauigkeit jährlich, wobei sie ab 2004 geringer ausfällt und im Trend ein Anstieg vorliegt. Ab dem Jahr 2010 steigen „Producer- und User Accuracy“ mit leichten Schwankungen an. Die maximale Differenz zu den anderen Klassen beträgt hier über 10 %.

Das Untersuchungsgebiet 12 ist geprägt durch Höhenlagen im Westen, die Brooks Range, im Süden durch das Mackenzie-Gebirge und Tiefenlagen durch den Mackenzie River mit Delta. Die Höhenlagen zeigen einige kleinräumige „-1“-Areale, die niedrigen Bereiche großflächige „+1“-Regionen mit vereinzelt einigen wenigen „-1“-Flächen. Markante Formen anhand des Waldbestandes sind jedoch nicht sichtbar. Trotzdem kann ein hoher Waldanteil bei allen Unterschiedsflächen sowie im Süden als „0“ und vereinzelt als „+1“ lokalisierte Waldverlustflächen bestätigt werden. Auch ZANAGA et al. (2021) zeigte an, dass einige Unterschiedsareale als Waldgebiet gekennzeichnet sind. Diese sind ähnlich wie Grasland,

Strauchlandschaften sowie Moose und Flechtengebiete von geringem Maß. Hauptsächlich bei krautreichen Sumpflandschaften und permanenten Gewässerflächen ist der Großteil als Unterschiedsflächen sichtbar. Dabei sind „+1“-Regionen dominant. Diese lassen sich auch anhand eines geringen Permafrostgehaltes aufzeigen.

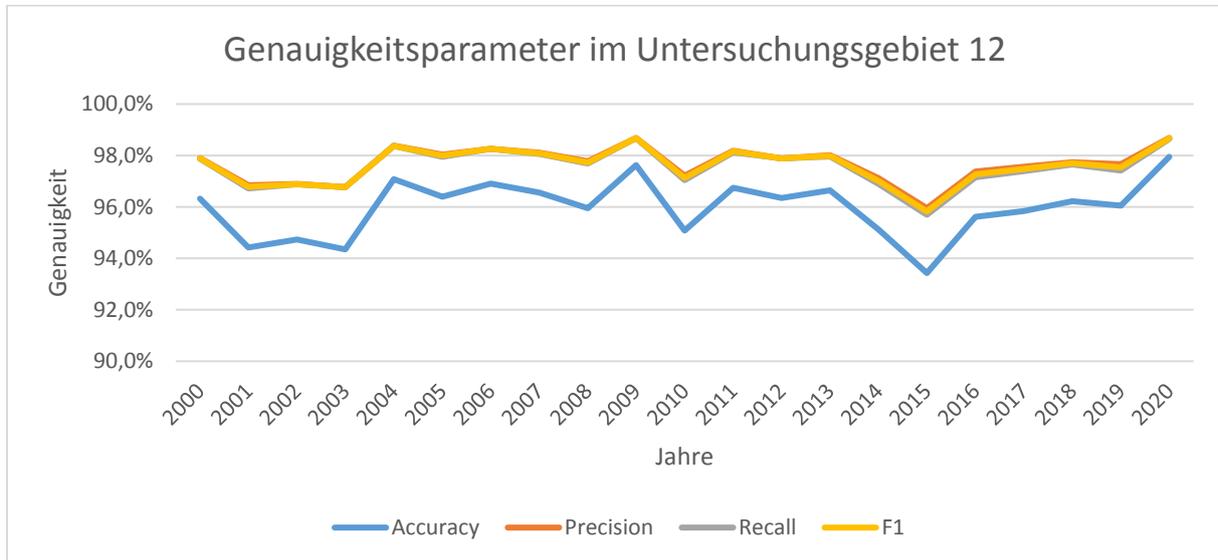


Abbildung 40 Genauigkeitsparameter im Untersuchungsgebiet 12 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 12.

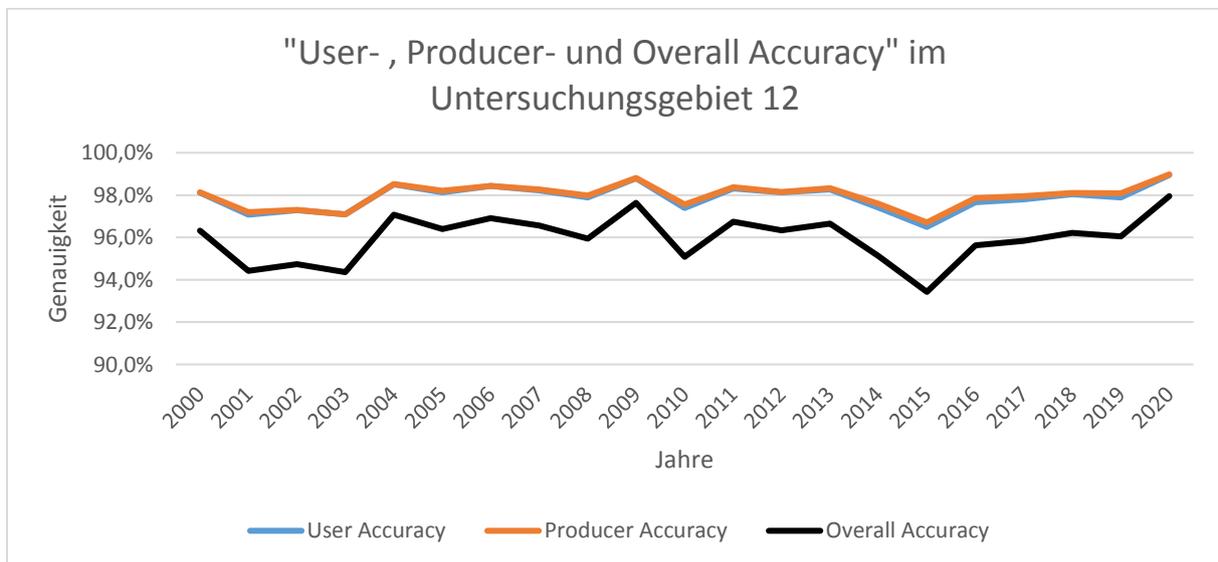


Abbildung 41 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Untersuchungsgebiet 12 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „User-, Producer- und Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 12.

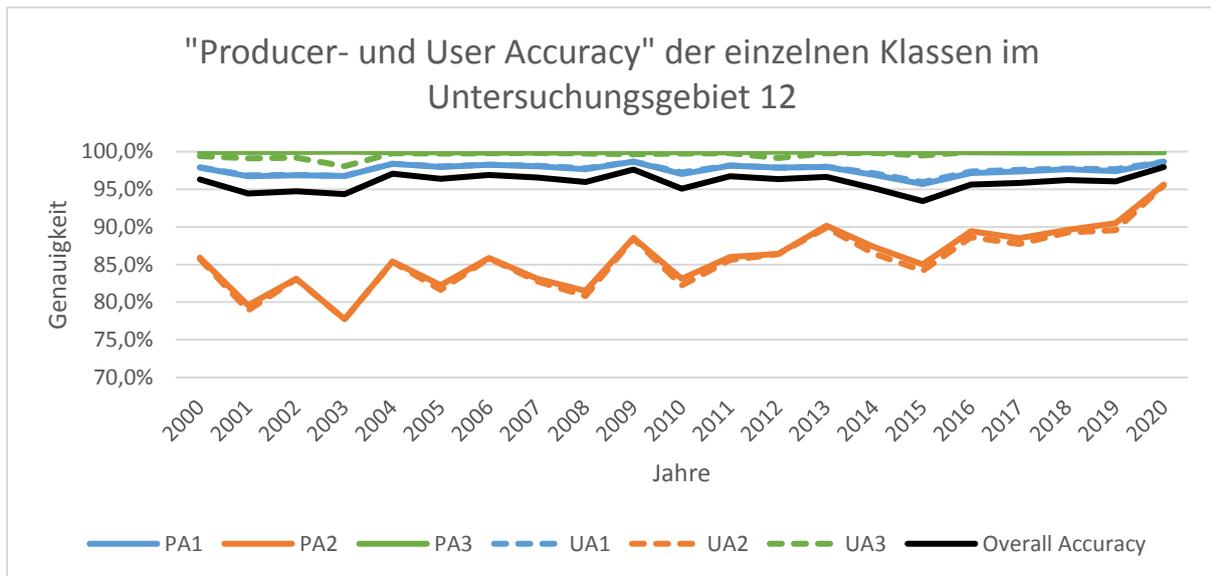


Abbildung 42 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Untersuchungsgebiet 12 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für das Untersuchungsgebiet 12.

4.2 Buffer

Für die Analyse der Buffer werden hauptsächlich Flusssysteme ausgewählt, da diese einen erheblichen Einfluss auf die Untersuchungsgebiete ausüben und Gewässerdaten ein Hauptaugenmerk dieser Masterarbeit bilden. Dafür wurden „Bufferdistanzen“ von 100 m, 500 m, 5.000 m und 10.000 m ausgewählt. Eine Akquise mit den Referenzdaten erübrigt sich, da diese ausschließlich die Flusssysteme umfassen, also vermeintliche permanente Gewässerflächen, beziehungsweise deren Ufergebieten. Nachfolgend werden Ergebnisse der Genauigkeitsanalysen für jeden Buffer beschrieben.

4.2.1 Buffer 1 (Mackenzie River)

Die ersten Buffer wurden um den Mackenzie River gelegt. Hier besitzen die „Precision“, „Recall“ und „F1“ jeweils einen sehr ähnlichen graphischen Verlauf und denselben Wertebereich (siehe Abb. 43). Die maximale Differenz zur „Accuracy“ beträgt bis zu 2,2 %. Auch hier weisen die anderen Parameter eine höhere Genauigkeit auf. Je nach Buffergröße nimmt jedoch der Wertebereich ab, der graphische Verlauf nimmt Veränderungen an und die Differenzen zwischen den Parametern erhöhen sich. Bei den Buffergrößen von 100 m und 500 m schwankt der Wertebereich bei „Precision“, „Recall“ und „F1“ bis 2006 um die 98 %. Anschließend nehmen die Schwankungen von der Intensität ab und die Prozentzahlen steigen im Trend. 2010 erfolgt ein Anstieg auf 99,7 % bis 2012 und eine Abnahme bis zum Jahr 2017. Zuletzt entsteht wieder ein Anstieg. Bei den Buffergrößen von 5.000 m und 10.000 m sind die

Schwankungen im Graph stärker. Die geringe Abnahme im Jahr 2001 weist hier eine Differenz von bis zu 3 % auf und der anschließende Anstieg 4 %. Es folgen Schwankungen mit ähnlichen Verläufen, wie bei den 100 m und 500 m Buffern. Zwischen 2010 und 2014 nehmen die Graphen die Form einer „Gauß’schen Glocke“ an. Alle Werte im Diagramm liegen über 90 %. Die jeweiligen Wertebereiche und graphischen Verläufe der verschiedenen Buffergrößen von „Precision“, „Recall“, „F1“, „Producer Accuracy“ und „User Accuracy“ sind nahezu identisch zueinander (siehe Abb. 44). Zwischen der „Accuracy“ und der „Overall Accuracy“ liegen ähnliche Prozentzahlen vor, jedoch sind die Werte bei der „Accuracy“ höher. In Anbetracht der verschiedenen „Producer Accuracy“- und „User Accuracy“-Klassen wird mit Zunahme der Buffergrößen auch ein anderer Wertebereich festgestellt (siehe Abb. 45 und 46). Eine Ausnahme bildet dabei die „Producer Accuracy“ der Klasse 3. Hier pendelt die Prozentzahl zwischen 99,9 % und 100 %. Die „User Accuracy“ hingegen unterscheidet sich hauptsächlich in den Anfangsjahren mit Werten von bis zu 96,4 %. In den folgenden Jahren zeigt sich bei jedem Buffer eine Genauigkeit über 99,9 %. Deutlichere Unterschiede sind bei der Klasse 1 sichtbar. Bei den kleineren Buffern ist der graphische Verlauf ähnlich der Parameter in Abbildung 43 und 44. Der Wertebereich schwankt hierbei zwischen 96,8 % und 99,6 %. Bei den größeren Bufferdistanzen wird eine Abnahme auf bis zu 94 % berechnet. Die Klasse 2 zeigt dies besser. Hier erfolgt eine Abnahme von über 5 %. Somit liegt die Differenz bei fast 20 % zu den anderen Parametern.

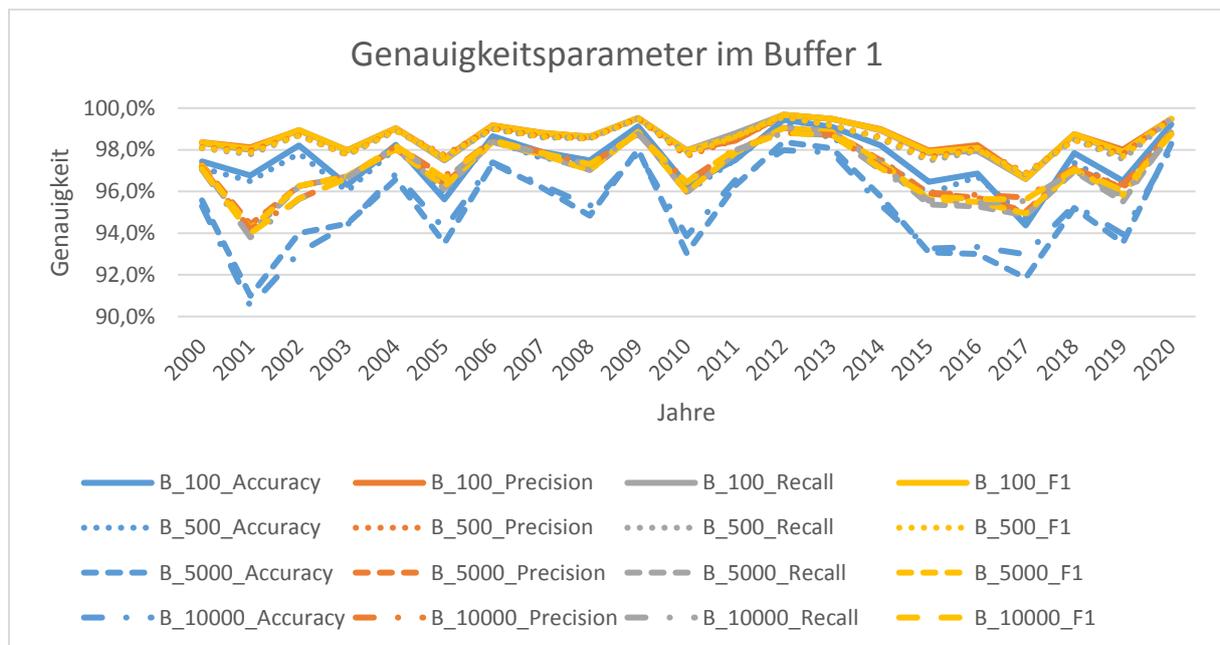


Abbildung 43 Genauigkeitsparameter im Buffer 1 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m, 500 m, 5.000 m und 10.000 m beim Mackenzie River.

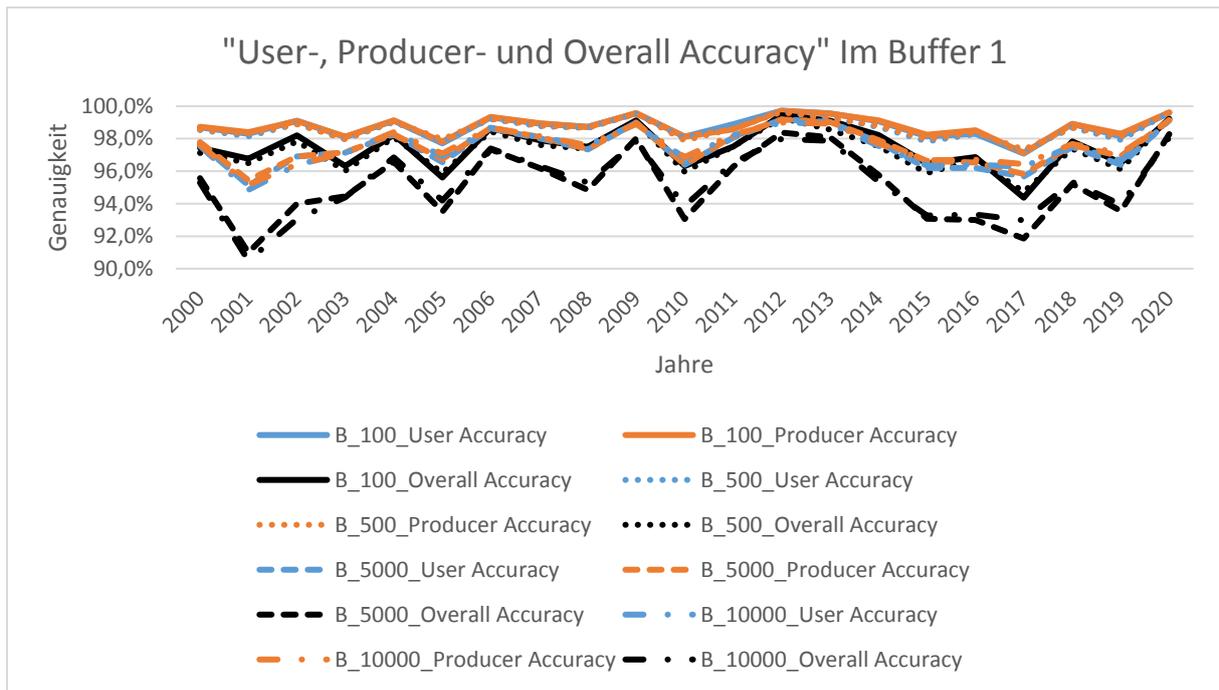


Abbildung 44 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Buffer 1 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „User-, Producer- und Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m, 500 m, 5.000 m und 10.000 m beim Mackenzie River.

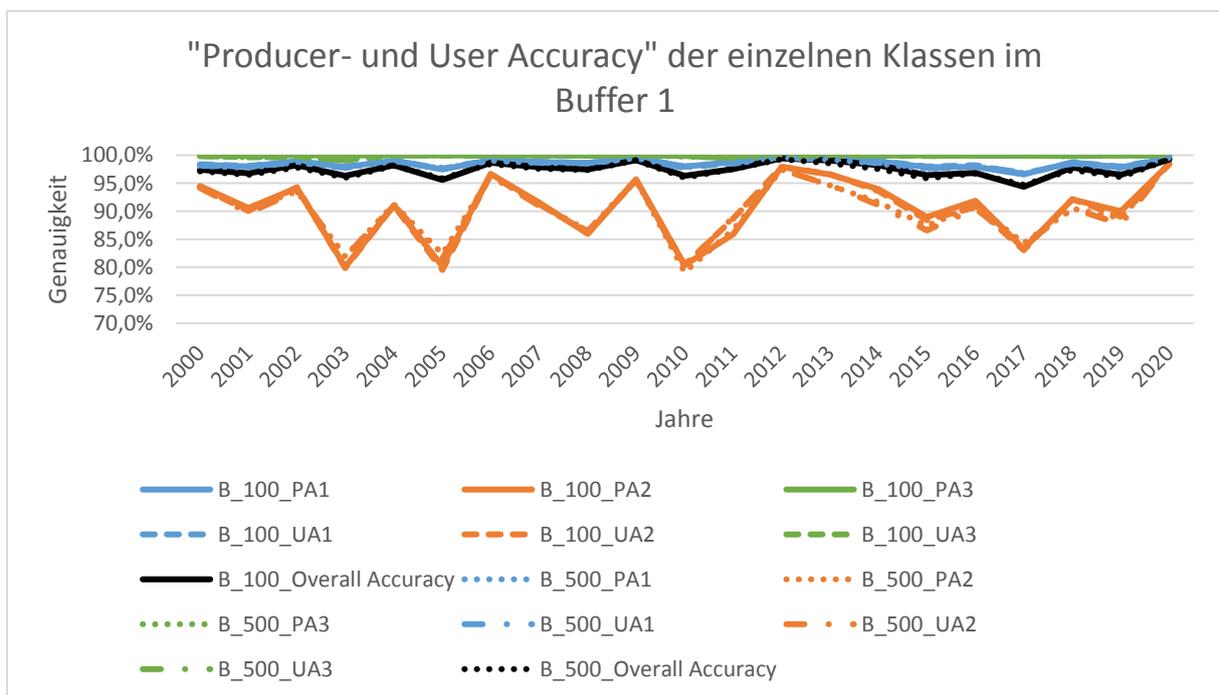


Abbildung 45 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 1 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m und 500 m beim Mackenzie River.

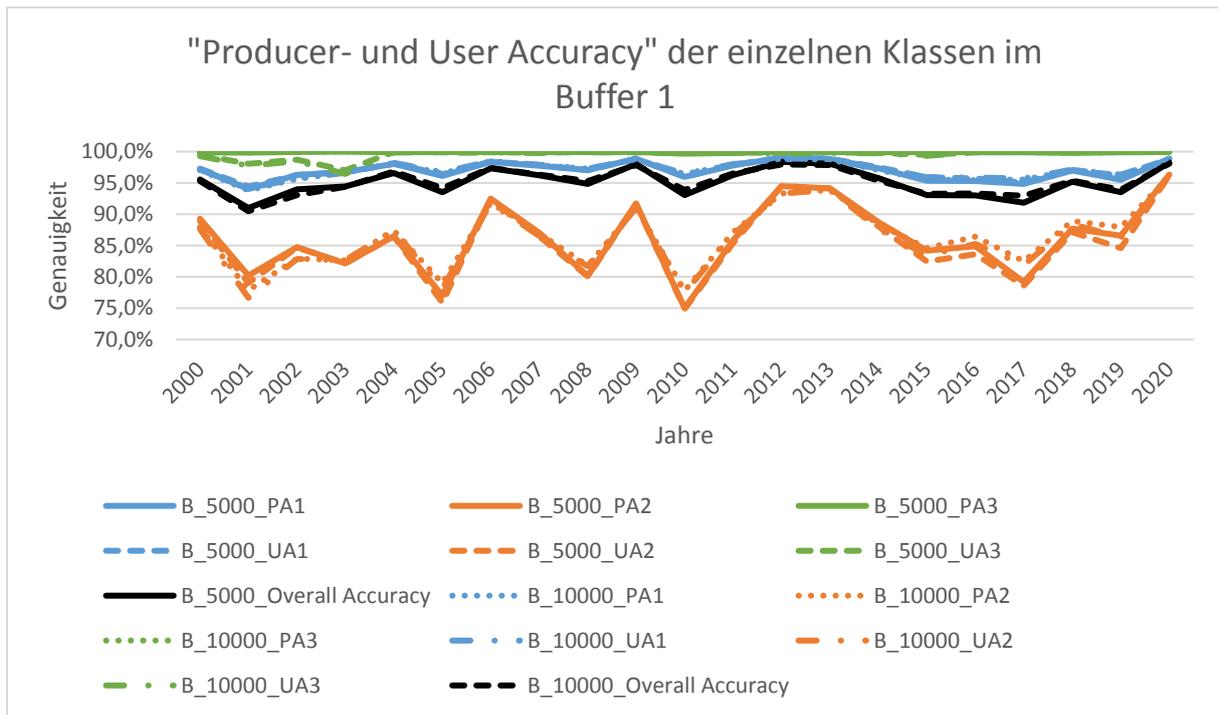


Abbildung 46 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 1 (Eigene Darstellung 05.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 5.000 m und 10.000 m beim Mackenzie River.

4.2.2 Buffer 2 (Kuskokwim)

Beim Kuskokwim sind klare Unterschiede zwischen den Buffergrößen ersichtlich. Zum einen verändert sich der Wertebereich mit einer Abnahme der Genauigkeit, zum anderen folgen stärkere Schwankungen im graphischen Verlauf. Des Weiteren nimmt die Differenz zwischen „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „FI“ zu (siehe Abb. 47). Speziell ab dem Jahr 2013 ist dies ersichtlich. In den Anfangsjahren kommt es zu Schwankungen. Dabei erfolgen Anstiege der Genauigkeiten in den Jahren 2000 bis 2003, 2005 bis 2006, 2009 und 2011. In den weiteren Jahren wurde eine Abnahme berechnet. Ab 2012 erfolgt ein Abschwung mit einem einjährigen Anstieg 2018. Trotz alledem bleiben sämtliche Wertebereiche über 92 %. Dieser graphische Verlauf ist mit Abnahme der Bufferdistanz immer weniger zu erkennen und ebenfalls in Abbildung 48 erkenntlich. Dabei entsprechen in etwa die „Accuracy“ der „Overall Accuracy“, die „Precision“ der „Producer Accuracy“ und der „Recall“ der „User Accuracy“. Mit Zunahme der Bufferdistanzen sinkt die Genauigkeit der einzelnen „Producer Accuracy“- und „User Accuracy“-Klassen. Eine Ausnahme bildet die „Producer Accuracy“ der Klasse 3. Trotz der Vergrößerung des Buffers bleibt hier die Genauigkeit bei zumeist 100 %. In drei Jahren jedes Buffers wird der Wert von 99,9 % berechnet. Die dazugehörige „User Accuracy“ zeigt die Abnahme der Prozentzahlen an, jedoch gilt dies nur für einzelne Jahre. Dabei schwankt der

Wertebereich von 98,8 % bis 100 %. Höher fällt die Differenz in der Klasse 1 auf. Die Schwankungen im graphischen Verlauf sind stärker ausgeprägt, jedoch wird die 95 % Marke nicht unterboten. Ab dem Jahr 2014 nimmt der Unterschied zwischen „*Producer Accuracy*“ und „*User Accuracy*“ Klasse zu. Die Differenz erhöht sich mit der Vergrößerung der Bufferdistanz. Dies ist genauso in der Klasse 2 zu vermenden. Hier liegt wieder der Wertebereich unter dem der anderen Parameter. Dafür schwanken die Werte in diesen Graphen stärker und auch die Auswirkungen der Buffergrößen sind in den Abbildungen 49 und 50 besser ersichtlich. Dabei ist der graphische Verlauf ähnlich den vorigen Diagrammen, mit dem Unterschied des Wertebereichs.

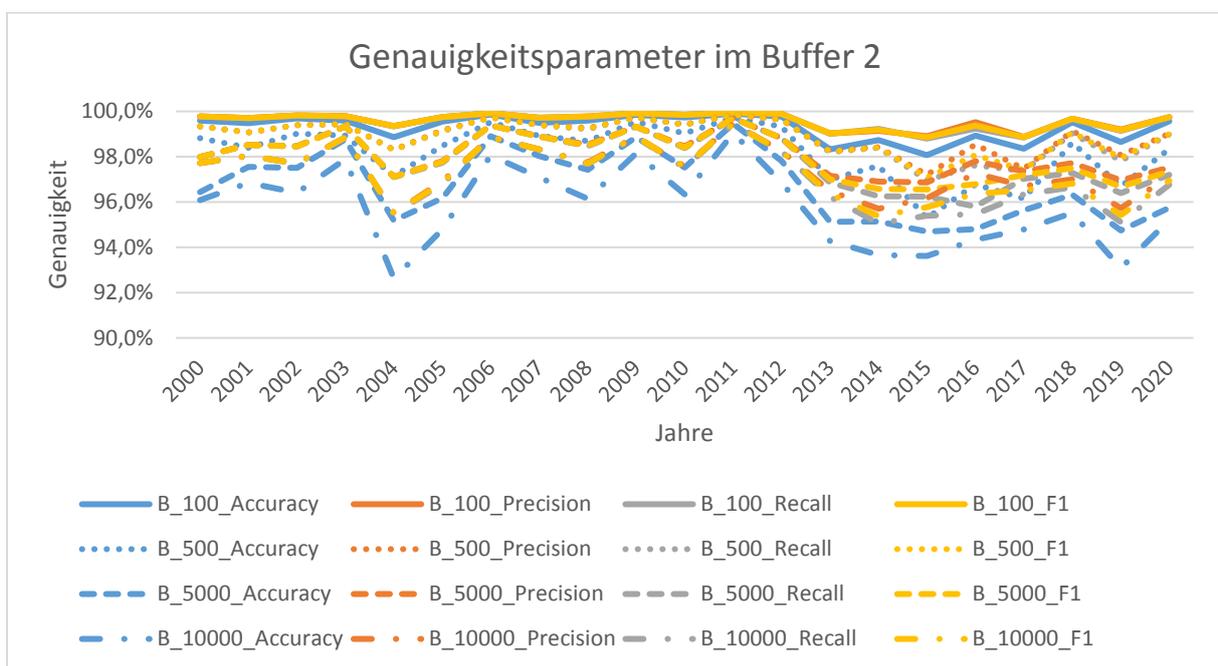


Abbildung 47 Genauigkeitsparameter im Buffer 2 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „*Accuracy*“, „*Precision*“, „*Recall*“ und „*F1*“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m, 500 m, 5.000 m und 10.000 m beim Kuskokwim.

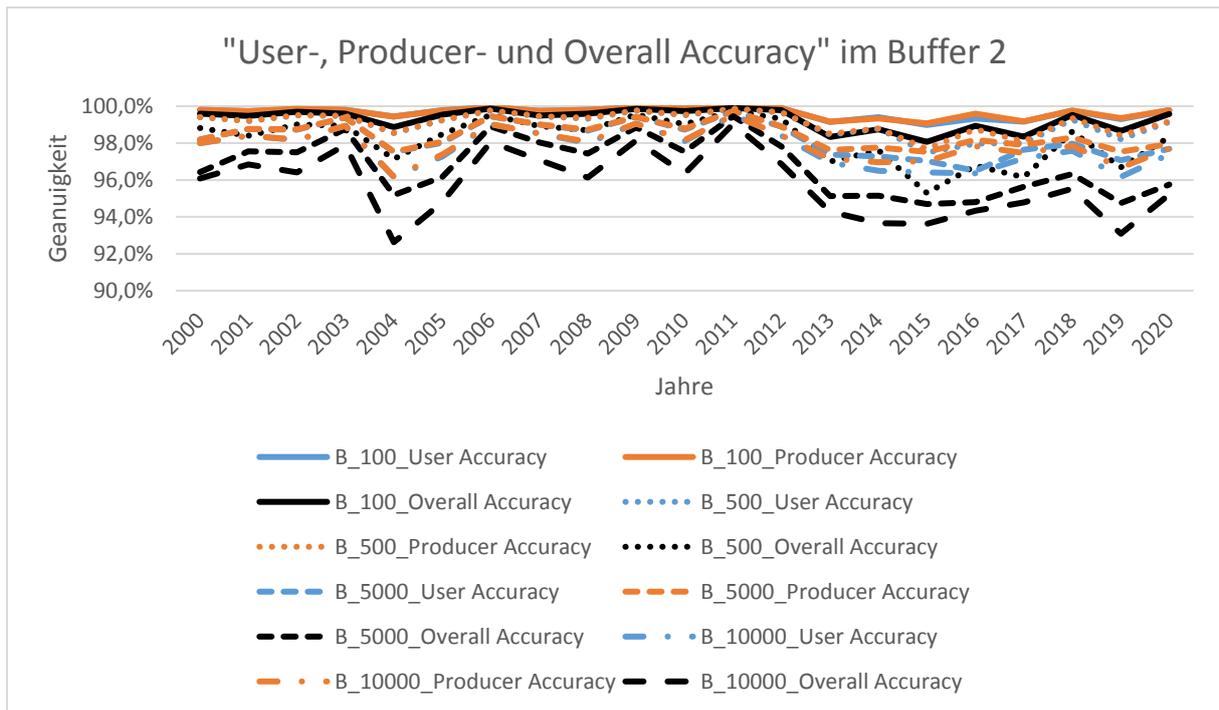


Abbildung 48 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Buffer 2 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „User-, Producer- und Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m, 500 m, 5.000 m und 10.000 m beim Kuskokwim.

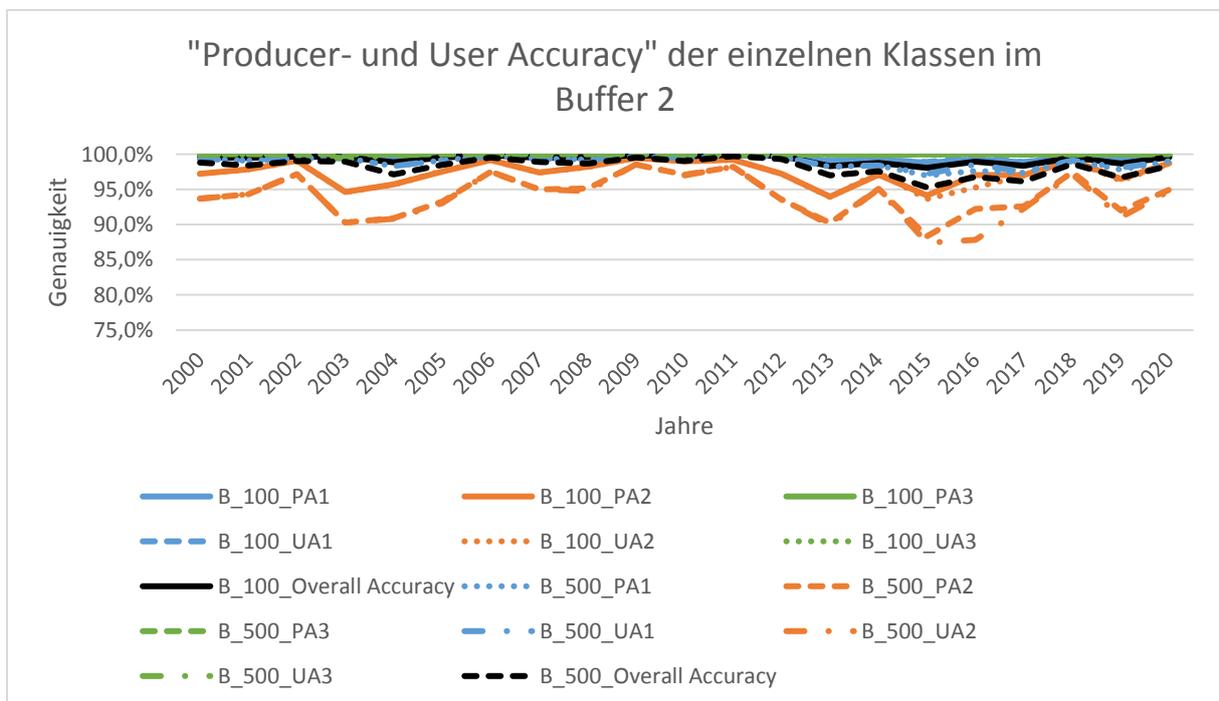


Abbildung 49 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 2 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m und 500 m beim Kuskokwim.

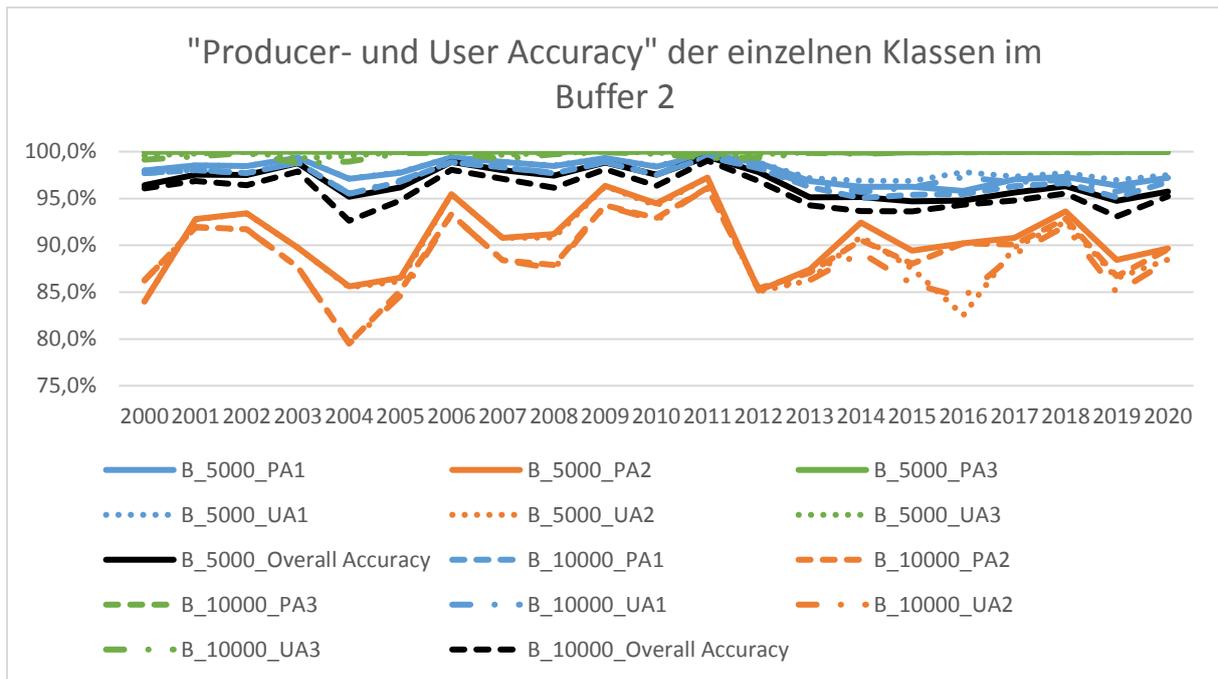


Abbildung 50 „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen im Buffer 2 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 5.000 m und 10.000 m beim Kuskokwim.

4.2.3 Buffer 3 (Kolyma)

Der Kolyma weist ergebnistechnisch große Unterschiede aufgrund der Bufferdistanzen auf. Bei einer Buffergröße von 100 m und 500 m ergibt sich bei „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ ein Wertebereich nahe der 100 % (siehe Abb. 51). Den größten Minimalwert weist hier die „Accuracy“ mit 99,2 % auf. Bei den höheren Distanzen verändert sich der graphische Verlauf, der Wertebereich und die Differenz zwischen den Werten. Die Graphen schwanken im Bereich zwischen 90 % und 100 %, wobei ausschließlich die „Accuracy“ Prozentzahlen unter 94 % aufzeigt. Bei „Precision“, „Recall“ und „F1“ erfolgt ein teils sinusförmiger, teils gezackter graphischer Verlauf. Die „Accuracy“ hingegen weist nur Zacken auf. Auch hier entsprechen in etwa die „Accuracy“ der „Overall Accuracy“, die „Precision“ der „Producer Accuracy“ und der „Recall“ der „User Accuracy“. Nur die „Overall Accuracy“ sticht mit einem niedrigeren Wertebereich bis 90 % heraus (siehe Abb. 52). Auffällig ist die „Producer Accuracy“ der Klasse 3, die auch hier fast ausschließlich 100 % anzeigt. Die „User Accuracy“ ist sehr ähnlich, jedoch liegen hier Werte von bis zu 98,6 % vor. Auch die Klasse 1 zeigt bei den Buffergrößen von 100 m und 500 m Genauigkeiten über 99 %. Diese Werte nehmen mit zunehmender Bufferdistanz allerdings bis auf 94,3 % ab. Der graphische Verlauf ist dazu ähnlich der „Overall Accuracy“. Bei der Klasse 2 ist ein graphischer Verlauf wie bei den anderen Parametern ersichtlich, jedoch musste der Maßstab so angepasst, dass die anderen

Ergebnisse zum Vergleich nicht mehr ersichtlich sind. Durch die Erhöhung der Bufferdistanzen sind Genauigkeiten bis zu minimal 60 % erkennbar. Markant ist das Jahr 2010, wo beim 500 m Buffer andere Werte berechnet wurden, als in den übrigen Buffern, wodurch hier ein völlig unterschiedlicher Verlauf entsteht (siehe Abb. 53 und 54).

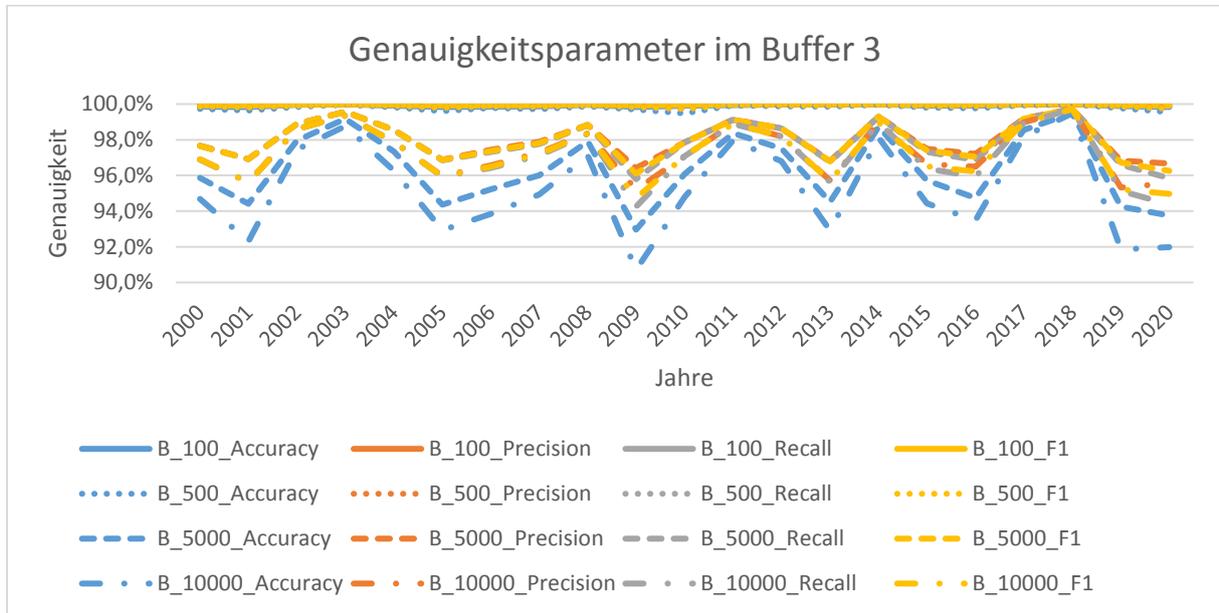


Abbildung 51 Genauigkeitsparameter im Buffer 3 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m, 500 m, 5.000 m und 10.000 m beim Kolyma.

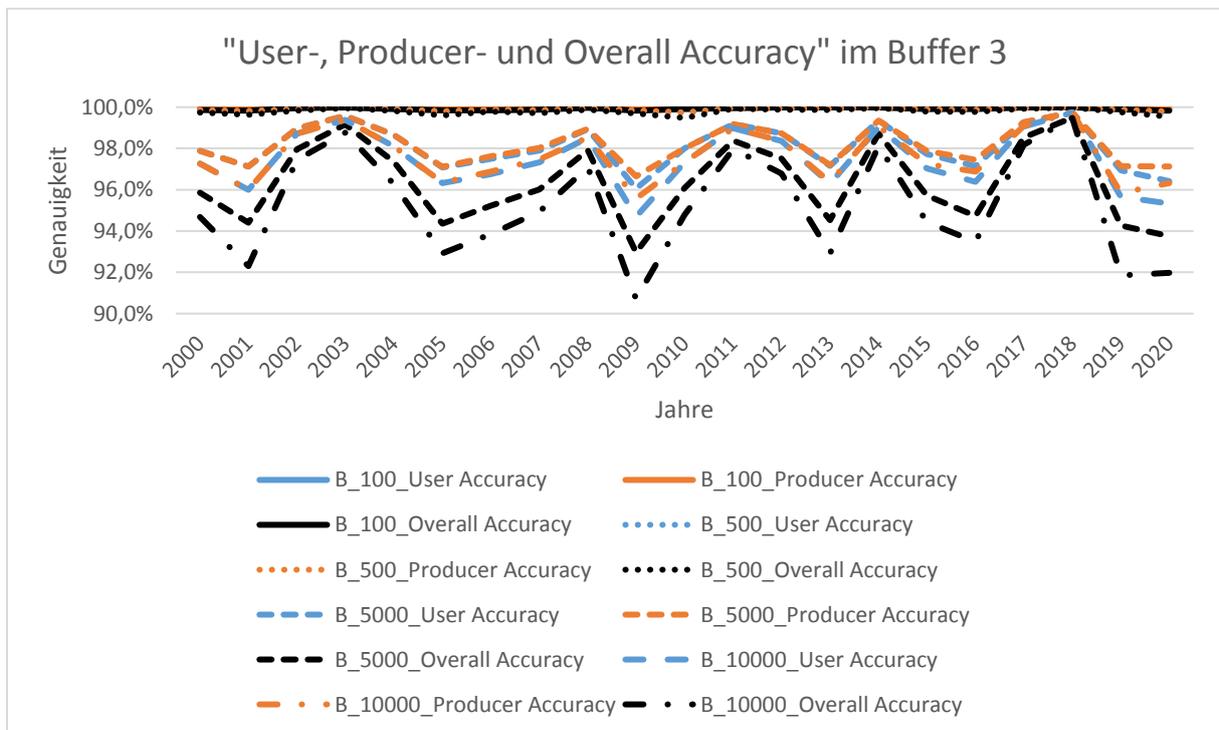


Abbildung 52 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Buffer 3 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „User-, Producer- und Overall Accuracy“ in einer

Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m, 500 m und 10.000 m beim Kolyma.

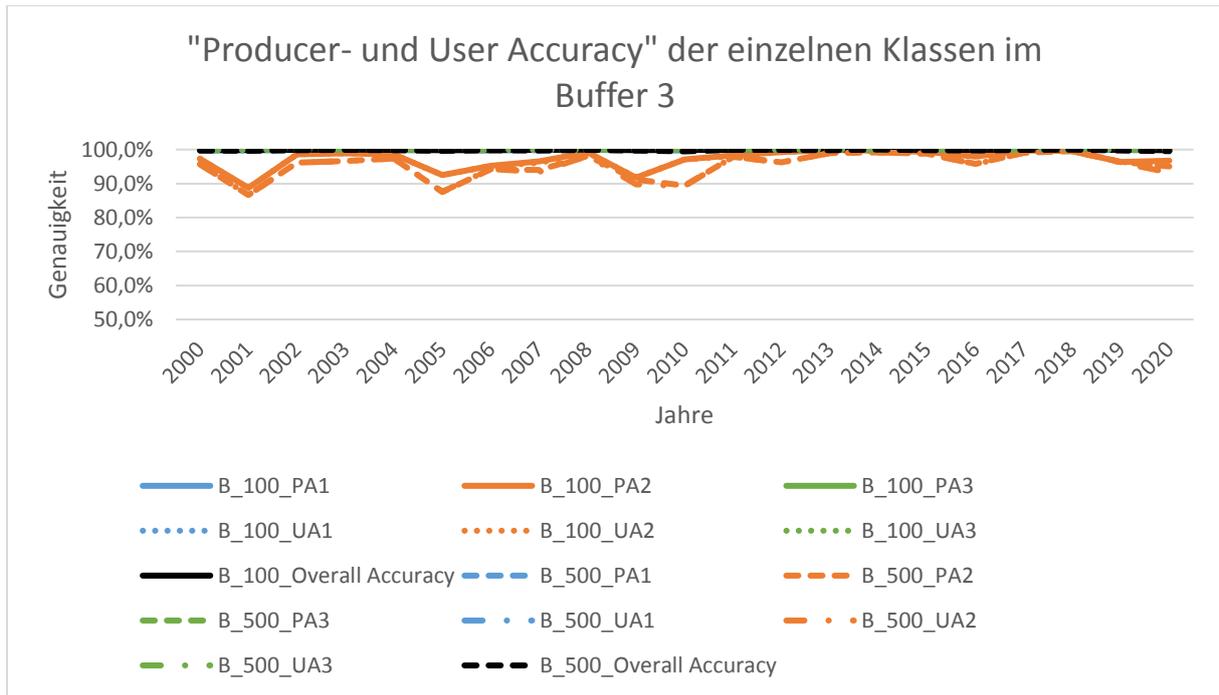


Abbildung 53 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 3 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m und 500 m beim Kolyma.

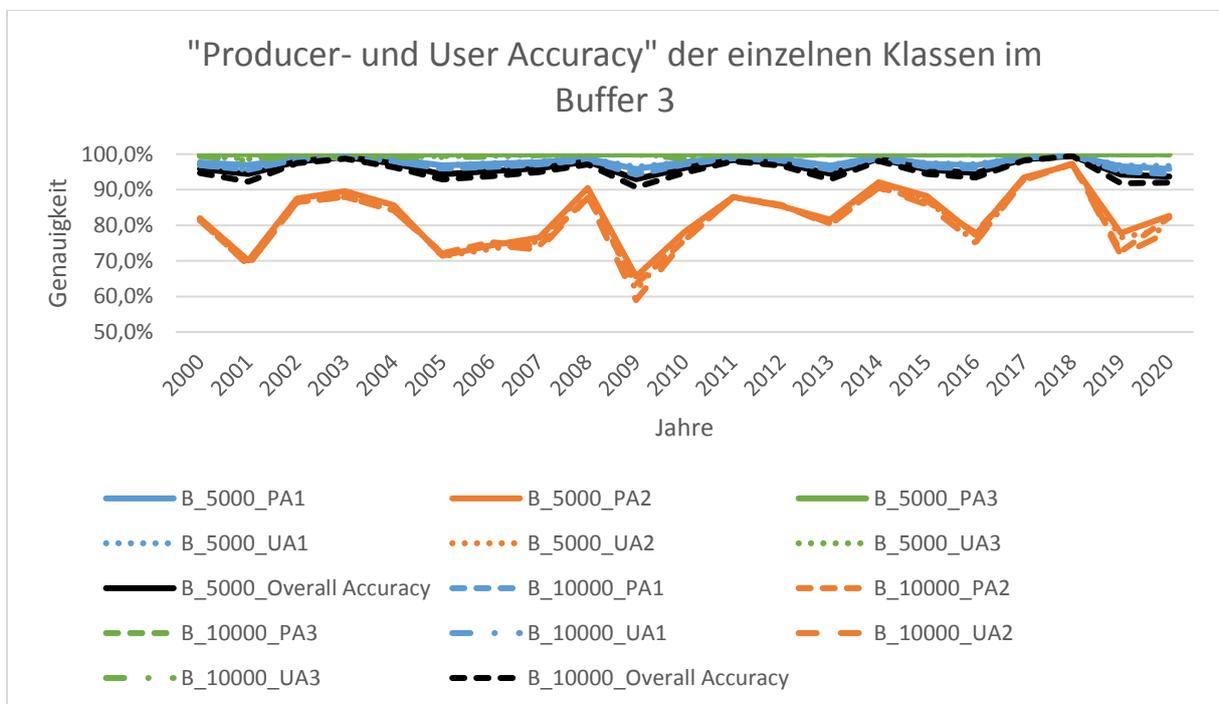


Abbildung 54 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 3 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 5.000 m und 10.000 m beim Kolyma.

4.2.4 Buffer 4 (Lena-Nord)

Der nördliche Teil der Lena zeigt mit Erhöhung der Bufferdistanzen niedrigere Wertebereiche bei „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ an (siehe Abb. 55). Graphisch sind die Daten kohärent zueinander. Es erfolgt ein erster geringmäßiger Anstieg und eine Stabilisierung ab dem Jahr 2001. 2006 gibt es ein einjähriges Tief. Anschließend pendeln sich die Ergebnisse wieder auf dem vorherigen Niveau ein. Ab dem Jahr 2013 schwanken die Graphen mit Abnahme der Werte in den Jahren 2013, 2014 bis 2016, 2018 und 2020 sowie Zunahmen 2014, 2017 und 2019. Auch hier entsprechen die „Accuracy“ der „Overall Accuracy“, die „Precision“ der „Producer Accuracy“ und der „Recall“ der „User Accuracy“ (siehe Abb. 56). Der gleiche graphische Verlauf ist auch in den verschiedenen „Producer Accuracy“- und „User Accuracy“-Klassen mit Ausnahme der Klasse 3 erkennbar (siehe Abb. 57 und 58). Hier liegt bei der „Producer Accuracy“ und „User Accuracy“ ein Wertebereich um die 100 % vor. Bei der „User Accuracy“ nimmt jedoch die Genauigkeit mit der Erhöhung der Bufferdistanz ab. So wird im Jahr 2018 ein Minimalwert von 98,8 % berechnet. Bei der Klasse 1 liegt derselbe graphische Verlauf, wie bei der „Overall Accuracy“ vor. Es wurde hier ein Minimalwert von 94,4 % berechnet. Die Klasse 2 zeigt bei den geringeren Bufferdistanzen eine Genauigkeit von bis zu 100 % auf. Einzig im Jahr 2006 wird ein Wert unter 90 % gemessen. Bei der Bufferdistanz von 100 m liegen „Producer Accuracy“ und „User Accuracy“ bei 70 %.

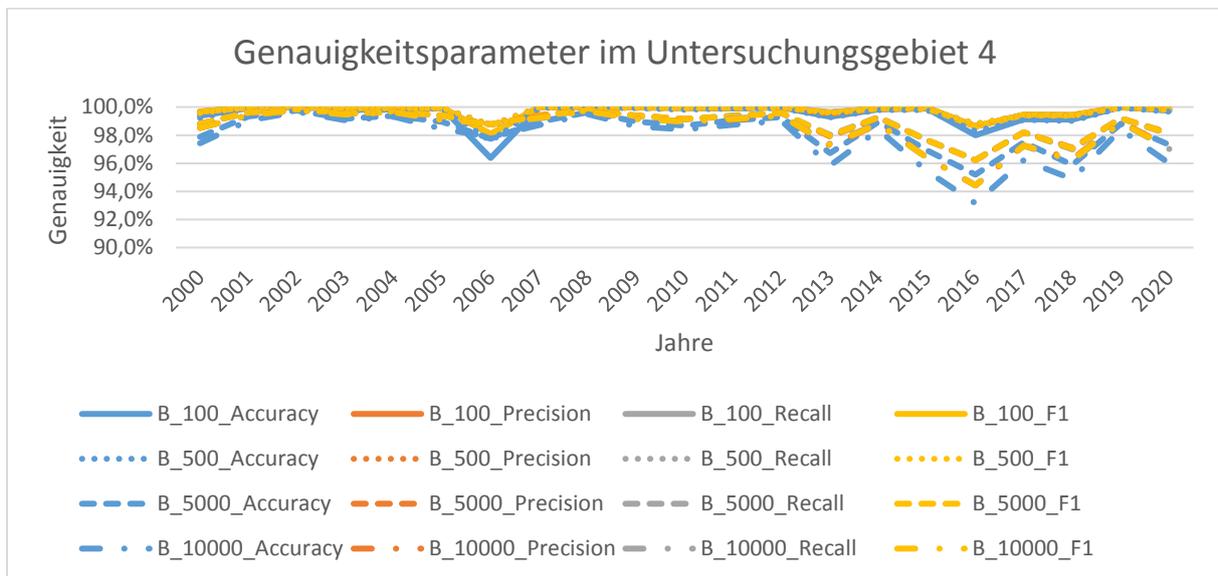


Abbildung 55 Genauigkeitsparameter im Buffer 4 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m, 500 m, 5.000 m und 10.000 m der nördlichen Lena.

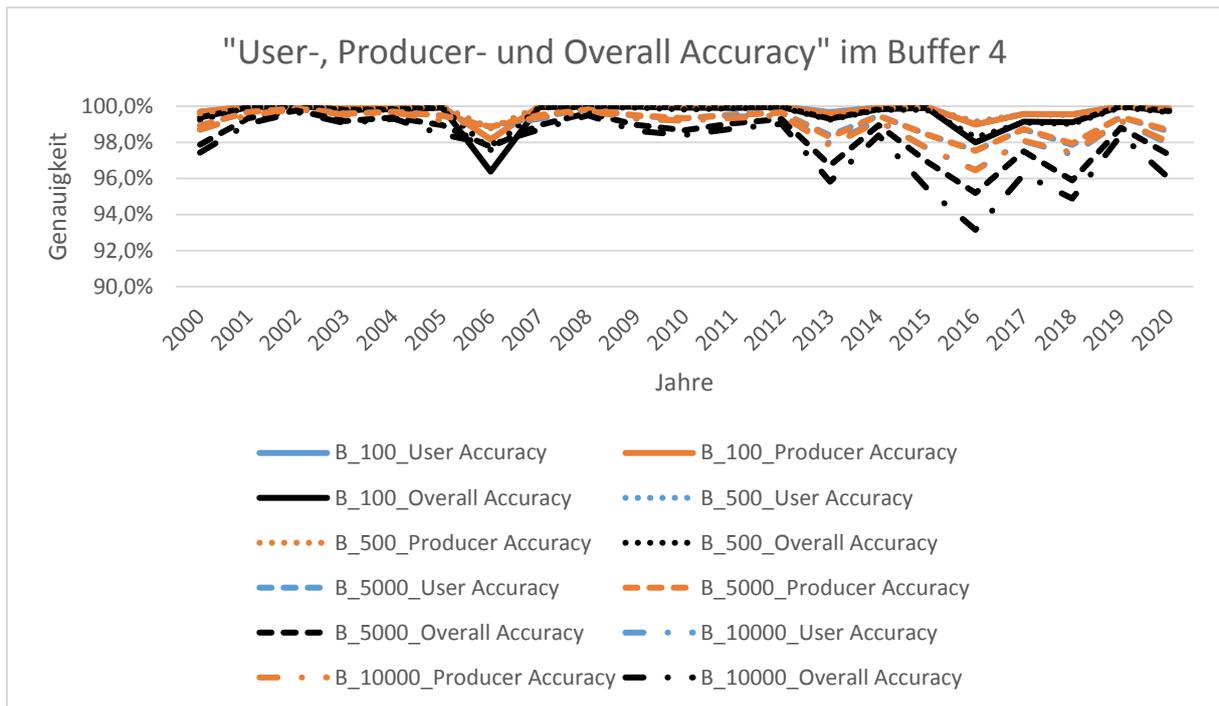


Abbildung 56 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Buffer 4 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „User-, Producer- und Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m, 500 m, 5.000 m und 10.000 m der nördlichen Lena.

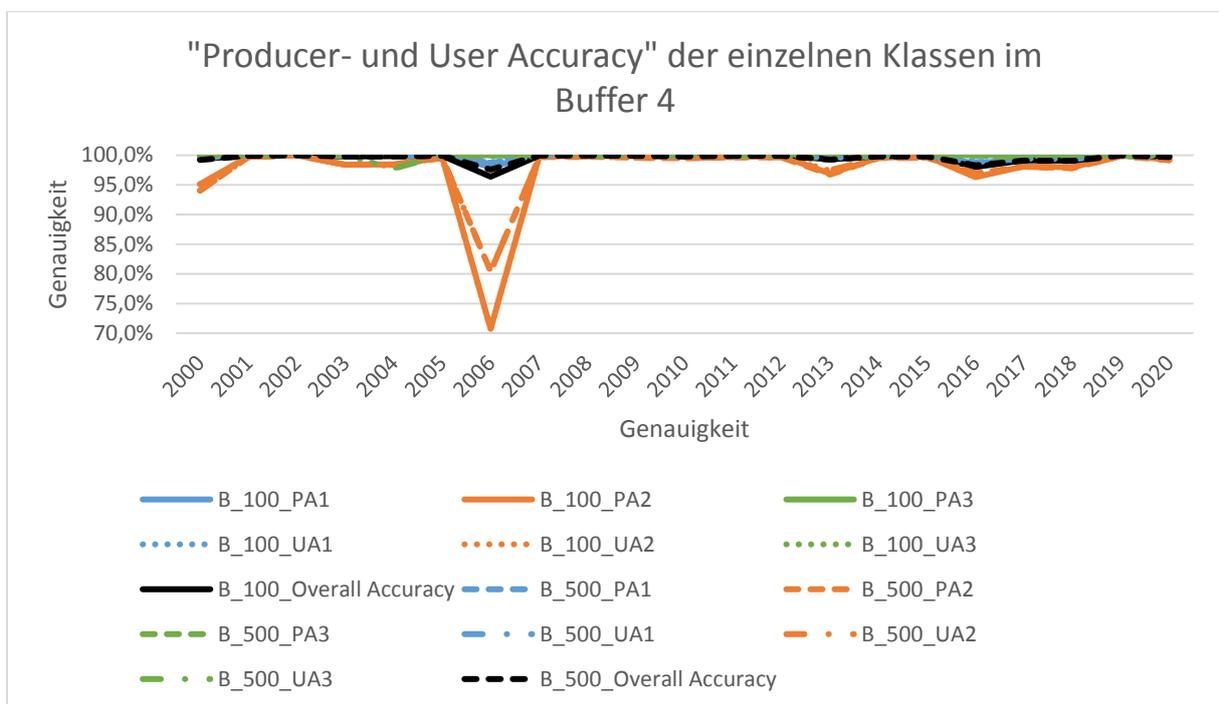


Abbildung 57 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 4 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m und 500 m der nördlichen Lena.

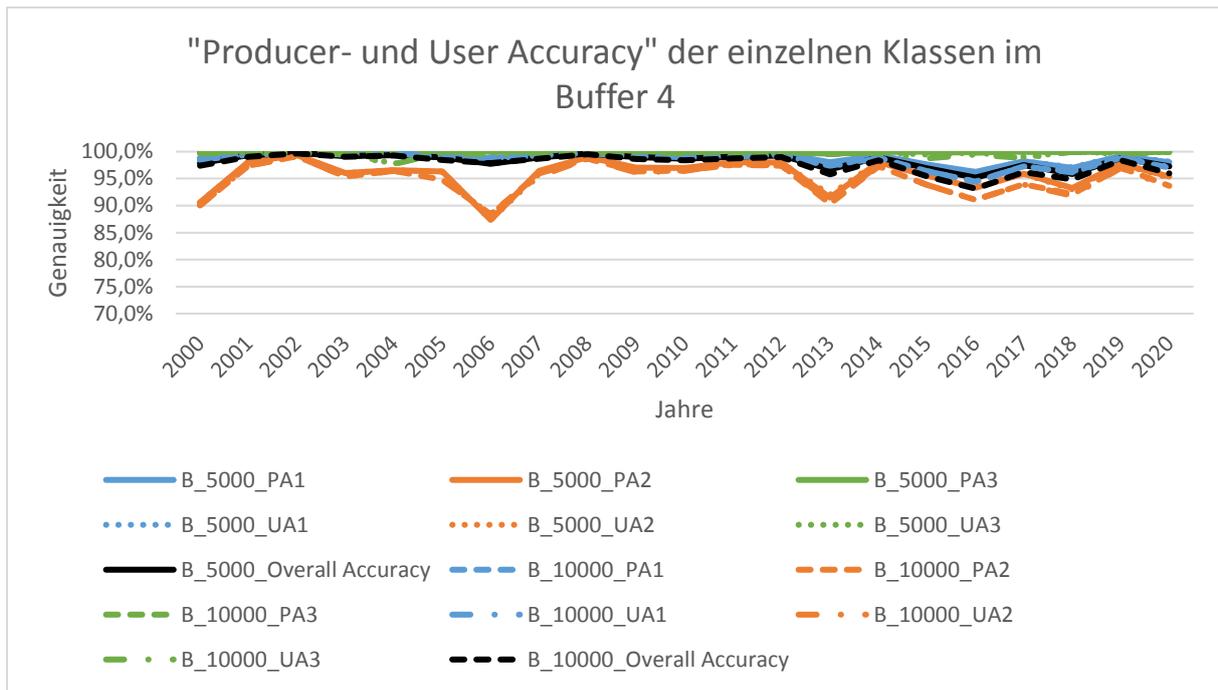


Abbildung 58 „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen im Buffer 4 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 5.000 m und 10.000 m der nördlichen Lena.

4.2.5 Buffer 5 (Lena-Süd)

Auch bei der südlichen Lena sind die „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ im ähnlichen Wertebereich (siehe Abb. 59). Mit Vergrößerung der Bufferdistanzen nimmt die jeweilige Genauigkeit pro Jahr ab und die Werte schwanken in der gesamten Zeitreihe. Speziell im Jahr 2003 wurden die Minimalwerte berechnet. Anstiege der Genauigkeiten sind in den Jahren 2002, 2004, 2007, 2012 und 2018 und Abnahmen in den restlichen Jahren zu verzeichnen. Mit Ausnahme der Jahre 2001, 2003, 2016 und 2017 befinden sich alle Werte, abgesehen der „Accuracy“, über 95 %. In diesem Wertebereich befinden sich auch die „Producer Accuracy“, „User Accuracy“ und „Overall Accuracy“ (siehe Abb. 60). Deren jeweiliger graphischer Verlauf ähnelt an denen der Parameter in Abbildung 59, jedoch sind die Wertebereiche in Abbildung 60 insgesamt höher. Auch bei den verschiedenen Klassen ist dies gut erkennbar, wenn auch nicht bei der „Producer Accuracy“ der Klasse 3 (siehe Abb. 61 und 62). Hier liegt hauptsächlich ein Prozentwert von ca. 100 % pro Jahr vor. Auch die „User Accuracy“ gleicher Klasse weist bei den geringen Bufferdistanzen einen ähnlichen Wertebereich auf. Mit Anstieg der Buffergrößen, nimmt die Genauigkeit im Jahr 2003 auf bis zu 95,9 % ab. Bei der Klasse 1 nehmen die Werte stärker ab, wodurch im selben Jahr eine Genauigkeit von 90,7 % berechnet wurde. Die stärkste Verminderung erfolgte bei der Klasse 2, wo die Werte über 10 % abnehmen.

Im Jahr 2003 kam gar ein Wert von 60,7 % heraus, was über 20 % geringer ist, als in den sonstigen Jahren.

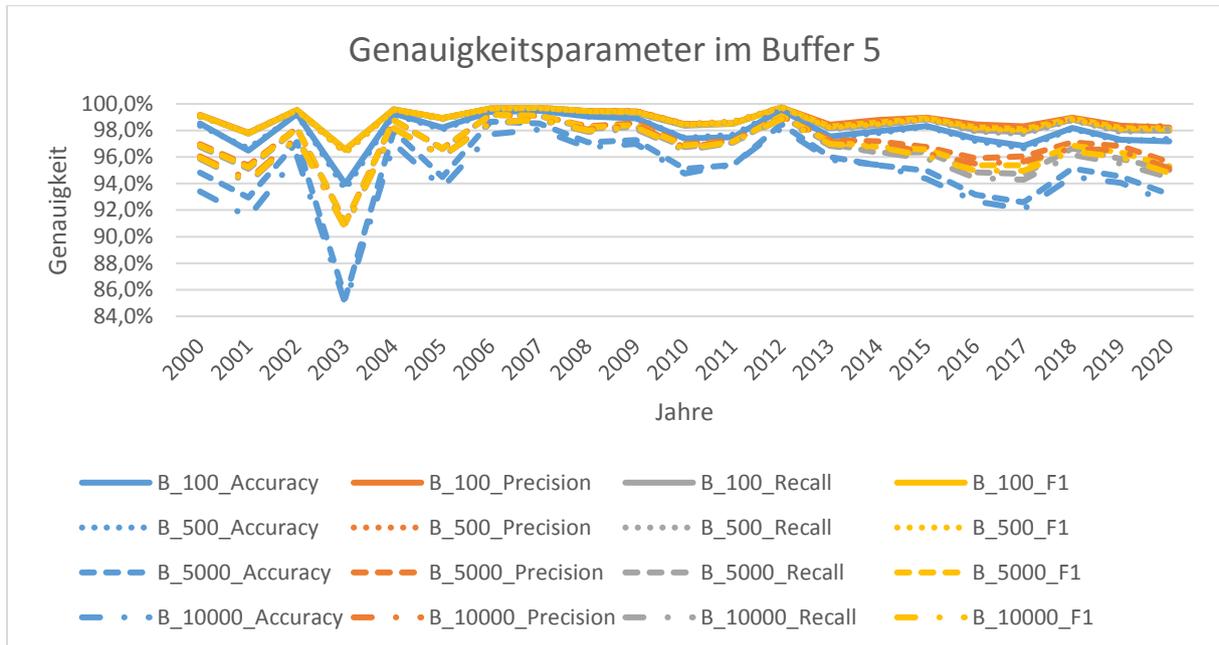


Abbildung 59 Genauigkeitsparameter im Buffer 5 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m, 500 m, 5.000 m und 10.000 m der südlichen Lena.

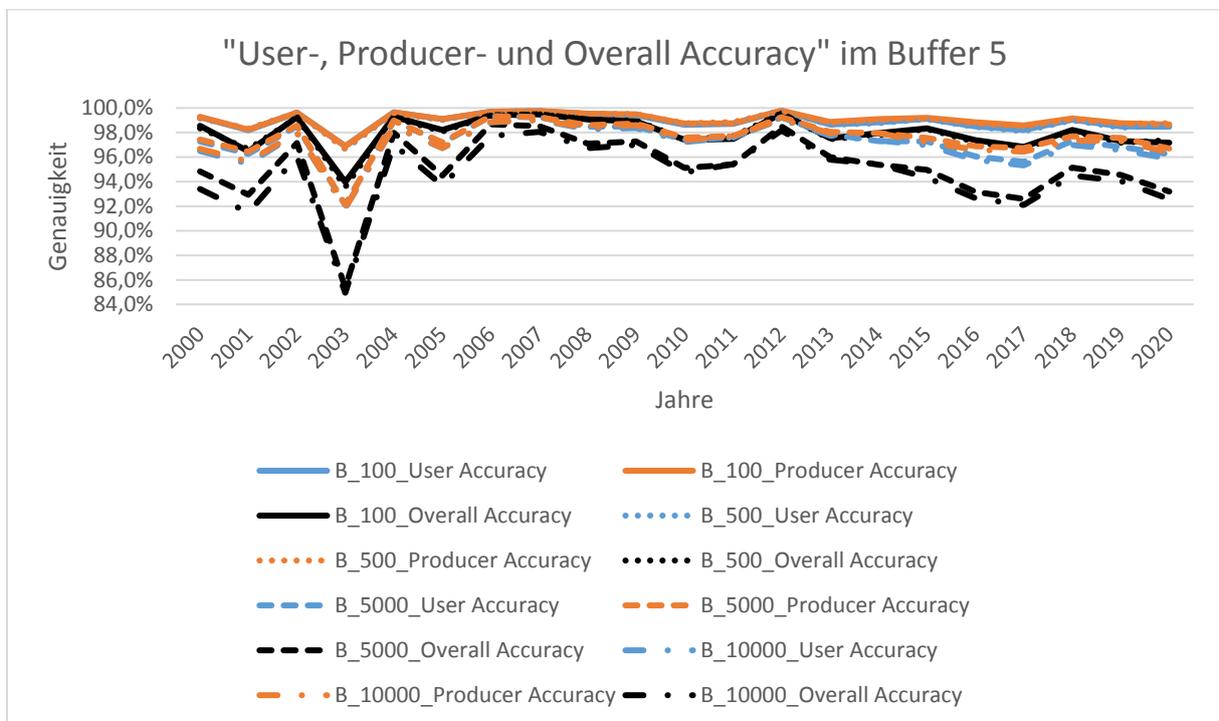


Abbildung 60 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Buffer 5 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „User-, Producer- und Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m, 500 m, 5.000 m und 10.000 m der südlichen Lena.

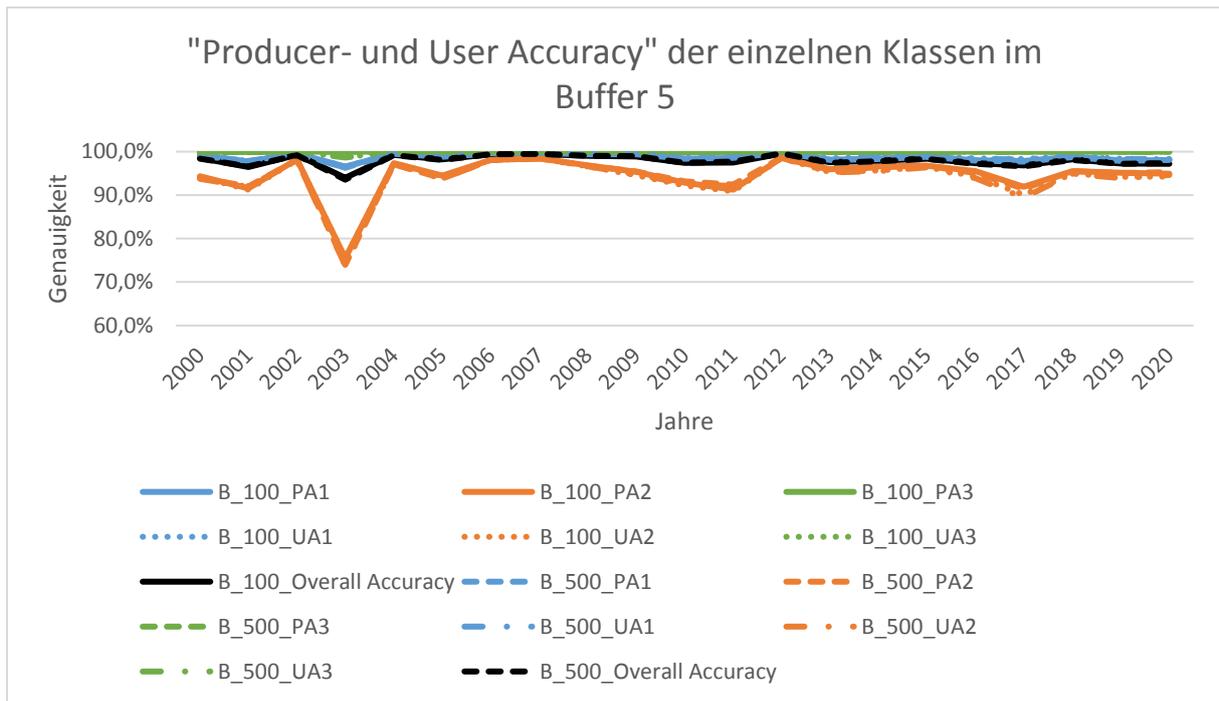


Abbildung 61 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 5 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m und 500 m der südlichen Lena.

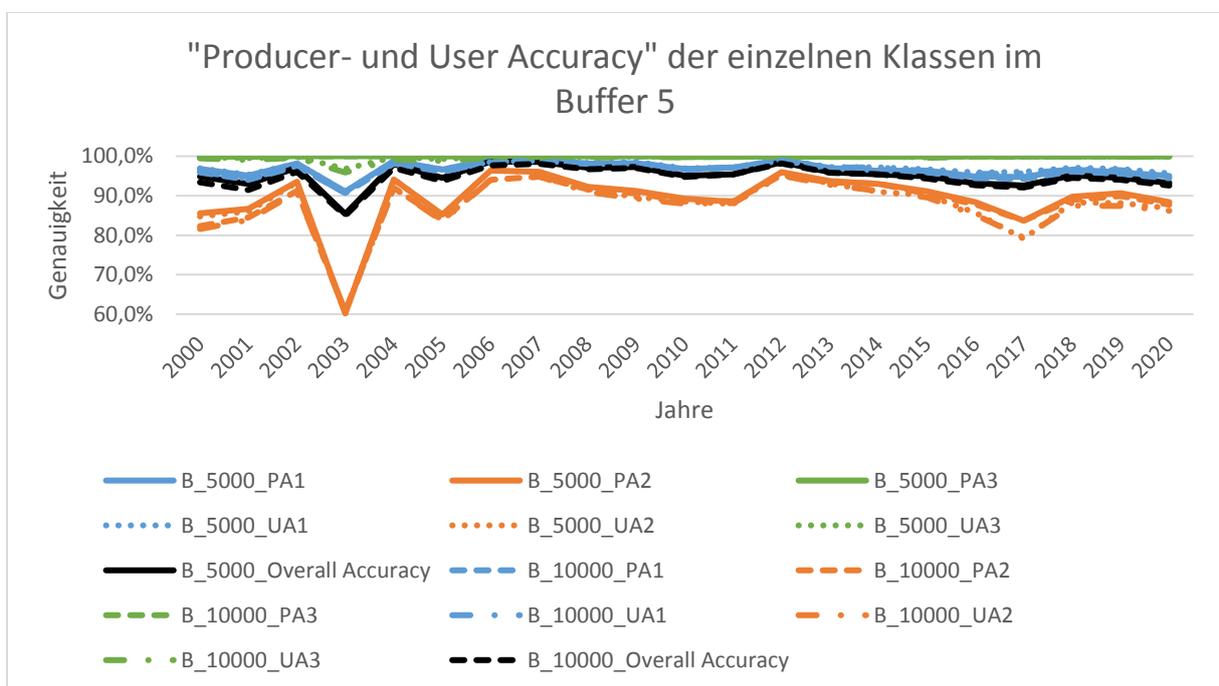


Abbildung 62 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 5 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 5.000 m und 10.000 m der südlichen Lena.

4.2.6 Buffer 6 (Colville)

Der sechste Buffer beschäftigt sich mit dem Colville. Hinsichtlich der „Precision“, „Recall“ und „F1“ wird eine Zweiteilung durch die Bufferdistanzen festgestellt (siehe Abb. 63). So weisen die beiden niedrigen und die zwei mit den höheren Distanzen andere Wertebereiche auf. Auch der graphische Verlauf ist im Jahr 2011 unterschiedlich. Bei der „Accuracy“ ist diese Differenz stärker ausgeprägt und zieht sich durch alle Bufferdistanzen. Die Graphen schwanken über die gesamte Zeitreihe. Von 2006 bis zum Jahr 2011 erfolgt eine Phase der Abnahme des Wertebereichs. In den Jahren darauf schwanken die Graphen weiter, wobei der Anstieg stärker ist als der Abschwung. Der gleiche graphische Verlauf ist auch in Abbildung 64 erkennbar, jedoch mit anderen Wertebereichen. So sind die Genauigkeiten zur „Producer Accuracy“ und „User Accuracy“ höher als die „Precision“, „Recall“ und „F1“. Dazu zeigt die „Overall Accuracy“ geringere Werte, als die „Accuracy“. Auffällig ist bei diesen Buffern die „Producer Accuracy“ der Klasse 3 (siehe Abb. 65 und 66). Anstatt des Wertebereichs von 99,9 % bis 100 %, wurden für die Jahre 2007 mit 94,7 % und 2017 mit 98,1 % Genauigkeiten berechnet, die geringer sind als in den anderen Arealen. Mit Erhöhung der Bufferdistanz nehmen jedoch die Wertebereiche wieder signifikant zu. Der gegenteilige Verlauf erfolgt bei der „User Accuracy“ in der gleichen Klasse. Hier befindet sich der Wertebereich erst bei über 99 % und nimmt mit der Erhöhung der Bufferdistanz ab, sodass 2003 eine Genauigkeit von 95,6 % berechnet wurde. Die Ergebnisse zur Klasse 1 verhalten sich graphisch, wie in den Abbildungen 63 und 64. So sind die geringsten Werte bei einer Bufferdistanz von 5.000 m erkennbar. Auch bei der Klasse 2 ist dies sichtbar, wobei hier eine Differenz von über 10 % vorliegt.

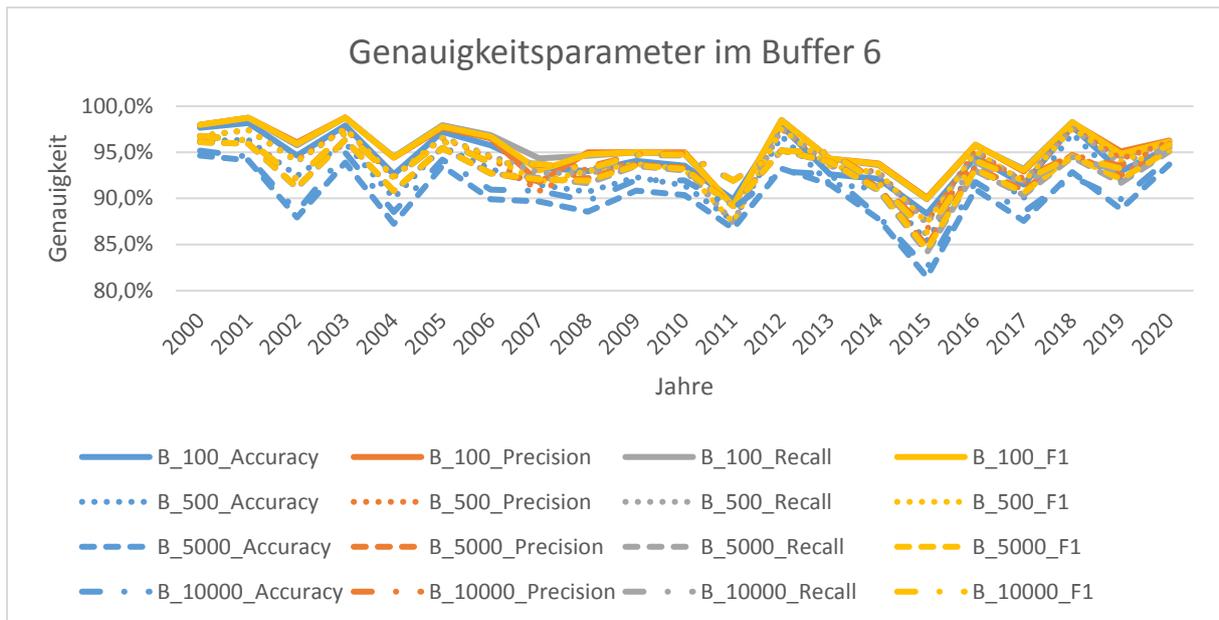


Abbildung 63 Genauigkeitsparameter im Buffer (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m, 500 m, 5.000 m und 10.000 m beim Colville.

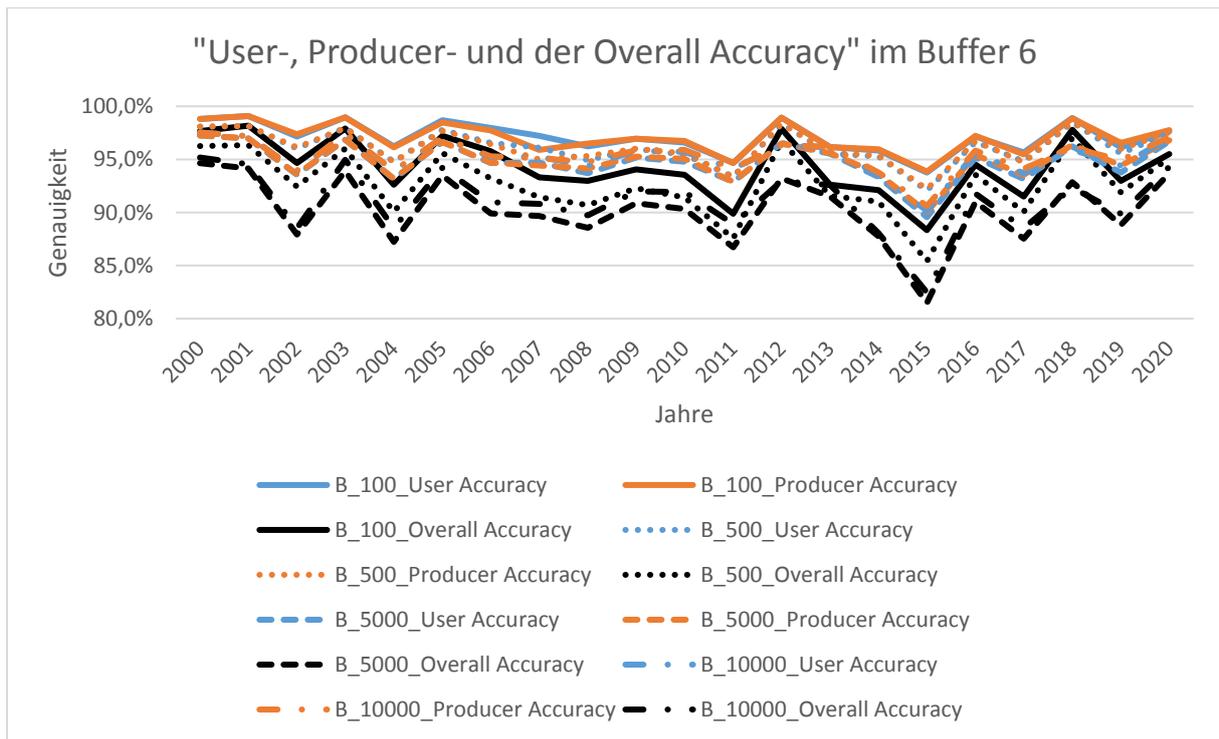


Abbildung 64 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Buffer 6 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „User-, Producer- und Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m, 500 m, 5.000 m und 10.000 m beim Colville.

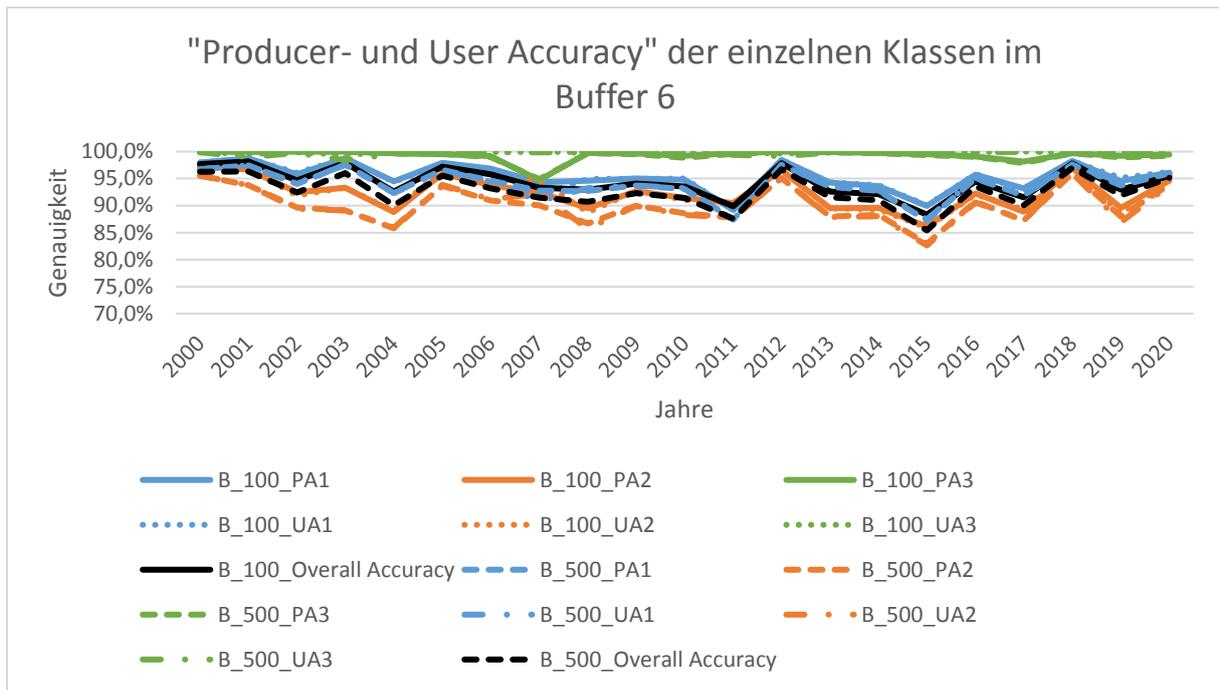


Abbildung 65 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 6 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m und 500 m beim Colville.

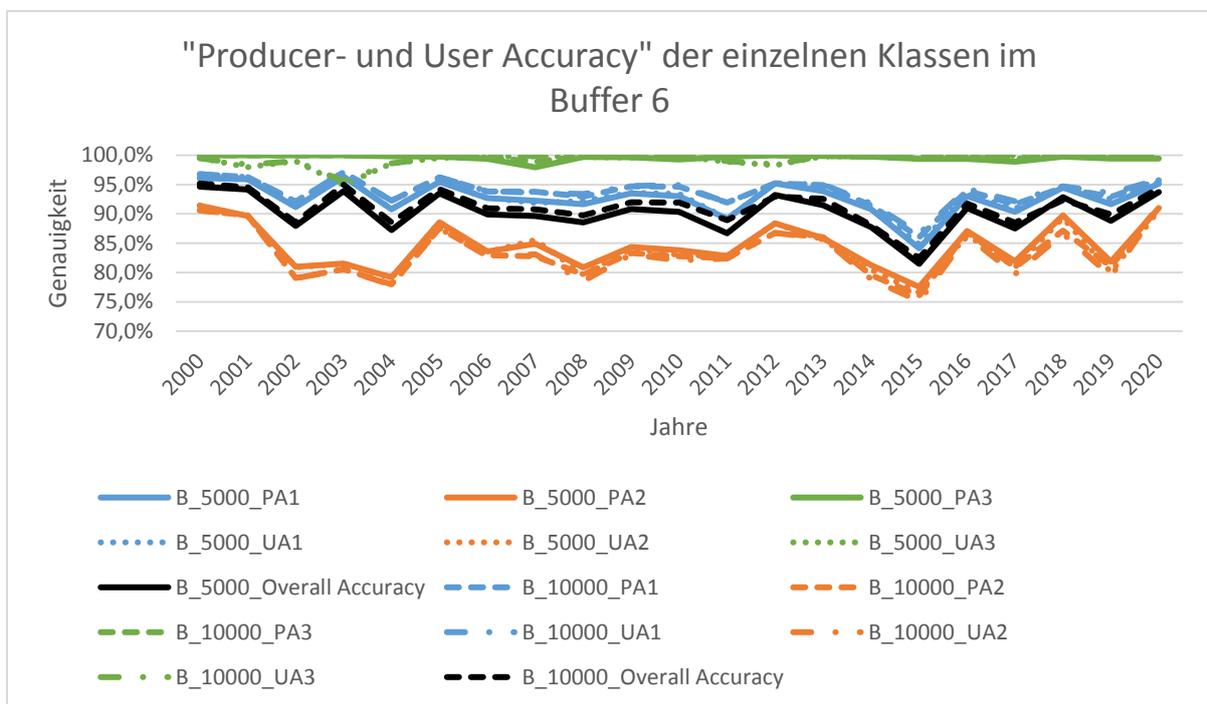


Abbildung 66 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 6 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 5.000 m und 10.000 m beim Colville.

4.2.7 Buffer 7 (Yukon)

Als vorletztes Bufferareal wurde der Yukon auserwählt. Wie bei den vorherigen Buffern nimmt auch hier die Genauigkeit der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ mit Erhöhung der Bufferdistanz ab (siehe Abb. 67), jedoch verändert sich der graphische Verlauf. So ist der Wertebereich beim 10.000 m Buffer höher als jener für 5.000 m. Beide Graphen verlaufen anfangs synchron und schwanken über die 94 %. Im Jahr 2006 nimmt jedoch die Genauigkeit beim 5.000 m Buffer vergleichsweise stark ab, während die Prozentzahl für 10.000 m im gleichen Wertebereich weiter schwankt und in den Folgejahren leicht zunimmt. Beim 5.000 m Buffer nimmt der Wertebereich im Jahr 2007 erst einmal wieder auf vorigen Stand zu, sinkt aber darauffolgend um etwa 5 % ab. 2011 erfolgt ein weiterer Anstieg, wo die Graphen wieder zueinander finden und den graphischen Verlauf zusammen vollenden. Wie auch schon bei den vorherigen Buffern sind „Accuracy“, „Precision“, „Recall“, „F1“, „Producer Accuracy“, „User Accuracy“ und „Overall Accuracy“ vom graphischen Verlauf sehr ähnlich (siehe Abb. 67 und 68). Es gibt einige geringmäßige Unterschiede, die von einem höheren Wertebereich bei den drei letztgenannten Parametern zollen. Auch in den einzelnen Klassen ist ein ähnlicher graphischer Verlauf erkennbar, wenn auch nicht bei der Klasse 3 (siehe Abb. 69 und 70). Die „Producer Accuracy“ schwankt hierbei zwischen 99,9 % bis 100 %, mit Ausnahme im Jahr 2014 mit 99,8 %. Mit den beiden niedrigen Bufferdistanzen wird bei der „User Accuracy“ in der gleichen Klasse auch dieser Wert erreicht. Mit Vergrößerung der Buffer nehmen hier die Werte auf bis zu 96,8 % ab und der graphische Verlauf verändert sich. Dasselbe Phänomen ist auch in Klasse 1 erkennbar. Der Wertebereich nimmt hier zum 10.000 m Buffer wieder zu, wodurch ein anderer graphischer Verlauf entsteht. So liegt bei diesem Buffer ein Minimalwert von 90,4 % vor, was 6,2 % höher ist als jener des 5.000 m Buffers. Bei der Klasse 2 ist dies ein Extrema, da hier ein Unterschied von über 40 % zwischen den beiden Buffern vorliegt. Die größten Differenzen sind zwischen 2006 bis 2011 ersichtlich.

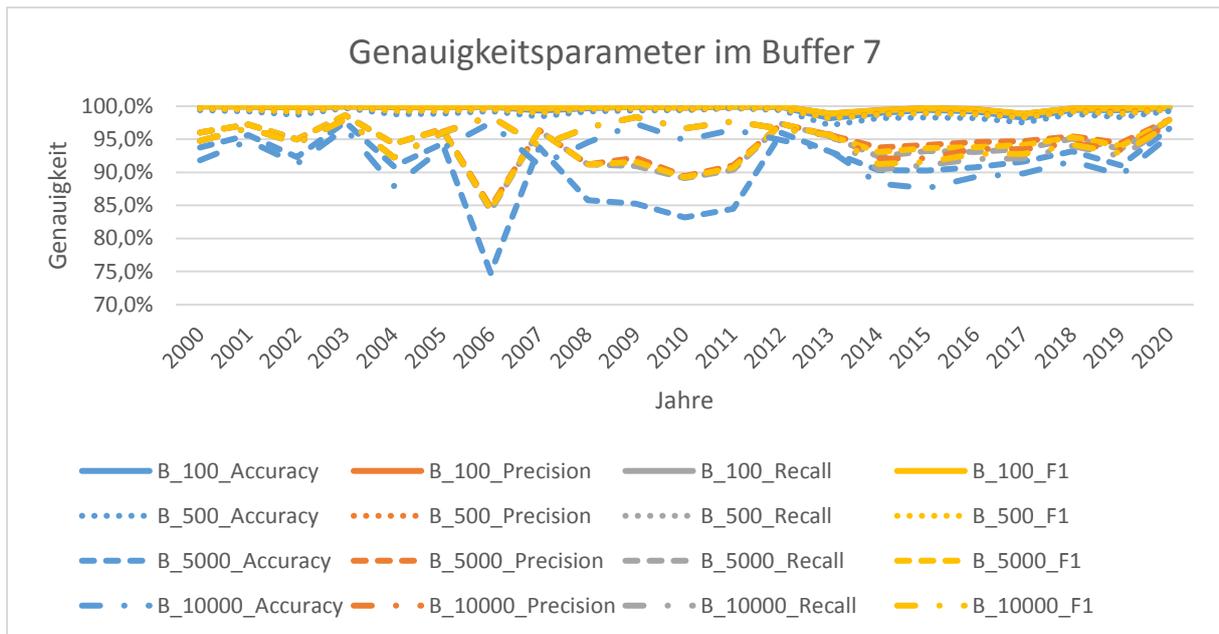


Abbildung 67 Genauigkeitsparameter im Buffer 7 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m, 500 m, 5.000 m und 10.000 m beim Yukon.

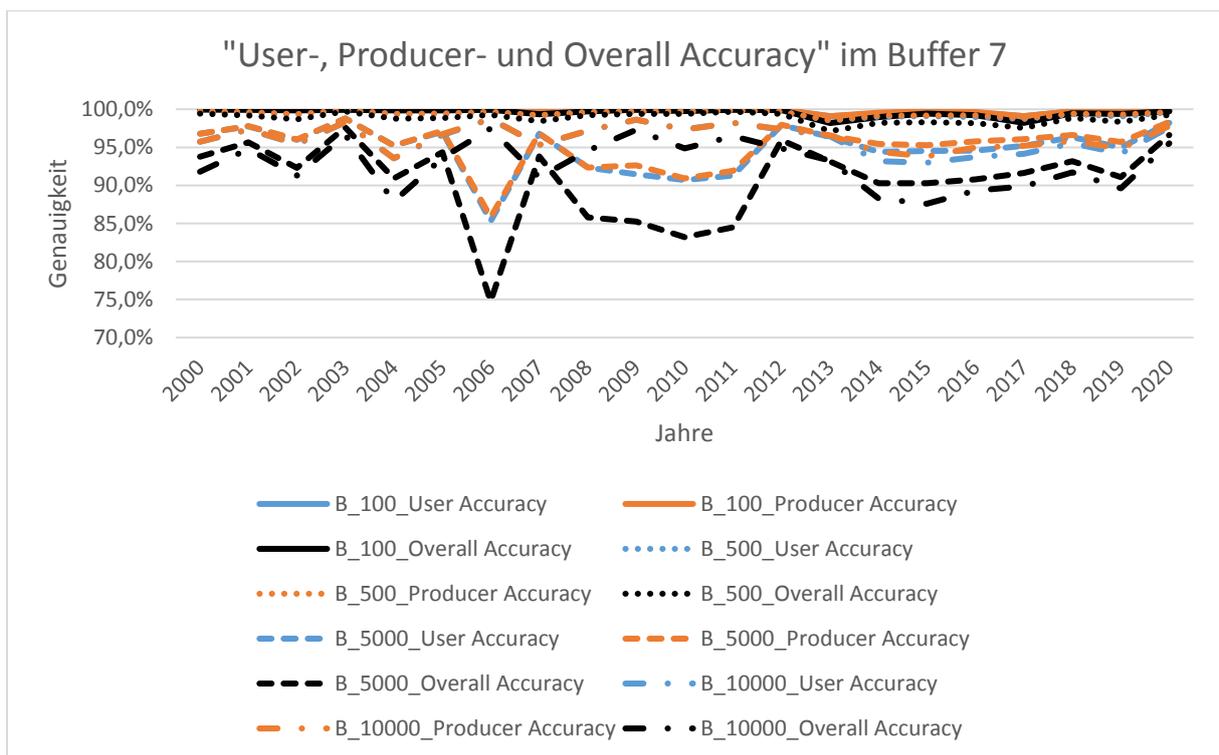


Abbildung 68 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Buffer 7 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „User-, Producer- und Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m, 500 m, 5.000 m und 10.000 m beim Yukon.

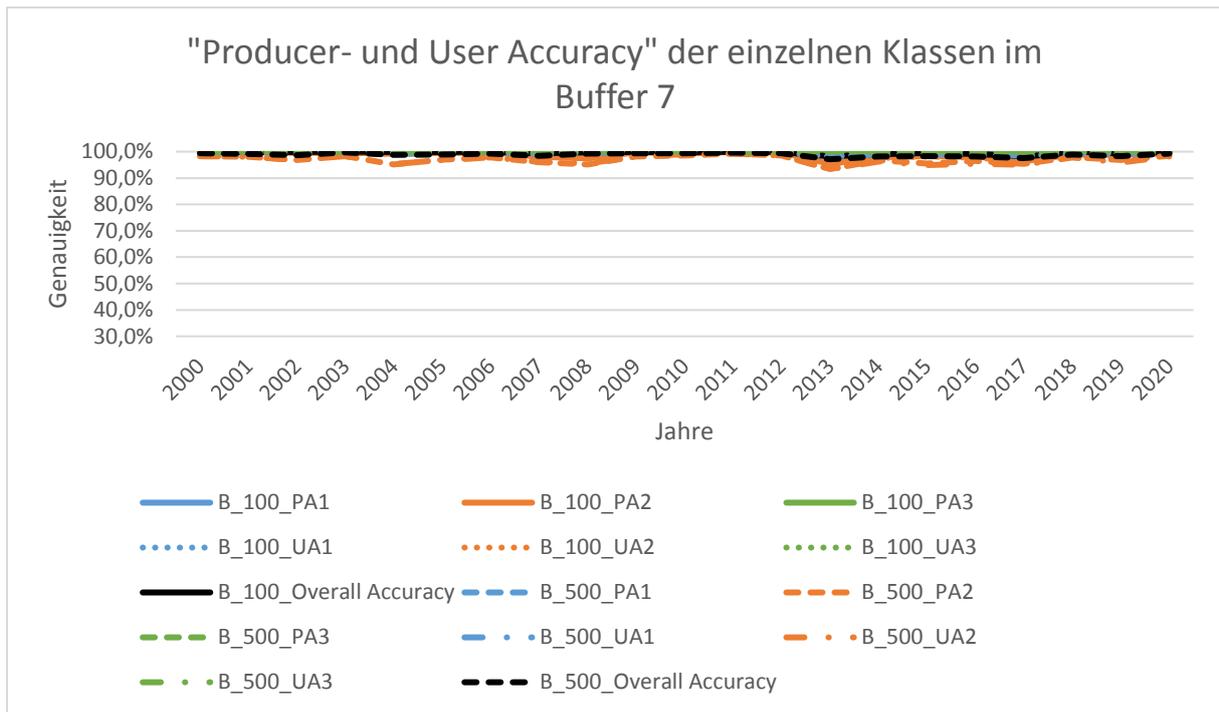


Abbildung 69 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 7 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m und 500 m beim Yukon.

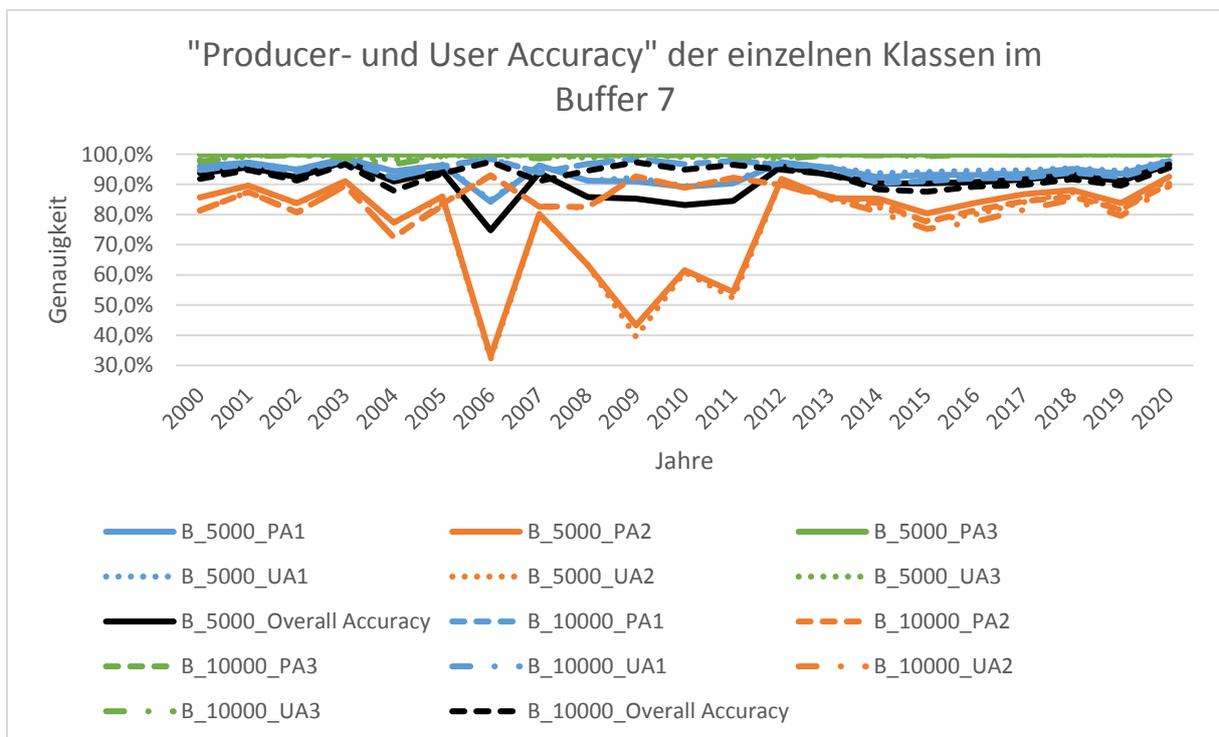


Abbildung 70 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 7 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 5.000 m und 10.000 m beim Yukon.

4.2.8 Buffer 8 (Ob)

Auch beim letzten Buffer zeigen „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ ähnliche Werte (siehe Abb. 71). Dazu nimmt auch hier die Genauigkeit mit der Erhöhung der Bufferdistanz ab und die Differenzen zwischen den Parameter stechen immer weiter heraus. Bei den beiden geringeren Buffern pendelt die Prozentzahl im Wertebereich bis zu 95 %. Anhand der beiden größeren Buffer zeigen sich sämtliche Schwankungen innerhalb einer größeren Spanne. So erfolgt im Jahr 2001 ein Anstieg der Genauigkeit bei der „Accuracy“ um ca. 20 % und im Jahr darauf nimmt dieser Wert um fast 25 % wieder ab. Die geringste Prozentzahl wurde dabei für 2006 bestimmt. Im darauffolgenden Jahr nimmt dieser Wert erneut in dieser Größenordnung zu. Bis zum Jahr 2012 erfolgt eine Abnahme. Ein letzter halbkreisförmiger Anstieg ist bis zum Jahr 2019 ersichtlich. Ähnlich sind auch die graphischen Verläufe der „Producer Accuracy“, „User Accuracy“ und „Overall Accuracy“ (siehe Abb. 72). Der Wertebereich ist jeweils leicht unterschiedlich, aber wenig im Diagramm erkennbar. Dies kann auch bei den Buffern mit den geringsten Distanzen bestätigt werden (siehe Abb. 73 und 74). Je höher die Buffergröße, desto stärker der Unterschied zwischen „Producer Accuracy“ und „User Accuracy“ der verschiedenen Klassen. Dies kann sich unter anderem bei der Klasse 3 bestätigen. Hier befindet sich die „Producer Accuracy“ ohne Ausnahme bei ca. 100 % Genauigkeit, jedoch nimmt die „User Accuracy“ bei einer Erhöhung der Bufferdistanz ab. Hier ist das Jahr 2002 mit einem Minimalwert von 86,2 % bedeutend. In den weiteren Jahren liegt der Graph zwischen 99 % bis 100 %. Stärker ist die Abnahme der Genauigkeiten innerhalb der Klasse 1 ersichtlich. Diese variiert jährlich und nimmt dabei im Trend ab. Wo noch im 100 m Buffer Werte bis minimal 98,7 % berechnet wurden, sind nun Prozentzahlen bis 82,1 % ersichtlich. Bei der Klasse 2 ist der graphische Verlauf, wie in den Abbildungen 71 und 72 erkennbar. Hier schwanken die Werte um fast 70 %. So wurde im Jahr 2006 ein Minimalwert von ca. 30 % berechnet. Mit der Erhöhung der Bufferdistanz von 500 m auf 5.000 m kam es teilweise zur Halbierung der Genauigkeit.

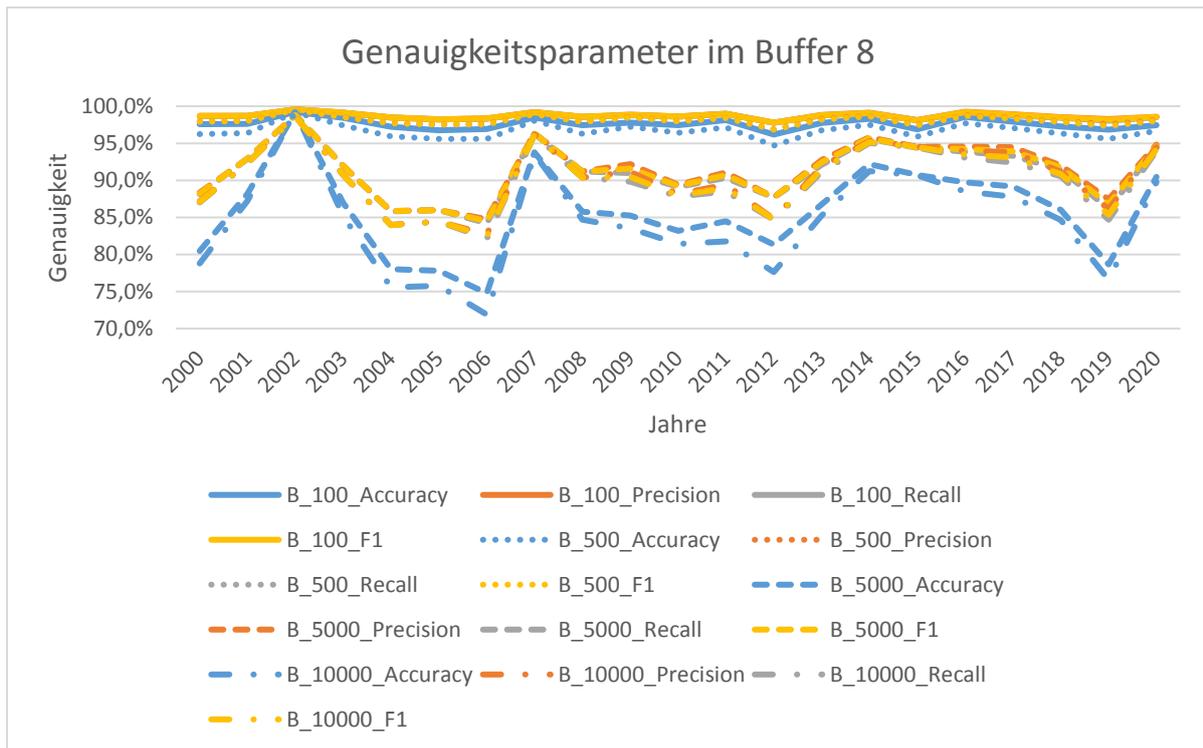


Abbildung 71 Genauigkeitsparameter im Buffer 8 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“ und „F1“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m, 500 m, 5.000 m und 10.000 m beim Ob.

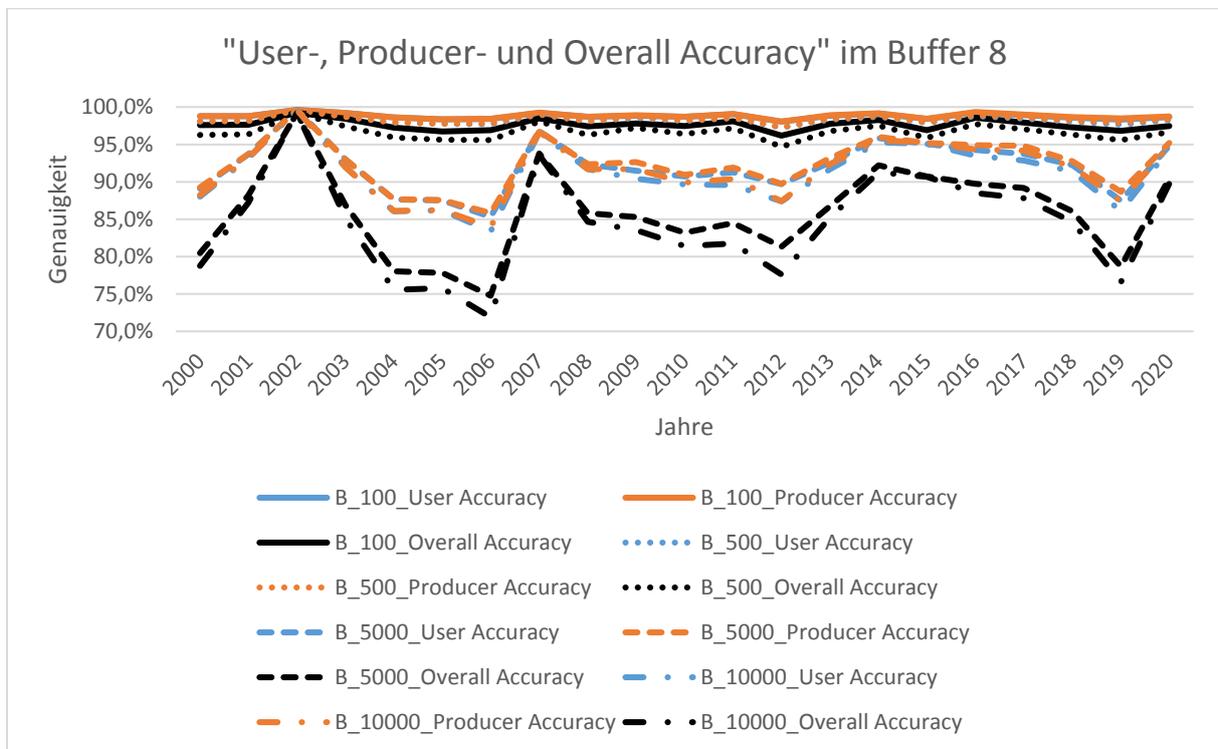


Abbildung 72 "User-, Producer- und Overall Accuracy" im Buffer 8 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die prozentualen Werte der „User-, Producer- und Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m, 500 m, 5.000 m und 10.000 m beim Ob.

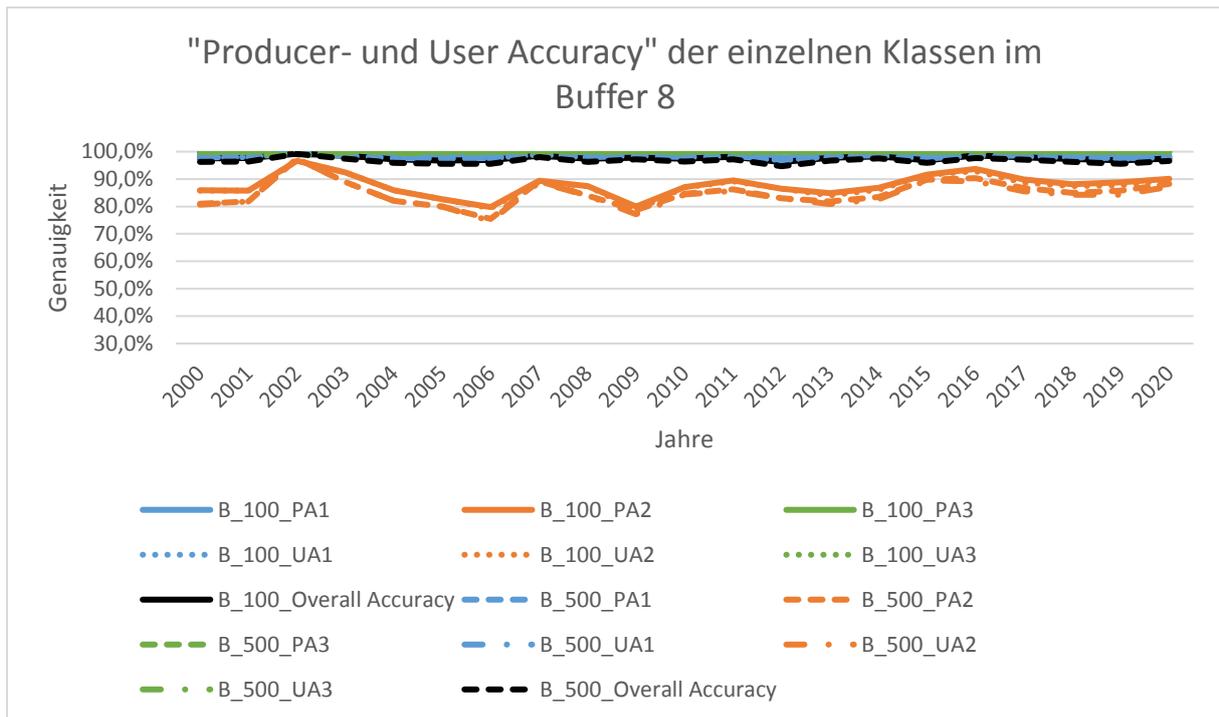


Abbildung 73 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 8 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 100 m und 500 m beim Ob.

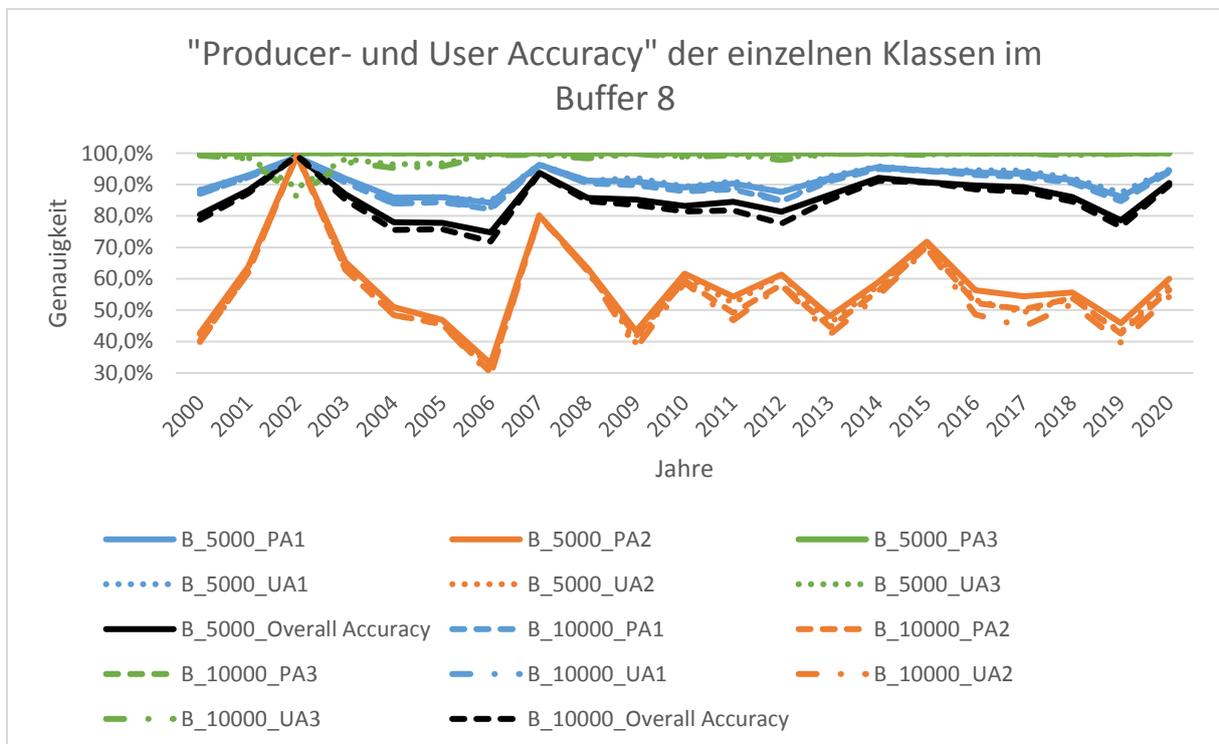


Abbildung 74 "Producer- und User Accuracy" der einzelnen Klassen im Buffer 8 (Eigene Darstellung 10.08.2023). Angezeigt werden die „Producer- und User Accuracy“ der einzelnen Klassen sowie als Referenz die „Overall Accuracy“ in einer Zeitreihe von 2000 bis zum Jahr 2020 für die Buffergrößen 5.000 m und 10.000 m beim Ob.

5. Diskussion

5.1 Technischer Vergleich zwischen PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016)

Durch den im vorherigen Kapitel durchgeführten Vergleich zwischen den Datensätzen von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) konnten wenige Unterschiede nachgewiesen werden. Da sich PICKENS et al. (2020) stark an der Methodik von PEKEL et al. (2016) orientiert, das Vorgehen zur Datensatzaufbereitung entsprechende Parallelen auf. Demnach begannen beide Ansätze mit der Detektion von Wasserflächen in dem der prozentuale Wassergehalt pro Pixel gemessen wurde. Ab einem Wert über 50% wird ein Pixel als Wasser klassifiziert. Dies erfolgt für jeden Monat jeden Jahres des untersuchten Zeitraums (PICKENS et al. 2020, PEKEL et al. 2016). Hierbei begann der Datensatz von PEKEL et al. (2016) schon im März des Jahres 1984. Da jedoch einige Lücken bei der Datenbeschaffung entstanden sind, konnten nicht alle Regionen abgebildet werden und es waren auch nicht für jedes Jahr Daten verfügbar. Erst ab dem Jahr 1995 wurden erste Daten für die Region um den Kolyma generiert, ab 1999 konnten auch die letzten Bereiche Sibiriens erkundet werden (PEKEL et al. 2016).

Der Datensatz von PICKENS et al. (2020) startete zwar im Jahr 1999, berechnete die ersten Daten zu Sibirien jedoch erst im Jahr 2000. Darum fungiert das Jahr 2000 als Startpunkt der Zeitreihe in dieser Masterarbeit. Mittlerweile werden bei PICKENS et al. (2020) Werte für den Bereich 75° N bis 56° S und in Grönland angegeben (PICKENS et al. 2020). Die Daten von PEKEL et al. (2016) gelten zum Vergleich für Areale bis zu 78° N und 56° S und damit etwas weiter in den Norden. Dafür wird hier Grönland nicht abgebildet (PEKEL et al. 2016). Im Süden wird bei beiden Datensätzen die gesamte Kontinentalmasse, außerhalb der Antarktis, umfasst (PICKENS et al. 2020, PEKEL et al. 2016). PEKEL et al. (2016) maskierte weite Teile der Landfläche aus, die zu keiner Zeit mit Wasser bedeckt waren. Zudem betrachtete PICKENS et al. (2020) die Jahre von Dezember bis Januar und PEKEL et al. (2016) von Januar bis Dezember des Folgejahres. Somit sind beide Datensätze nicht identisch groß und besitzen auch keine gleiche Zeiteinteilung. Da aber PEKEL et al. (2016) seinen Datensatz in zwei Epochen geteilt hat, also vom Jahr 1984 bis 1999 und 2000 bis 2021, kann mit der zweiten Epoche ein Vergleich zwischen PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) hergestellt und die Problematik der unterschiedlichen jährlichen Einteilung überwunden werden (PICKENS et al. 2020, PEKEL et al. 2016).

Ein globaler Vergleich der beiden Datensätze ward bereits in PICKENS et al. (2020) unternommen, wobei in weiten Teilen eine ähnlich hohe globale Genauigkeit für die jeweiligen Daten erhoben wurde. Dabei konnte je nach Auflösung und Region eine Genauigkeit von über

99% generiert werden. Bei saisonalen Gefilden sinken die Werte jedoch teils auf ca. 40% bei beiden Datensätzen (*User- und Producer Accuracy*) (PICKENS et al. 2020). Diese Masterarbeit spezialisiert sich nur auf die arktischen Permafrostgebiete und offenbart somit eine neue Perspektive auf die Daten. Die Ergebnisse von PEKEL et al. (2016) fundieren dabei nicht auf wahrscheinlichkeitsbasierten Referenzdaten, wie es bei PICKENS et al. (2020) der Fall ist, sondern zeigen die Veränderungen jeden Jahres anhand der Pixelzählungen an. Generell ist die Pixelanzahl für jede Region höher, als die bei PICKENS et al. (2020). Der Grund ist die Pixelgröße des jeweiligen Datensatzes. Diese kann jedoch zum Vergleich in eine geeignete Maßeinheit umgerechnet werden, wie beispielsweise Quadratmeter.

Des Weiteren arbeitete PEKEL et al. (2016) ausschließlich mit den eigenen Trainingsdaten (PEKEL et al. 2016). Bei PICKENS et al. (2020) wurden hingegen Referenzdaten von unter anderem „*RapidEye imagery*“-Daten in die Analyse integriert, um einen detaillierteren Überblick über die Daten zu geben. Auf Grundlage dessen konnte ein Genauigkeitsschätzer affiliiert werden, dieser berechnet im Gegensatz zu PEKEL et al. (2016) die Kategorie anhand von Schätzungen und gibt diesbezüglich den Standardfehler für Unsicherheiten an (PICKENS et al. 2020). Somit präsentiert die Arbeit von PICKENS et al. (2020) eine technische Erweiterung des Datensatzes von PEKEL et al. (2016).

5.2 Fehleranalyse

Die Datensätze zu globalen Oberflächengewässerdynamiken von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) gehören zu den bedeutendsten ihres Themengebietes. Dennoch sind beide eindeutig fehlerbehaftet.

Eine fundamentale Fehlerquelle liegt hier bereits in der Datengenerierung, die sowohl bei PICKENS et al. (2020), als auch bei PEKEL et al. (2016) auf Landsat-Daten fundiert, welche wiederum auf der Grundlage von passiven Scannern basieren (siehe Kapitel 3.1). Diese zeichnen sich damit aus, Energie zu messen, welche von der Erdoberfläche natürlich reflektiert oder emittiert wird (GOWARD et al. 2017). Wolken können in diesem Prozess als störend wirken, da diese die Sonneneinstrahlung reflektiert und davon abhält einen Punkt auf der Oberfläche überhaupt zu erreichen. Zwar gelten 50 % aller 1-km-Pixel als wolkenfrei, jedoch befinden sich einige Areale in „Zwischen-Wolken-Regionen“. Das bedeutet, auch wenn keine Wolke erkannt wird, kann die räumlich nächste Wolke einen gewissen Einfluss ausüben, damit dieser Pixel veränderte Werte anzeigt (MARSHAK et al. 2021). Wird dadurch für einen Monat keine passende Szene gefunden, so können hier Lücken zu Fehlern bei der Datenanalyse führen. Zum einen kann dies geschehen, weil durch die Wolken kein eindeutiges Bild entsteht und zum

anderen, dass bei den Datensätze unterschiedliche Szenen pro Monat betrachtet werden, wodurch die Fehleranfälligkeit steigt. Sind eine oder mehrere Szenen durch Wolken bedeckt, kann dies Unterschiede zwischen den Klassifikationen in PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) herbeiführen. Dies wäre eine mögliche Erklärung für die kleinräumigen „+1“- und „-1“-Unterschiedsflächen, welche in jedem Untersuchungsgebiet vertreten sind.

Auch die Bildung von Schattierungen kann, ähnlich wie bei Wolken, Fehler bei der Klassifikation der Oberflächengewässerdaten ausüben. Im hohen Relief verhindert möglicherweise die Topographie die direkte Sonneneinstrahlung, wodurch Schatten auf den umliegenden Oberflächen entsteht. Diese Bereiche weisen einen geringeren Albedo-Wert auf, als besonnte Areale (GILES 2001). Somit ist das Maß an Rückstrahlung vergleichbar gering mit der Albedo von Gewässerflächen, sodass Verwechslungen möglich sind (MIAO et al. 2022). PICKENS et al. (2020) integrierte verschiedene Referenzdaten, wie unter anderem ein digitales Höhenmodell, um Gebirgsdaten einzubringen (PICKENS et al. 2020). Auf Basis dessen wurden verschiedene Unterschiedsflächen gerade in den höheren Lagen detektiert und mit „-1“ klassifiziert, weil PICKENS et al. (2020) eine bessere Datengrundlage in Bezug auf PEKEL et al. (2016) besitzt (siehe Kapitel 3.2.1 und 3.2.2). Diese Flächen sind jedoch auf Mikroebene sichtbar und daher von geringerer Bedeutung für das Gesamtergebnis.

Von Tiden beeinflusste Küsten- und Uferbereiche (Klasse 2) weisen die meisten Differenzen zwischen den Datensätzen auf. Saisonale Ereignisse können dabei einen entscheidenden Faktor bei der Analyse ausmachen. Ein Hochwasserereignis in einer bewölkten Region kann somit die Ergebnisse erheblich beeinflussen. Die Zeitkomponente ist generell ein großes Problem, da beide Datensätze bei der Analyse andere Szenen für jeden Monaten genutzt haben und ein Datensatz ein Ereignis übersehen könnte. Auch das Auftauen von Permafrost ist saisonal bedingt (JONES et al. 2022). Speziell im Untersuchungsgebiet 8 prägt dieses saisonale Muster das gesamte Areal. Dies kann jedoch nicht gänzlich bestätigt werden, denn hierfür werden weitere Daten benötigt. Auch kleinräumige Ereignisse, wie Feuer oder Lava, können einen wichtigen Einfluss zu der Analyse beitragen. Bei beiden Szenarien entsteht Rauch, welcher ähnlich des Wolkenproblems, keine Strahlung durchlässt (LECHNER et al. 2020). Zusätzlich prägen Feuer und Lava das Landschaftsbild, indem Vegetation eliminiert wird und somit ein freieres Bild auf Flüsse und Seen gewährleistet werden kann (WARD et al. 2014). Diese Flächen werden fälschlicherweise als „saisonal“ klassifiziert, obwohl sie „permanent“ sind. Dies kann aber auch anthropogen durch die Abholzung entstehen. In Teilen des dritten Untersuchungsgebietes wurde in VARCHMIN (2019) von 2001 bis zum Jahr 2018 ein

Waldverlust von 33 % klassifiziert. Feuerereignisse sowie anthropogene Faktoren werden als Hauptgründe angegeben (VARCHMIN 2019). Insgesamt sind die Untersuchungsgebiete mit Ausnahme von Nummer 1, 4, 6, 9 und 10, sehr ausgeprägt mit Waldregionen. Eine Analyse, ob Waldbrände oder Lava die weiteren Untersuchungsgebiete bedingt, wird in dieser Masterarbeit nicht betrachtet, jedoch können diese mögliche Einflussfaktoren sein.

Eine Verzerrung der Daten kann jedoch in mehrfacher Hinsicht aufgrund der Vegetation entstehen, zum Beispiel verändert sich die Landschaft je nach Stand im Vegetationszyklus (ROERINK et al. 2003). Dabei kann ein dichter Baumbewuchs, wie in den Untersuchungsgebieten 2, 3, 5, 11 und 12, eine Sicht auf die Gewässer einschränken, wie es scheinbar nach dem „*Global Forest Change*“-Datensatz teilweise durch Unterschiedsflächen an den Gewässern und der Veränderungen der Flussbreite bestätigt wird (HANSEN et al. 2013). Dabei ist nicht nur die Population der Bäume, sondern auch der Vegetationstyp aufgrund der Sichtachse und des Laubfalls ein entscheidender Einflussfaktor (PEKEL et al. 2016). Ein Vergleich je nach Baumart kann wegen der spektralen Eigenschaften Komplikationen mit sich führen (CIPAR et al. 2004), jedoch ist dies nur von sekundärer Bedeutung in dieser Masterarbeit. Im Fokus liegt hier die Vegetation in den Gewässern, denn je nach Eutrophierungsgrad, sinkt die Wahrscheinlichkeit einer genauen Klassifikation als Gewässer- oder Landfläche. Verschiedene Algen und Makrophyten, insbesondere Seerosen, werden oftmals falsch als „Land“ klassifiziert, obwohl dies in der Realität eine permanente Wasserfläche darstellt (ZHAO et al. 2021, XIAO et al. 2014). Die kann jedoch durch die verschiedenen spektralen Kanäle der Landsat-Satelliten minimiert werden (GOWARD et al. 2017).

Das gleiche Problem kann auch durch große Mengen aus Erosionsprozessen hervorgegangenen Sedimenten, Muscheln oder Müll hervorgerufen werden. Gerade die Sedimentation ist ein wichtiger Faktor bei den Flüssen, denn diese tragen große Mengen Material aus den Gebirgen bis in die Meere (GROTZINGER und JORDAN 2014). Teilweise bleiben Sedimente auch auf der Strecke liegen und bilden Bänke. Durch das mäandrieren der Flüsse entstehen neue Strecken, die vorher teilweise nicht existierten (DIKAU et al. 2019). Der neue Weg wird als „saisonal“ klassifiziert, obwohl nun ein „permanentes“ Gefilde vorliegt. Strecken, die zuvor Wasser führten, sind nun auch als „Saisonal“, beziehungsweise je nach zeitlichem Maßstab, als „permanent“ gekennzeichnet. Gerade im Frühjahr steigt der Abfluss durch das Abschmelzen des Gletschereises. Solche Eisflächen sind aufgrund der spektralen Eigenschaften und des Schmelzens des Eises schwer klassifizierbar (POPE und REES 2014). Beim Auftauen des

Gletschereises in den Gebirgen, steigt der Wasserspiegel sowie der Abfluss. Dadurch entstehen Hochwasserflächen, die saisonal bedingt abgebildet werden. Aufgrund des hohen Abflusses steigt auch die Erosionsrate (GROTZINGER und JORDAN 2014). Da keine Verdeichung bei den Flusssystemen stattfand, können diese mäandrieren, immer neue Wege erstellen und alte Seitenarme trocknen aus (DIKAU et al. 2019). Eine Veränderung der Wegstrecke hat auch Einfluss auf die Klassifikationen der Oberflächengewässerdaten. Je nach Zeitspanne der Untersuchung kann ein neuer Flusslauf somit als „Saisonal“ oder „Permanent“ beschrieben werden. In jedem Untersuchungsgebiet mit Flusssystemen kann dies als eine Erklärung für die Unterschiedsflächen gelten (siehe Untersuchungsgebiet 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11 und 12). Speziell, weil diese an den Ufern oder mitten in den Flüssen sichtbar sind.

Neben den natürlichen Einflussfaktoren, ist die Methodik für die Detektion von Oberflächengewässerdynamiken von wichtiger Substanz. Beide Datensätze basieren auf Landsat-Daten. Auch das Vorgehen ist sehr ähnlich, abgesehen davon, dass PICKENS et al. (2020) mit Referenzdaten arbeitet, welche an sich Fehleranfällig sein können, wie schon im vorherigen Unterkapitel erläutert. Die Daten sind nicht immer nachvollziehbar dargestellt und eine Analyse der Ergebnisse wird nicht immer tiefgründig geführt. Wie in diesem Kapitel beschrieben, weisen beide Datensätze Mängel auf, die es in gleicher Form bei den Referenzdaten geben kann (LEHNER und DÖLL 2004). Auch bei PEKEL et al. (2016) ist nicht alles reproduzierbar. Die Auswahl der Trainingsdaten wird weder angezeigt, noch ausreichend erläutert. So wurde beispielsweise nicht bekanntgegeben, welche Gewässertypen dafür genutzt wurden. Dabei zeigen beispielsweise eutrophierte Gewässer eine andere spektrale Reflektanz, als „krautreiche Sümpfe“ oder Ozeane (LEHNER und DÖLL 2004), wodurch eine Verwechslungsgefahr entsteht. Des Weiteren weist das Vorgehen weitere Nachteile auf. Für eine detailliertere Analyse werden mehr Daten benötigt. Eine Szene pro Monat bildet nicht das gesamte Oberflächengewässersystem in seiner Komplexität ab. Je mehr Szenen für ein Jahr zur Detektion zur Verfügung stehen, desto genauer der Einblick in die Gegebenheiten (MUNAWAR et al. 2022). Da aber die Bewölkung Schwierigkeiten bereitet, wären aktive Scanner als Referenzdaten vom Vorteil. Hierbei werden elektromagnetische Wellen gesendet, um das Gebiet zu ermitteln, indem es die vom Ziel reflektierten Wellen erfasst. So ist es möglich dreidimensionale Strukturinformationen der Landschaft zu detektieren. Dazu werden verschiedene Störfaktoren, wie die Wolkenbedeckung, eliminiert, jedoch ist die Verfügbarkeit der Daten begrenzt. Die dabei gängigsten aktiven Fernerkundungssysteme sind „*Radio Detection and Range*“ (Radar) und „*Light Detection And Ranging*“ (LiDAR) (ZHENG & MOSKAL 2009), welche eine gute Ergänzung der Datenlage gewährleisten würden. Zusätzlich

ist die räumliche Auflösung von 30 m x 30 m für kleinere Gewässerflächen sowie für Ufer- und Küstenbereiche unzureichend. Damit kommt es zu einer ungewollten Ausmaskierung von Gewässerflächen. An Ufer- und Küstenbereichen bestimmen Mischpixel die Ergebnisse (LEHNER und DÖLL 2004). Diese zeichnen sich damit aus, dass Wasser-, sowie Landflächen in einem Pixel vorliegen, wodurch der Algorithmus kein genaues Ergebnis ermitteln kann. Zwar wird der prozentuale Wert jeder Klasse pro Pixel berechnet, jedoch entstehen je nach Pixelgröße Abweichungen bei der Darstellung. Mit einer höheren räumlichen Auflösung der Daten könnte dieses Problem minimiert werden und die Werte wären genauer (LEHNER und DÖLL 2004). Die Landschaftsbedeckung ist dabei nicht immer eindeutig, permanente Gewässerflächen und Sümpfe können je nach Vegetationsgehalt, als „Land“ oder „Permanent“ klassifiziert werden. Speziell bei Sumpfgebieten wurden viele Unterschiedsflächen detektiert, wodurch hier ein starkes Verbesserungspotenzial prognostiziert werden kann.

Ein wichtiger Fehlerindikator ist die teilweise Ausmaskierung von Landflächen bei PEKEL et al. (2016). Das sind Areale, wo zu keiner Zeit Gewässerflächen klassifiziert wurden. PICKENS et al. (2020) zeigte diese jedoch als „Land“ an, wodurch ein großer Bereich der kontinentalen Masse als „-1“ angezeigt wird. Nach einer Anpassung der Daten, wurden auch diese Flächen bei PICKENS et al. (2020) ausmaskiert. Dies geschah auf Grundlage einer neuen Berechnung der Daten. Wie in Kapitel 3.3 beschrieben, liegt die „*water occurrence*“ nun bei Landflächen zwischen 1 % und 10 %. Pixel mit einer niedrigeren „*water occurrence*“ werden nicht mehr angezeigt. Auch Ozeane wurden bis zu einem bestimmten Maß ausgegliedert. Dies geschah jedoch in beiden Datensätzen unterschiedlich. Somit werden diesen Bereichen auch Unterschiedsflächen kategorisiert.

5.3 Vergleich der Datensätze anhand der Referenzdaten

Anhand der Referenzdaten wurde untersucht, aufgrund welcher Einflussfaktoren Unterschiedsflächen entstehen. Für den Vergleich der Datensätze von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) wurden die Daten in 3 Klassen eingeteilt und daraufhin zur Detektion in einem Wertebereich von „-1“ bis „+1“ angegeben (PICKENS et al. 2020, PEKEL et al. 2016), wie in Kapitel 3.3 erläutert. Mit der Zahl „-1“ werden Flächen bezeichnet, wo Unterschiede zwischen den jeweiligen Datensätzen vorliegen und die Klasse bei PICKENS et al. (2020) kategorisch höher ist, als bei PEKEL et al. (2016). Dies bedeutet, wurde bei PEKEL et al. (2016) die Klasse 1 „Land“ klassifiziert, muss bei PICKENS et al. (2020) zwangsläufig die Klasse 2 „Saisonal“ oder die Klasse 3 „Permanent“ angezeigt werden. Bei der Zahl „+1“ wird dieses Prinzip genau umgekehrt verwendet. Hier liegt die Klasse bei PEKEL et al. (2016)

kategorisch höher als bei PICKENS et al. (2020). Flächen mit derselben Klassifizierung werden mit der Zahl „0“ beschrieben.

Das „*MERIT DEM*“ von YAMAZAKI et al. (2017) beschreibt die Topographie der einzelnen Untersuchungsgebiete. Hierbei konnten jegliche Unterschiedsflächen, anhand dieses Datensatzes erkannt werden. In den Höhenlagen wurden kleinräumige Unterschiedsflächen als „-1“-Areal gekennzeichnet. Ein Grund hierfür ist die Ausmaskierung der Daten von PEKEL et al. (2016). Landflächen werden hier großflächig aus der Analyse gestrichen, während PICKENS et al. (2020) diese vollständig anzeigt. Des Weiteren kann es wegen der Wolkenbedeckung zu Datenlücken, beziehungsweise zu einer falschen Klassifikation kommen (MARSHAK et al. 2021). Auch aufgrund von Schatten, Eisflächen, Sedimente in den Gewässern sowie dunkler Vegetation können Fehler bei der Detektion entstehen (PEKEL et al. 2016, LEHNER und DÖLL 2004). Wie im vorigen Unterkapitel erläutert, wurde in PICKENS et al. (2020) ein digitales Höhenmodell integriert, um unter anderem Fehler durch Schattierungen zu minimieren (PICKENS et al. 2020). Jegliche „-1“-Flächen in Höhenlagen zeigen den Einfluss der Referenzdaten. Jahreszeitlich bedingtes Auftauen von Eis und Regenzeiten können als saisonale Flächen klassifiziert werden, die jedoch je nach zeitlichem Auftreten, Schwierigkeiten bei der Analyse von Ufer- und Küstenbereiche kreieren. Der Großteil an Unterschiedsflächen wurde hier detektiert, was auf das Problem der Mischpixel schließen lässt (LEHNER und DÖLL 2004). Jeder Pixel hat eine bestimmte Größe und hier muss direkt an den Randgebieten entschieden werden, welche der Klassen vorliegt. Wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, muss zu mindestens 50% der Fläche Wasser vorliegen. Anschließend wird der zeitliche Trend geprüft, ob eine saisonale Fläche vorliegt. Erkennbar sind diese „-1“-Unterschiedsflächen in den Untersuchungsgebieten 3, 4, 6, 9 und 12. Auch in den niedrigen Höhen konnten „-1“-Flächen beobachtet werden. Diese zeigen sich genauso kleinräumig, wie in den anderen vorherigen beobachteten Arealen. Bei den Untersuchungsgebieten 5, 6, 7 und 10 kann hier ausschließlich auf die Klassifikation der Ufer- und Küstenbereiche geschlossen werden, dass unterschiedliche Ergebnisse zwischen den Datensätzen vorliegen. Die übrigen Untersuchungsgebiete weisen im Gegensatz nur mäßige Höhenveränderungen auf und befinden sich in flachen Arealen. Daher wurden hier keine „-1“-Unterschiedsflächen klassifiziert. Insgesamt sind die „-1“-Flächen wenig repräsentativ, zeigen jedoch klar an, dass sie ausschließlich in Höhenlagen und Küsten- und Uferregionen lokalisiert sind. Einzig ein zentraler Bereich im Untersuchungsgebiet 10 weicht von den Ergebnissen ab. In den zentral gelegenen Gewässerflächen wurde eine größere „-1“-Fläche erkannt. Diese wird aufgrund der Lage durch Sedimente im Wasser oder Eisschichten entstanden sein.

Im Gegensatz zu den „-1“-Arealen, können „+1“-Unterschiedsflächen ausschließlich in flachen Ebenen beobachtet werden. Gerade an Ufer- und Küstenbereichen sowie deren umliegenden Arealen sind markante Flächen erkennbar. Dies kann wieder mit dem Problem der Mischpixel erklärt werden, welches bereits in Kapitel 5.2 elaboriert wurde. In den Untersuchungsgebieten 4, 5, 6, 11 und 12 sind teilweise weite Bereiche als „+1“ gekennzeichnet. Hier liegen Deltas und vor allem Überflutungsflächen vor, die bei beiden Datenätzen über die Zeit anderes klassifiziert wurden. Insgesamt wurde ein Großteil der Unterschiedsflächen, als „+1“ nachgewiesen, was unter anderem mit der Pixelgröße zusammenhängt. Je kleiner die Pixel, desto konkreter kann das Untersuchungsgebiet abgebildet werden. Gerade bei Mischpixeln ist eine detailliertere Analyse vom Vorteil. Da jedoch PICKENS et al. (2020) verschiedene Referenzdatensätze in der Akquise integriert hat (PICKENS et al. 2020), ist die Darstellung dieser Areale vorteilhafter.

Insgesamt kann geschlussfolgert werden, dass der Großteil an Unterschiedsflächen an den Küsten- und Uferregionen sowie an den Überflutungsflächen lokalisiert wurden. Einige „-1“-Flächen konnten in den Höhenlagen detektiert werden, was an den in PICKENS et al. (2020) integrierten Referenzdaten liegt. Bereiche mit gleicher Klassifikation können in allen Gefilden detektiert werden und weisen einen höheren Flächenanteil auf, als Unterschiedsregionen.

Neben den Topographiedaten von YAMAZAKI et al. (2017), wurde auch der „*Global Forest Change*“-Datensatz von HANSEN et al. (2013), als Referenz, verwendet. Hier soll überprüft werden, ob Unterschiedsflächen bedingt durch die Vegetation zustande kamen.

Bei den Untersuchungsgebieten 9 und 10 konnten keine Daten generiert werden, da dieser Bereich oberhalb der Baumgrenze liegt. Somit wurden beide Areale für die Analyse aus der Wertung genommen. Auch die nördlichen Bereiche der Untersuchungsgebiete 1, 4, 6 weisen daher keine Daten auf. Dennoch wurden in den anderen Arealen markante Formen erkannt, die mit den Unterschiedsflächen kohärent sind. Speziell in den Untersuchungsgebieten 2 und 5 kann dies sehr gut beobachtet werden, da der Baumbewuchs in diesen Bereichen vermindert scheint und mögliche Gewässerflächen darunter auftauchen. In den weiteren Arealen sind auch markante Flächen sichtbar, jedoch sind diese nicht so stark ausgeprägt, wie bei den Untersuchungsgebieten 2, 3, 5 und 7. Im Gegensatz dazu ist der Waldanteil bei den Unterschiedsflächen im Areal 12 hoch.

Mit Ausnahme der Untersuchungsgebiete 7, 9 und 10 weisen alle Untersuchungsgebiete Gewinn- und/oder Verlustflächen auf. Diese Bereiche treten tendenziell in „0“-Bereichen auf.

Mit Ausnahme der Untersuchungsgebiete 8, 11 und 12, können klare Muster interpretiert werden, jedoch sind geringfügig in jedem Areal auch Unterschiedsflächen als Gewinn- und/oder Verlustflächen erkannt. Speziell einige Flüsse zeigen kohärente Waldverlust und Unterschiedsflächen an. Vegetation kann Gewässer verdecken, wodurch diese nicht mehr als solche erkennbar sind.

Abschließend kann geschlussfolgert werden, dass markante Unterschiedsflächen anhand des „*Global Forest Change*“-Datensatzes von HANSEN et al. (2013) ermittelt werden können. Der Baumbewuchs ist sichtbar vermindert, bleibt aber dennoch vorhanden. Somit kann die Vegetation als Einflussfaktor benannt werden. Bäume erzeugen Schattenwurf, was als eine Fehlerquelle gilt (HANSEN et al. 2013). Dazu verdecken sie Teile des Gewässers, weshalb die Ufer- und Küstenbereiche nicht genau klassifiziert werden können (HANSEN et al. 2013, LEHNER und DÖLL 2004). Bei hohen Waldanteilen liegen hauptsächlich Flächen gleicher Klassifikation vor, weshalb dies als Indikator gilt. Mithilfe eines Vegetationsdatensatzes können somit Schlüsse über die Unterschiedsflächen zwischen PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) gezogen werden.

Für die erweiterte Analyse wurde der „*ESA WorldCover 10 m 2020 v100*“-Datensatz von ZANAGA et al. (2021) verwendet. Dieser bildet die Erde anhand von 11 Landschaftsklassen ab (siehe Kapitel 3.2.5). Hier stellte sich heraus, dass in jedem Untersuchungsgebiet „permanente Gewässer“ und mit Ausnahme der Regionen 3 und 8, „krautreiche Sümpfe“ als Unterschiedsflächen, vom Typ „+1“, vorliegen und diese insgesamt den höchsten Flächenanteil aufweisen. Hier wird wieder das Problem der Mischpixel erwartet, also die Tatsache, dass aufgrund der Abgrenzung zwischen terrestrischen- und aquatischen Systemen, Schwierigkeiten bei der Klassifikation entstehen können (LEHNER und DÖLL 2004). Des Weiteren werden „krautreiche Sümpfe“ als stehendes Wasser definiert, auf deren Oberfläche je nach Jahreszeit eine Vegetationsschicht oder Wurzelzone vorliegt. Aufgrund des Vegetationsbewuchses, wird diese Fläche oft fälschlicherweise als „Land“ klassifiziert (LEHNER und DÖLL 2004). In diesem Fall beschreibt PEKEL et al. (2016) diese Areale als „permanente Gewässer“ und PICKENS et al. (2020) als „saisonal“. Eine Erweiterung der Datensätze auf „Sonderformen“ wäre hier vom Vorteil um mögliche Fehlerquellen zu minimieren.

Die Waldbedeckung und Grasflächen wurden in fünf, beziehungsweise acht Untersuchungsgebieten nachgewiesen. In Nummer 2, 3 und 11 wird die Waldbedeckung gar als häufigste Landschaftsklasse beschrieben. Bei Grasflächen sind es mit den Untersuchungsgebieten 4, 5, 6, 7, 8 und 12 sogar mehr Areale, dennoch wurden in diesen

Landschaftsklassen kaum Unterschiedsflächen erkannt. Vereinzelte „-1“-Flächen sind als Grasfläche oder Wald klassifiziert. Im 2. Untersuchungsgebiet ist wieder das Problem der Mischpixel sichtbar, dass einige Grasflächen, als „+1“ klassifiziert wurden. PEKEL et al. (2016) beschreibt diese Fläche als „Permanent“, während PICKENS et al. (2020) diese als „Saisonal“ oder gar als „Land“ erfasst. Die hier erkannten Unterschiedsflächen sind aber von sekundärer Bedeutung, da mehr Gebiete als „0“-Areale, also Gebiete, wo PEKEL et al. (2016) und PICKENS et al. (2020) die gleiche Klassifikation des Pixels vorweisen, eingeteilt sind.

Die Landschaftsklassen Moose und Flechten sowie spärliche Vegetation wurden in sieben, beziehungsweise sechs Untersuchungsgebieten in geringem Maß erkannt. Zwar konnten einige markante Flächen dieser Landschaftstypen in den Untersuchungsgebieten 4 und 6 detektiert werden, jedoch sind diese auch bedingt durch Höhenlagen, weshalb die Topographie als Hauptgrund für Unterschiedsflächen genannt wird. Neben den schon angesprochenen Landschaftsklassen, sind auch Strauchlandschaften sowie Schnee- und Eisflächen in den Untersuchungsgebieten erkennbar. Diese Bereiche weisen keine Unterschiedsflächen auf und nehmen nur einen kleinen Flächenanteil in den betrachteten Gebieten ein. Ackerflächen und Mangroven werden in den Untersuchungsgebieten nicht erkannt. Städtische Bereiche sind zwar vorhanden, aber diese werden wegen ihrer zu geringen Flächenanteile im Datensatz von ZANAGA et al. (2021) für die Untersuchungsgebiete nicht angezeigt.

Permanente Wasserflächen sowie krautreiche Sumpfbereiche werden Großteils als Unterschiedsflächen klassifiziert und gelten insgesamt als die Hauptfehlerquellen. Speziell für Datensätze, die sich mit Oberflächengewässerdynamiken beschäftigen, ist dies bemerkenswert, da vermutet wird, dass hier die geringsten Differenzen vorliegen. Grasflächen und Wälder weisen einige „-1“-Flächen auf, was teilweise durch die Nähe zum Gewässer und Höhenlagen bedingt ist. Bäume können Gewässerflächen verdecken, weshalb eine Ungenauigkeit bei der Klassifikation entsteht (HANSEN et al. 2013, LEHNER und DÖLL 2004). Dazu kann es aufgrund der spektralen Eigenschaften von dunkler Vegetation zu einer weiteren Unsicherheit kommen. Auch die Nähe zu Gewässern kann ausschlaggebend sein, da Hochwasserereignisse saisonal entstehen, beziehungsweise auch das Problem der Mischpixel vorliegt (LEHNER und DÖLL 2004). Die Landschaftsklassen Moose und Flechten, spärliche Vegetation, Strauchlandschaften sowie Schnee- und Eisflächen sind für die Analyse von geringer Bedeutung, da hier kaum, beziehungsweise keine Unterschiedsflächen vorliegen und andere Landschaftsklassen diese bedingen. Somit sind letztgenannte Klassen Indikatoren für die Kategorie „0“.

Zuletzt wurde der Permafrost-Datensatz von OBU et al. (2018) hinsichtlich der Unterschiedsflächen betrachtet. Mit Ausnahme vom Untersuchungsgebiet 5, weist jedes Areal einen hohen Permafrostgehalt auf. Im Areal 5 variiert dieser bedingt durch die Topographie (siehe Kapitel 4). In den Untersuchungsgebieten 2, 7, 8 und 12 können Unterschiedsflächen anhand der Abnahme des Permafrostgehaltes detektiert werden. Durch das Auftauen des Permafrosts entstehen kleine Seen, die exakt dort vorliegen, wo auch Unterschiedsflächen erkannt wurden (JONES et al. 2022). Somit kann bewiesen werden, dass der Permafrost ein wichtiger Indikator bei dieser Untersuchung ist. Auch die weiteren Untersuchungsgebiete weisen Permafrost auf, jedoch kann hier kein Trend hinsichtlich dessen Anteils beobachtet werden. Dies schließt den Einfluss hinsichtlich der unterschiedlichen Klassifikation von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) aber nicht aus.

5.4 Genauigkeitsanalyse der Untersuchungsgebiete

In dieser Masterarbeit wurden die Ergebnisse aus dieser Untersuchung hinsichtlich der „Accuracy“, „Precision“, „Recall“, „F1“, „Consumer's Accuracy“, „Producer's Accuracy“, „Producer Accuracy class 1“, „Producer Accuracy class 2“, „Producer Accuracy class 3“, „User Accuracy class 1“, „User Accuracy class 2“, „User Accuracy class 3“ und „Overall Accuracy“ verglichen und analysiert (siehe Kapitel 4). So kam heraus, dass sowohl „Precision“, „Recall“ und „F1“ jährlich sehr ähnliche Werte ausgeben, was von einer sehr guten Klassifikationsleistung zollt. Ab dem Jahr 2012 sind in einigen Untersuchungsgebieten etliche Differenzen ersichtlich, jedoch nur in geringem Maß. Insgesamt ist die „Precision“ zumeist am höchsten, dennoch nicht kontinuierlich in jedem Jahr. Für eine weitere Analyse wurden die „Producer Accuracy“, „User Accuracy“ und die „Overall Accuracy“ in Betracht gezogen. Dabei entspricht die „Overall Accuracy“ den Graphen der „Accuracy“, die „User Accuracy“ dem „Recall“ und die „Producer Accuracy“ der „Precision“ (OLOFSSON et al. 2014; WEAVER et al. 2018).

In Anbetracht der Diagramme in Kapitel 4 kann kein Graph ausschließlich für Sibirien oder Nordamerika festgestellt werden. In den Jahren 2002, 2015 und 2016 erfolgen Anstiege der Genauigkeit in jedem der sibirischen, aber auch in einigen amerikanischen Untersuchungsgebieten. 2012 und 2013 erfolgte eine Abnahme in denselben Regionen, der genaue Grund dafür kann nicht ermittelt werden. Eine vermehrte Wolkenbildung kann dies bewirkt haben (MARSHAK et al. 2021) oder eventuelle Hitzejahre, wodurch Eisflächen schneller schmelzen und die Wassermassen steigen (GROTZINGER und JORDAN 2014). Auch in Nordamerika sind solche Jahre erkennbar, dennoch wird hier Alaska ausgeschlossen.

Es gibt einige Diagramme mit ähnlichem Verlauf, wie die Untersuchungsgebiete 9 und 10, da beide auf benachbarte Inseln lokalisiert wurden. Obwohl das Untersuchungsgebiet 12 sich auch in der Nähe befindet, gibt es hier mehrere Differenzen. Der Großteil des Areals befindet sich auf dem Festland und ein kleiner Bereich in der Beaufortsee. Hier herrschen andere Bedingungen, die sich bemerkbar machen. Auch die Gegebenheiten bezüglich Topographie, Permafrost, etc. sind zwischen den Untersuchungsgebieten sehr verschieden, weshalb Unterschiede wahrscheinlicher werden (siehe Kapitel 2 und 4). Die Untersuchungsgebiete 6, 11 und 12 sind benachbart und von den Gegebenheiten her vergleichbar, was sich in den Ergebnissen reflektiert. Auch die Untersuchungsgebiete 7 und 8 weisen eine große Ähnlichkeit im graphischen Verlauf auf. Beide sind zwar am jeweils anderen Ufer des Hudson Bays gelegen, dennoch sind die Areale, wie schon erwähnt, geomorphologisch, vom Permafrostgehalt, Waldbestand und der Landschaftsklassifikation sehr unterschiedlich (siehe Kapitel 2 und 4). Gründe der Differenzen sind somit jedenfalls gegeben. Erwähnenswert sind die vergleichsweise niedrigen Wertebereiche in den Untersuchungsgebieten zwei und drei. Insbesondere beim Areal Nummer 2 sind die Genauigkeiten zumeist unter 90 %. Dies liegt womöglich an den verschiedenen Landschaftsformen im Untersuchungsgebiet und den Einfluss des Ob. Im dritten Areal ist die Lena prägend, was an den Unterschiedsflächen am Uferbereich der Lena und derer Ausläufern ersichtlich ist. Dies ist ein Indiz für die Hauptlokalitäten von Unterschiedsflächen. Genauere Daten zu diesen Gewässern erfolgen im nachfolgenden Unterkapitel.

Bei der Analyse der einzelnen „*Producer Accuracy*“- und „*User Accuracy*“-Klassen fällt die Klasse 3 (Permanentes Gewässer) mit einer hohen Genauigkeit auf. Hier beträgt die „*Producer Accuracy*“ 99,7 % bis 100 %. Die einzigen Ausnahmen bilden die Untersuchungsgebiete 3 und 4, wo dennoch ein Wertebereich über 99,0 % vorliegt. Der Hauptgrund wird vermutlich der Sedimenttransport der Lena sein. Je nach Abfluss wird größeres Geröll aus den Gebirgen transportiert und lagert sich teilweise im Flussbett an. Somit entstehen im Verlauf Sandbänke und auch das Mäandrieren des Flusses ist wahrscheinlich (DIKAU et al. 2019). Letzteres konnte jedoch nicht in den Untersuchungsgebieten bestätigt werden (GORELICK et al. 2017). Die „*User Accuracy*“ der Klasse 3 würde sich dadurch erklären lassen, nur dass hier niedrigere Prozentzahlen, als bei der „*Producer Accuracy*“ vorliegen. Insgesamt sind die Werte aber sehr gut.

Bei der Klasse 1 (Land) liegt der Wertebereich der Untersuchungsgebiete 1, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 und 12 über 95 %, zumeist sogar bei über 98 %, was eine sehr gute Klassifikation beschreibt.

Beim Untersuchungsgebiet 4 befindet sich ein Jahr unter 95 %, die Ergebnisse zu den Arealen 2 und 3 sind niedriger. Gründe hierfür können beim ausmaskieren der Daten liegen, da PEKEL et al. (2016) weite Bereiche, die nichts mit kontinentalen Gewässerflächen zu tun haben, ausgliedern wollte. Das gerade in den Untersuchungsgebieten 2 und 3 die niedrigsten Werte vorliegen, kann an der Lage sowie den lokalen Gegebenheiten liegen. Denn dies sind die walddreichsten Areale (HANSEN et al. 2013).

Die Klasse 2 (Saisonal) ist in der Analyse der Ergebnisse mitunter am markantesten. Aufgrund der geringen Werte nimmt die „*Overall Accuracy*“ im Vergleich stark ab. Der Hauptgrund für die niedrigen Genauigkeitsmaße wird dem Problem der Mischpixel zugeschrieben, wie im vorherigen Kapitel erläutert. Gerade an Küsten- und Uferbereichen sowie bei krautreichen Sumpfgebieten ist dieses Phänomen ausgeprägt. Je stärker die Ausprägung der Mischpixel, desto geringer die Genauigkeit (LEHNER und DÖLL 2004). Auch saisonale Ereignisse sind maßgebend. Beispielsweise kann ein Hochwasserereignis in beiden Datensätzen anders dargestellt werden (GROTZINGER und JORDAN 2014). Insgesamt betrachtet ist die Klasse 2 ausbaufähig. Gerade das Untersuchungsgebiet 2 mit Werten bis zu 60 % zeigt, wie unterschiedlich die Klassifikation zwischen PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) verläuft. Eine Möglichkeit wäre weitere Klassen einzufügen, um einen fundierteren Blick auf die Ergebnisse geben zu können. Passend wären Kategorien, wie „Küsten- und Uferbereiche“ sowie „Feuchtgebiete“ (LEHNER und DÖLL 2004). Gerade hier wurden die meisten Unterschiedsflächen angezeigt und anhand der Genauigkeitsanalyse belegen die Zahlen, dass hier eine technische Verbesserung anknüpfen muss.

Wichtig für den Vergleich der Datensätze, ist der graphische Verlauf der Genauigkeiten in jeder Zeitreihe. Die Klassifikation und die Untersuchungsgebiete haben sich nicht verändert, jedoch unterscheiden sich die örtlichen Gegebenheiten. Bei der die „*Producer*–“, wie auch für die „*User Accuracy*“ weisen bis zum Jahr 2011 beide Indikatoren in jedem Untersuchungsgebiet sehr ähnliche Ergebnisse auf, sodass Differenzen nur mit niedrigerem Maßstab in den Diagrammen sichtbar wären. In den Untersuchungsgebieten 3, 5, 6, 11 und 12 werden die Unterschiede ab den Jahren 2012/2013 größer und somit in den Abbildungen erkennbar. Genaue Gründe können nicht benannt werden. Alle dieser Areale sind in der gleichen Region und die lokalen Gegebenheiten sind relativ ähnlich zu den anderen Arealen. Vermutet wird der Start von Landsat 8 als möglicher Faktor, dass sich hierdurch die technischen Raffinessen verändert haben und damit eine bessere Datenverarbeitung existiert (USGS 2023). Ein genauer Grund kann jedoch nicht bestimmt werden. Wie schon erwähnt sind Veränderungen des

Waldbestandes ein maßgebender Faktor (HANSEN et al. 2013). Gerade auf Makroebene kann dies einen bedeutenden Einfluss auf die Ergebnisse ausüben. Auch Gewässersysteme bewirken mit ihrer Dynamik Veränderungen in den untersuchten Arealen, vor allem Hochwasserereignisse können einen bedeutenden Faktor darstellen (GROTZINGER und JORDAN 2014). Den größten Einfluss stellt jedoch die Wolkenbildung da. Je größer der Wolkenanteil, desto schwieriger die Klassifikation (MARSHAK et al. 2021). Hierbei entstehen Unterschiede bei den Ergebnissen zwischen den Datensätzen von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016).

5.5 Genauigkeitsanalyse der Buffer

Für einen fundierteren Blick auf die Ergebnisse wurden innerhalb der Untersuchungsgebiete Buffer mit Distanzen von 100 m, 500 m, 5.000 m und 10.000 m um den Mackenzie River, Kuskokwim, Kolyma, Lena, Colville, Yukon und dem Ob gezogen. Die Lena wird dabei in Nord und Süd eingeteilt, da sie zwei verschiedene Untersuchungsgebiete prägt. Ziel dieser Analyse ist eine Untersuchung der Flusssysteme sowie deren Uferbereiche, da hier ein Großteil der Unterschiedsflächen lokalisiert wird. Wie schon im vorherigen Kapitel erwähnt, werden hier vermehrt saisonale Gewässerflächen angezeigt, die insgesamt dürftig klassifiziert wurden. Da jeder Fluss eine andere Breite besitzt, fand die Untersuchung der Flüsse unter Berücksichtigung verschiedene Bufferdistanzen statt. Weitere Bufferdistanzen wären hilfreich gewesen, jedoch ist diese Untersuchung sehr zeitintensiv und auch mit dieser geringen Anzahl konnten aussagekräftige Ergebnisse erzielt werden.

Wie auch bei den Untersuchungsgebieten entspricht die „*Overall Accuracy*“ dabei den Graphen der „*Accuracy*“, die „*User Accuracy*“ dem „*Recall*“ und die „*Producer Accuracy*“ der „*Precision*“ (OLOFSSON et al. 2014; WEAVER et al. 2018). Dabei sind wieder die „*Producer Accuracy*“ und die „*User Accuracy*“ minimal höher, als die „*Precision*“ und der „*Recall*“. Die „*Overall Accuracy*“ und die „*Accuracy*“ zeigen wieder die geringsten Werte, wenn auch die „*Accuracy*“ vom Wertebereich leicht höher ist. Ebenso die „*Precision*“ und die „*Producer Accuracy*“ weisen vergleichsweise etwas höhere Genauigkeiten als die „*User Accuracy*“ und der „*Recall*“ auf. Die Unterschiede werden ab den Jahren 2012/2013 größer und somit auch in den Abbildungen erkennbar.

Eine anfängliche Vermutung, dass mit Erhöhung der Bufferdistanzen auch höhere Genauigkeitswerte erzielt würden, konnte nicht bestätigt werden. Ein Fluss hat eine gewisse Breite und je nachdem, wie das Linienpolygon gezogen wird, verändern sich die Prozentzahlen. Wegen der niedrigen Distanz zwischen den beiden Buffern mit geringerer Größe, liegen hier

sehr ähnliche Werte vor. Zwar sind Unterschiede erkennbar, wenn auch nicht in jedem Diagramm ersichtlich. So liegen die Genauigkeiten beider Buffer in den Untersuchungsgebieten 3 und 7 bei um die 100 %. Das Gegenteil ist bei den Untersuchungsgebieten 1, 2 und 6 erkennbar. Hier ist die Differenz der Genauigkeiten zwischen 100 m Buffer und 500 m Buffer so hoch, dass der Unterschied klar sichtbar ist. Mit Erhöhung der Bufferdistanzen auf 5.000 m und 10.000 konnten in jedem Untersuchungsgebiet deutlich geringere Genauigkeiten bestätigt werden. Es entsteht ein Puffer in den Diagrammen, der die Ergebnisse zu den Bufferdistanzen sichtbar abgrenzt. Mit Ausnahme der Untersuchungsgebiete 1, 6 und 7 ist eine Abnahme der Genauigkeit mit Erhöhung der Bufferdistanzen ersichtlich. Bei den drei benannten Arealen ist der Wertebereich im 5.000 m Buffer am geringsten und nimmt im 10.000 m Buffer wieder zu. Dies liegt vor allem daran, dass sich hier dem Uferbereich am meisten genährt wurde und Sandbänke, Muscheln, etc. die Ergebnisse stark prägen (GROTZINGER und JORDAN 2014). Mit Erhöhung der Datenzahl können die Genauigkeiten abnehmen, da mehr Bereiche mit gleicher Klassifizierung der Datensätze vorliegen.

Ein direkter Vergleich der Ergebnisse für die jeweiligen Buffer erweist sich als schwierig. Zwar liegen einige Gemeinsamkeiten vor, welche sich zumeist auf den Anstieg oder die Abnahme der Genauigkeit im selben Jahr beschränken. Insgesamt betrachtet sind sich der Kuskokwim und der Yukon im graphischen Verlauf der Genauigkeiten am ähnlichsten, wenn auch hier sehr viele Unterschiede existieren und dies verdeutlicht, wie unterschiedlich die Ergebnisse der Flusssysteme zueinander sind. In Anbetracht kleinerer Zeitreihen zeigen der Mackenzie River, der Kuskokwim und die südliche Lena ab dem Jahr 2004 einen sehr ähnlichen graphischen Verlauf an. In Anbetracht der Flussgebiete Nummer 1 bis 4 fällt ein Wertebereich aller Parameter zu jeder Bufferdistanz über 90 % auf, was auf einer ähnlichen Klassifikation zwischen PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) hinweist. Mit Ausnahme des Obs liegen bei den weiteren Flüssen ausschließlich die „Accuracy“ und die „Overall Accuracy“ über 90 %, was sich auf die Lokalität des Linienpolygons zurückführen lässt, da jeder Fluss eine spezifische Breite besitzt und nur die Flussläufe innerhalb der Untersuchungsgebiete in Betracht gezogen werden. Mit Erhöhung der Bufferdistanz veränderten sich die Prozentzahlen des Obs auf bis zu 70 %. Gründe hierfür wurden bei den einzelnen Klassen der „Producer Accuracy“ und „User Accuracy“ gesucht und gefunden. Auch hier gilt eine Genauigkeitsabnahme mit Erhöhung der Bufferdistanzen, wobei es die gleichen Ausnahmen gibt, wie zuvor.

Die „*Producer Accuracy*“ der Klasse 3 liegt in jedem Buffer bei 99,8 % bis zumeist 100 %. Eine Ausnahme zeigt sich beim Colville. Anstatt des üblichen Wertebereichs von 99,9 % bis 100 %, wurden für die Jahre 2007 mit 94,7 % und 2017 mit 98,1 % Genauigkeiten berechnet, die geringer sind, als in den anderen Arealen. Teilweise liegt hier sogar die „*User Accuracy*“ jeweils gleicher Klasse über diesem Parameter und weist bei jedem Fluss eine hohe Genauigkeit von über 95 % auf. Eine Ausnahme trifft beispielsweise auf das Jahr 2002 im Gebiet des Obs zu, wo die „*User Accuracy*“ den geringsten Wert mit unter 90 % aufzeigt. Wieso genau in diesem Jahr die Prozentzahl so abfällt und bei den anderen Parametern dieser sehr hoch ausfällt, ist nicht eindeutig abzuleiten. Sonst kann bei der Klasse 3 von einer insgesamt sehr guten Klassifikation gesprochen werden.

Bei der Klasse 1 erfolgt eine unzureichende Detektion. Gerade aufgrund der unterschiedlichen Bufferdistanzen kommt es zu einigen Differenzen zwischen den Ergebnissen. Speziell bei dem 100 m Buffer und beim 500 m Buffer zeigen sich Genauigkeiten bei über 95 %. Nur beim Colville werden Werte bis zu 88 % berechnet. Steigt die Bufferdistanz auf 5.000 m, beziehungsweise 10.000 m, so liegen nur beim Kuskokwim Prozentzahlen ausschließlich über 95 % vor, womit hier die höchsten Genauigkeiten berechnet wurden. Der Mackenzie River, der Kolyma sowie die nördliche Lena zeigen auch Ergebnisse in diesem Wertebereich, jedoch mit wenigen Ausreißern. Die südliche Lena weist hingegen einen Wertebereich über 90 % auf. Dies liegt vor allem an dem Ausreißer-Jahr 2003. Hierbei fällt beim Yukon die Genauigkeit auf ca. 84 %, sonst wird ein ähnlicher Wertebereich aufgezeigt. Dafür ist entgegen der anderen Flüsse eine Veränderung des graphischen Verlaufs mit den Bufferdistanzen bemerkbar. Der Colville weist einen Minimalwert von ca. 84 % auf. In den weiteren Jahren liegt die Genauigkeit über 90 %. Die niedrigsten Wertebereiche fallen in den geringsten Bufferdistanzen auf, was ausschließlich beim Colville so ersichtlich ist. Der Ob hebt sich dabei aufgrund des niedrigsten Wertebereichs hervor. Insgesamt betrachtet ist die Klassifikation der Landflächen hier ausbaufähig. Zwar sind die Ergebnisse gut, aber mit Erhöhung der Bufferdifferenz zeigen sich Unterschiede zwischen den Datensätzen von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016). Hier werden saisonale- und Landflächen verwechselt sowie umgekehrt. Gerade Sandbänke werden hier als vermeintliche Landflächen anerkannt, was durch die Erosion jedoch Veränderungen aufweist. Auch Uferbereiche werden betrachtet, wodurch wieder das Mischpixel-Problem auftritt (GROTZINGER und JORDAN 2014; LEHNER und DÖLL 2004).

Bei der Klasse 2 treten sehr verschiedene Ergebnisse auf. Die höchsten Genauigkeiten finden sich bei den 100 m Buffern und 500 m Buffern beim Kuskokwim, beim Yukon sowie beim

nördlichen und südlichen Lena-Abschnitt. Dennoch weist der Großteil dieser Flüsse einjährige Abweichungen von bis zu 20 % auf. Der nördliche Abschnitt der Lena zeigt mit Erhöhung weiterhin diese Wertebereiche auf, was hier als eine gute Klassifikation kategorisiert wird. Mit einem Wertebereich von bis zu 80 % liegen der Mackenzie River (100 m Buffer, 500 m Buffer, 5.000 m Buffer und 10.000 m Buffer), der Colville (100 m Buffer und 500 m Buffer) sowie der Kuskokwim und die südliche Lena (jeweils 5.000 m Buffer und 10.000 m Buffer) in einem durch die Datensätze vergleichsweise unterschiedlich klassifizierten Bereich. Dazu folgen Jahre mit Abweichungen unter der 80 % Marke. Hier kann argumentiert werden, dass Flüsse dynamische Landschaftsformen sind und durch den Sedimenttransport sowie der Erosion Veränderungen im Flusssystem vorliegen. Außerdem werden Uferbereiche als Mischpixel klassifiziert, was keine eindeutige Klassifikation als saisonal zulässt (GROTZINGER und JORDAN 2014; LEHNER und DÖLL 2004). Bei den 5.000 m- und 10.000 m Buffer vom Mackenzie River, dem Kolyma, dem Colville und den 100 m- und 500 m Buffer des Ob fallen die Genauigkeiten weiter. Hier sind dieselben Gründe, mit einer höheren Intensität erkennbar, dennoch sollten sich die Ergebnisse bei Gewässerdatensätzen nicht so stark bei verändern. Speziell beim Yukon und beim Ob wurden Genauigkeiten von bis zu 30 % berechnet. Dieses schlechte Ergebnis lässt sich auf großflächige Uferzonen und damit verbundene Mischpixel zurückführen (LEHNER und DÖLL 2004).

Wie auch schon bei den Untersuchungsgebieten liegen jährliche Schwankungen der Ergebnisse vor. Gründe dafür sind im Verhalten des Wassers sowie die Sicht auf die Flüsse zu finden. Teilweise werden Flussabschnitte durch Wolken verdeckt, was eine Klassifizierung erschwert (MARSHAK et al. 2021). Das Verhalten des Wassers ist durch jährliche Gegebenheiten bedingt, so kommt es öfters zu Hochwasserereignissen, wobei sich die Grenze der Mischpixel verschiebt und das Wasser Landflächen überflutet (GROTZINGER und JORDAN 2014; LEHNER und DÖLL 2004). Hier muss aber die Zeitkomponente in Betracht gezogen werden, wann jeweils die Daten bei PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) entnommen wurden. Je nach Tag verändern sich die Hochwasserflächen. Auch der Sedimenttransport ist zeitlich gebunden, denn es werden täglich nicht die gleichen Mengen an Geröll mitgenommen, beziehungsweise die Erosionsrate verändert sich (GROTZINGER und JORDAN 2014; LEHNER und DÖLL 2004).

Dazu kommt es auch hier wieder zu einem veränderten Wertebereich und somit auch zu einem differierenden graphischen Verlauf der verschiedenen Genauigkeitsmaße. Bis zum Jahr 2011 weisen die „*Producer Accuracy*“ und „*User Accuracy*“ sowie „*Precision*“, „*Recall*“ und „*F1*“

sehr ähnliche Werte auf, wodurch ein Unterschied in den Diagrammen kaum erkennbar ist. Ab dem Jahr 2012 liegt wieder eine präzisere Erfassung der Unterschiede zwischen in den Abbildungen vor. Auch hier kann der genaue Grund nicht identifiziert werden. Als eine mögliche Antwort wird wieder der Start und die technischen Feinheiten des Landsat 8 Programms diskutiert (USGS 2023).

6. Fazit

Die beiden verglichenen Datensätze verfügen über wichtige Informationen zu Gewässerdynamikanalysen. Zwar sollen die Ergebnisse von PICKENS et al. (2020) eine Erweiterung von PEKEL et al. (2016) darstellen, jedoch wurde bereits in Publikationen erläutert, dass beide auf globaler Ebene nahezu die gleichen Werte anzeigen. In dieser Masterarbeit wird sich jedoch nur auf die arktischen Permafrostgebiete beschränkt, wo jedoch einige erhebliche Differenzen festgestellt werden konnten. Speziell der Ob und der Yukon weisen bei saisonalen Gewässerflächen Genauigkeitswerte um die 30 % auf, was auf eine unzuverlässige Klassifikation schließen lässt. Als Gründe wurden hierfür Faktoren der Flussdynamik, Wolken, aber auch technische Varianzen, wie die Pixelgröße in Erwägung gezogen. Gerade weil sich hier mit der Gewässerdatenanalyse beschäftigt wird, sind solche Differenzen verbesserungswürdig. Werden jedoch nur Landflächen und permanente Gewässerareale betrachtet, sind die Werte höher. Mit Genauigkeiten von bis zu 80 % bei der Klasse „Land“, sollten aber auch hier Verbesserungen erfolgen. Werden die gesamten Untersuchungsgebiete betrachtet, fallen diese Genauigkeiten höher aus. Besonders Landflächen und permanente Gewässerareale weisen sehr ähnliche Ergebnisse zwischen den Datensätzen auf und zeigen höhere Wertebereiche als bei den Flüssen. Die saisonalen Gewässerflächen sind auch hier sehr unterschiedlich klassifiziert. Speziell bei den Untersuchungsgebieten 2 und 3 werden Grenzen aufgezeigt.

Mit Hilfe der Referenzdaten kann bestätigt werden, dass die Topographie, der Waldbestand, die Landschaftsklassen pro Untersuchungsgebiet und der Permafrost einen wichtigen Einfluss auf die Ergebnisse der Daten von PICKENS et al. (2020) und PEKEL et al. (2016) ausüben. So sind Areale in den höheren Lagen sowie Bereiche ohne Gewässeranteil bei beiden ähnlich kategorisiert. Anhand der Topographie konnte erkannt werden, dass Unterschiedsflächen speziell bei der Ufer- und Küstenanalyse vorliegen. Aufgrund des hohen Waldbestandes in einigen Arealen wurden diese Gebiete in beiden Datensätzen meist gleich klassifiziert. Dies gilt auch für den Großteil aller Waldverlust- und Waldgewinnflächen. Anhand der Landschaftsklassifikation nach ZANAGA et al. (2021), konnten Strauchlandschaften sowie Schnee und Eisflächen als sichere Areale der Klasse „0“ bestätigt werden. Zwar wurden spärliche Vegetation, Waldflächen, Grasflächen sowie Moose und Flechten auch als „-1“- oder als „+1“-Gebiete ermittelt, jedoch sind dies nur Ausnahmen. Der Großteil der Landschaftsklassen weist Unterschiede bei permanenten Gewässerflächen und krautreichen Sumpfgebieten auf.

Abschließend kann bestätigt werden, dass beide Datensätze auf Makroebene ähnliche Ergebnisse aufweisen. Dennoch sind speziell in saisonalen Gefilden starke Diskrepanzen vorhanden. Großflächige Unterschiedsflächen sind an Ufer- und Küstenregionen sowie in feuchteren Gefilden lokalisiert, kleine Areale jedoch zumeist in den Gebirgen. Speziell Randgebiete zwischen Landflächen und permanenten Gewässern bieten das größte Risiko, da hier Mischpixel vorliegen, die je nach Pixelgröße andere Werte aufweisen. Somit kann die erste Hypothese nicht bestätigt werden (siehe Abb. 1), denn es liegen Abweichungen zwischen den Ergebnissen vor. Dabei existieren verschiedene Landschaftsformen die dies bedingen, wie beispielsweise bestimmte Landschaftsklassen oder der Permafrostgehalt. Somit kann die zweite Hypothese bestätigt werden, genauso wie auch die dritte, da Küsten- und Uferbereiche Hauptrepräsentantengebiete für Unterschiedsflächen sind. Sowohl PICKENS et al. (2020), als auch PEKEL et al. (2016) weisen ihre Vorzüge sowie Nachteile auf. Eine Empfehlung der Nutzung beider Datensätze kann gegeben werden, jedoch sind saisonale Gewässerflächen ein großer Schwachpunkt beider, was auf niedrigen Maßstab mit Vorsicht angewendet werden sollte.

Danksagungen

Diese Masterarbeit wurde in Zusammenarbeit zwischen der Freien Universität Berlin und dem Alfred–Wegener–Institut–Potsdam verfasst. Hierbei gebühren Prof. Dr. Fabian Fassnacht und Dr. Ingmar Nitze ein großer Dank, dass ich unter deren Leitung diese Abschlussarbeit anfertigen durfte. Speziell möchte ich Dr. Ingmar Nitze danken, weil dieser mich von der Themenfindung bis zur Abgabe geduldig beraten, motiviert und mit seinen Hilfestellungen zur Beendigung dieser Masterarbeit geführt hat. Prof. Dr. Fabian Fassnacht bin ich dankbar für den „roten Pfaden“, der mich zum Ziel meiner Arbeit führte sowie seiner Hilfsbereitschaft, dass ich bei Fragen sehr schnell Hilfe zur Anfertigung dieser Arbeit fand.

Ganz besonders will ich mich bei den Masterstudenten Niklas Hahn, Kunyan Hao und Markus Vogel für ihre fachliche Kompetenz und den mentalen Beistand bedanken.

Des Weiteren gebührt der namibischen Delegation der Special Olympics 2023, James Makuwa, Maria Prundis und Hans Wittig ein großer Dank für den mentalen Beistand.

Ein letzter Dank geht an die Korrektureure dieser Masterarbeit: Alma, Amelie, Antonia, Christoph, Jonathan, Joris et al., Mike, Patrick, Philipp, Stella, Till, Tobias, Ugur, Zelda und Zoe.

Danke für eure tatkräftige Unterstützung!

Literatur

- Alaska Department of Fish and Game (2023): „Kuskokwim Drainage Management Area“. <https://www.adfg.alaska.gov/index.cfm?adfg=ByAreaInteriorKuskokwim.main> (07.04.2023)
- Alaska Guide Co (2023): „Colville River“. <https://alaska.guide/river/colville-river> (07.04.2023)
- Alaska.org (2023): „Colville River“. <https://www.alaska.org/detail/colville-river> (07.04.2023)
- Alaska Wilderness League (2022): „COLVILLE RIVER“. <https://alaskawild.org/reserve/colville-river/> (21.04.2023)
- American Museum of Natural History (2022): „GRACE Lena Basin, Russia“. <https://www.amnh.org/learn-teach/curriculum-collections/grace/grace-tracking-water-from-space/lena-basin-russia> (08.04.2023)
- Bartsch, A., Trofaier, A. M., Hayman, G., Sabel, D., Schlaffer, S., Clark, D. B., & Blyth, E. (2012): „Detection of open water dynamics with ENVISAT ASAR in support of land surface modelling at high latitudes“. *Biogeosciences*. Band 9. Auflage 2. S. 703-714
- Blaschke, T. (2002) „GIS und Fernerkundung für Landschaftsmonitoring und Landschaftsplanung“. *STANDORT*. Band 26. Auflage 3. S. 116
- Boike, J., Hubberten, H. W., Lantuit, H., Overduin, P. P., Schirrmeister, L., Wagner, D., & Huch, M. (2009): „Permafrost und der globale Klimawandel“. *Polarforschung*. Band 78. Auflage 3. S. 129-132
- Boretti, A., & Rosa, L. (2019): „Reassessing the projections of the world water development report“. *NPJ Clean Water*. Band 2. Auflage 1. 6 S.
- Carroll, M., Wooten, M., DiMiceli, C., Sohlberg, R., & Kelly, M. (2016): „Quantifying surface water dynamics at 30 meter spatial resolution in the North American high northern latitudes 1991–2011“. *Remote Sensing*. Band 8. Auflage 8. 622 S.
- Cipar, J., Cooley, T., Lockwood, R., & Grigsby, P. (2004): „Distinguishing between coniferous and deciduous forests using hyperspectral imagery“. *IGARSS. International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. Band 4. S. 2348-2351

- Congalton, R. G. (1991): „A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data“. Remote sensing of environment. Band 37. Auflage 1. S. 35-46
- Copernicus (2017): „ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate“. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS). <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home> (25.07.2023)
- Copernicus (2020): „The Mackenzie River Delta“. <https://www.copernicus.eu/de/node/9059> (07.04.2023)
- Dikau, R., Eibisch, K., Eichel, J., Meßenzehl, K., Schlummer-Held, M. (2019): „Geomorphologie“. Springer Spektrum. 488 S.
- Druce, D., Tong, X., Lei, X., Guo, T., Kittel, C. M., Grogan, K., & Tottrup, C. (2021): „An optical and SAR based fusion approach for mapping surface water dynamics over mainland China“. Remote Sensing. Band 13. Auflage 9. 22 S.
- Esri (2021): „Was ist ArcMap?“. <https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/latest/map/main/what-is-arcmap-.htm> (10.05.2023)
- French, H.M. (1996): „The Periglacial Environment“. Longman. Harlow, 2. Auflage. 334 S.
- Gao, F., Schaaf, C. B., Strahler, A. H., Roesch, A., Lucht, W., & Dickinson, R. (2005): „MODIS bidirectional reflectance distribution function and albedo Climate Modeling Grid products and the variability of albedo for major global vegetation types“. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. Band 110. Auflage D1. 13 S.
- Giles, P. T. (2001): „Remote sensing and cast shadows in mountainous terrain“. Photogrammetric engineering and remote sensing. Band 67. Auflage 7. S. 833-840
- Gordeev, V. V., Sidorov, I. S. (1993): „Concentrations of major elements and their outflow into the Laptev Sea by the Lena River“. Marine Chemistry. Band 43. Auflage 1-4. S. 33-45.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017): „Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone“. Remote sensing of Environment. Band 202. S. 18-27
- Govender, M., Chetty, K., & Bulcock, H. (2007): „A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies“. Water Sa. Band 33. Auflage 2. S. 145-151

- Goward, S. N., Williams, D. L., Arvidson, T., Rocchio, L. E. P., Irons, J. R., Russell, C. A., Johnston, S. S. (2017): „Landsat’s Enduring Legacy - Pioneering Global Land Observations from Space“. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. 586 S.
- Grigoriev, A. V., Zatsepin, A. G. (2014): „Numerical Modeling of water dynamics of Russian zone of the Black Sea within the framework of operational oceanography tasks“. Journal of Coastal Development. Band 17. Auflage 1. 5 S.
- Grotzinger, J., Jordan, T. (2014): „Press/Siever Allgemeine Geologie“. Springer Berlin Heidelberg 7. Auflage. 769 S.
- Haber, W., Held, M., & Vogt, M. (2016): „Die Welt im Anthropozän. Erkundungen im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Humanität“. oekom verlag. 182 S.
- Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, Townshend, J. R. G. (2013) „High-Resolution Global Maps of 21st Century Forest Cover Change“. Science. Band 342. S. 850–853
- Heipke, C. (2017) „Photogrammetrie und Fernerkundung Handbuch der Geodäsie“. Springer Reference Naturwissenschaften. Auflage 1. 845 S.
- IPCC AR6 SYR (2023): „Synthesis Report Of The IPCC Sixth Assessment Report (AR6)“. Longer Report. 85 S.
- Jones, B. M., Tape K. D., Clark, J. A., Nitze, I., Grosse, G., Disbrow, J. (2020): „Increase in beaver dams controls surface water and thermokarst dynamics in an Arctic tundra region, Baldwin Peninsula, northwestern Alaska“. Environmental Research Letters Band 15. Auflage 7. 12 S.
- Jones, B. M., Grosse, G., Farquharson, L. M., Roy-Léveillé, P., Veremeeva, A., Kanevskiy, M. Z., Gaglioti, B. V., Breen, A. L., Parsekian, A. D., Ulrich, M., Hinkel, K. M. (2022): „Lake and drained lake basin systems in lowland permafrost regions“. Nature Reviews Earth & Environment. Band 3. Auflage 1. S. 85-98
- Kappas, M. (2001) „Geographische Informationssysteme“. Westermann Schulbuchverlag GmbH. Braunschweig. 317 S.

- Lechner, A. M., Foody, G. M., & Boyd, D. S. (2020): „Applications in remote sensing to forest ecology and management“. *One Earth*. Band 2. Auflage 5. S. 405-412
- Lehner, B., & Döll, P. (2004): „Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands“. *Journal of hydrology*. Band 296. Auflage 1-4. S. 1-22
- Leinfelder, R. (2020): „Neue Bildungskonzepte in Zeiten des Anthropozäns“. <https://scilogs.spektrum.de/der-anthropozaeniker/neue-bildungskonzepte-in-zeiten-des-anthropozans/> (05.05.2023)
- Lins, H. F. (2008): „The Imperative of Water Resources Assessment“. *World Meteorological Organization Bulletin*. Band 57. Auflage 3. 4 S.
- Lozán, J. L., Breckle, S., & Rachor, E. (2016): „Vom Menschen bedingte Biodiversitätsveränderungen seit Ende der letzten Kaltzeit“. *Warnsignal Klima: Die Biodiversität*. S. 68-74
- Lu, X. (2012): „Carbon and water dynamics in the Alaska Yukon River Basin: Analysis using process-based biogeochemistry models and satellite data“. 152 S.
- Lutz, A. F., Immerzeel, W. W., Shrestha, A. B., & Bierkens, M. F. P. (2014): „Consistent increase in High Asia's runoff due to increasing glacier melt and precipitation“. *Nature Climate Change*. Band 4. Auflage 7. S. 587-592
- Marsh, J. H. (2016): „Mackenzie River“. *The Canadian Encyclopedia*. <https://thecanadianencyclopedia.ca/en/article/mackenzie-river> (07.04.2023)
- Marshak, A., Ackerman, A., da Silva, A. M., Eck, T., Holben, B., Kahn, R., Kleidman, R., Knobelspiesse, K., Levy, R., Lyapustin, A., Oreopoulos, L., Remer, L., Torres, O., Várnai, T., Wen, G., Yorks, J. (2021): „Aerosol properties in cloudy environments from remote sensing observations: A review of the current state of knowledge“. *Bulletin of the American Meteorological Society*. Band 102. Auflage 11. S. 2177-2197
- Matthies, B. (2020): „Performancemaße von Business Analytics Methoden“. S. 79-80
- Miao, S., Xia, M., Qian, M., Zhang, Y., Liu, J., & Lin, H. (2022): „Cloud/shadow segmentation based on multi-level feature enhanced network for remote sensing imagery“. *International Journal of Remote Sensing*. Band 43. Auflage 15-16. S. 5940-5960

- Micklin, P. (2016): „The future Aral Sea: hope and despair“. *Environmental Earth Sciences*. Band 75. S. 1-15
- Micklin, P. P., Owen, L. and Malik, L. K. (2018): „Ob River". *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/place/Ob-River> (28.04.2023)
- Miller, G. H., Wolfe, A. P., Briner, J. P., Sauer, P. E., Nesje, A. (2005): „Holocene glaciation and climate evolution of Baffin Island“. *Arctic Canada. Quaternary Science Reviews*. Band 24. Auflage 14-15. S. 1703-1721
- Mochalova, O., & Firsov, G. (2008): „Unberührte Vegetation am Oberlauf des Kolyma“. *Der Palmengarten*. Band 72. Auflage 1. S. 32-37
- Molobela, I. P., & Sinha, P. (2011): „Management of water resources in South Africa: A review“. *African Journal of Environmental Science and Technology*. Band 5. Auflage 12. S. 993-1002
- Munawar, H. S., Hammad, A. W., & Waller, S. T. (2022): „Remote sensing methods for flood prediction: A review“. *Sensors*. Band 22. Auflage 3. 21 S.
- Nitze, I., Grosse, G., Jones, B. M., Romanovsky, V. E., & Boike, J. (2018): „Remote sensing quantifies widespread abundance of permafrost region disturbances across the Arctic and Subarctic“. *Nature communications*. Band 9. Auflage 1. 11 S.
- Obu, J., Westermann, S., Kääb, A., Bartsch, A. (2018): „Ground Temperature Map, 2000-2016, Northern Hemisphere Permafrost“. Alfred Wegener Institute. Helmholtz Centre for Polar and Marine Research. Bremerhaven. PANGAEA
- Obu, J., Westermann, S., Bartsch, A., Berdnikov, N., Christiansen, H. H., Dashtseren, A., Delaloye, R., Elberling, B., Etzelmüller, B., Kholodov, A., Khomutov, A., Kääb, A., Leibman, M. O., Lewkowicz, A. G., Santosh K. Panda, S. K., Romanovsky, V., Way, R. G., Westergaard-Nielsen, A., Wu, T., Yamkhin, J., Zou, D. (2019): „Northern Hemisphere permafrost map based on TTOP modelling for 2000–2016 at 1 km² scale“. *Earth-Science Reviews*. Band 193. S. 299-316.
- Olefeldt, D., Goswami, S., Grosse, G., Hayes, D., Hugelius, G., Kuhry, P., McGuire, A. D., Romanovsky, V. E., Sannel, A. B. K., Schnuur, E. A. G., Turetsky, M. R. (2016): „Circumpolar distribution and carbon storage of thermokarst landscapes“. *Nature communications*. Band 7. Auflage 1. 11 S.

- Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E., Wulder, M. A. (2014): „Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change“. Remote sensing of Environment. Band 148. S. 42-57
- OpenAI (2023): „GPT-4“. <https://openai.com/research/gpt-4> (24.04.2023)
- Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016): „High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes“. Nature. Band 540. Auflage 7633. S. 418-422
- Pickens, A. H., Hansen, M. C., Hancher, M., Stehman, S. V., Tyukavina, A., Potapov, P., Marroquina, B., Sherani, Z. (2020): „Mapping and sampling to characterize global inland water dynamics from 1999 to 2018 with full Landsat time-series“. Remote Sensing of Environment. Band 243. 19 S.
- Pope, A., & Rees, W. G. (2014): „Impact of spatial, spectral, and radiometric properties of multispectral imagers on glacier surface classification“. Remote Sensing of Environment. Band 141. S. 1-13
- Rentz, D. (2008): „OpenOffice.org's Documentation of the Microsoft Excel File Format“. 250 S.
- Robinson, J. L. (2019) "Mackenzie River". Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/place/Mackenzie-River> (07.04.2023)
- Roerink, G. J., Su, Z., Menenti, M. (2000) „S-SEBI: A simple remote sensing algorithm to estimate the surface energy balance“. Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere. Band 25. Auflage 2. S. 147-157
- Roerink, G. J., Menenti, M., Soepboer, W., & Su, Z. (2003): „Assessment of climate impact on vegetation dynamics by using remote sensing“. Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C. Band 28. Auflage 1-3. S. 103-109
- Schwägerl, C., Leinfelder, R. (2014): „Die menschengemachte Erde“ Zeitschrift für Medien-und Kulturforschung. Band 5. Auflage 2. S. 233-240
- Shevyrnogov, A. P., Kartushinsky, A. V., & Vysotskaya, G. S. (2002): „Application of satellite data for investigation of dynamic processes in inland water bodies: Lake Shira (Khakasia, Siberia), a case study“. Aquatic Ecology. Band 36. Auflage 2. S. 153-164

- Shiklomanov, I. A. (1998): „World water resources: a new appraisal and assessment for the 21st century“. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 37 S.
- Shiklomanov, A. I., Yakovleva, T. I., Lammers, R. B., Karasev, I. P., Vörösmarty, C. J., & Linder, E. (2006): „Cold region river discharge uncertainty—Estimates from large Russian rivers“. *Journal of Hydrology*. Band 326. Auflage 1-4. S. 231-256
- Siegmund, A. (2014): „Klimate der Erde – Klimaklassifikation nach A. Siegmund und P. Frankenberg (effektive Gliederung)“. *Heimat und Welt Weltatlas*. Westermann. S. 176
- Sogno, P., Klein, I., & Kuenzer, C. (2022): „Remote sensing of surface water dynamics in the context of global change—a review“. *Remote Sensing*. Band 14. Auflage 10. 39 S.
- Soman, M. K., & Indu, J. (2022): „Sentinel-1 based Inland water dynamics Mapping System (SIMS)“. *Environmental Modelling & Software*. Band 149
- Steffen, W., Crutzen, P. J., & McNeill, J. R. (2007): „The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of nature“. *Ambio-Journal of Human Environment Research and Management*. Band 36. Auflage 8. S. 614-621
- Steffen, W., Leinfelder, R., Zalasiewicz, J., Waters, C. N., Williams, M., Summerhayes, C., Barnosky, A. D., Alejandro Cearreta, A., Crutzen, P., Edgeworth, M., Ellis, E. C., Fairchild, I. J., Galuszka, A., Grinevald, J., Haywood, A., Ivar do Sul, J., Jeandel, C., McNeill, J. R., Odada, E., Oreskes, N., Revkin, A., Richter, D., Syvitski, J., Vidas, D., Wagreich, M., Wing, S. L., Wolfe, A. P., Schellnhuber, H. J. (2016): „Stratigraphic and Earth System approaches to defining the Anthropocene“. *Earth's Future*, Band 4. Auflage 8. S. 324-345
- Stuby, L. A. (2007): „Inriver abundance of Chinook salmon in the Kuskokwim River, 2002-2006“. Alaska Department of Fish and Game. Division of Sport Fish, Research and Technical Services. 55 S.
- Tananaev, N. I., Makarieva, O. M., & Lebedeva, L. S. (2016): „Trends in annual and extreme flows in the Lena River basin, Northern Eurasia“. *Geophysical Research Letters*. Band 43. Auflage 20. S. 10764-10771
- Terentieva, I. E., Glagolev, M. V., Lapshina, E. D., Sabrekov, A. F., & Maksyutov, S. (2016): „Mapping of West Siberian taiga wetland complexes using Landsat imagery:

- implications for methane emissions“. Biogeosciences. Band 13. Auflage 16. S. 4615-4626
- Travers-Smith, H. Z., Lantz, T. C., & Fraser, R. H. (2021): „Surface water dynamics and rapid lake drainage in the western Canadian subarctic (1985–2020)“. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, Band 126. Auflage 12.
- Ulrich, M. (2006): „Charakteristik und spektrale Eigenschaften periglazialer Landschaften im Lena-Delta, NO-Sibirien“. Doktorarbeit. Universität Leipzig. 123 S.
- U.S. Fish and Wildlife Service (2023): „Yukon Delta National Wildlife Refuge“. <https://www.fws.gov/refuge/yukon-delta> (07.04.2023)
- USGS (2010): „Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010“. https://www.usgs.gov/faqs/what-landsat-satellite-program-and-why-it-important?qtnews_science_products=0#qt-news_science_products (20.04.2023)
- USGS (2023): „From the Beginning“. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/about/history/> (02.05.2023)
- USGS (2023): Landsat 8“. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8> (12.08.2023)
- Varchmin, P. W. (2019): „Regionale Feuerregime und Landschaftswechselwirkungen in den borealen Wäldern von Zentral-Jakutien, Ostsibirien (Russland)“. Freie Universität Berlin. 84 S.
- Wang, C., Jia, M., Chen, N., & Wang, W. (2018): „Long-term surface water dynamics analysis based on Landsat imagery and the Google Earth Engine platform: A case study in the middle Yangtze River Basin“. Remote Sensing. Band 10. Auflage 10. 18 S.
- Ward, D. P., Petty, A., Setterfield, S. A., Douglas, M. M., Ferdinands, K., Hamilton, S. K., & Phinn, S. (2014): „Floodplain inundation and vegetation dynamics in the Alligator Rivers region (Kakadu) of northern Australia assessed using optical and radar remote sensing“. Remote Sensing of Environment. Band 147. S. 43-55
- Weaver, J., Moore, B., Reith, A., McKee, J., Lunga, D. (2018): „A Comparison of Machine Learning Techniques to Extract Human Settlements from High Resolution Imagery“. United States. 4 S.
- White, R. S. (2007): „The Age of the Earth“. Faraday Paper Band 8. 4 S.

- Wu, C., Zhang, F., Xia, J., Xu, Y., Li, G., Xie, J., Du, Z., Liu, R. (2021): „Building damage detection using U-Net with attention mechanism from pre-and post-disaster remote sensing datasets“. *Remote Sensing*. Band 13. Auflage. 5. 22 S.
- WWF/TNC (2019): „Ob“. <https://www.feow.org/ecoregions/details/602> (28.04.2023)
- Xiao, X., Wdowinski, S., & Wu, Y. (2014): „Improved water classification using an application-oriented processing of landsat ETM+ and ALOS PALSAR“. *International journal of control and automation*. Band 7. Auflage 11. S. 355-370.
- Xu, X., AzariJafari, H., Gregory, J., Norford, L., & Kirchain, R. (2020): „An integrated model for quantifying the impacts of pavement albedo and urban morphology on building energy demand“. *Energy and Buildings*. Band 211
- Yamazaki, D., Ikeshima, D., Tawatari, R., Yamaguchi, T., O'Loughlin, F., Neal, J. C., Sampson, C. C., Kanae, S., Bates, P. D. (2017): „A high-accuracy map of global terrain elevations“. *Geophysical Research Letters*. Band 44. Auflage 11. S. 5844-5853
- Yukon – Kuskokwim Health Corporation (2018): „About the YK Delta“. <https://www.ykhc.org/story/about-yk/> (07.04.2023)
- Zafarnejad, F. (2009): „The contribution of dams to Iran’s desertification“. *International Journal of Environmental Studies*. Band 66. Auflage 3. S. 327-341
- Zanaga, D., Van De Kerchove, R., De Keersmaecker, W., Souverijns, N., Brockmann, C., Quast, R., Wevers, J., Grosu, A., Paccini, A., Vergnaud, S., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Georgieva, I., Lesiv, M., Carter, S., Herold, M., L., Linlin, Tsendbazar, N.E., Ramoino, F., Arino, O. (2021): „ESA WorldCover 10 m 2020 v100“. Zenodo
- Zhao, Z., Huang, C., Meng, L., Lu, L., Wu, Y., Fan, R., Li, S., Sui, Z., Huang, T., Huang, C., Yang, H., Zhang, L. (2021): „Eutrophication and lakes dynamic conditions control the endogenous and terrestrial POC observed by remote sensing: Modeling and application“. *Ecological Indicators*. Band 129. 10 S.
- Zheng, G., & Moskal, L. M. (2009): „Retrieving leaf area index (LAI) using remote sensing: theories, methods and sensors“. *Sensors*. Band 9. Auflage 4. S. 2719-2745

Anhang

Anhang A: Abbildungen

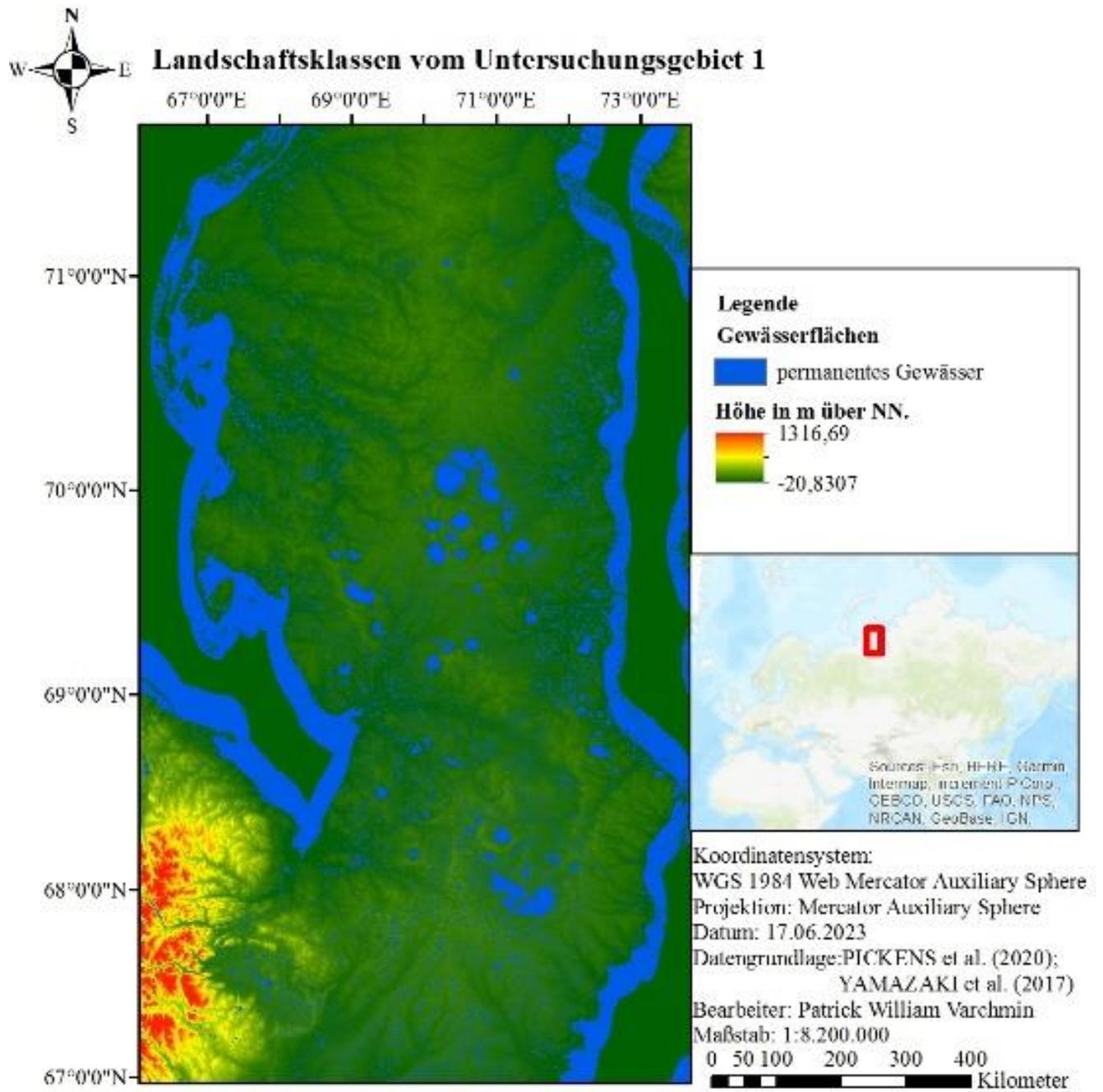


Abbildung A1: Übersichtskarte vom Untersuchungsgebiet 1 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

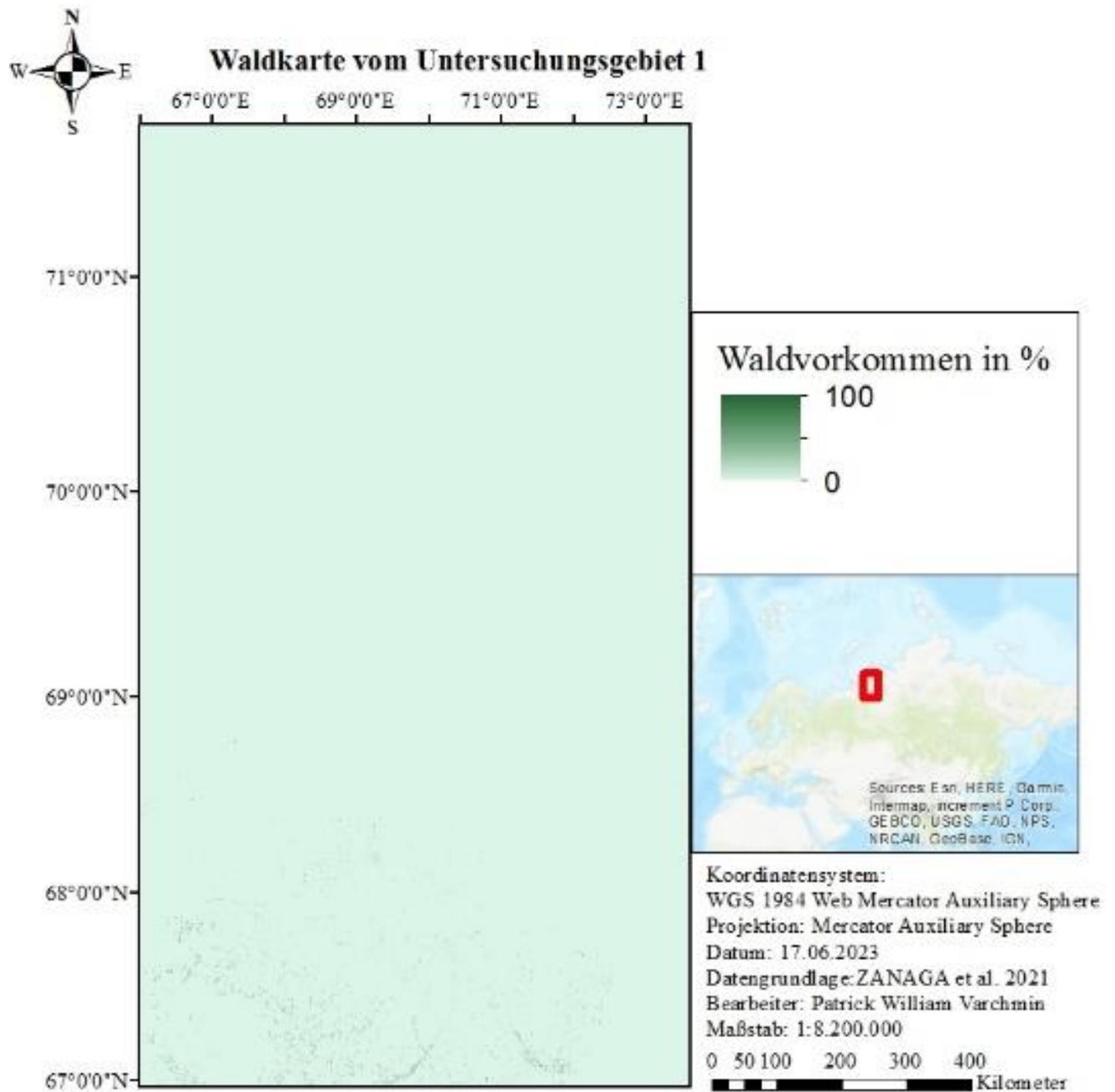


Abbildung A2: Waldkarte vom Untersuchungsgebiet 1 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

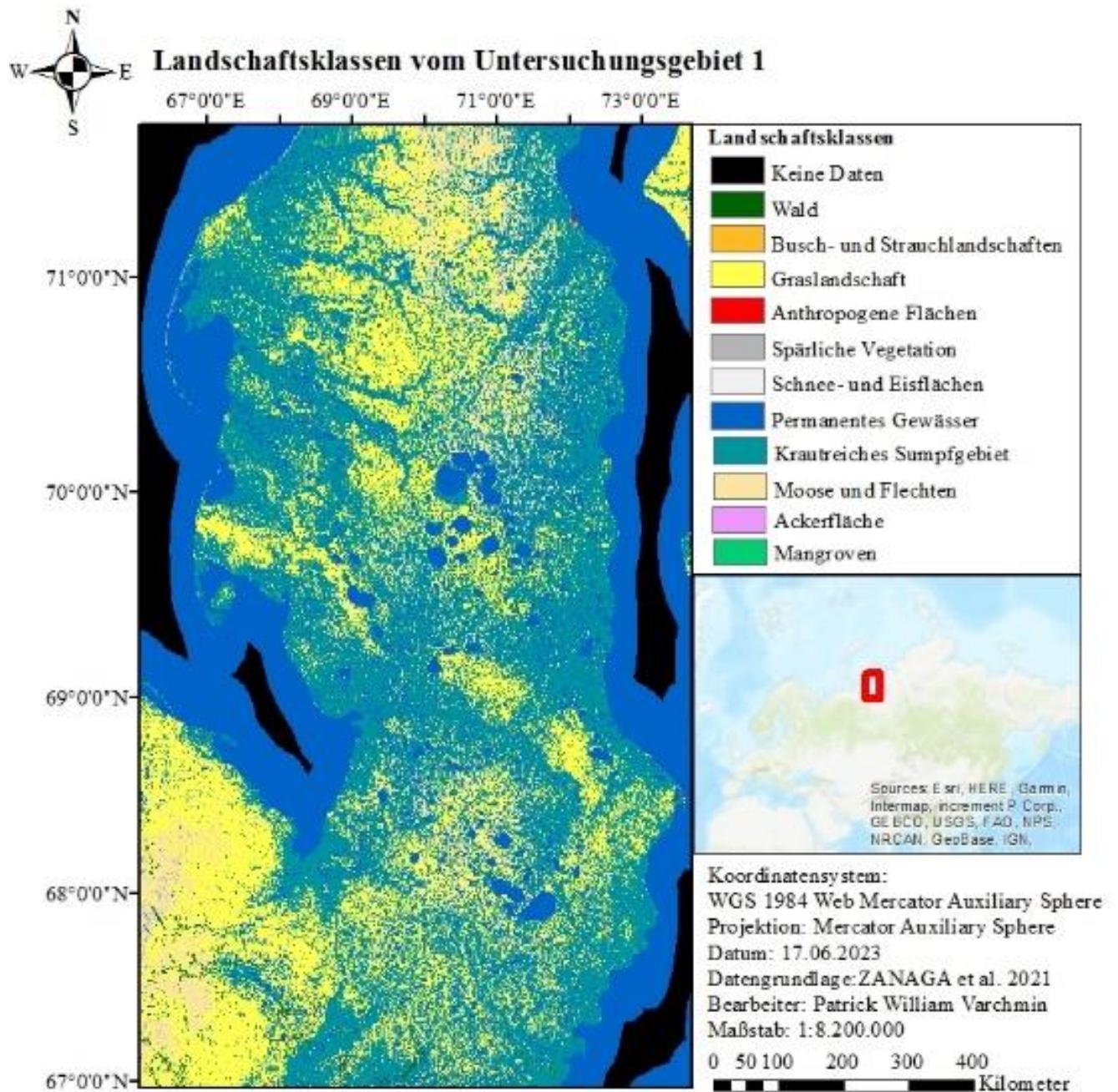


Abbildung A3: Landschaftsklassen vom Untersuchungsgebiet 1 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

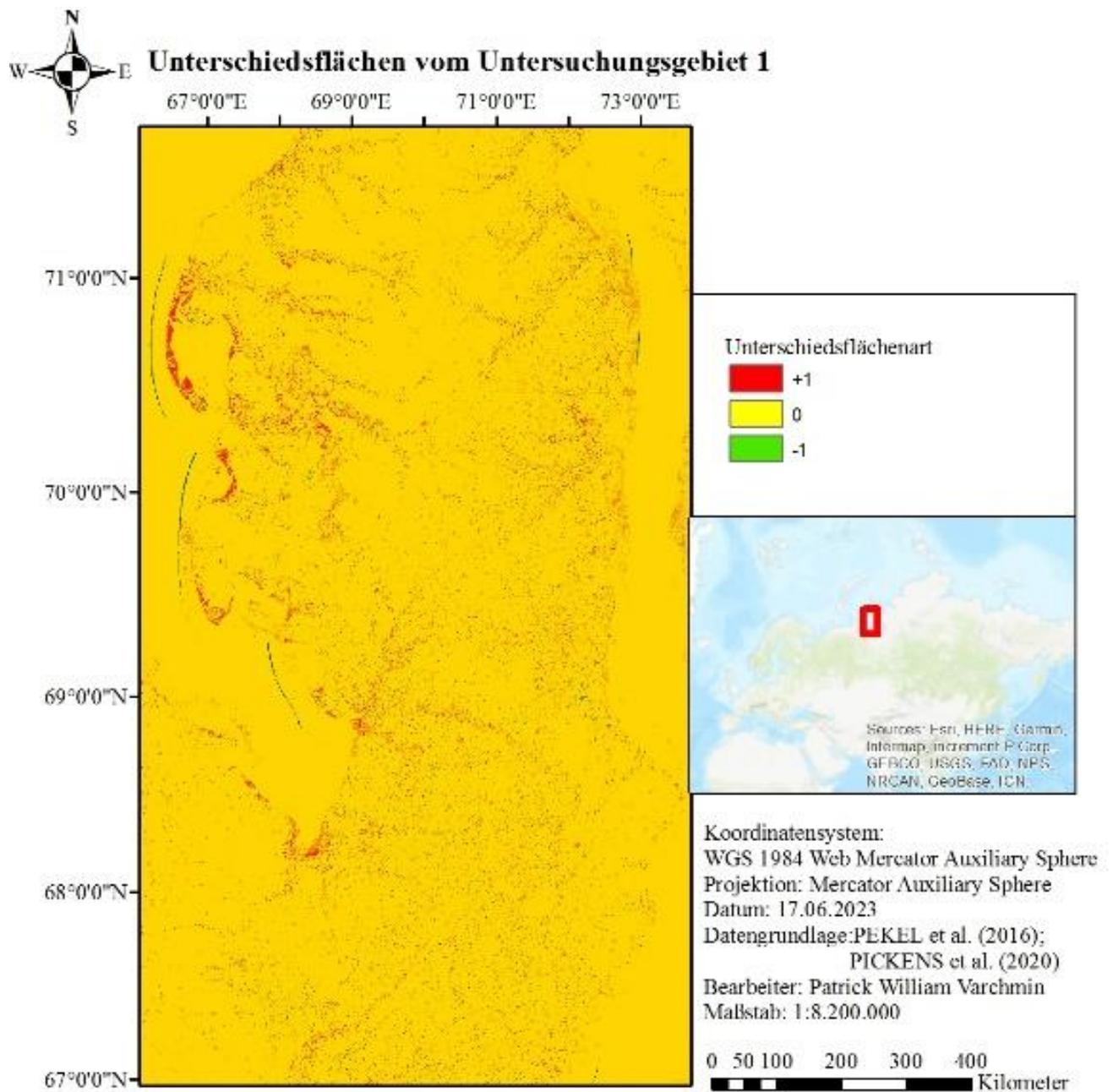


Abbildung A5: Unterschiedsflächen vom Untersuchungsgebiet 1 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

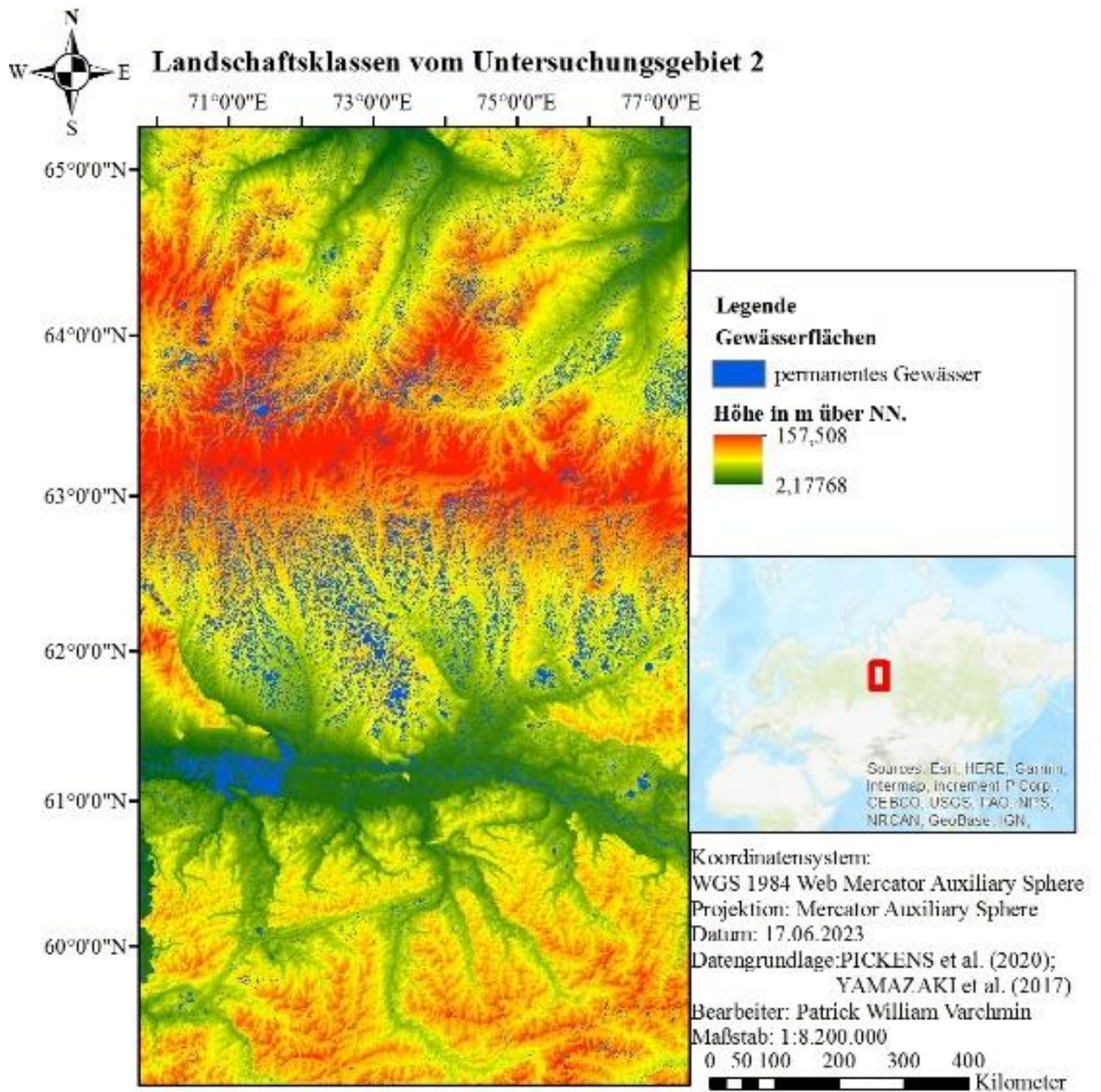


Abbildung A6: Übersichtskarte vom Untersuchungsgebiet 2 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

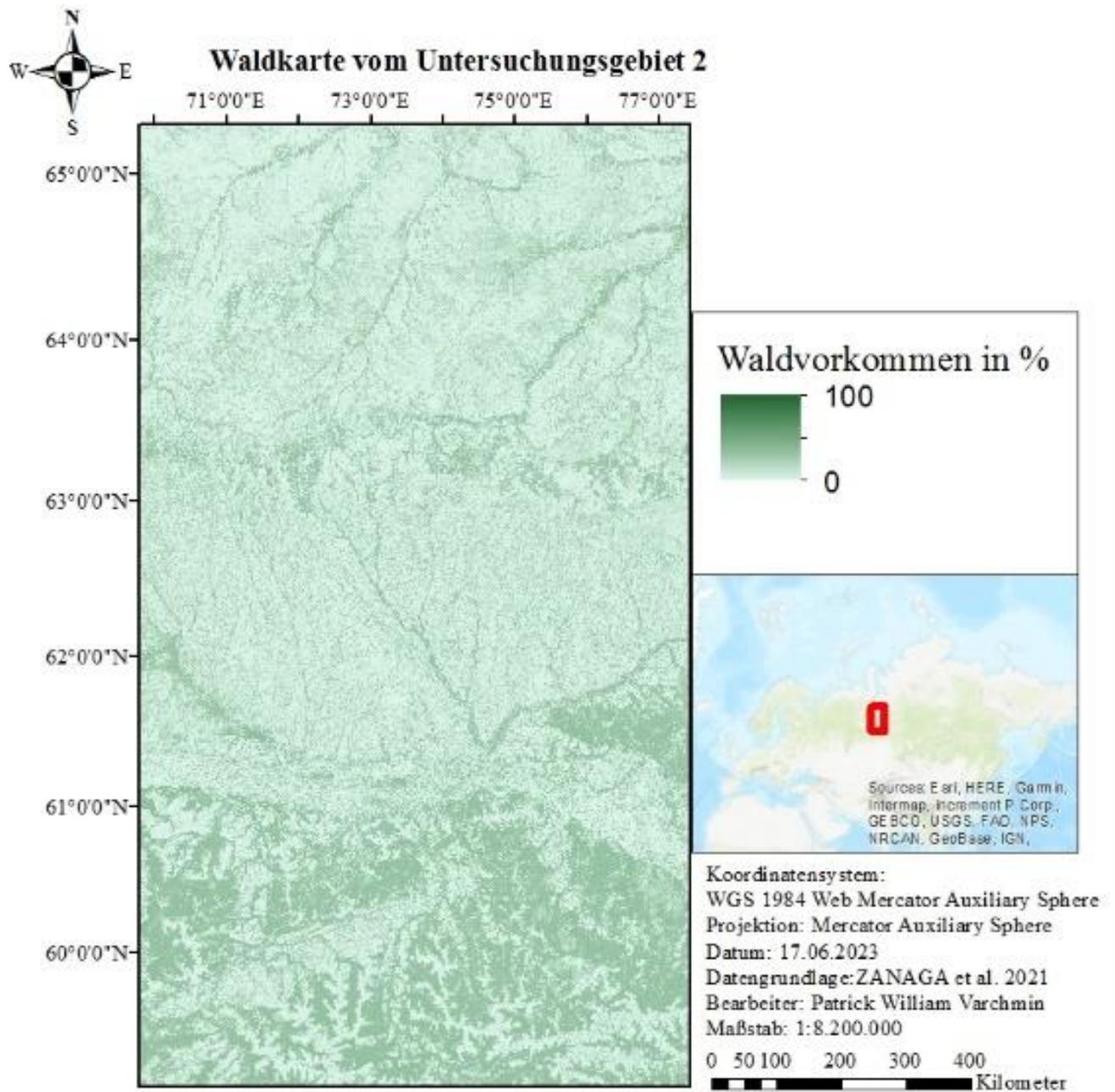


Abbildung A7: Waldkarte vom Untersuchungsgebiet 2 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

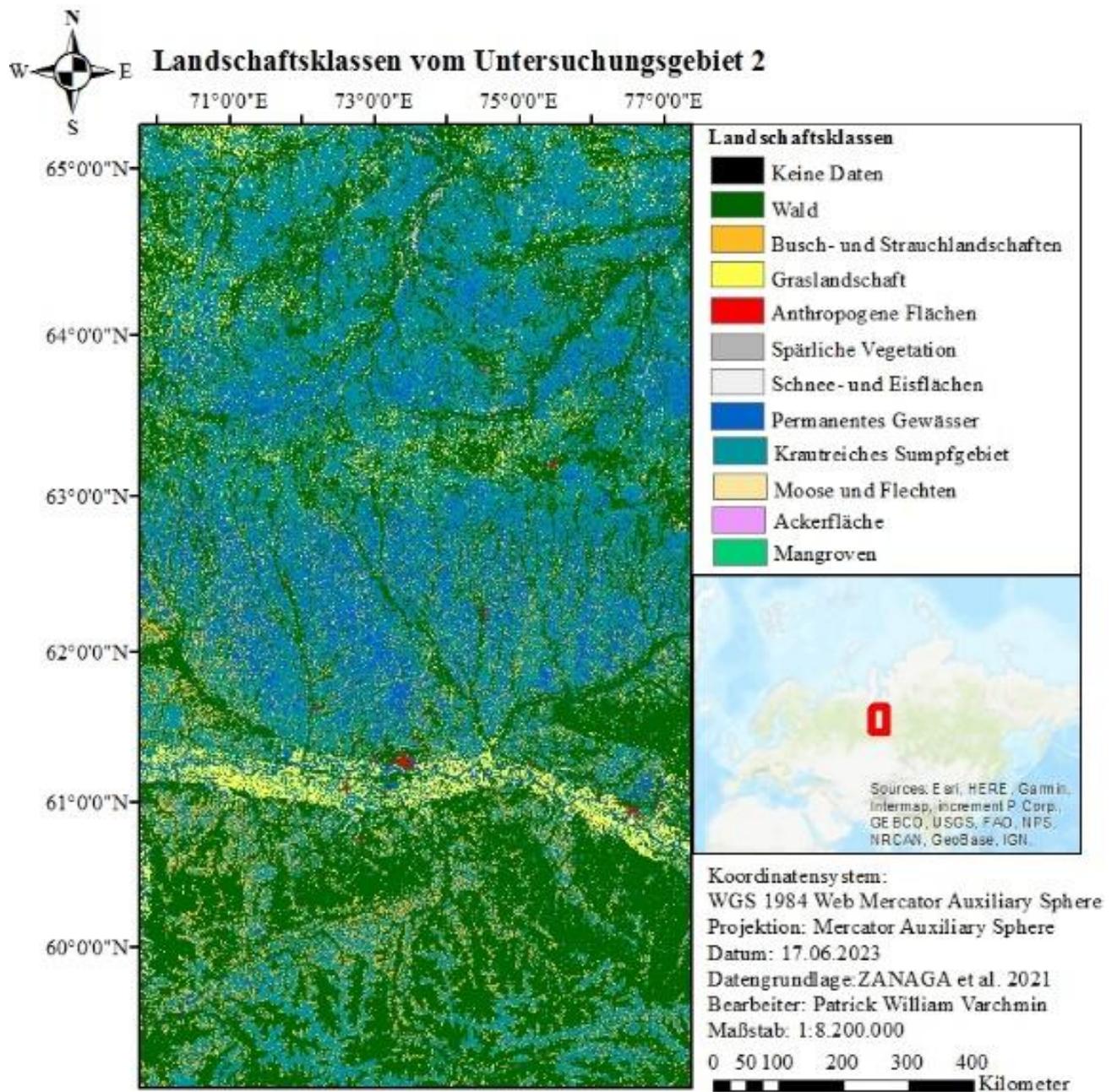
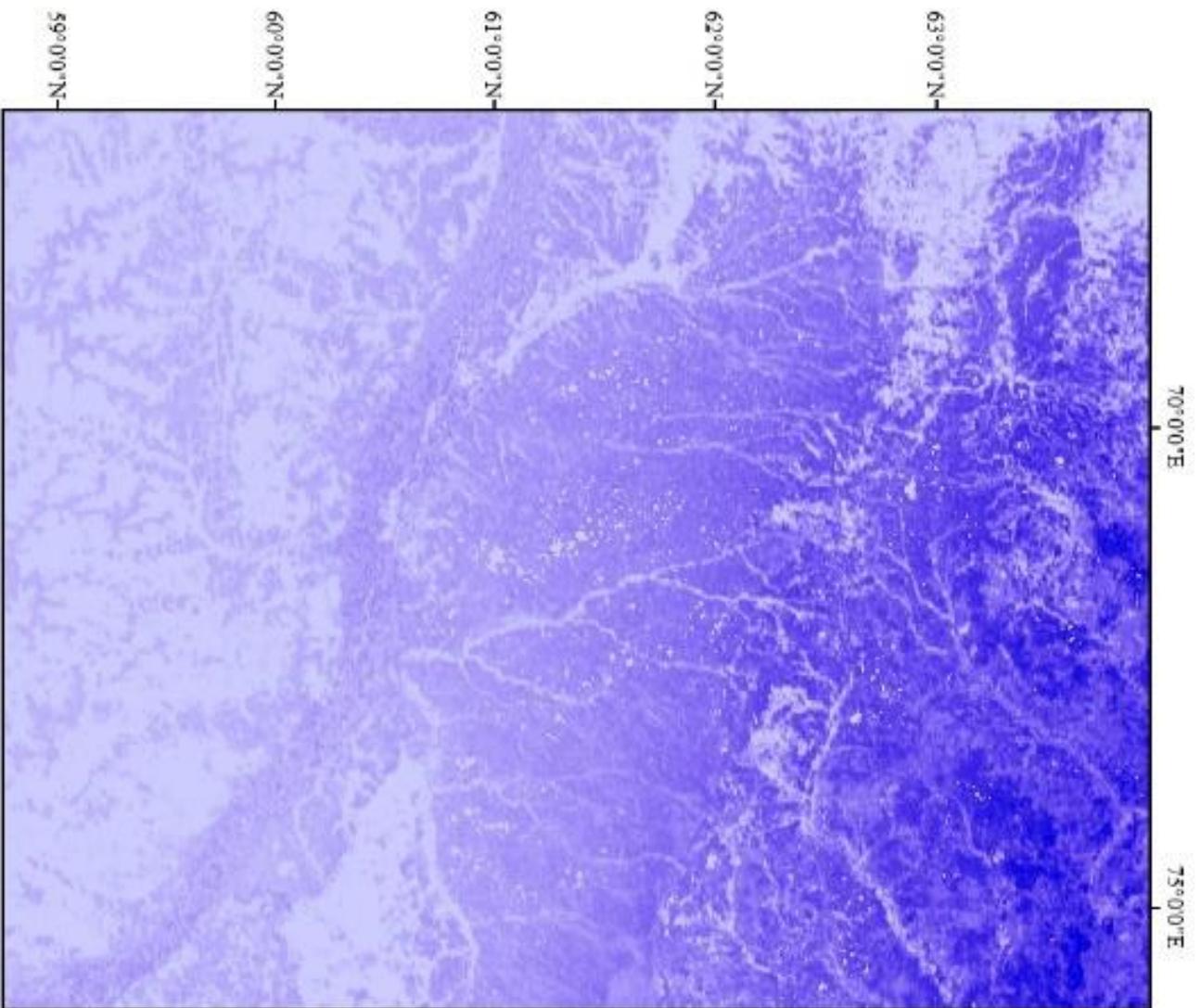


Abbildung A8: Landschaftsklassen vom Untersuchungsgebiet 2 (Eigene Darstellung 17.06.2023)



Permafrostgehalt vom Untersuchungsgebiet 2



Abbildung A9: Permafrostkarte vom Untersuchungsgebiet 2 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

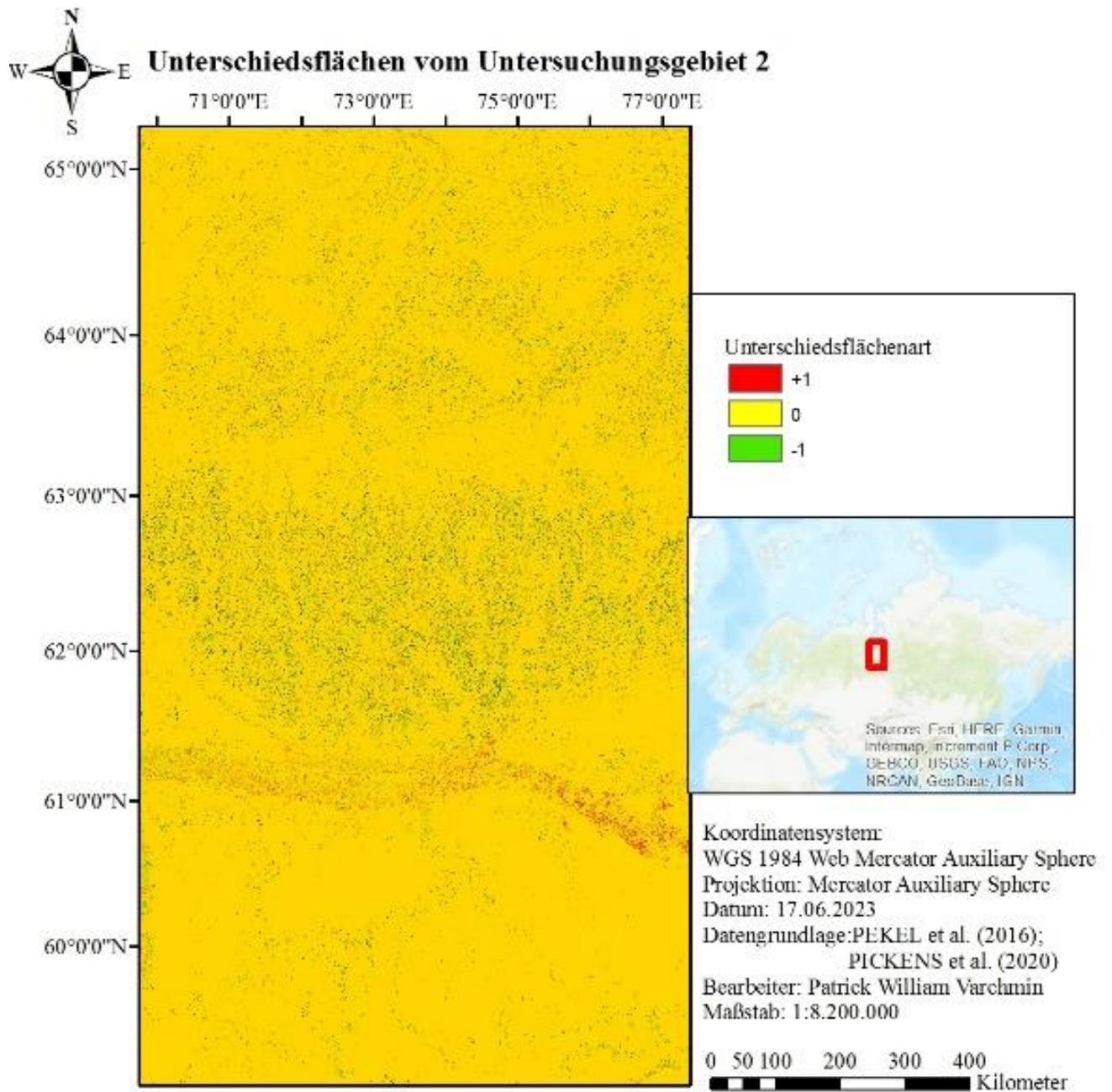


Abbildung A10: Unterschiedsflächen vom Untersuchungsgebiet 2 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

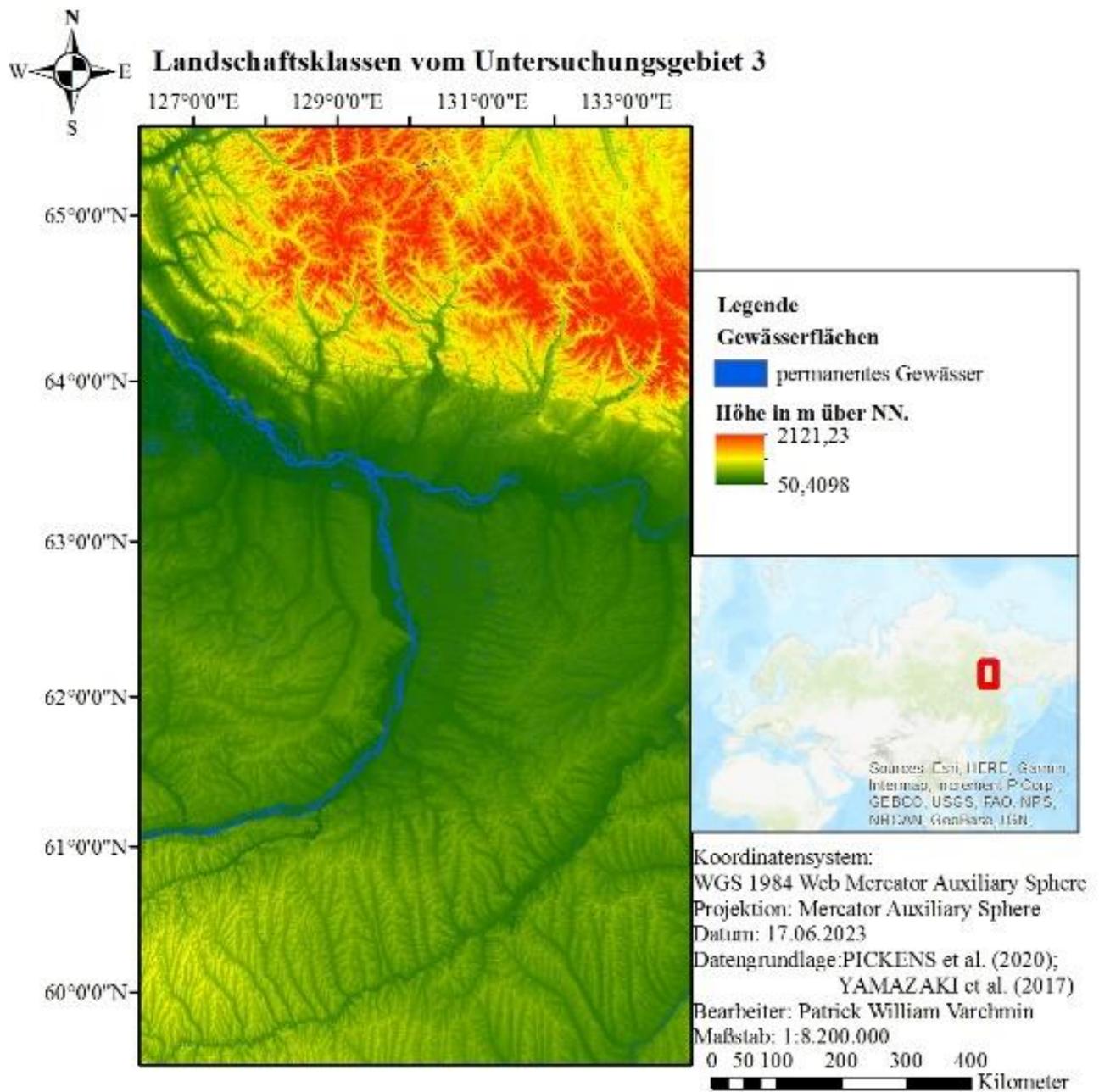


Abbildung A11: Übersichtskarte vom Untersuchungsgebiet 3 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

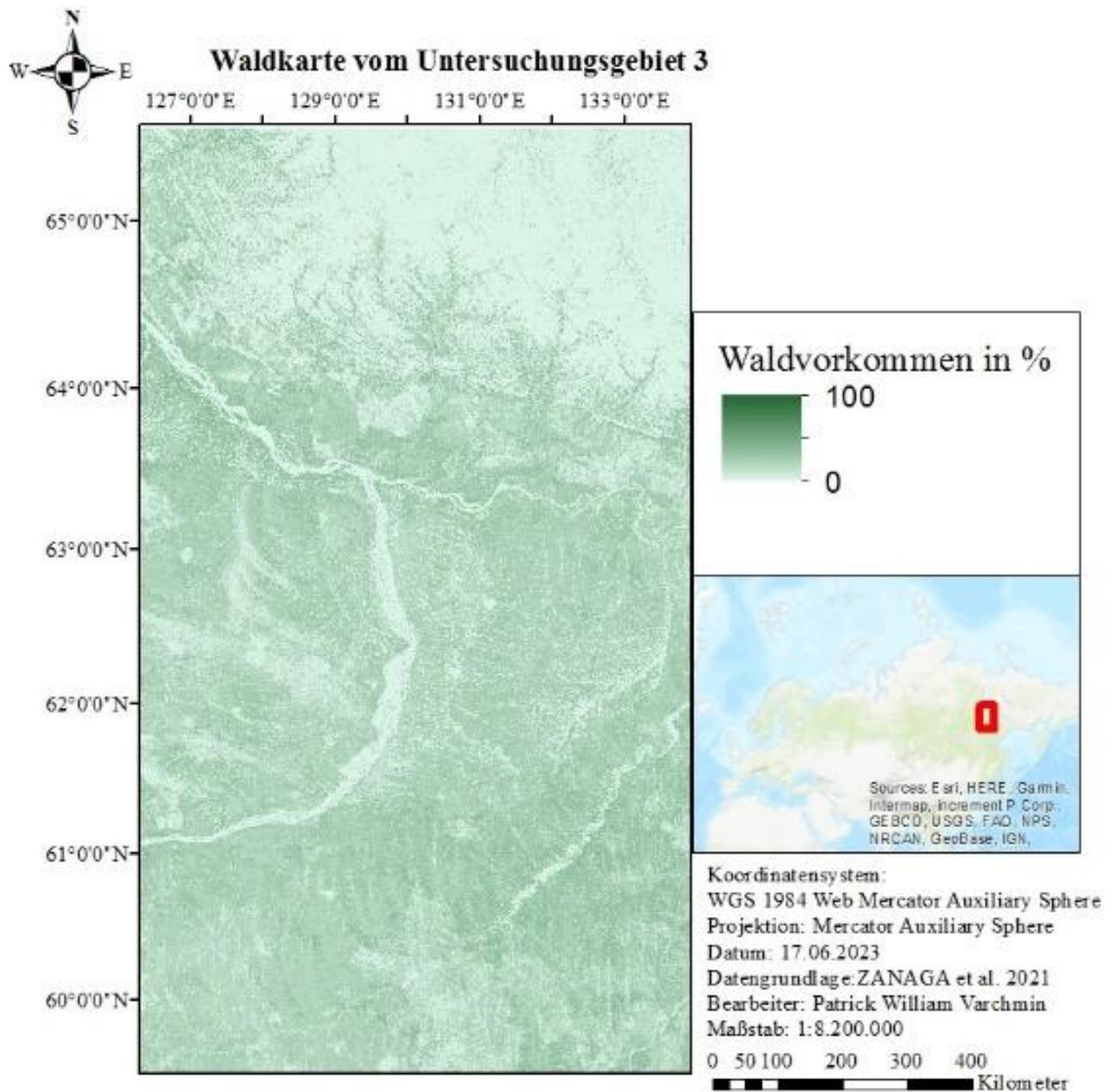


Abbildung A12: Waldkarte vom Untersuchungsgebiet 3 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

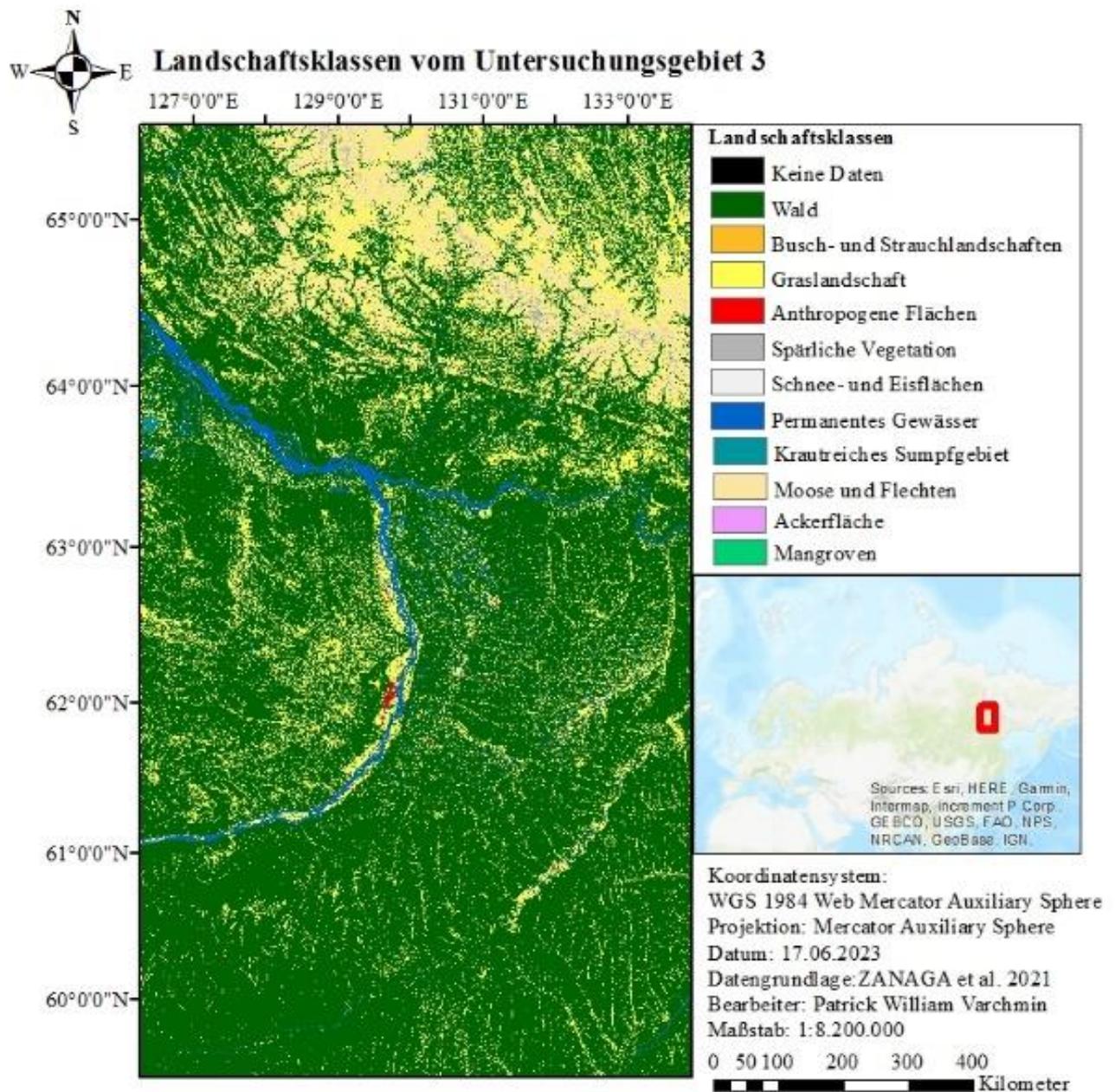
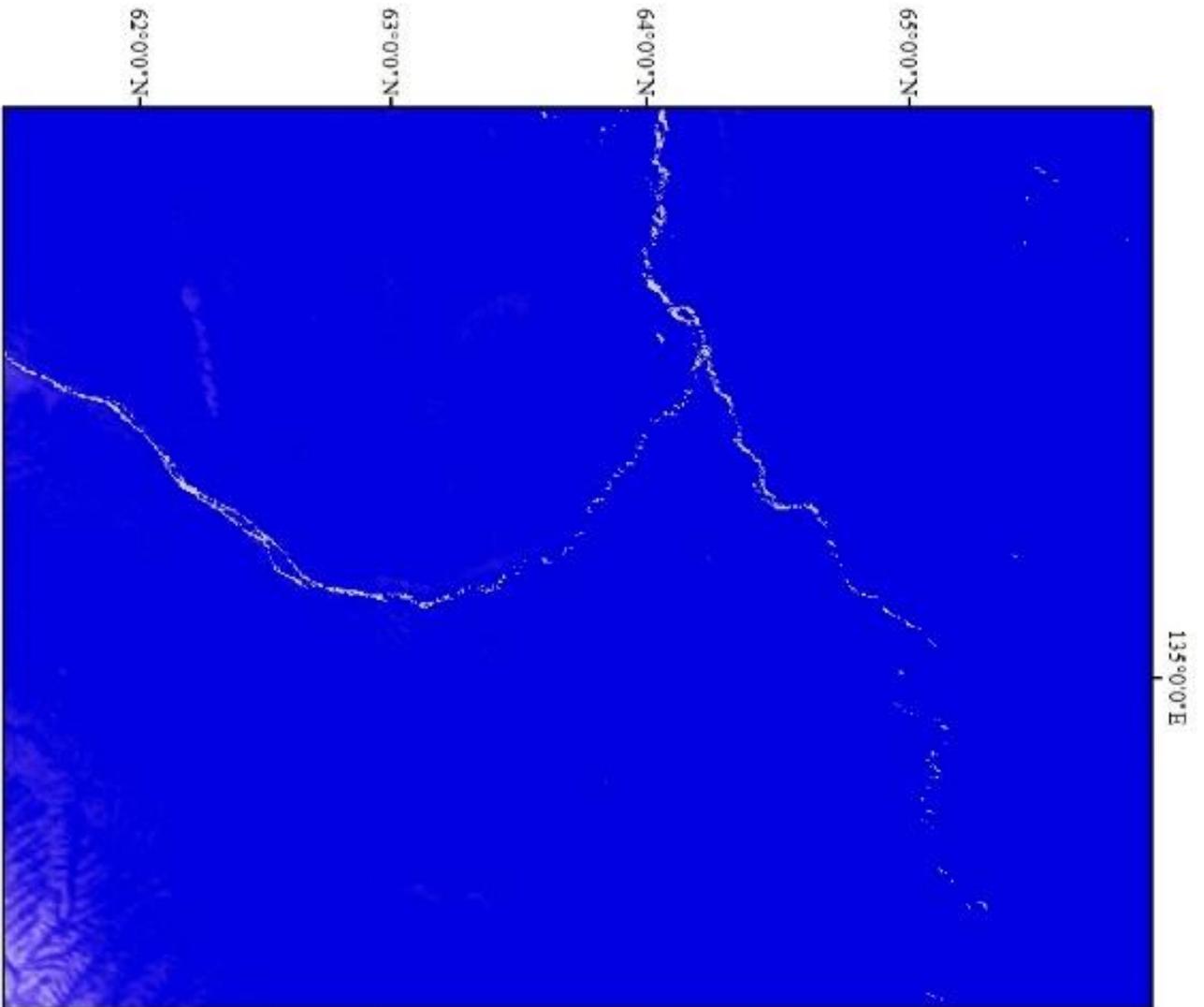


Abbildung A13: Landschaftsklassen vom Untersuchungsgebiet 3 (Eigene Darstellung 17.06.2023)



Permafrostgehalt vom Untersuchungsgebiet 3

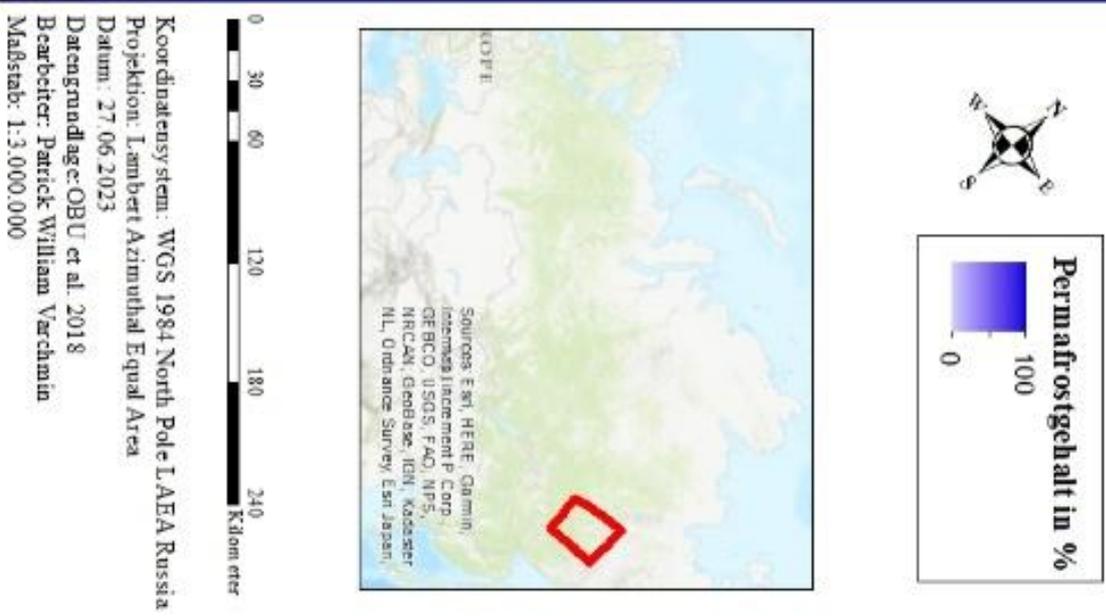


Abbildung A14: Permafrostkarte vom Untersuchungsgebiet 3 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

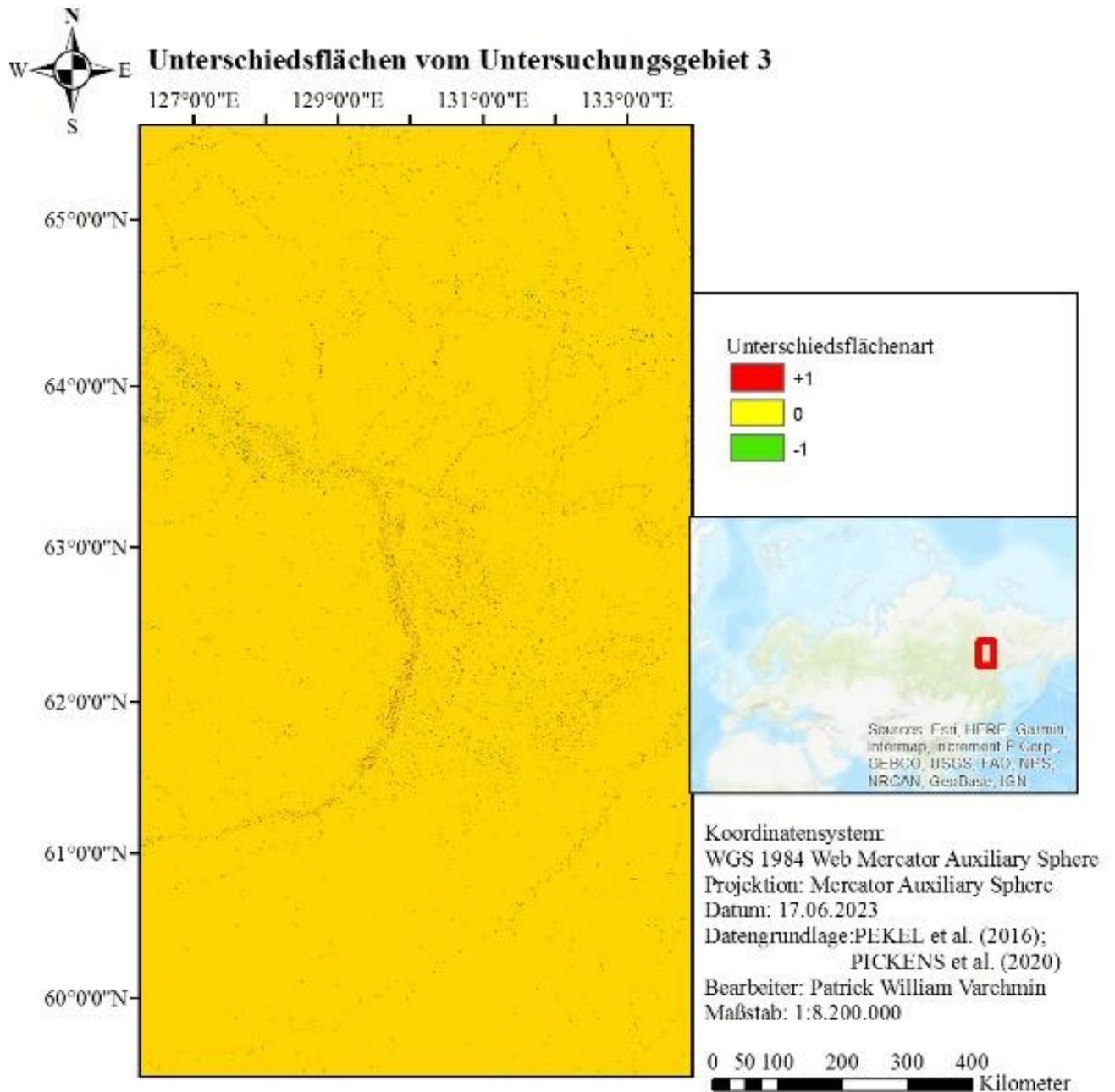


Abbildung A15: Unterschiedsflächen vom Untersuchungsgebiet 3 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

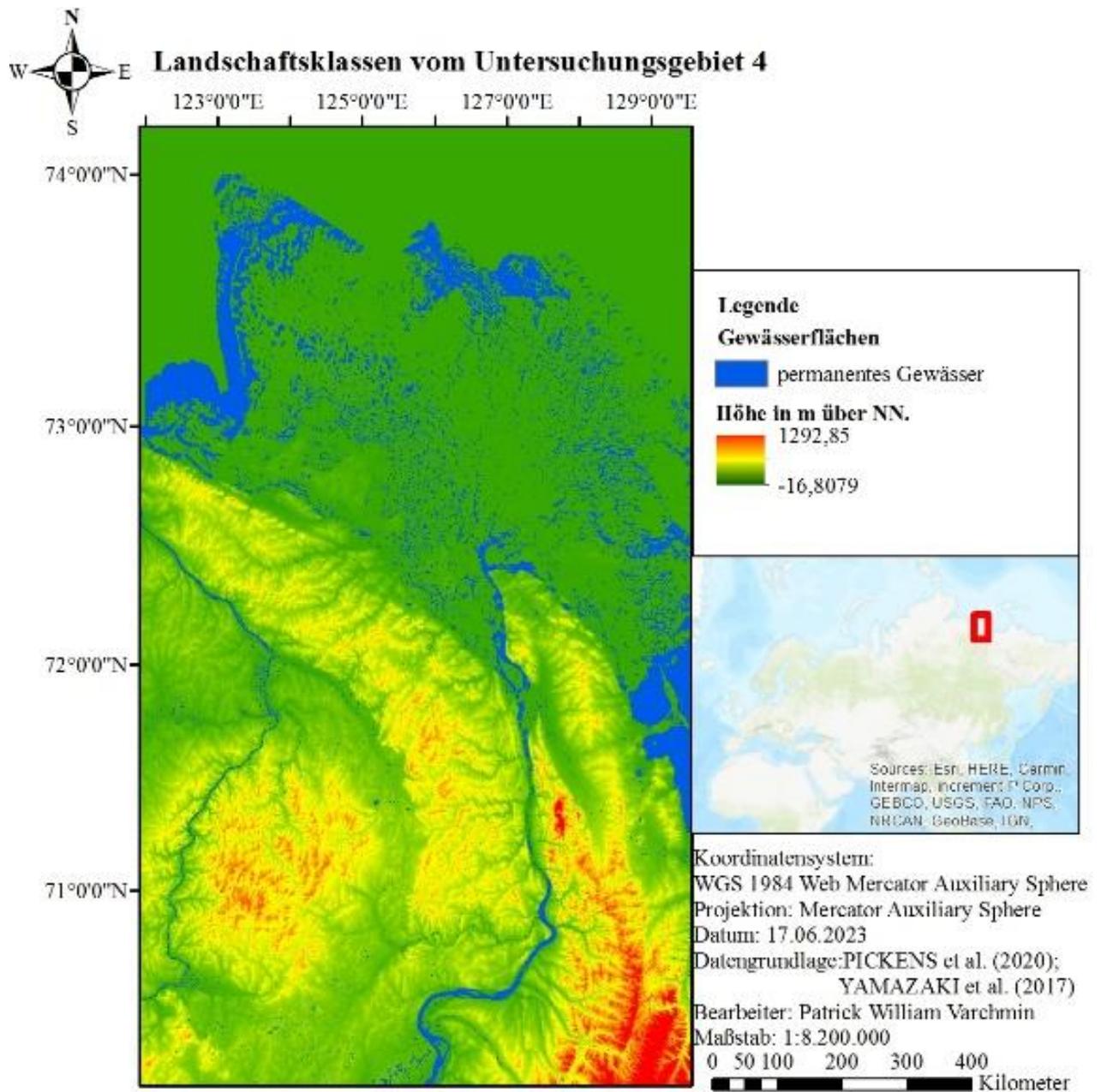


Abbildung A16: Übersichtskarte vom Untersuchungsgebiet 4 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

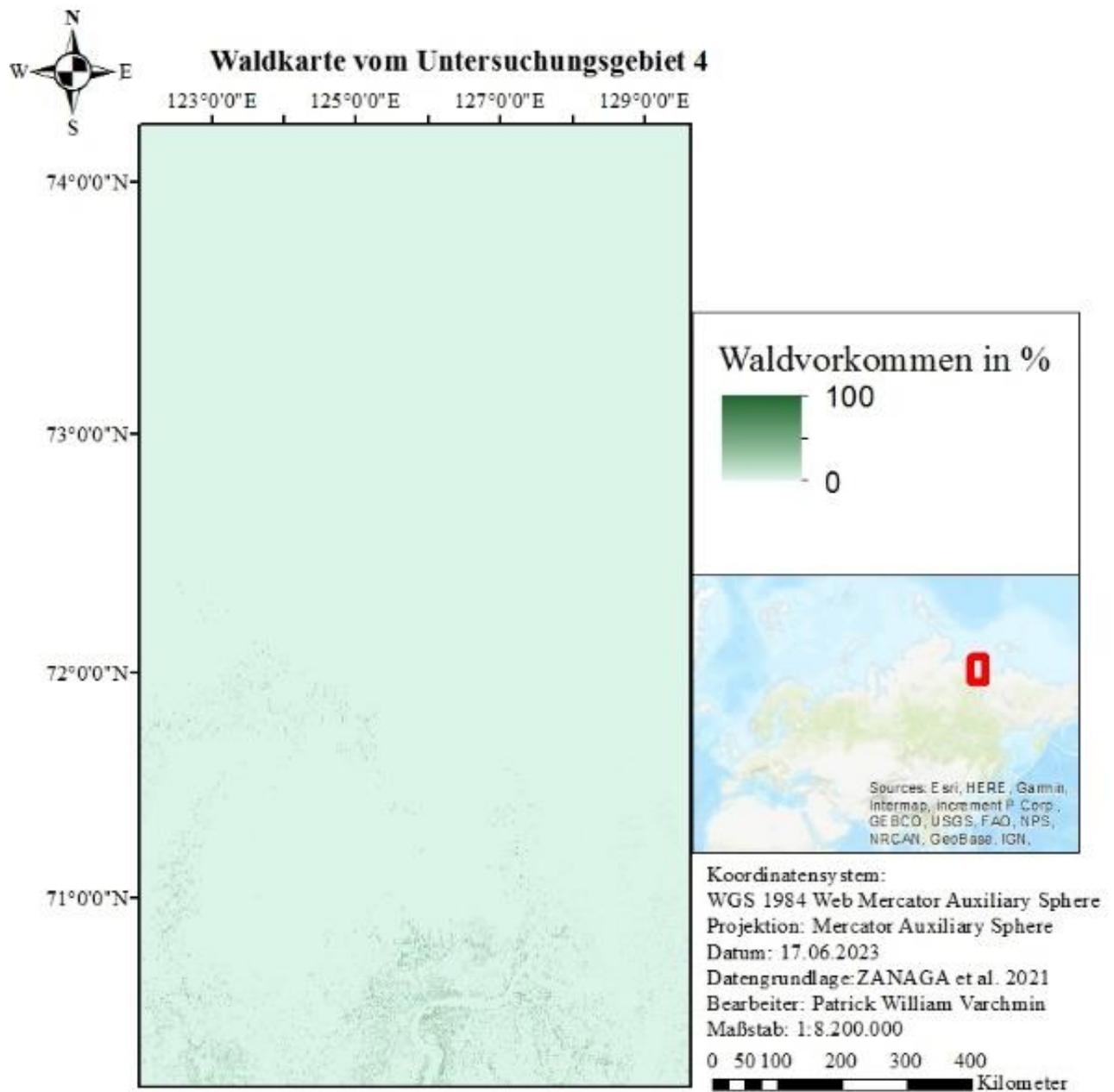


Abbildung A17: Waldkarte vom Untersuchungsgebiet 4 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

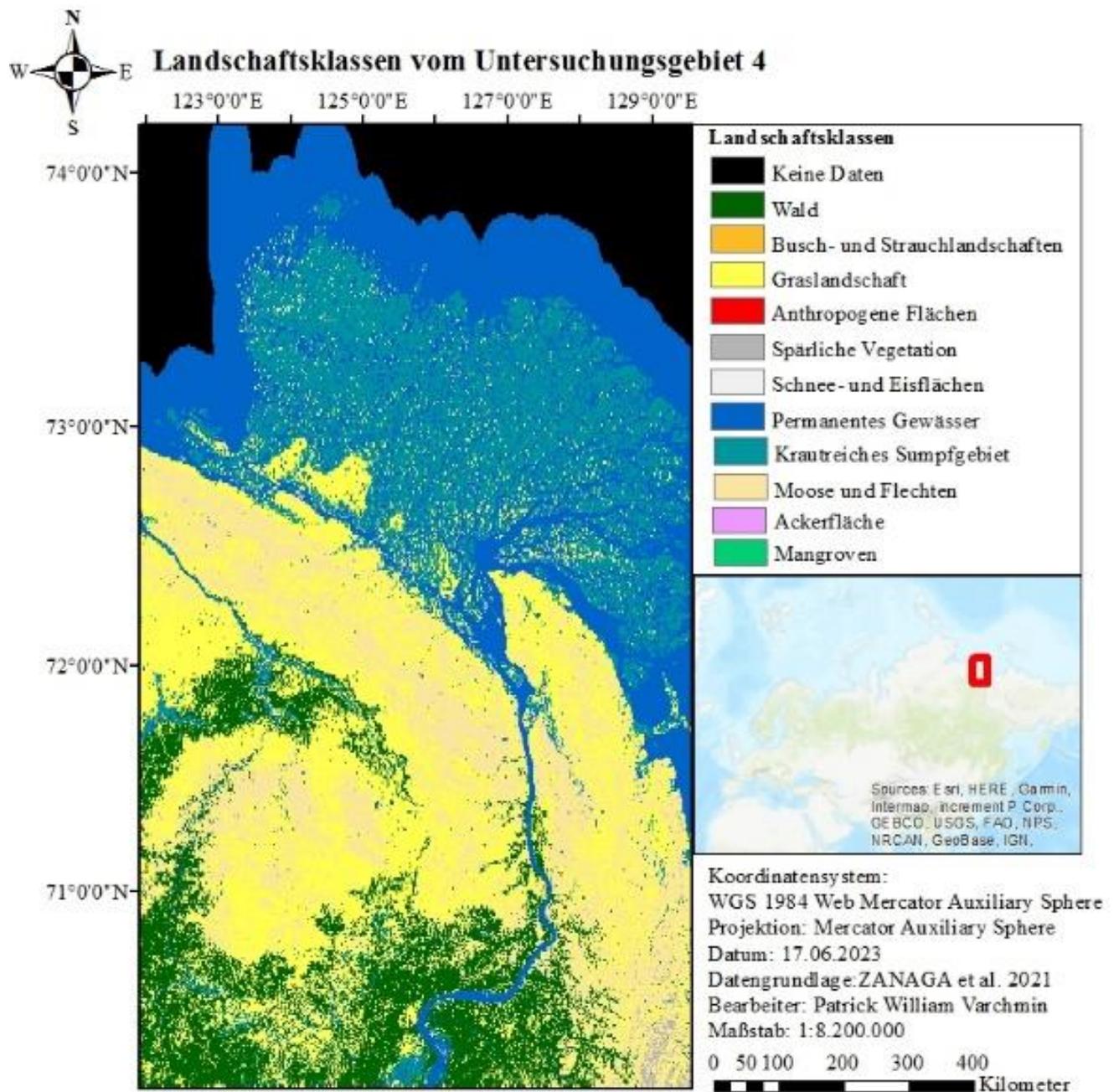
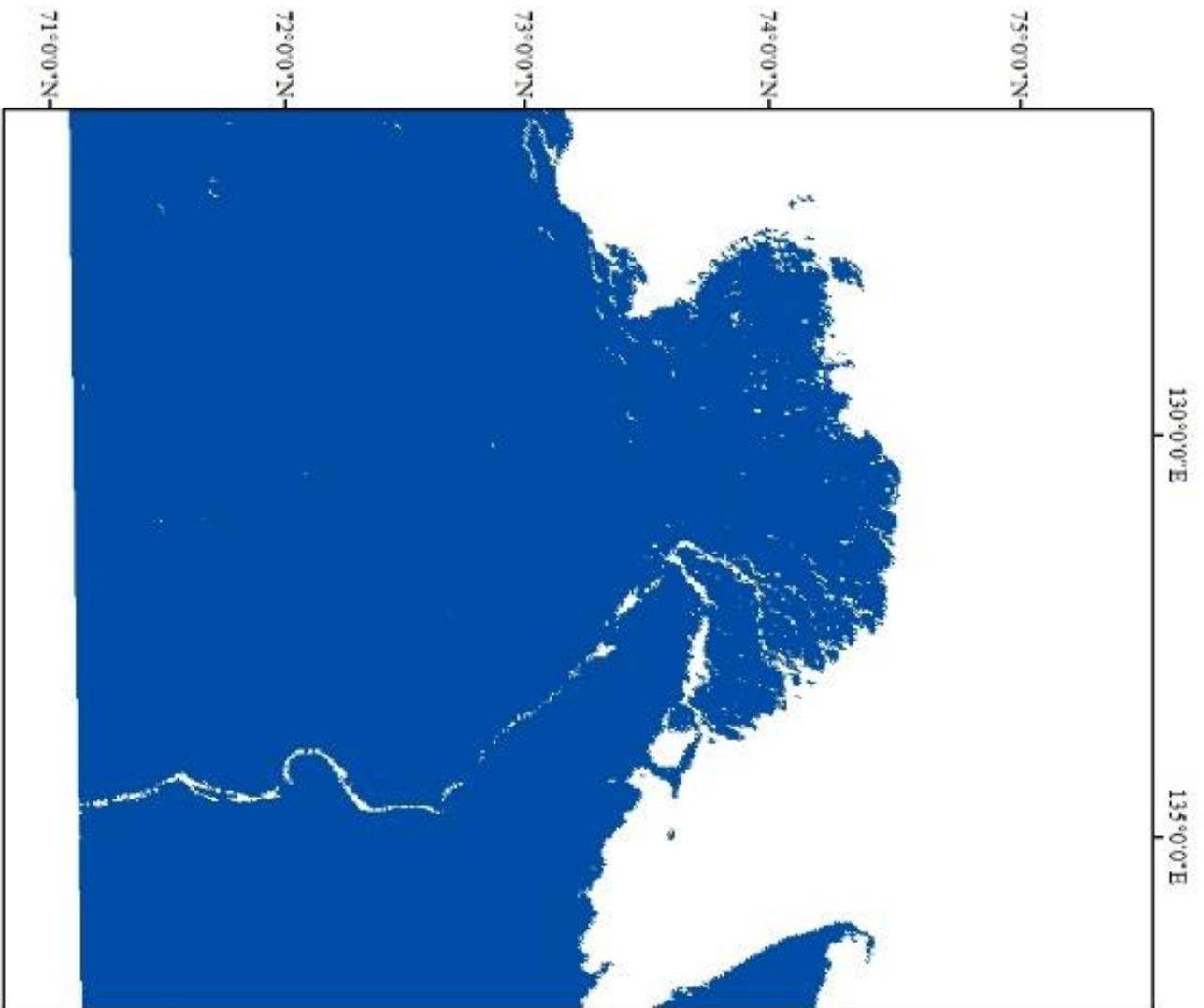


Abbildung A18: Landschaftsklassen vom Untersuchungsgebiet 4 (Eigene Darstellung 17.06.2023)



Permafrostgehalt vom Untersuchungsgebiet 4

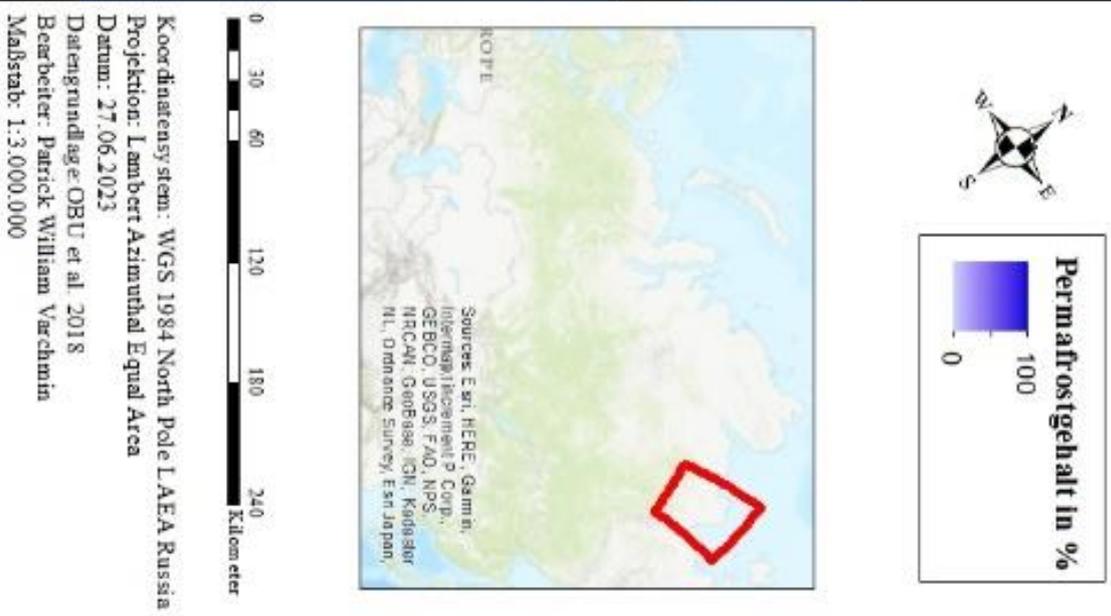


Abbildung A19: Permafrostkarte vom Untersuchungsgebiet 4 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

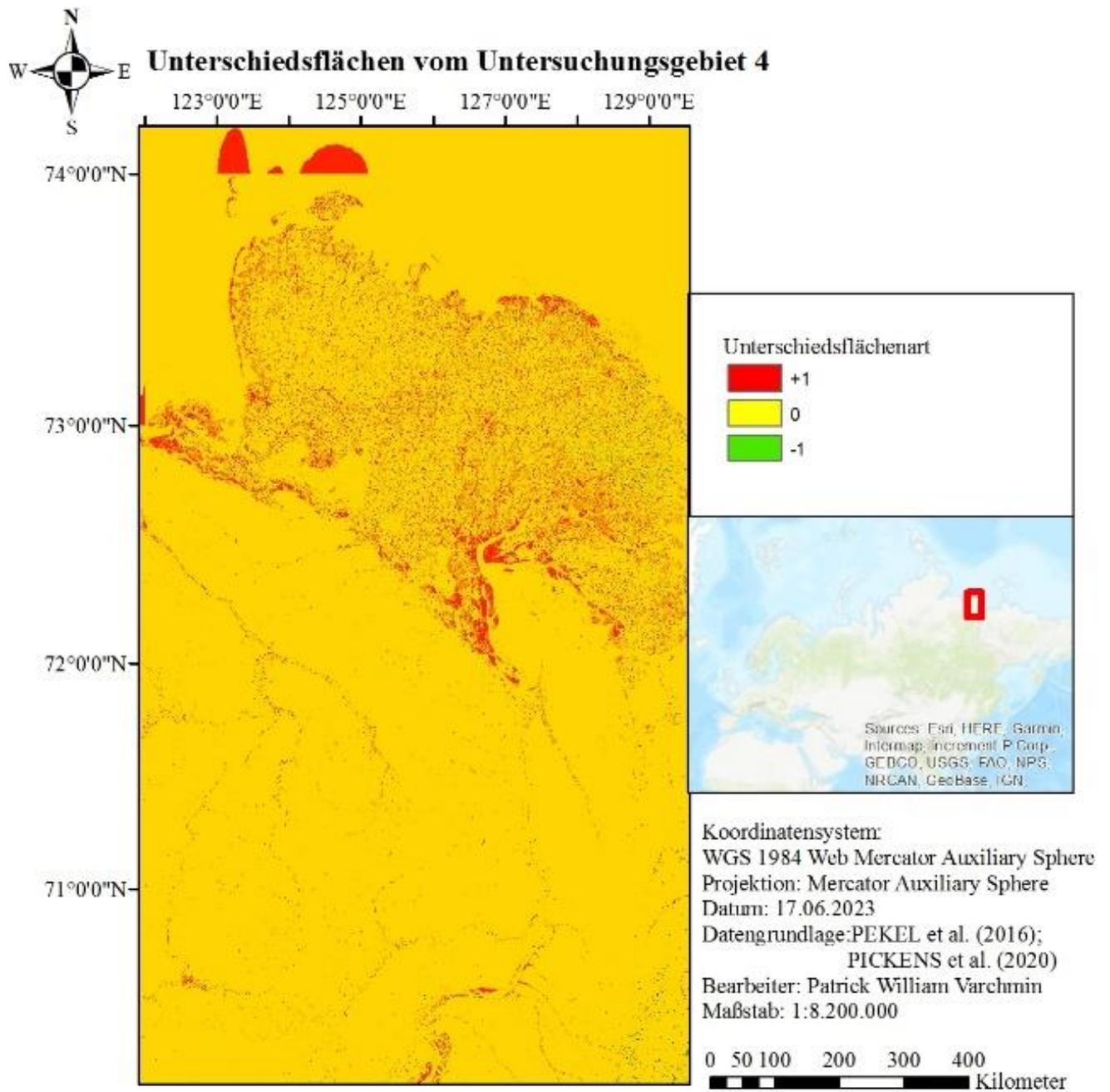


Abbildung A20: Unterschiedsflächen vom Untersuchungsgebiet 4 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

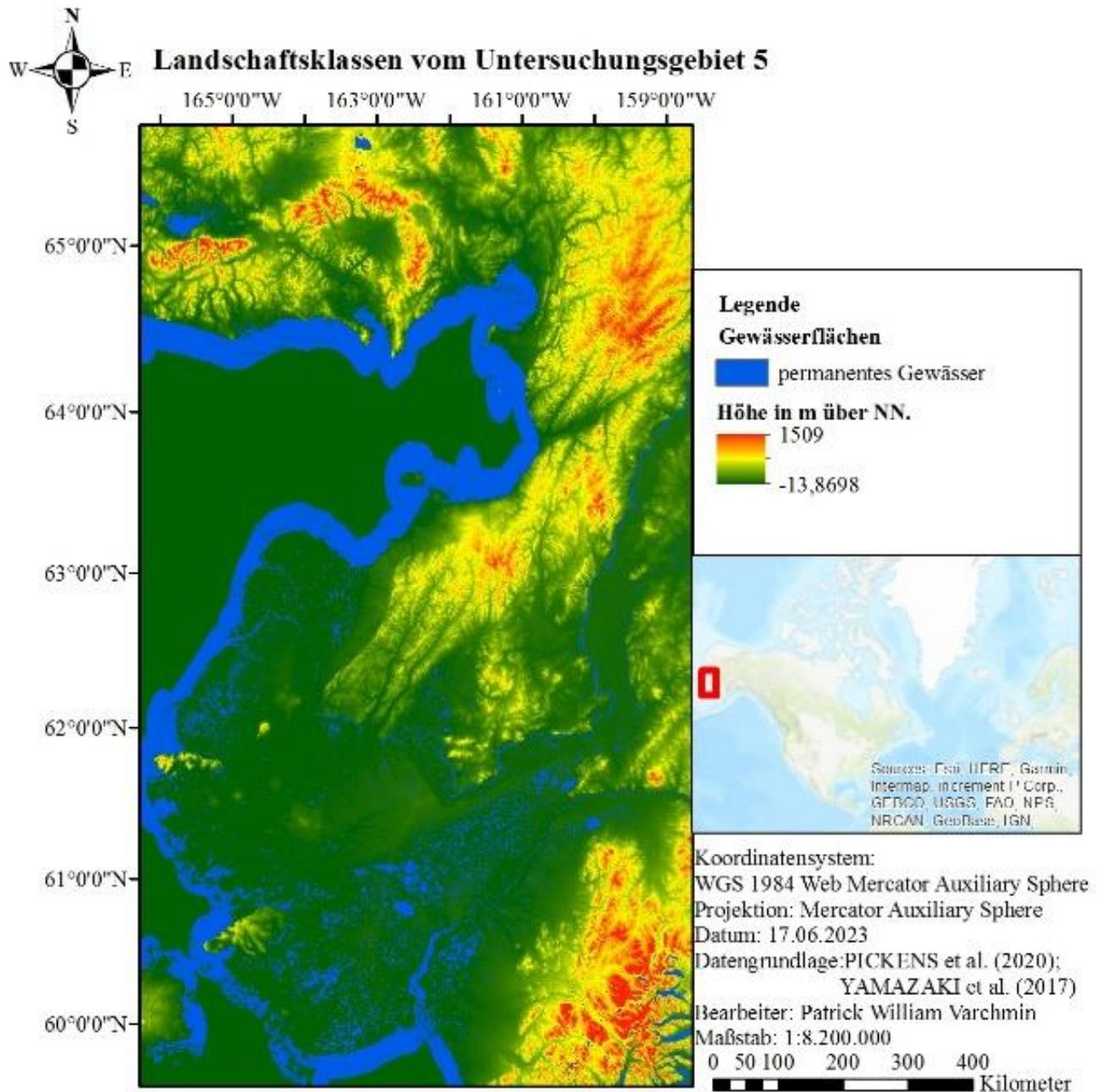


Abbildung A21: Übersichtskarte vom Untersuchungsgebiet 5 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

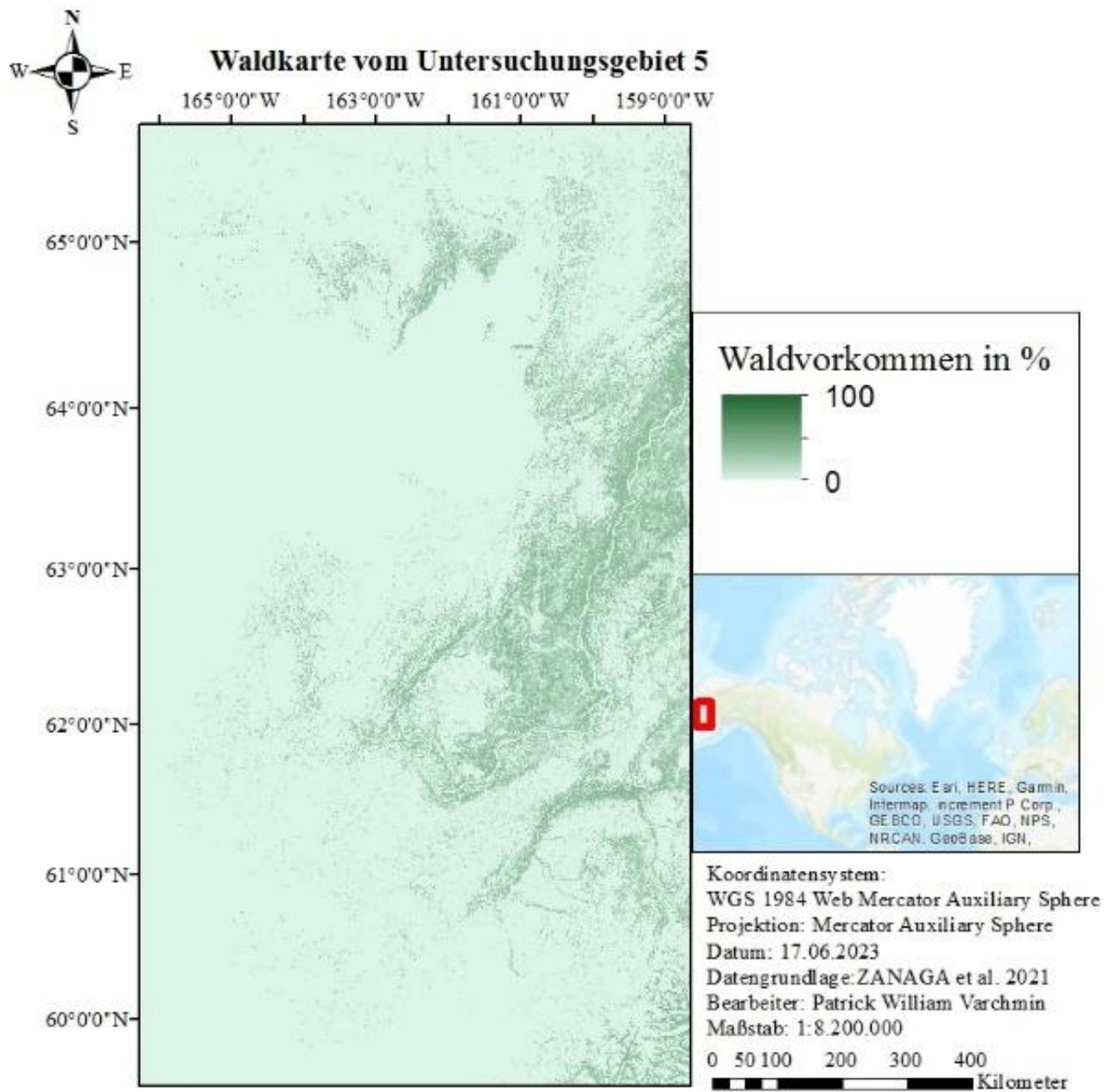


Abbildung A22: Waldkarte vom Untersuchungsgebiet 5 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

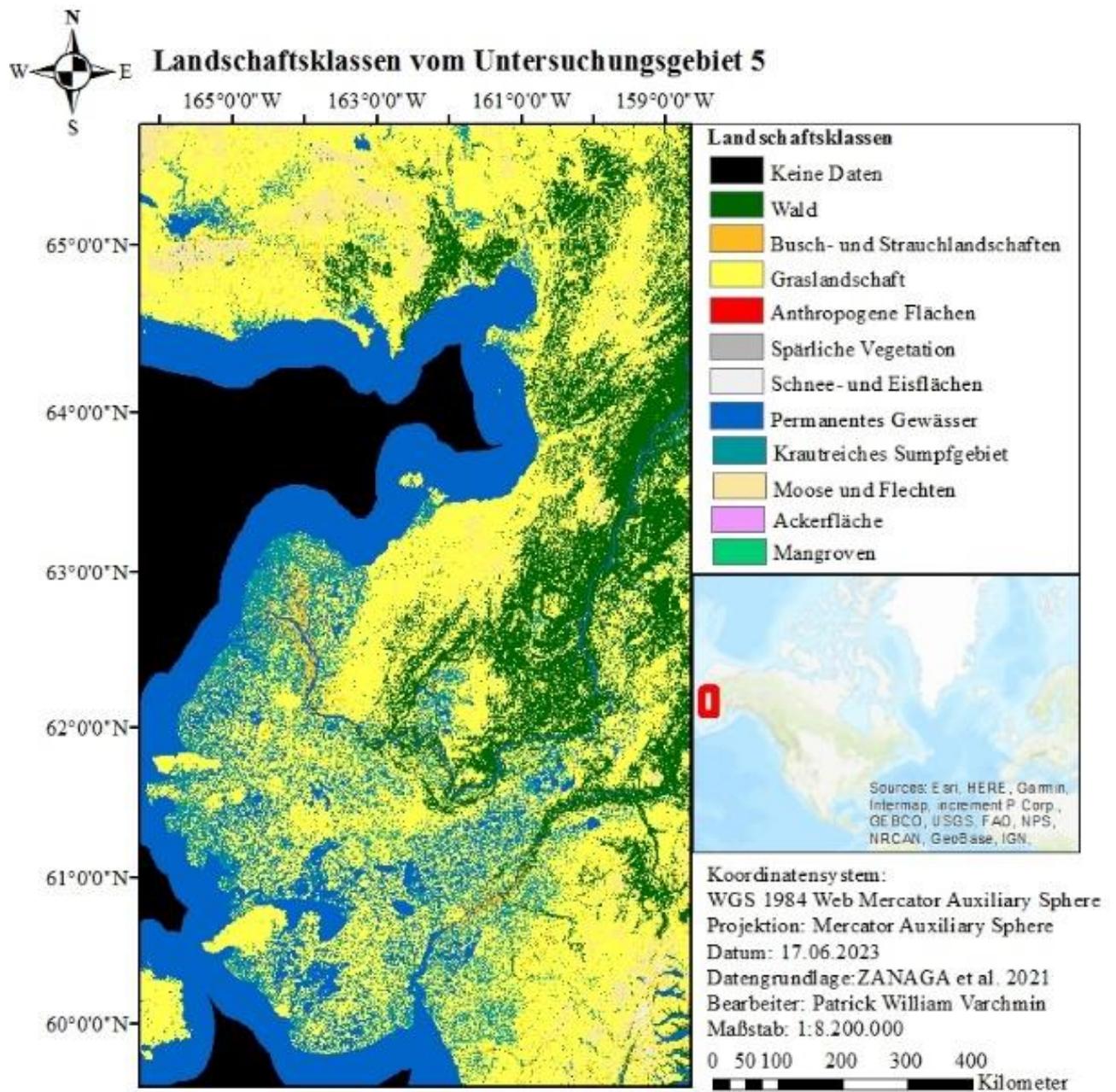
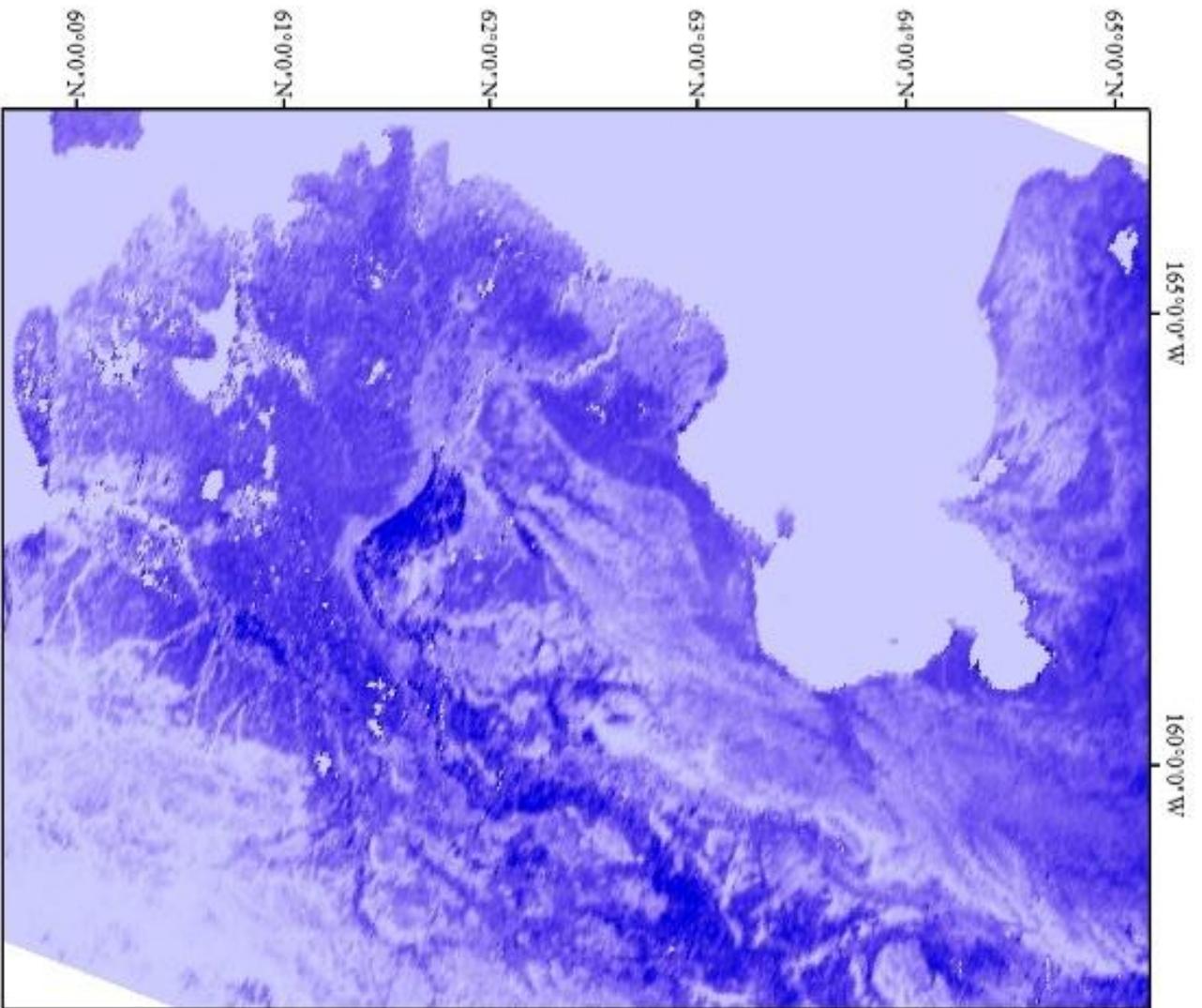


Abbildung A23: Landschaftsklassen vom Untersuchungsgebiet 5 (Eigene Darstellung 17.06.2023)



Permafrostgehalt vom Untersuchungsgebiet 5



Abbildung A24: Permafrostkarte vom Untersuchungsgebiet 5 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

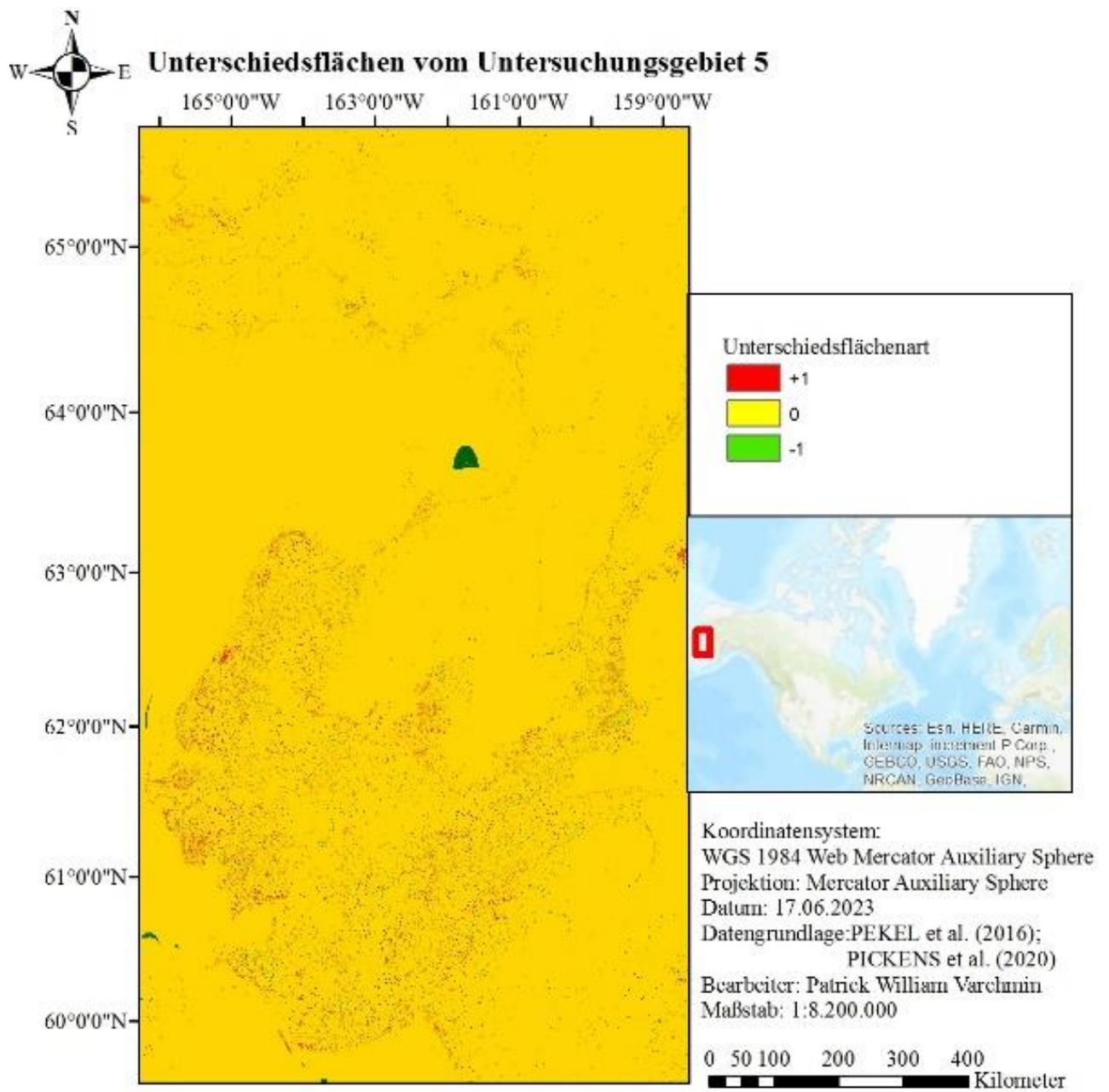


Abbildung A25: Unterschiedsflächen vom Untersuchungsgebiet 5 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

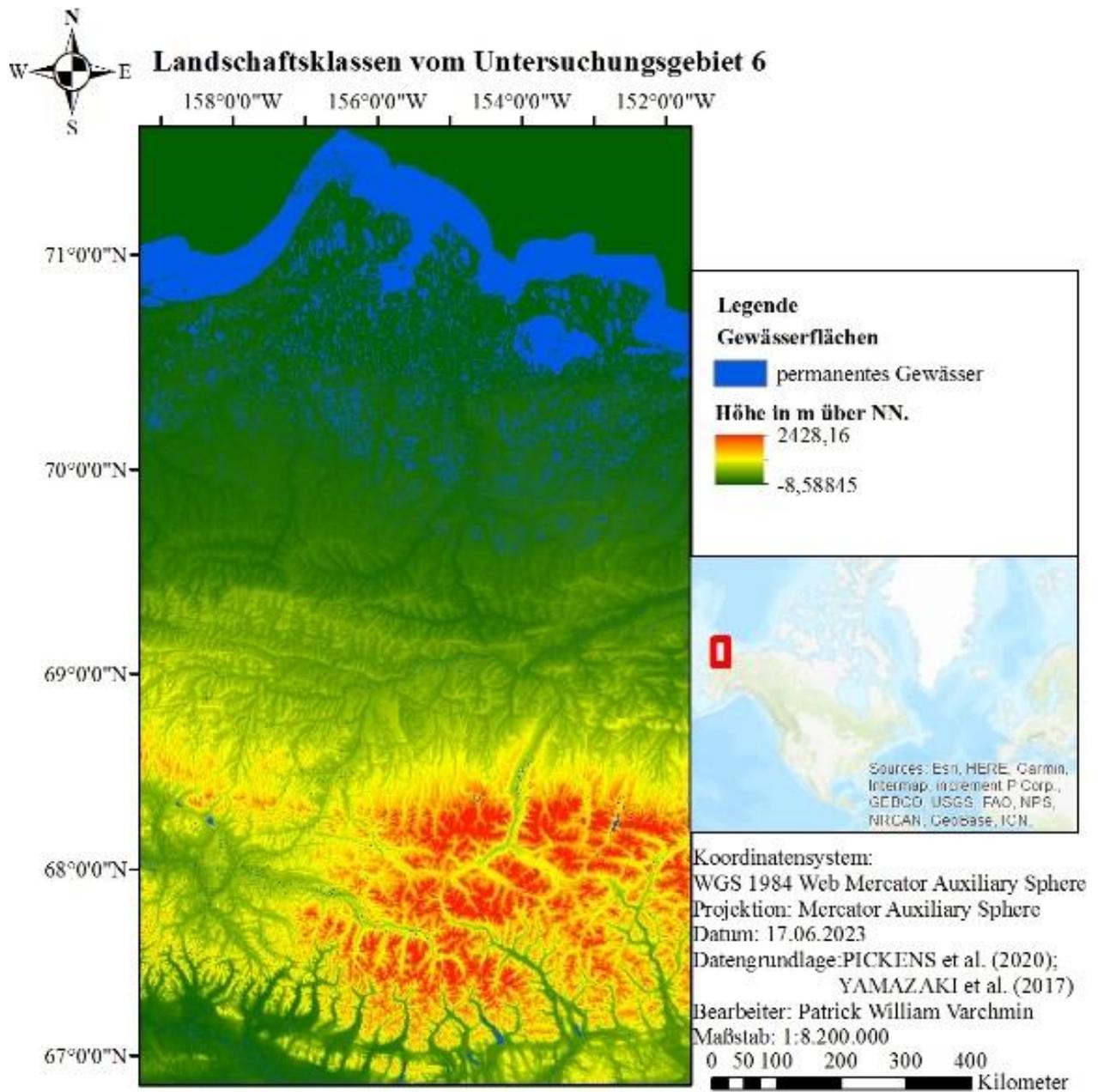


Abbildung A26: Übersichtskarte vom Untersuchungsgebiet 6 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

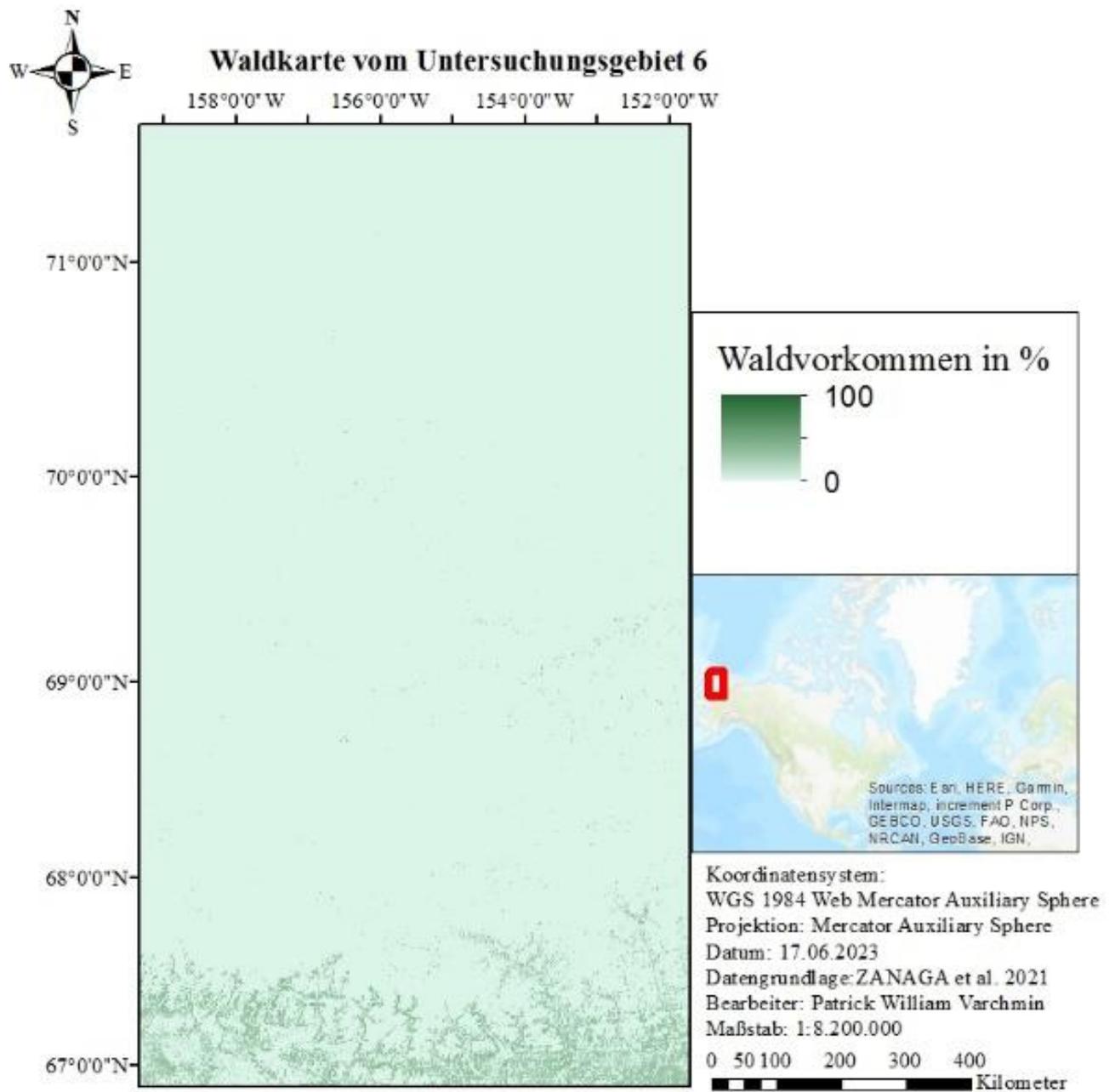


Abbildung A27: Waldkartekarte vom Untersuchungsgebiet 6 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

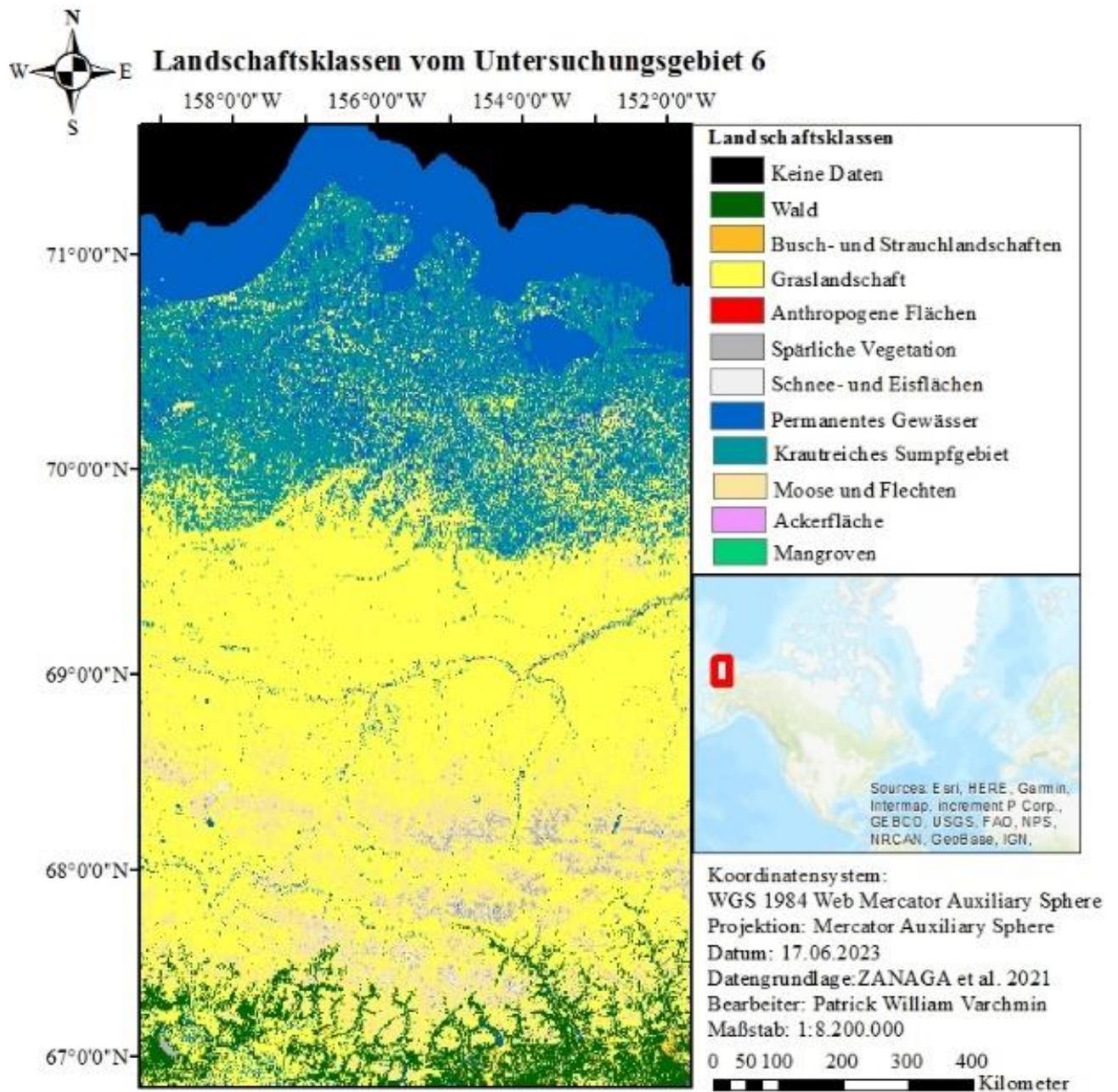


Abbildung A28: Landschaftsklassen vom Untersuchungsgebiet 6 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

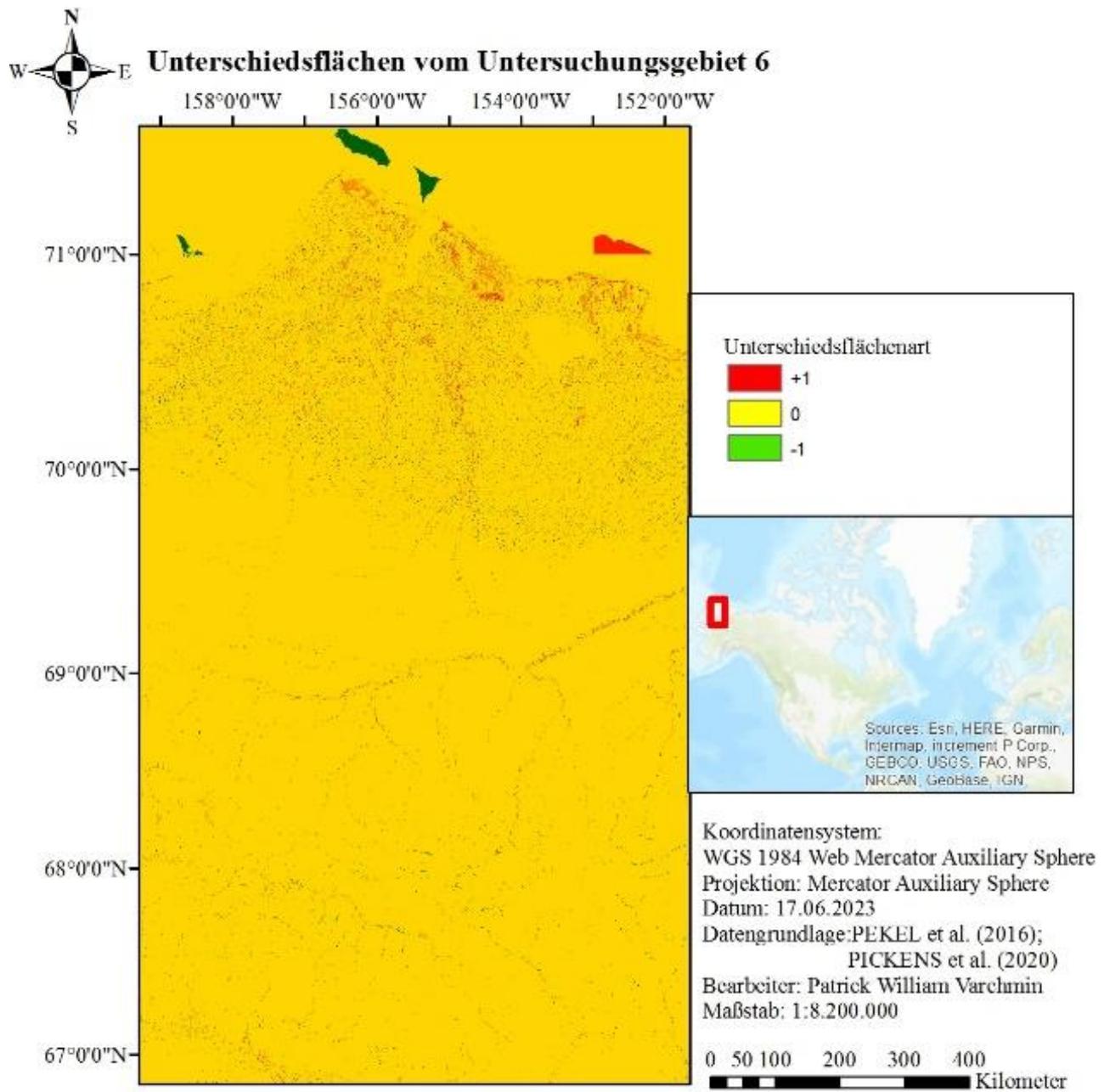


Abbildung A30: Unterschiedsflächen vom Untersuchungsgebiet 6 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

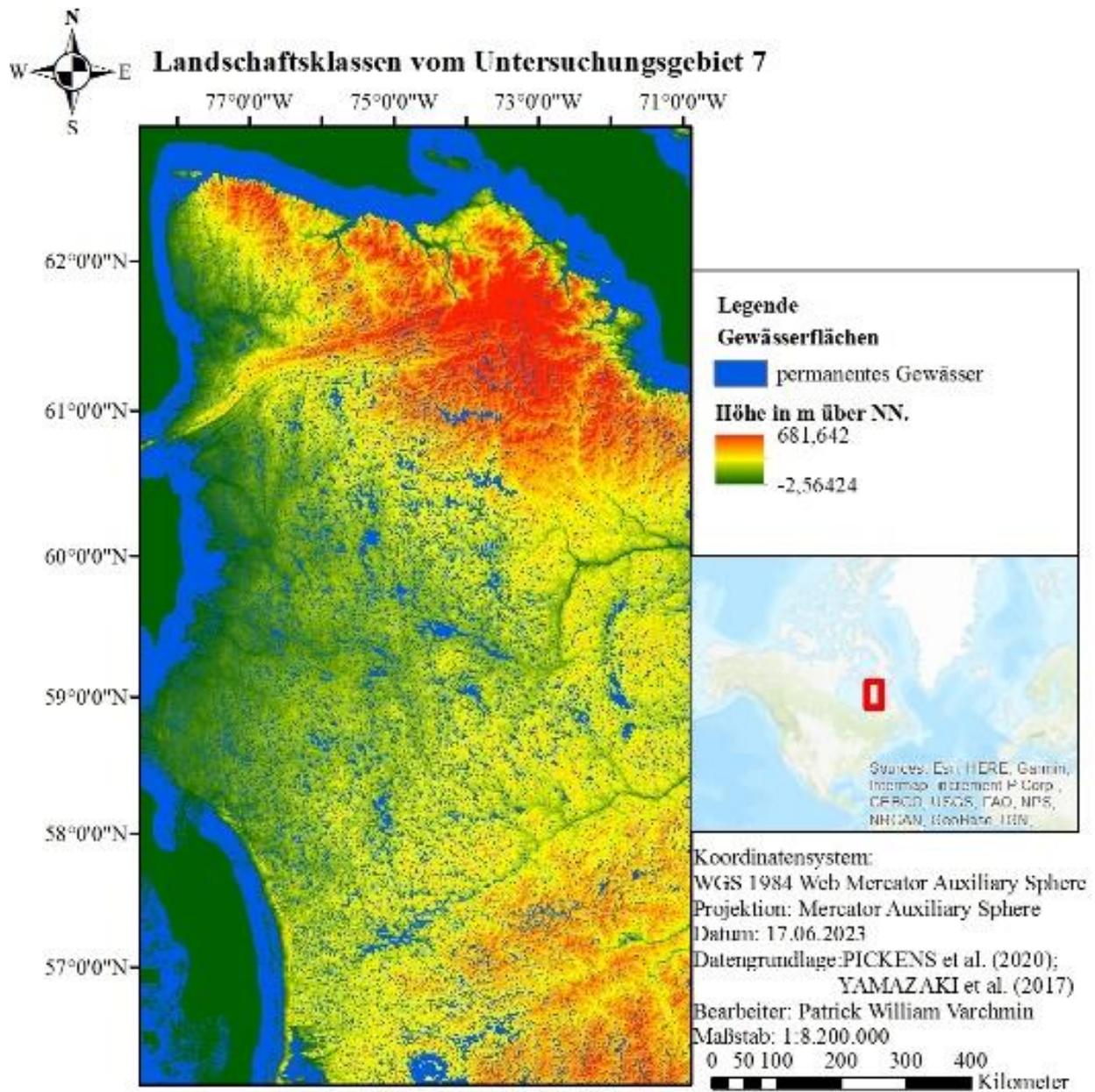


Abbildung A31: Übersichtskarte vom Untersuchungsgebiet 7 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

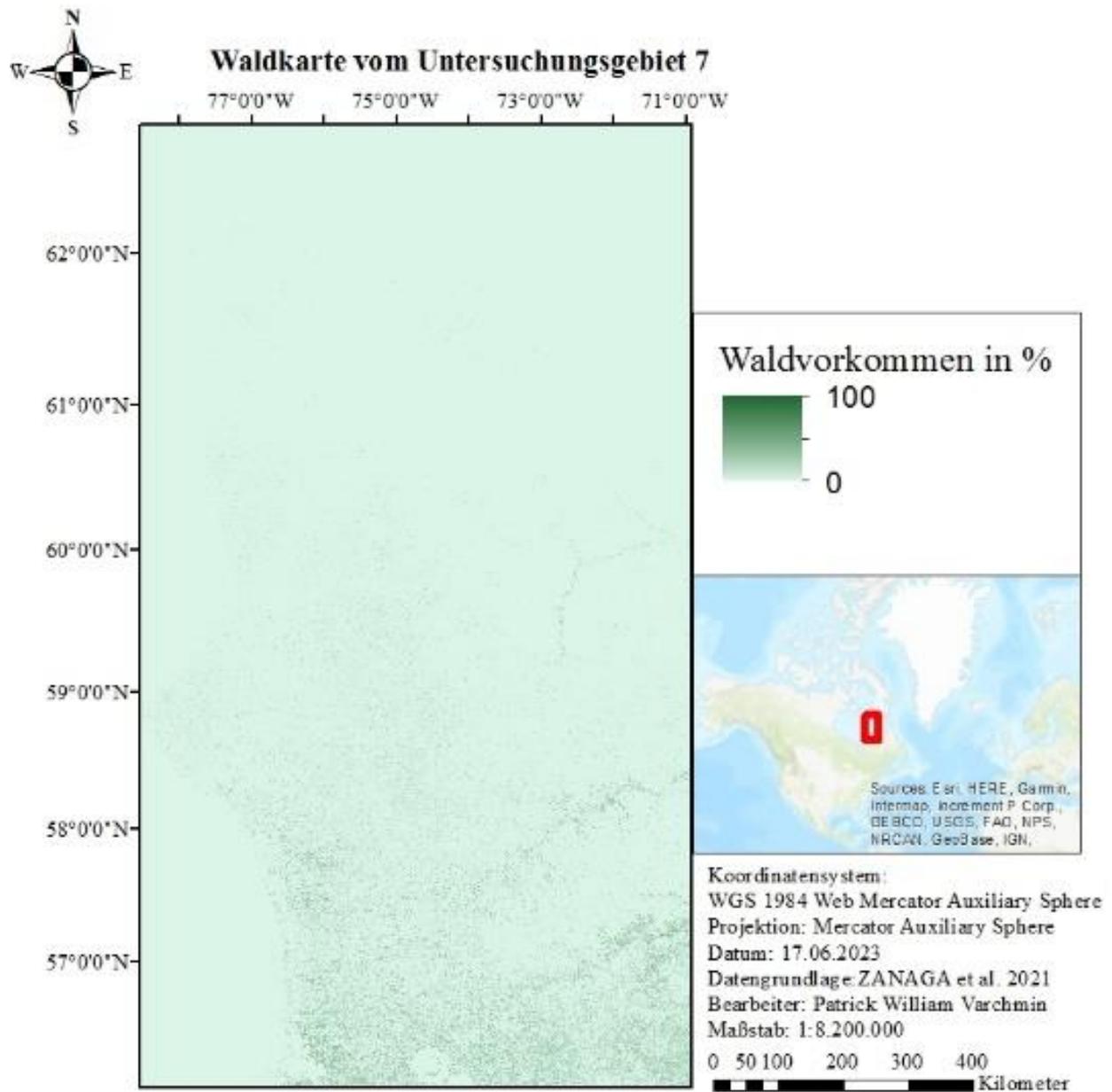


Abbildung A32: Waldkarte vom Untersuchungsgebiet 7 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

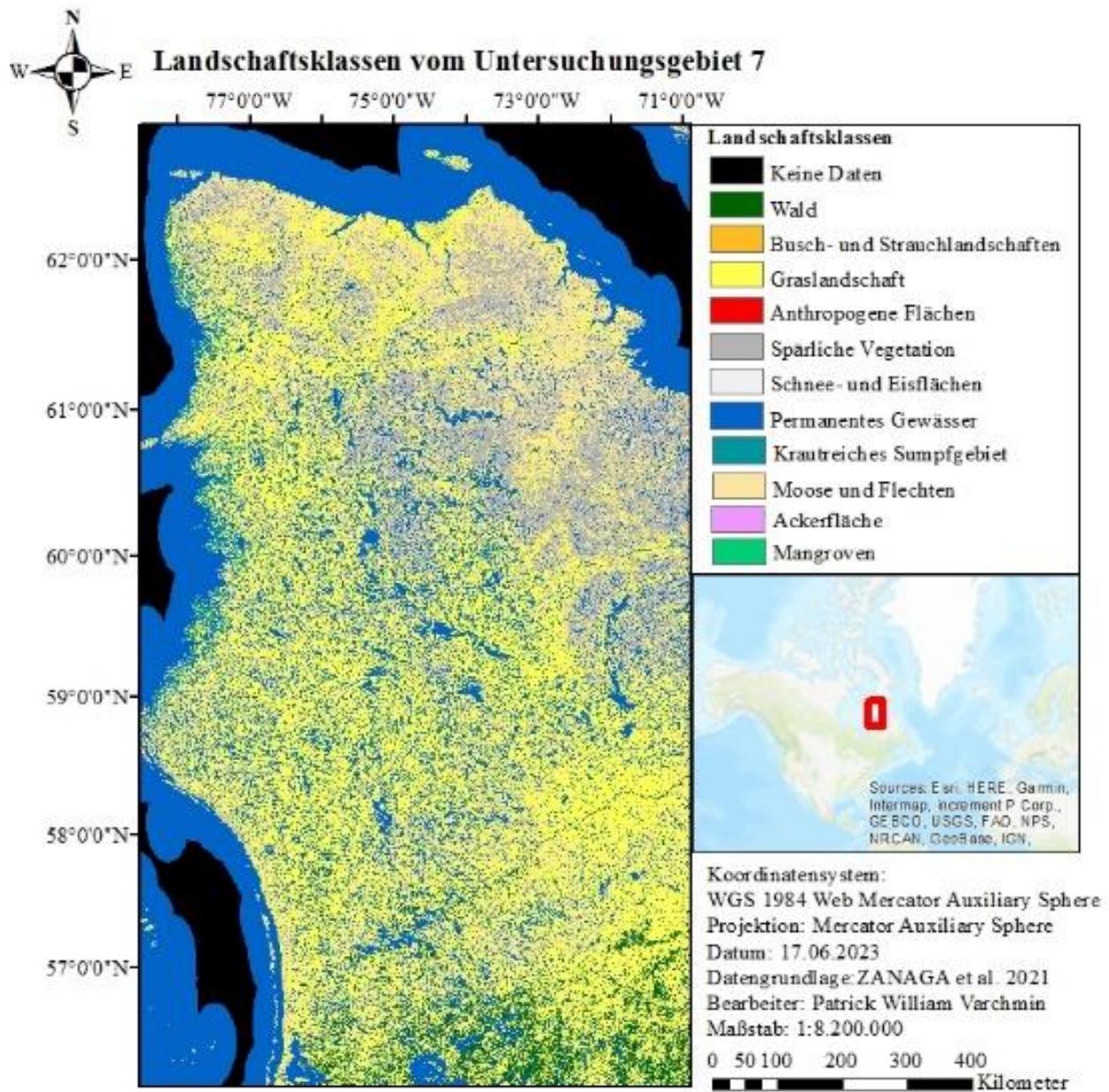
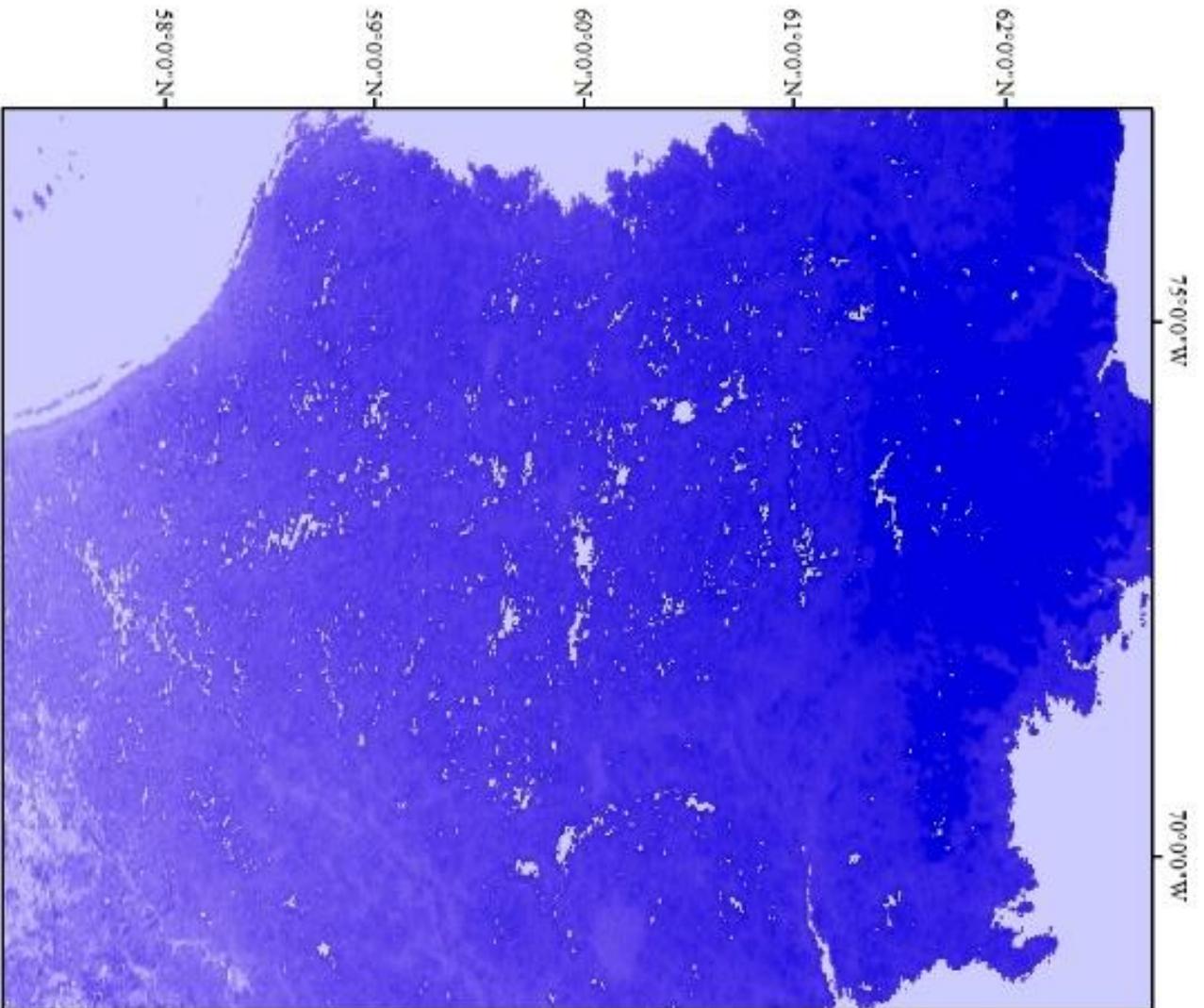


Abbildung A33: Landschaftsklassen vom Untersuchungsgebiet 7 (Eigene Darstellung 17.06.2023)



Permafrostgehalt vom Untersuchungsgebiet 7

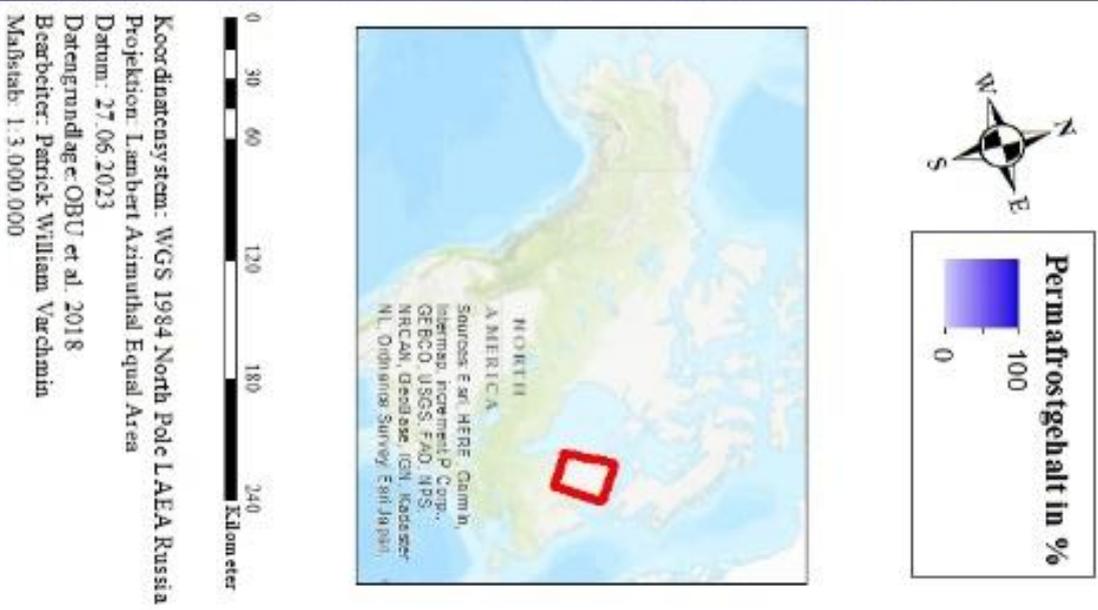


Abbildung A34: Permafrostkarte vom Untersuchungsgebiet 7 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

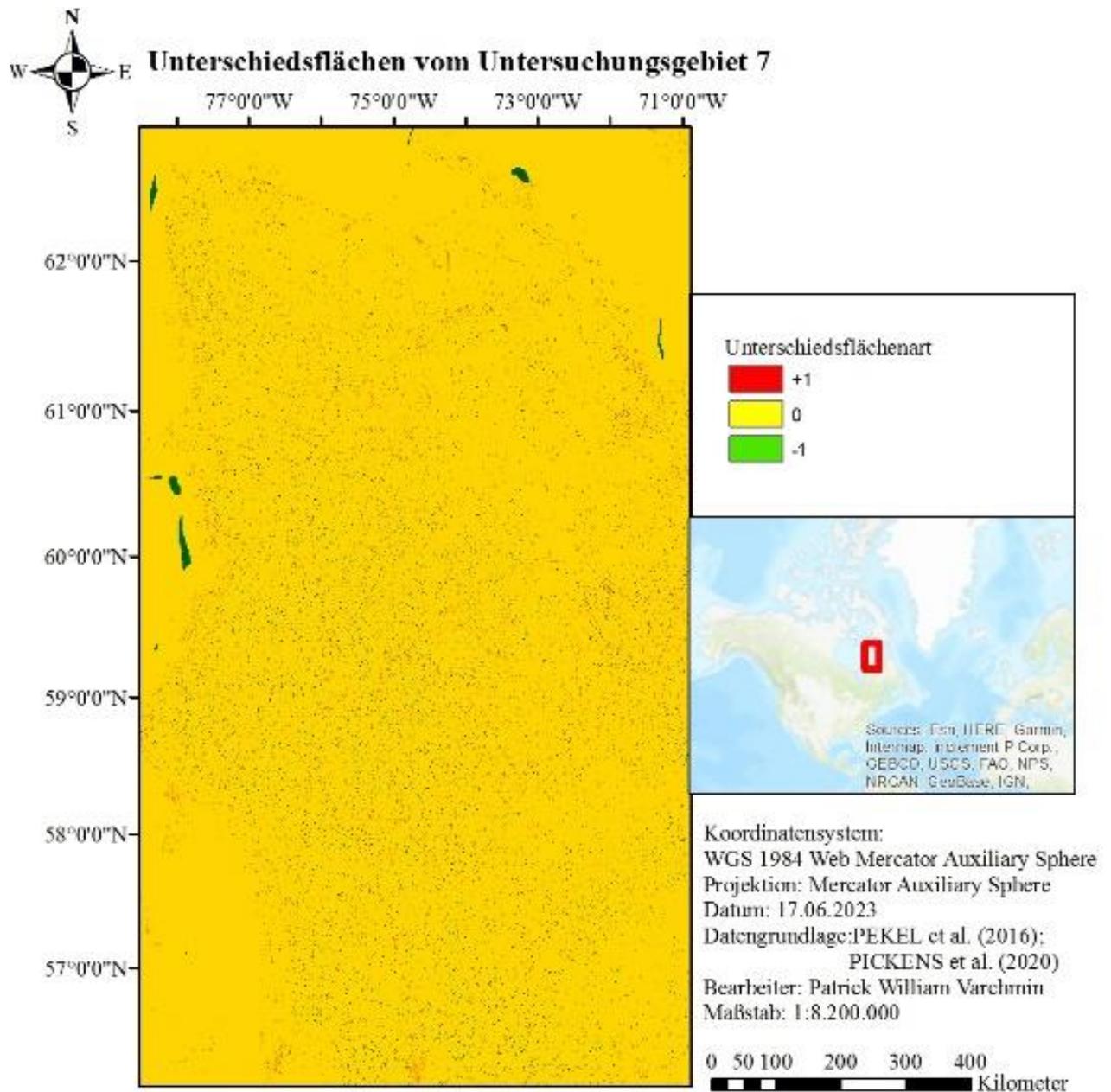


Abbildung A35: Unterschiedsflächen vom Untersuchungsgebiet 7 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

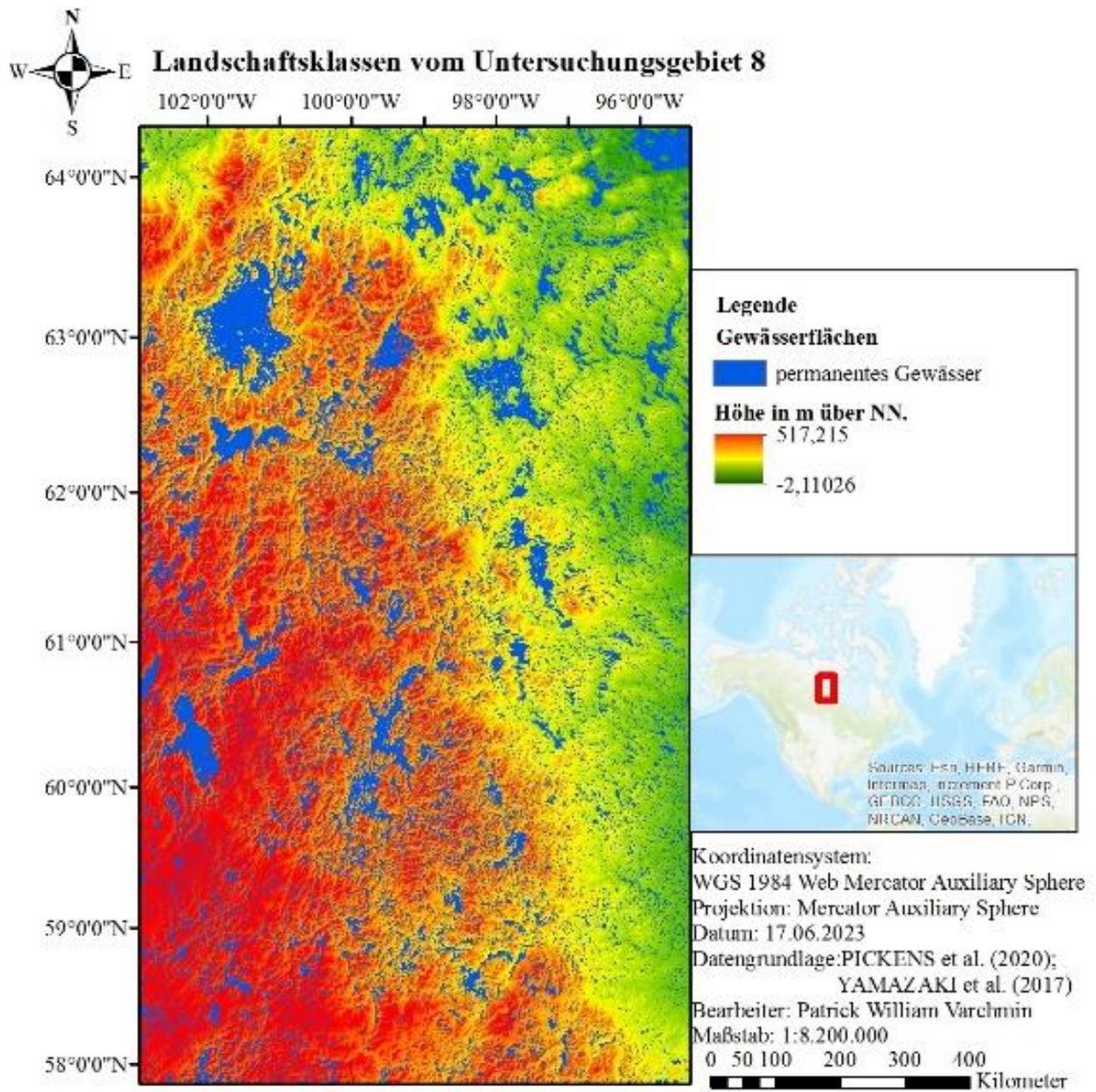


Abbildung A36: Übersichtskarte vom Untersuchungsgebiet 8 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

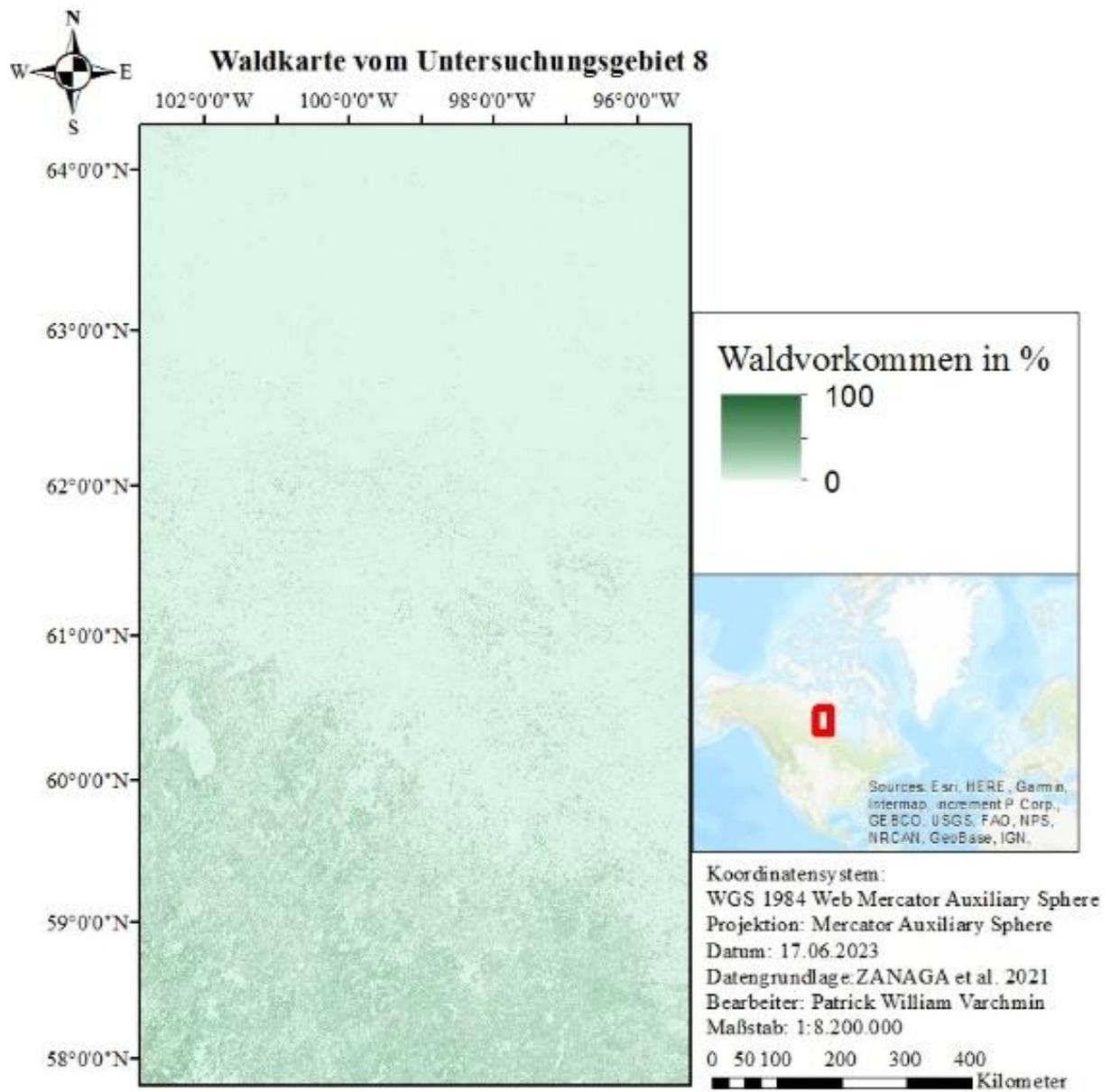


Abbildung A37: Waldkarte vom Untersuchungsgebiet 8 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

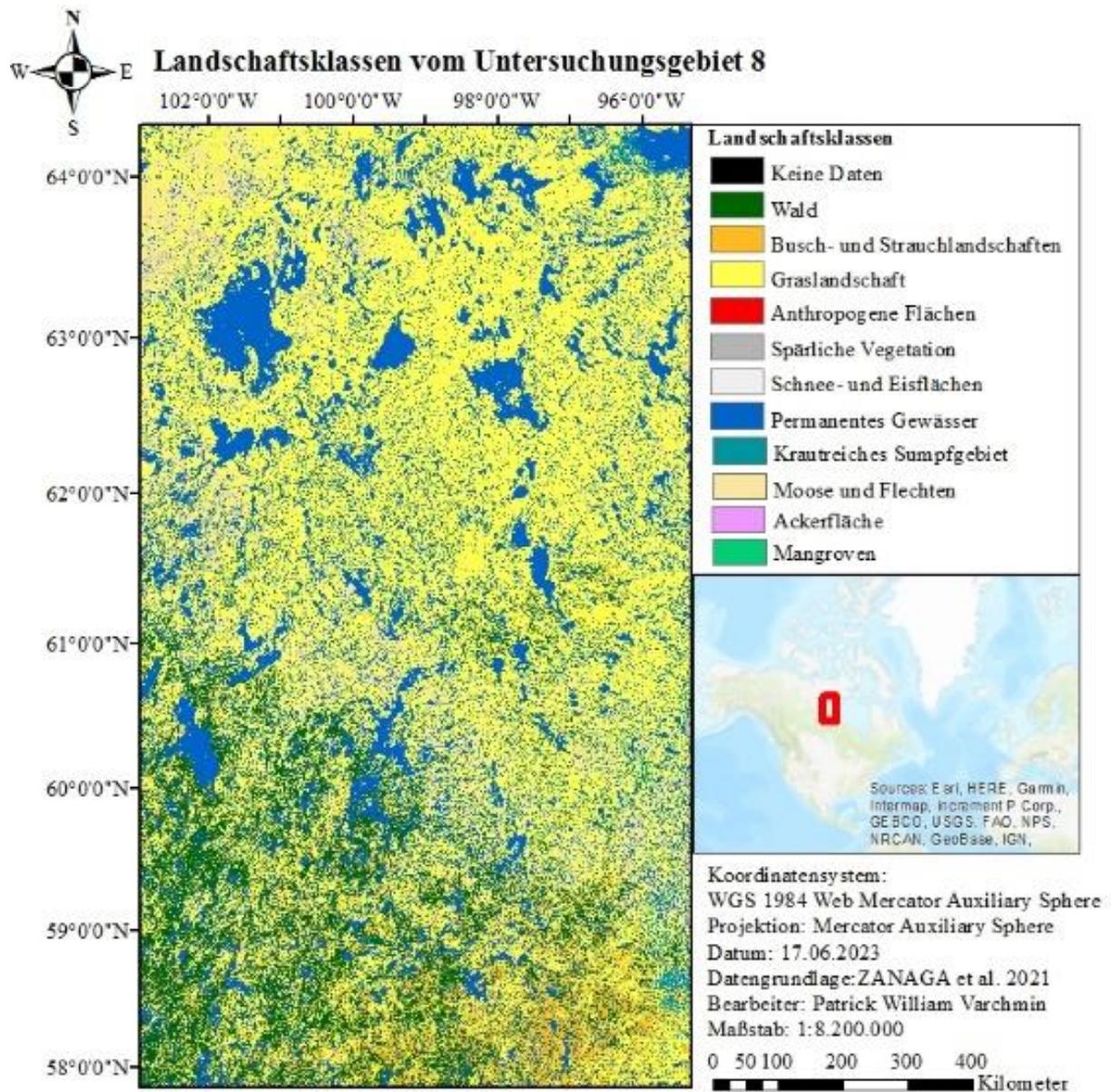


Abbildung A38: Landschaftsklassen vom Untersuchungsgebiet 8 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

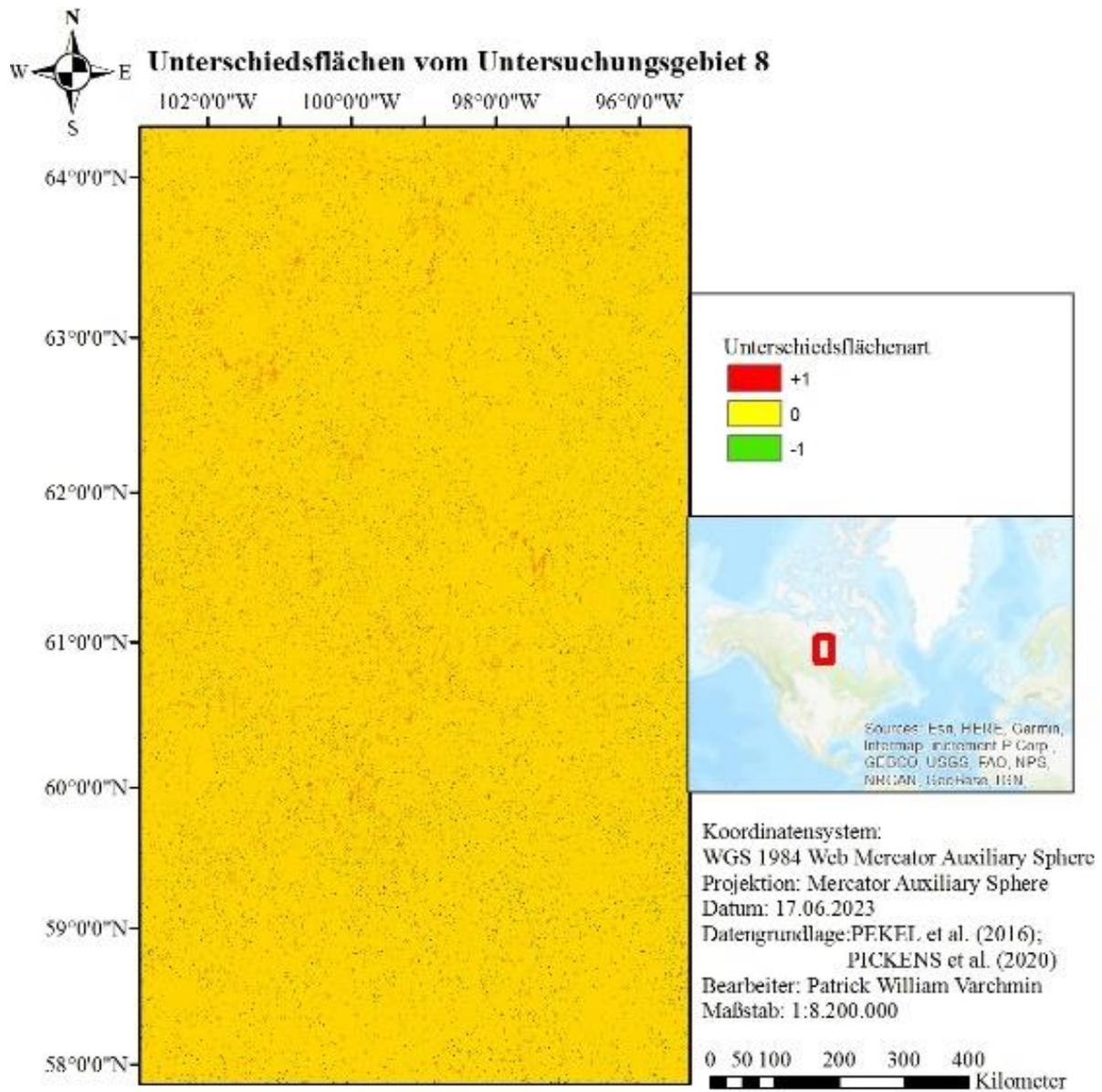


Abbildung A40: Unterschiedsflächen vom Untersuchungsgebiet 8 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

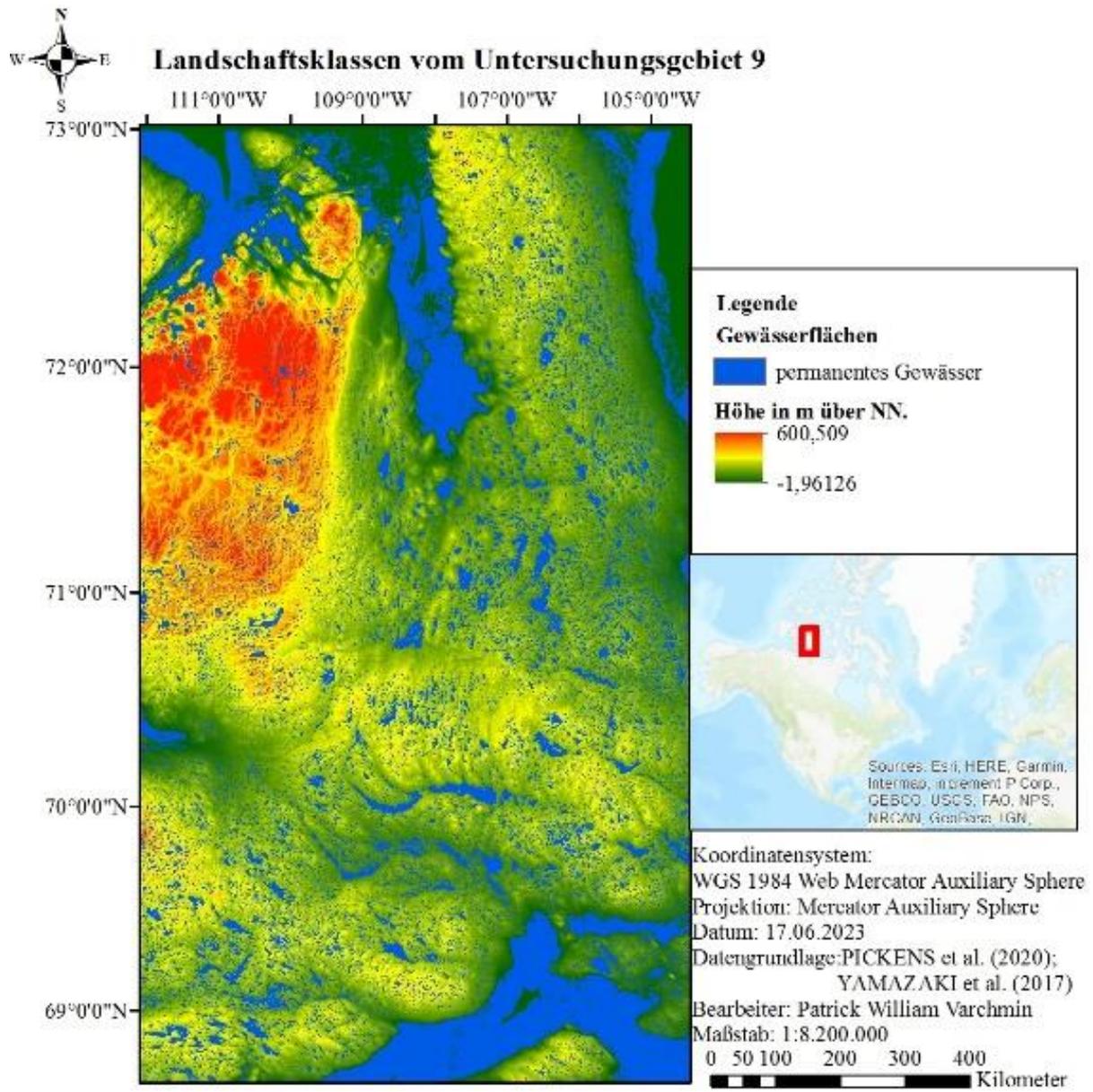


Abbildung A41: Übersichtskarte vom Untersuchungsgebiet 9 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

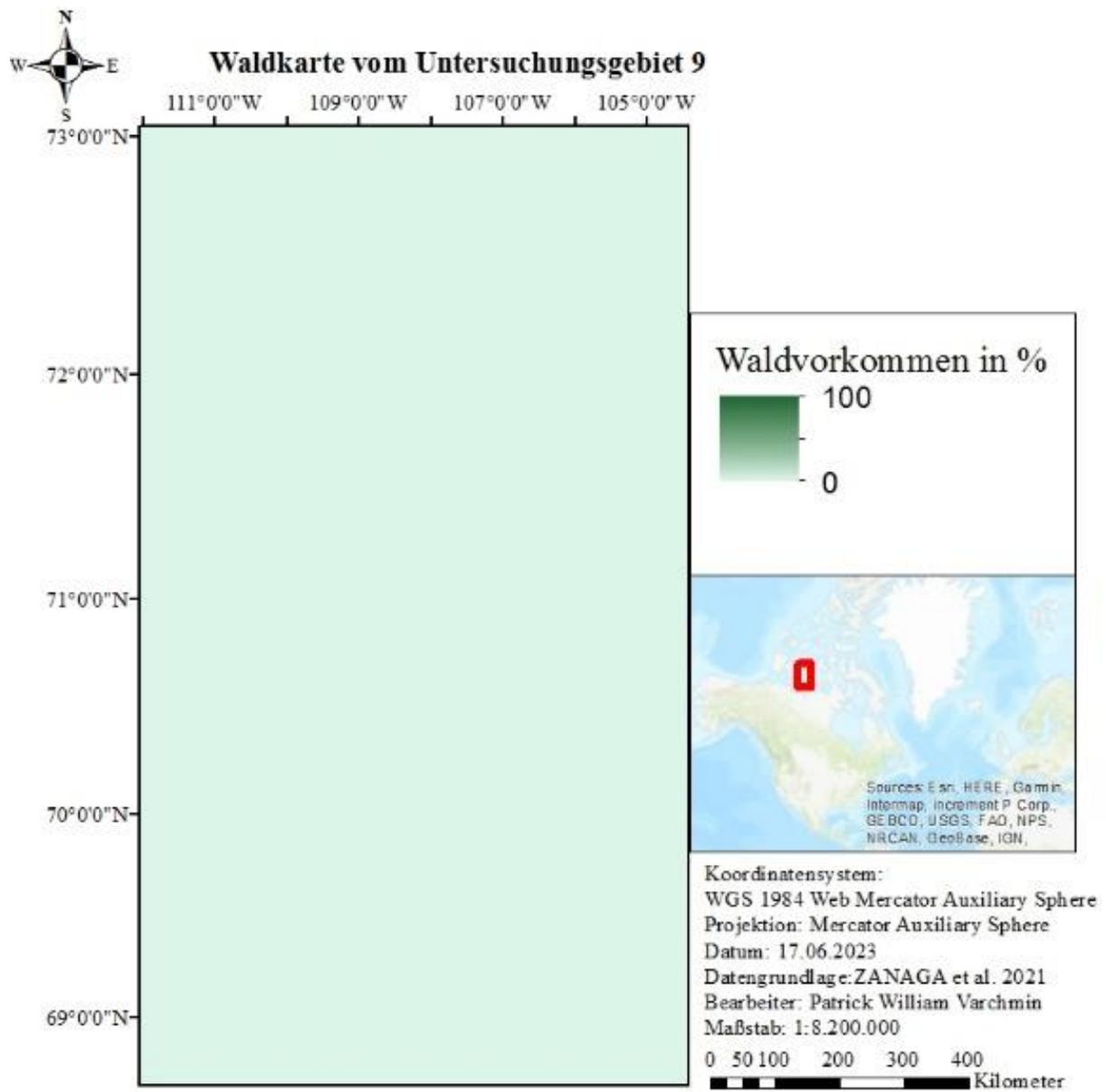


Abbildung A42: Waldkarte vom Untersuchungsgebiet 9 (Eigene Darstellung 17.06.2023)



Abbildung A43: Landschaftsklassen vom Untersuchungsgebiet 9 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

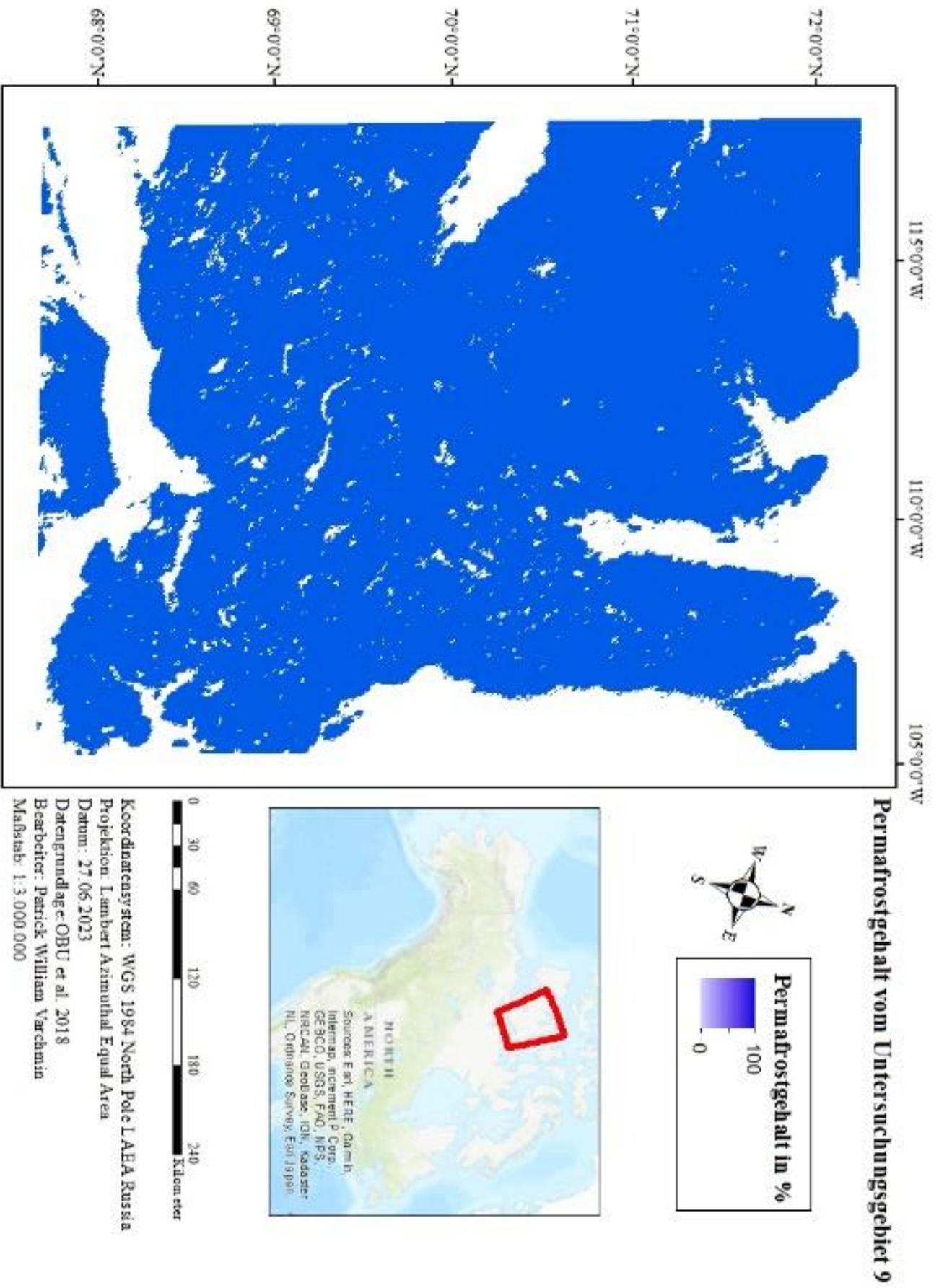


Abbildung A44: Permafrostkarte vom Untersuchungsgebiet 9 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

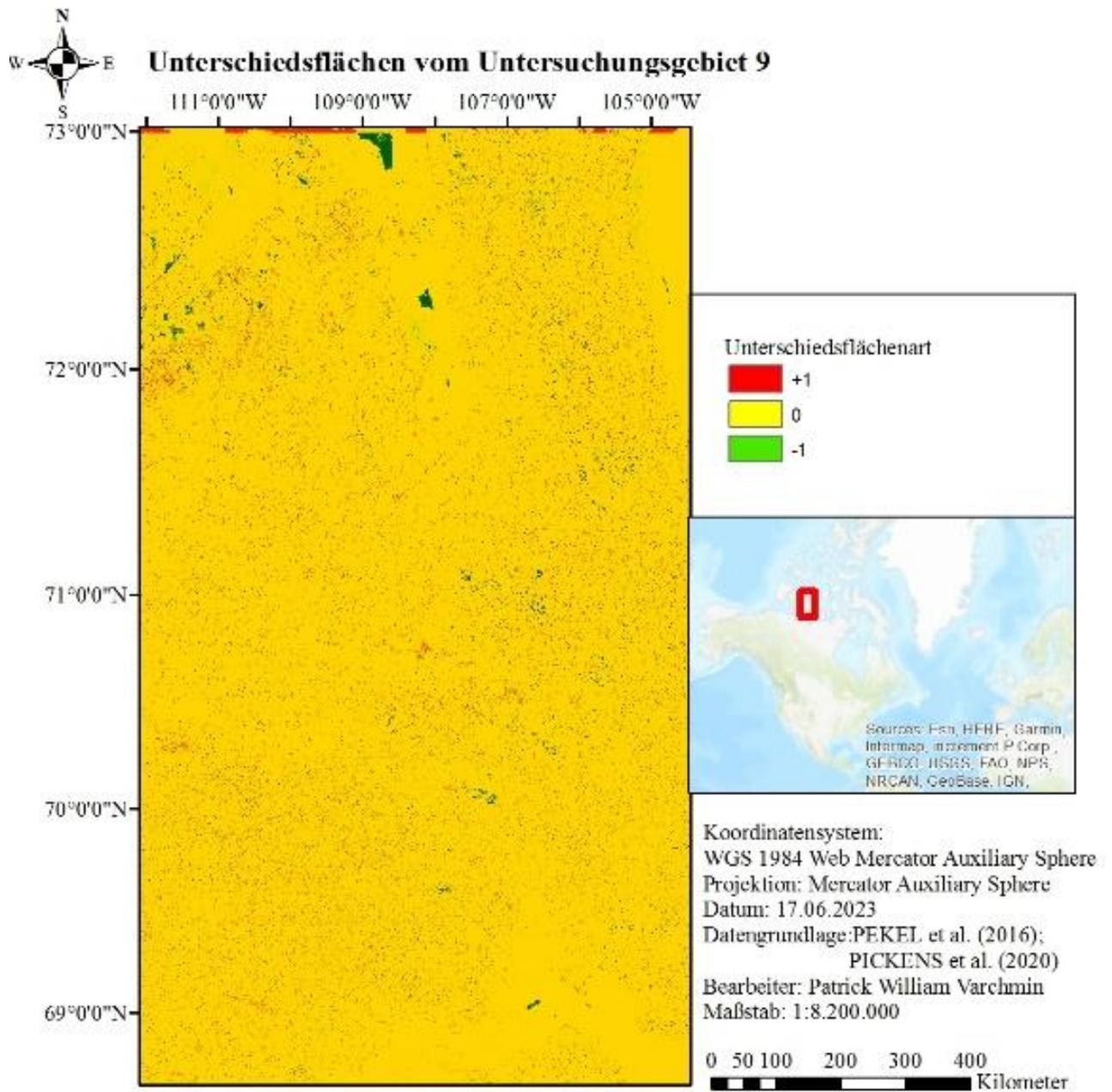


Abbildung A45: Unterschiedsflächen vom Untersuchungsgebiet 9 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

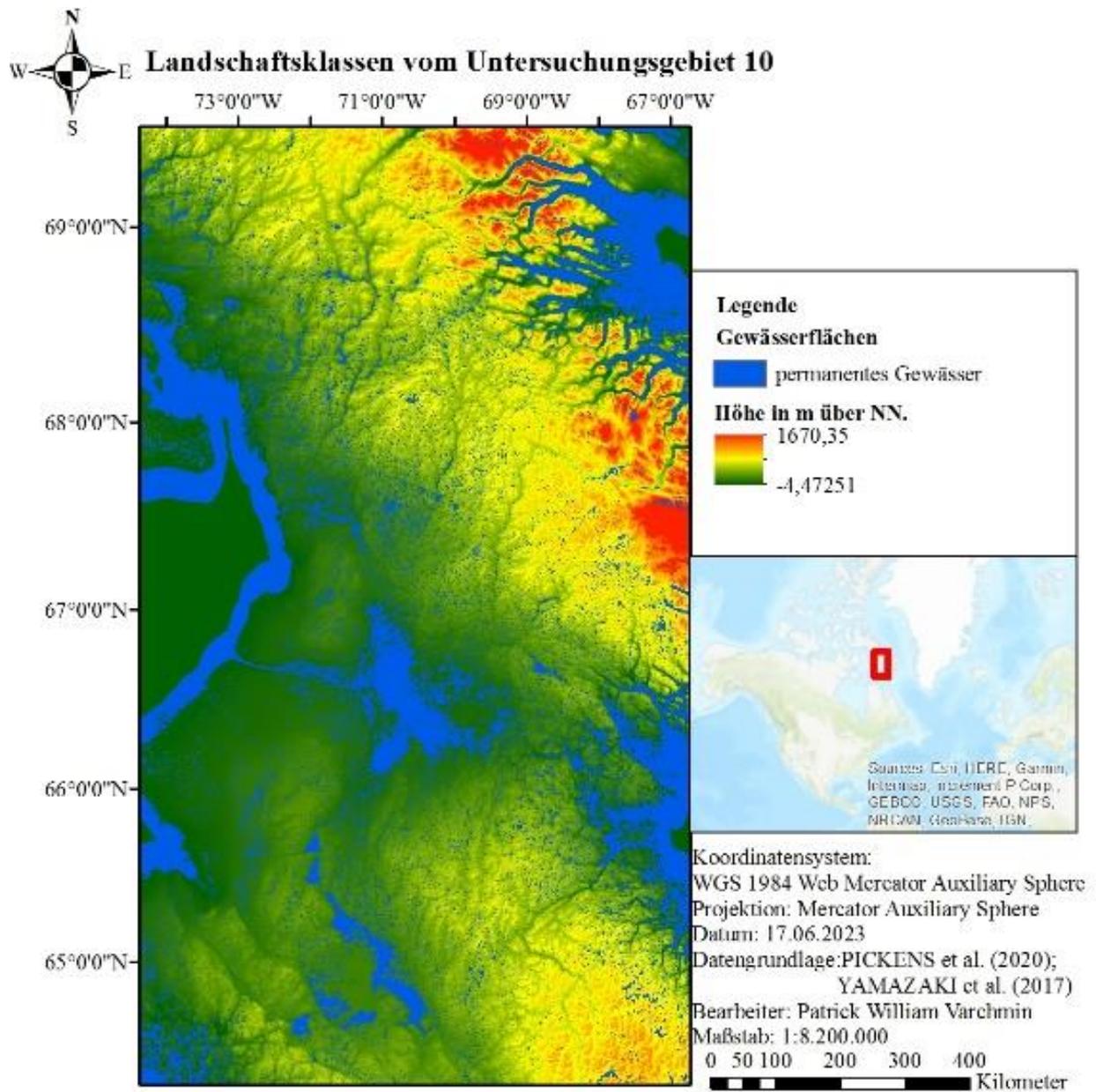


Abbildung A46: Übersichtskarte vom Untersuchungsgebiet 9 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

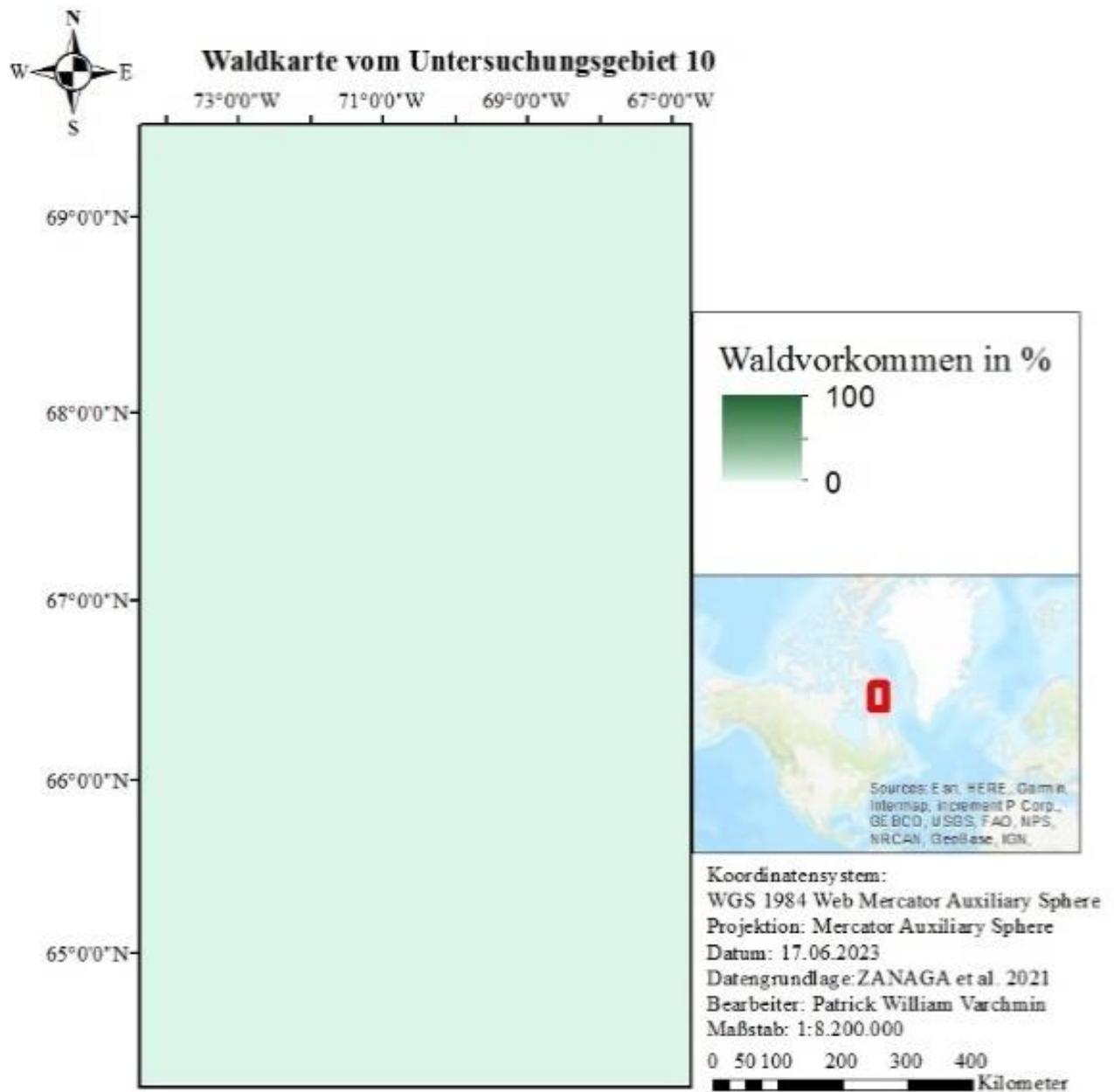


Abbildung A47: Waldkarte vom Untersuchungsgebiet 9 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

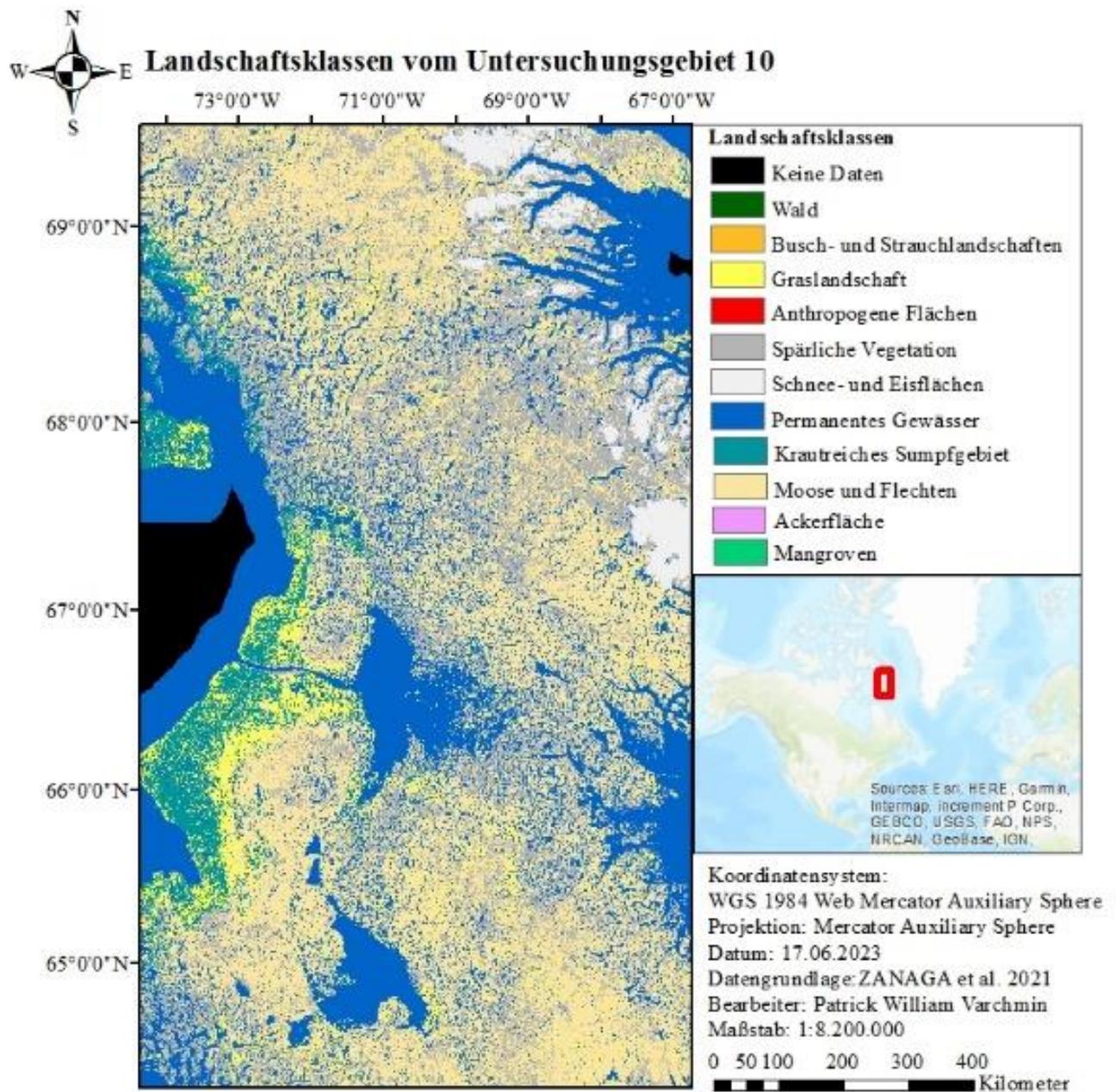
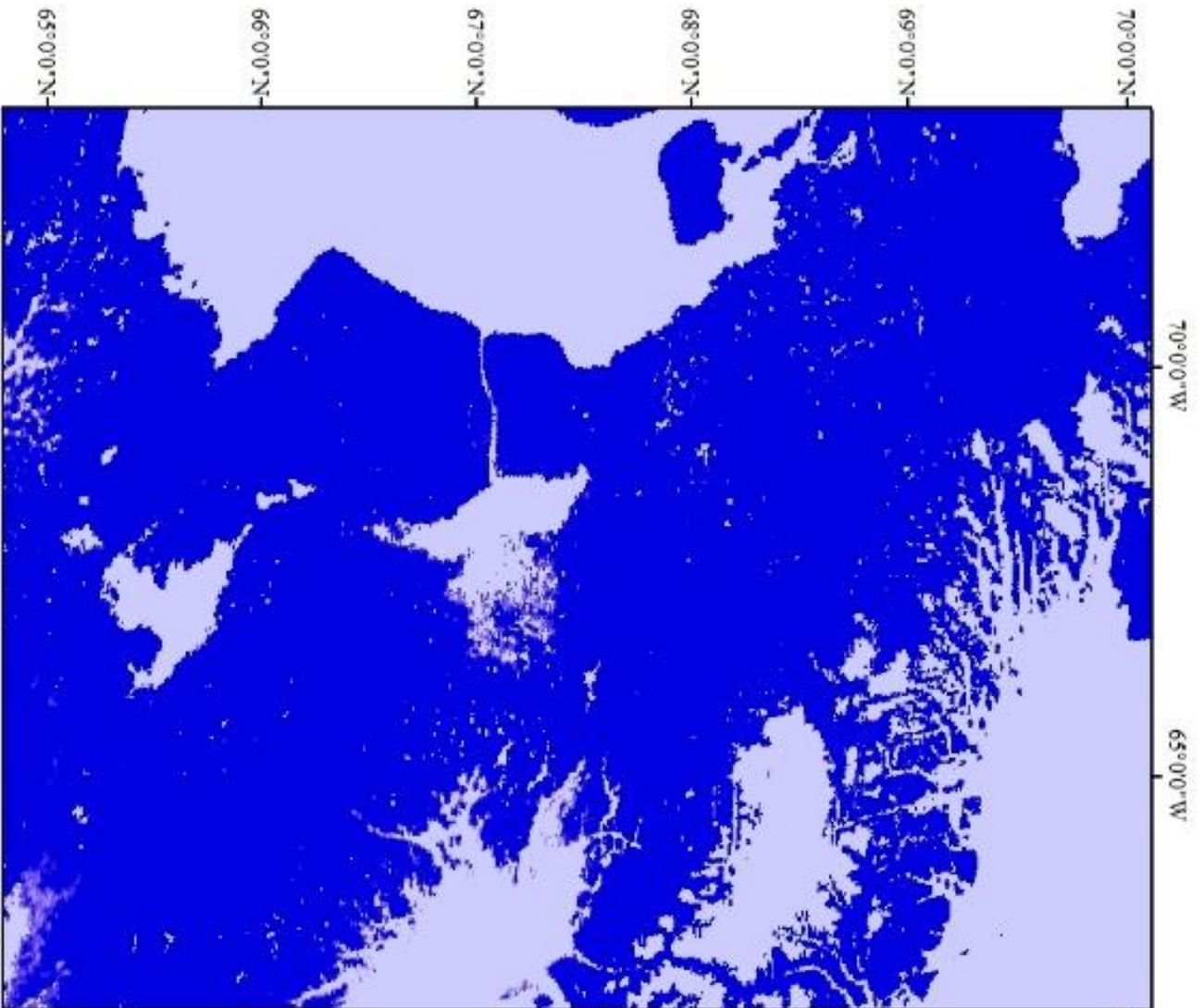


Abbildung A48: Landschaftsklassen vom Untersuchungsgebiet 9 (Eigene Darstellung 17.06.2023)



Permafrostgehalt vom Untersuchungsgebiet 10



Abbildung A49: Permafrostkarte vom Untersuchungsgebiet 9 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

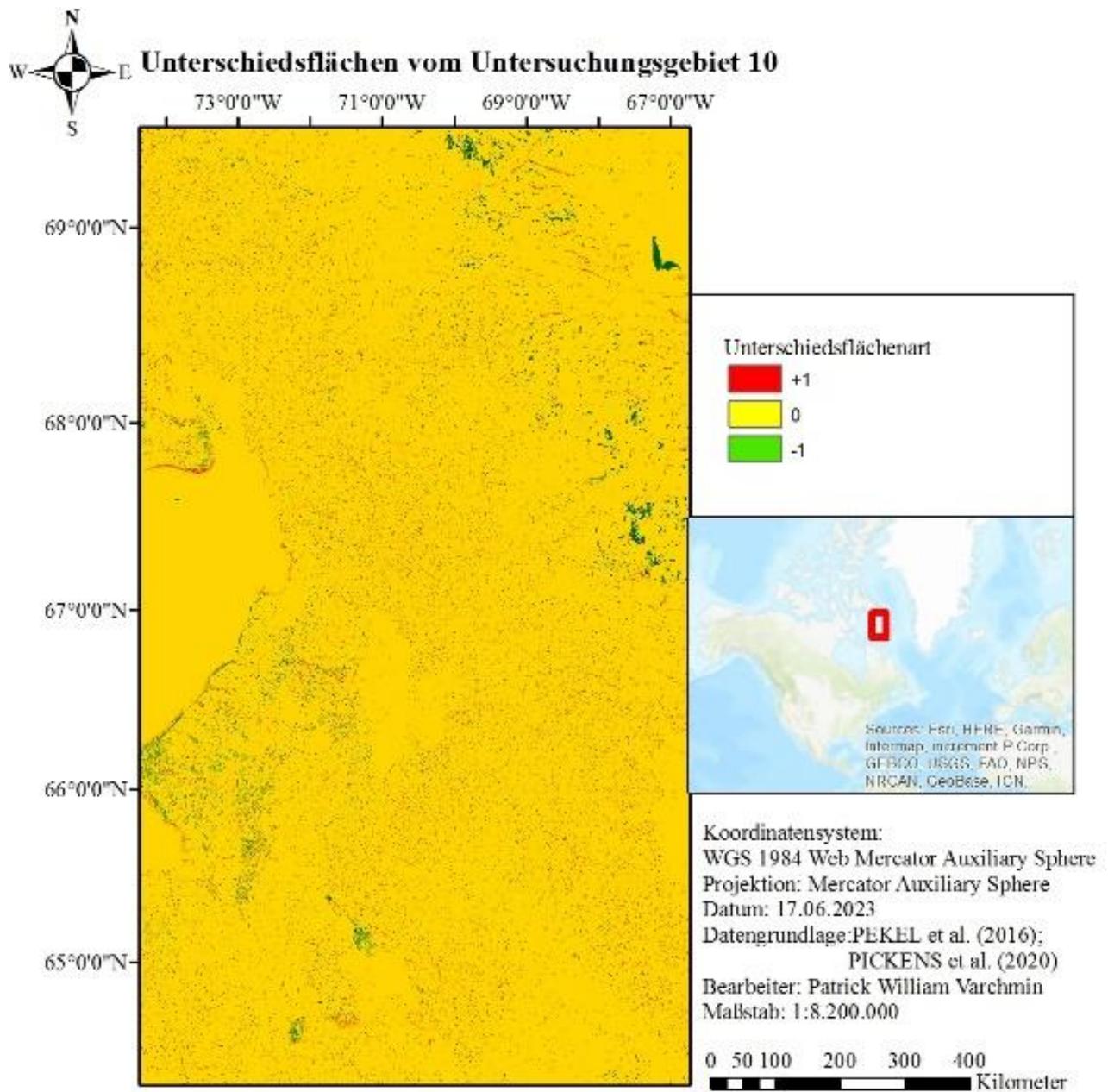


Abbildung A50: Unterschiedsflächen vom Untersuchungsgebiet 10 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

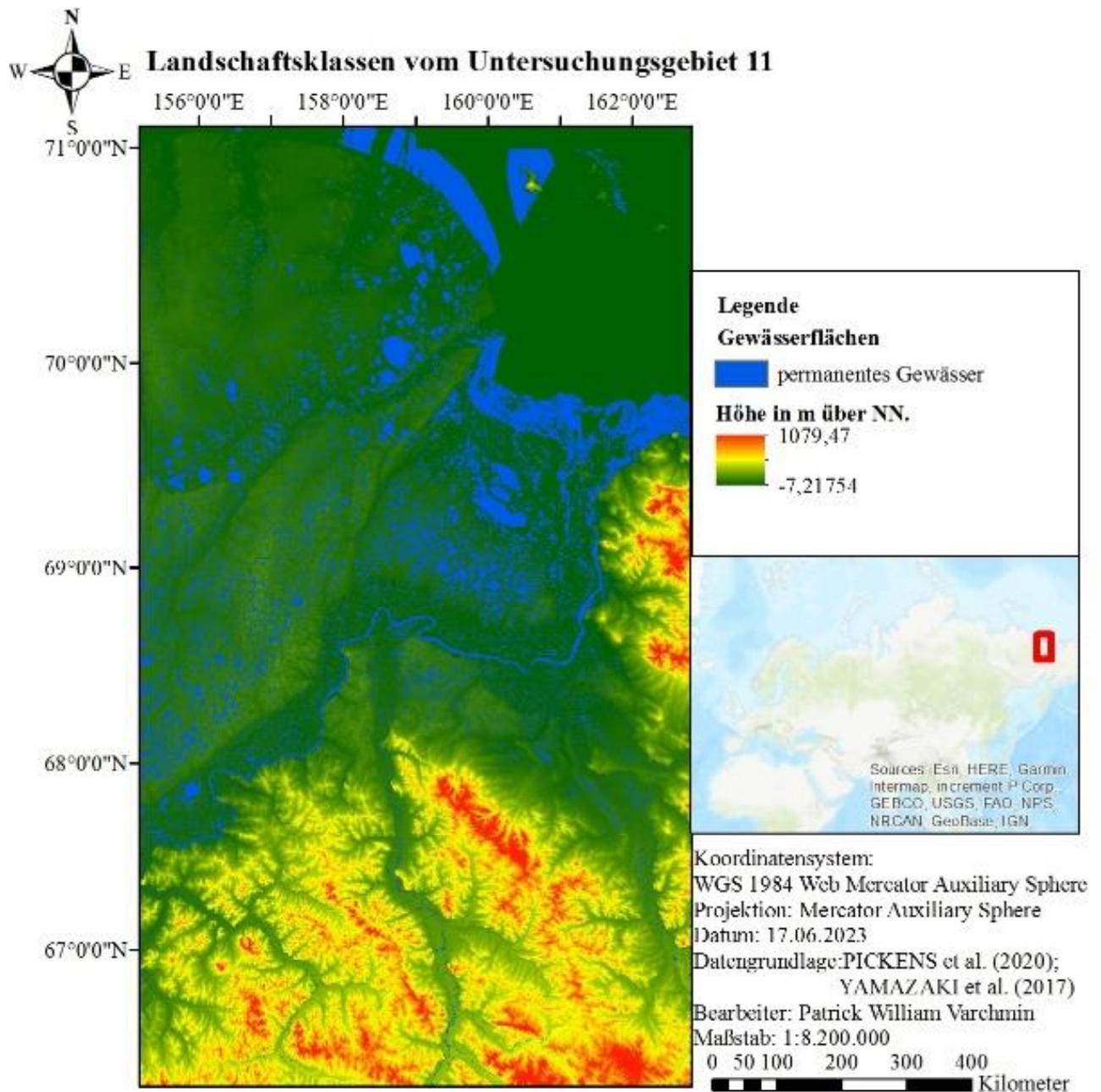


Abbildung A51: Übersichtskarte vom Untersuchungsgebiet 11 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

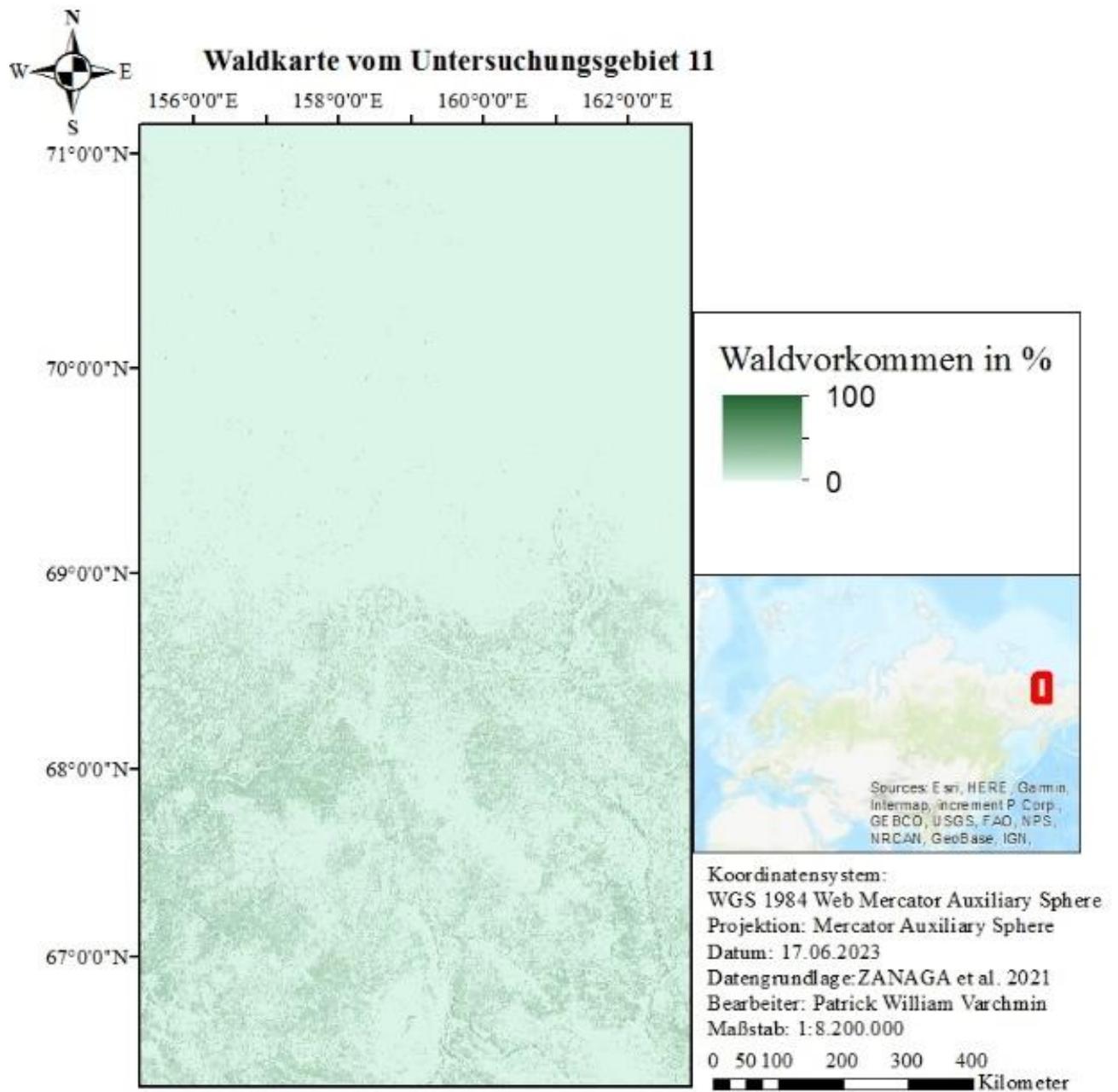


Abbildung A52: Waldkarte vom Untersuchungsgebiet 11 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

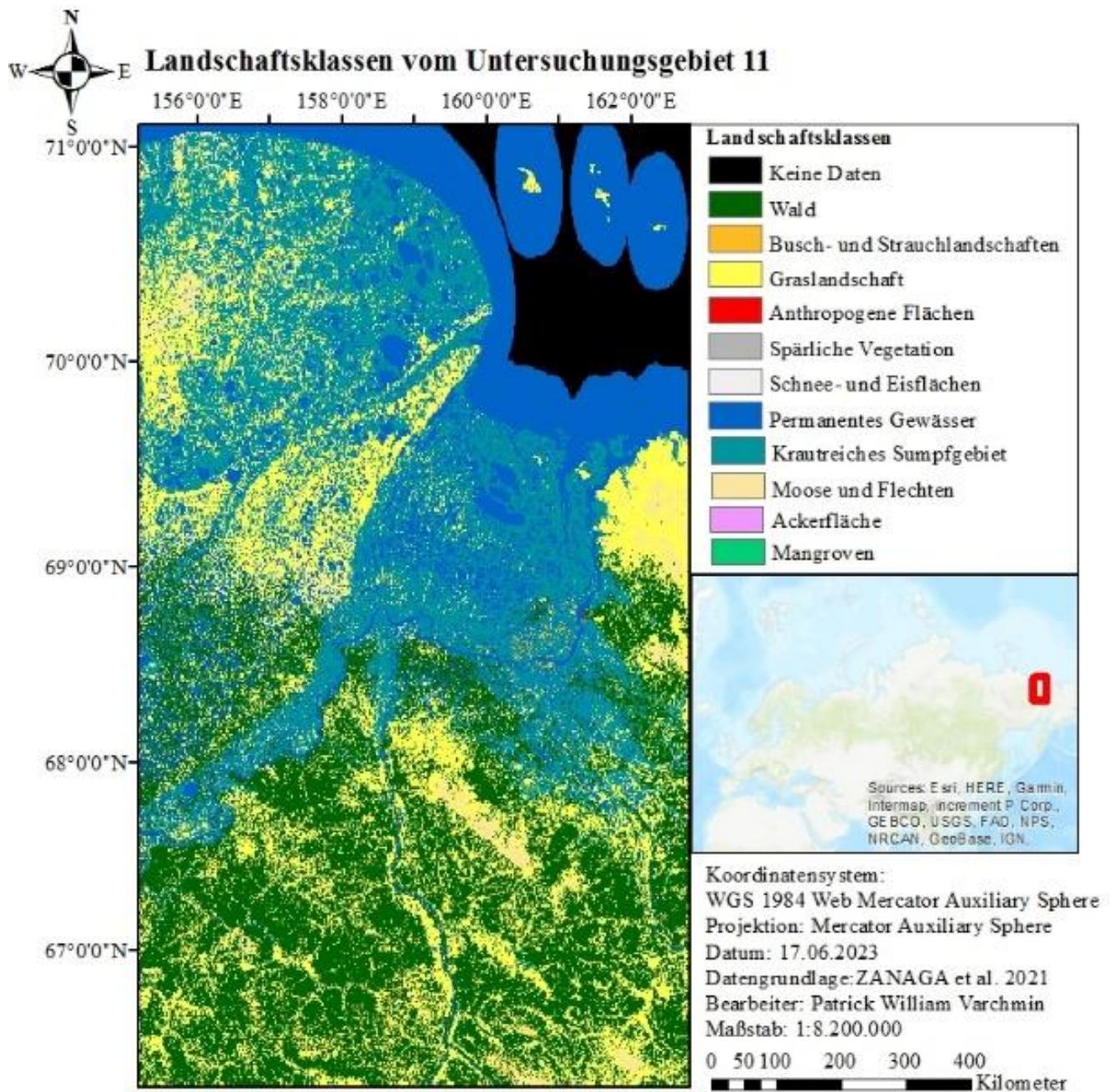
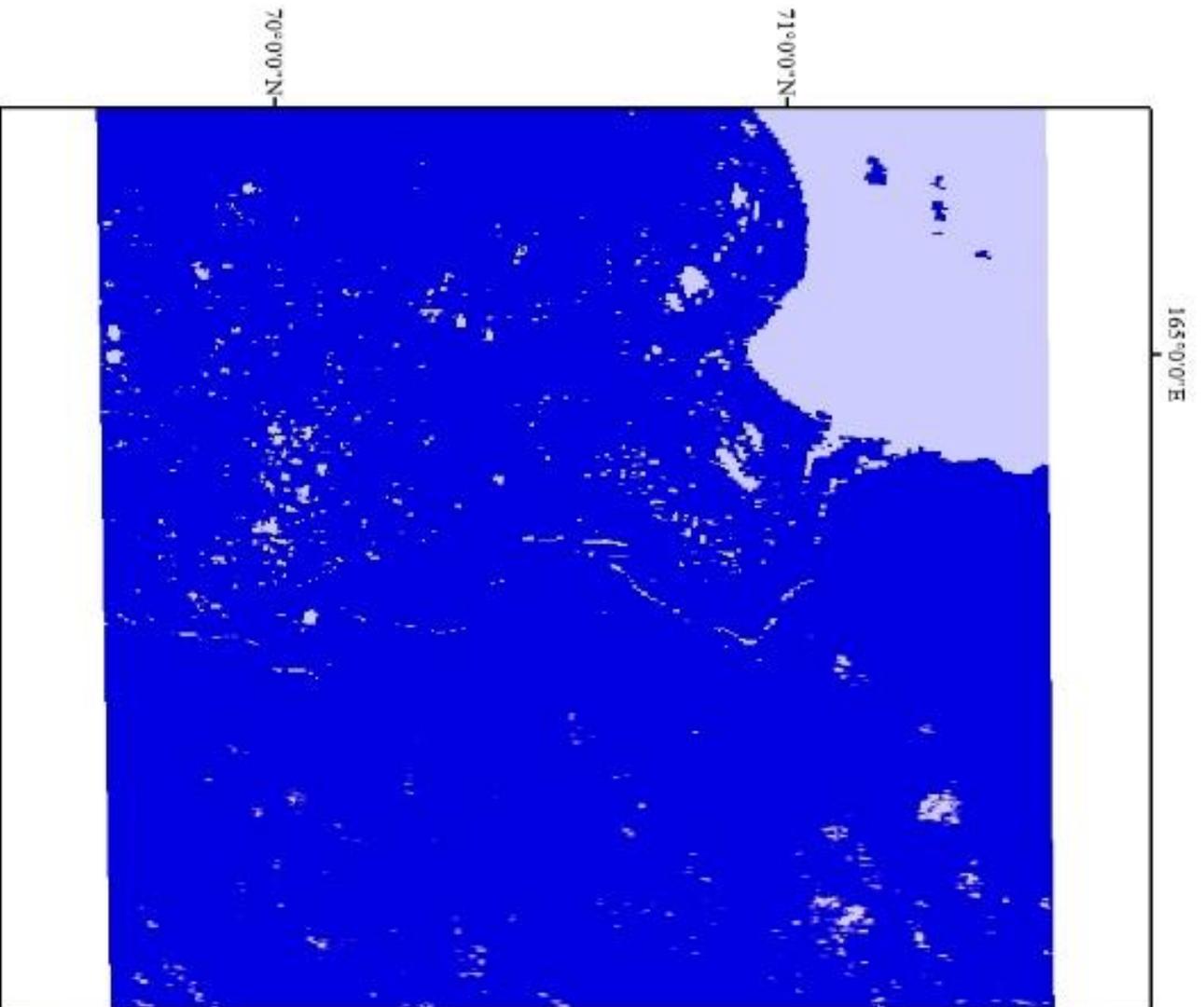


Abbildung A53: Landschaftsklassen vom Untersuchungsgebiet 11 (Eigene Darstellung 17.06.2023)



Permafrostgehalt vom Untersuchungsgebiet 11



Abbildung A54: Permafrostkarte vom Untersuchungsgebiet 11 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

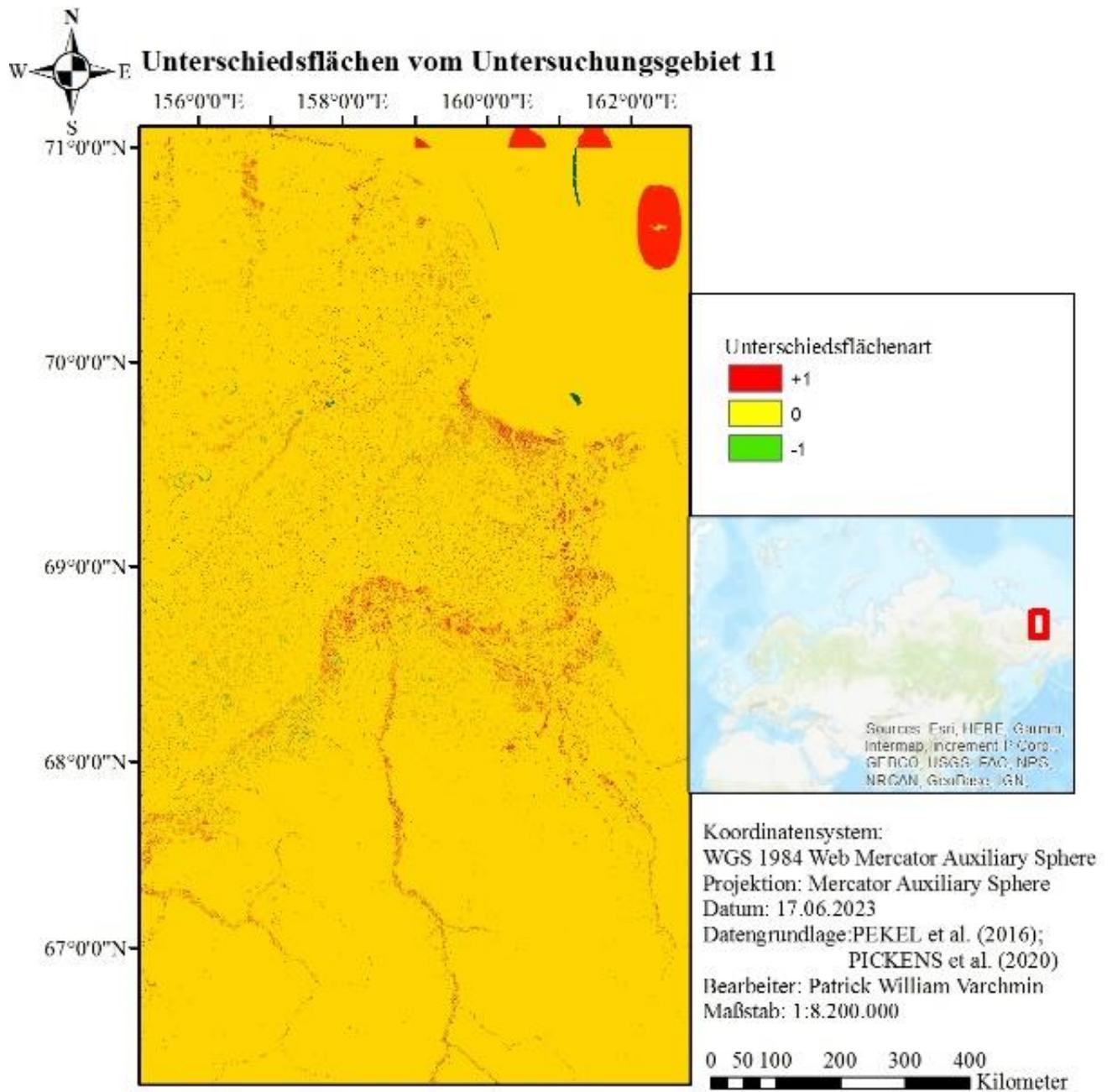


Abbildung A55: Unterschiedsflächen vom Untersuchungsgebiet 11 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

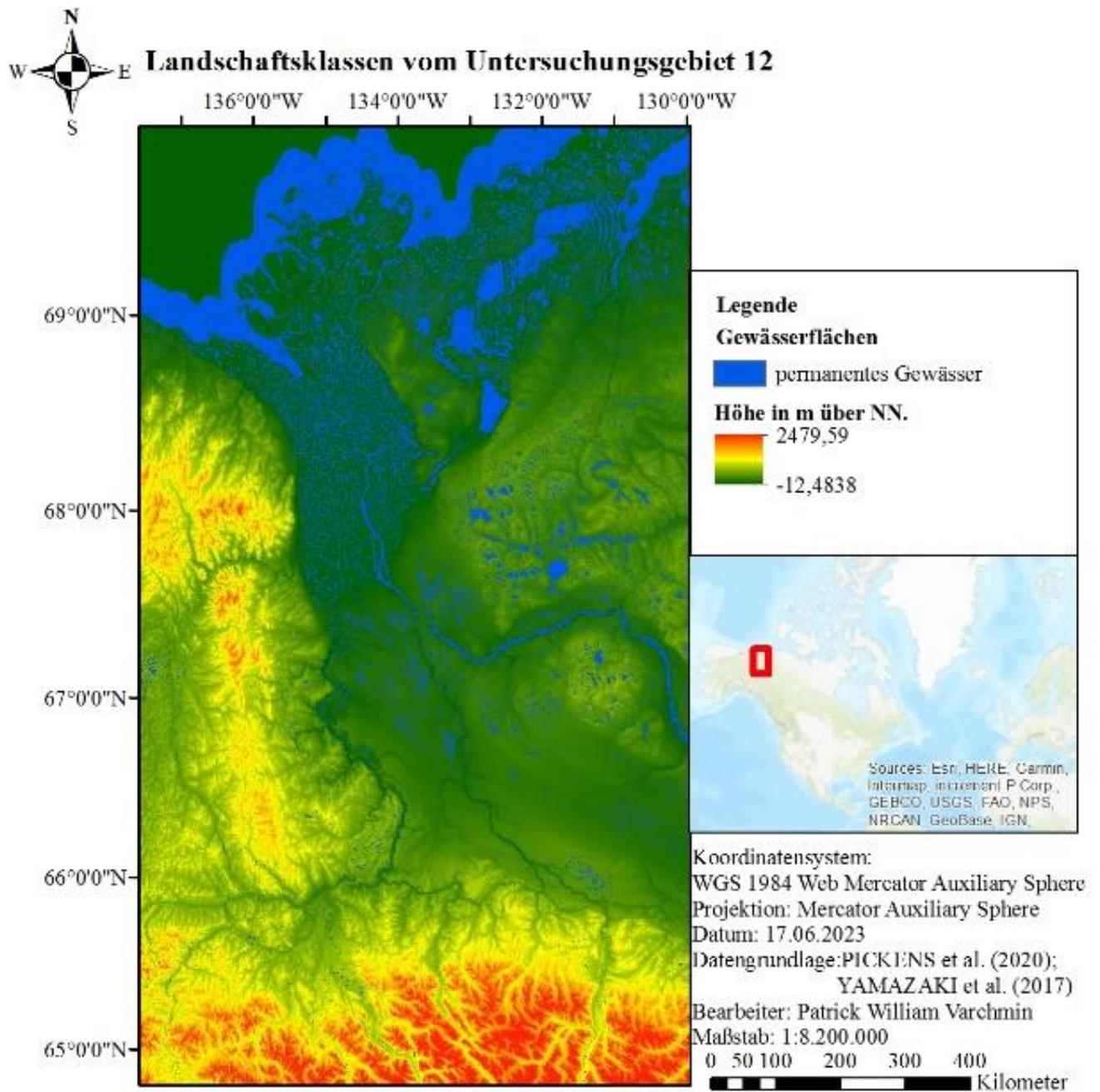


Abbildung A56: Übersichtskarte vom Untersuchungsgebiet 12 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

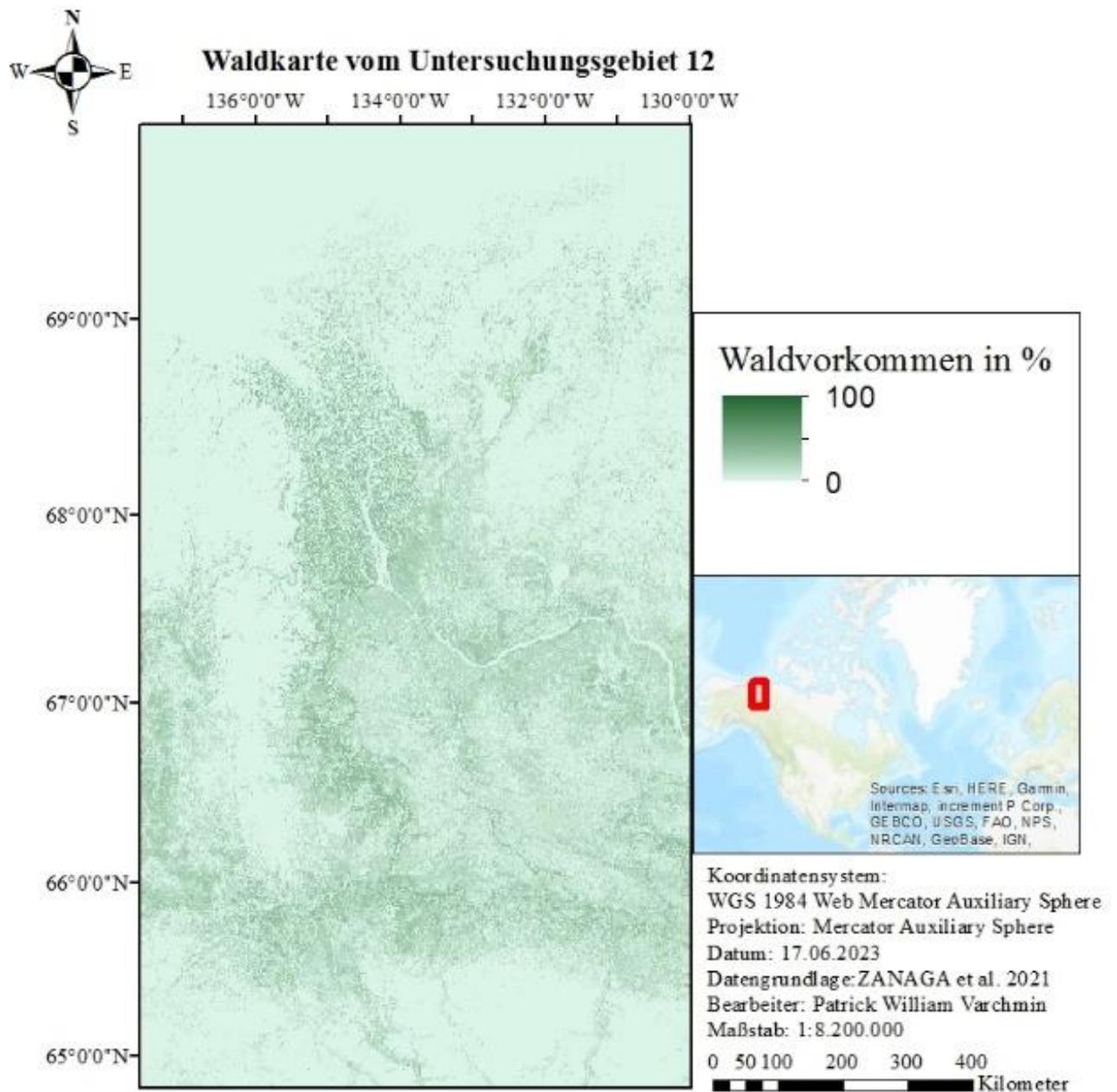


Abbildung A57: Waldkarte vom Untersuchungsgebiet 12 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

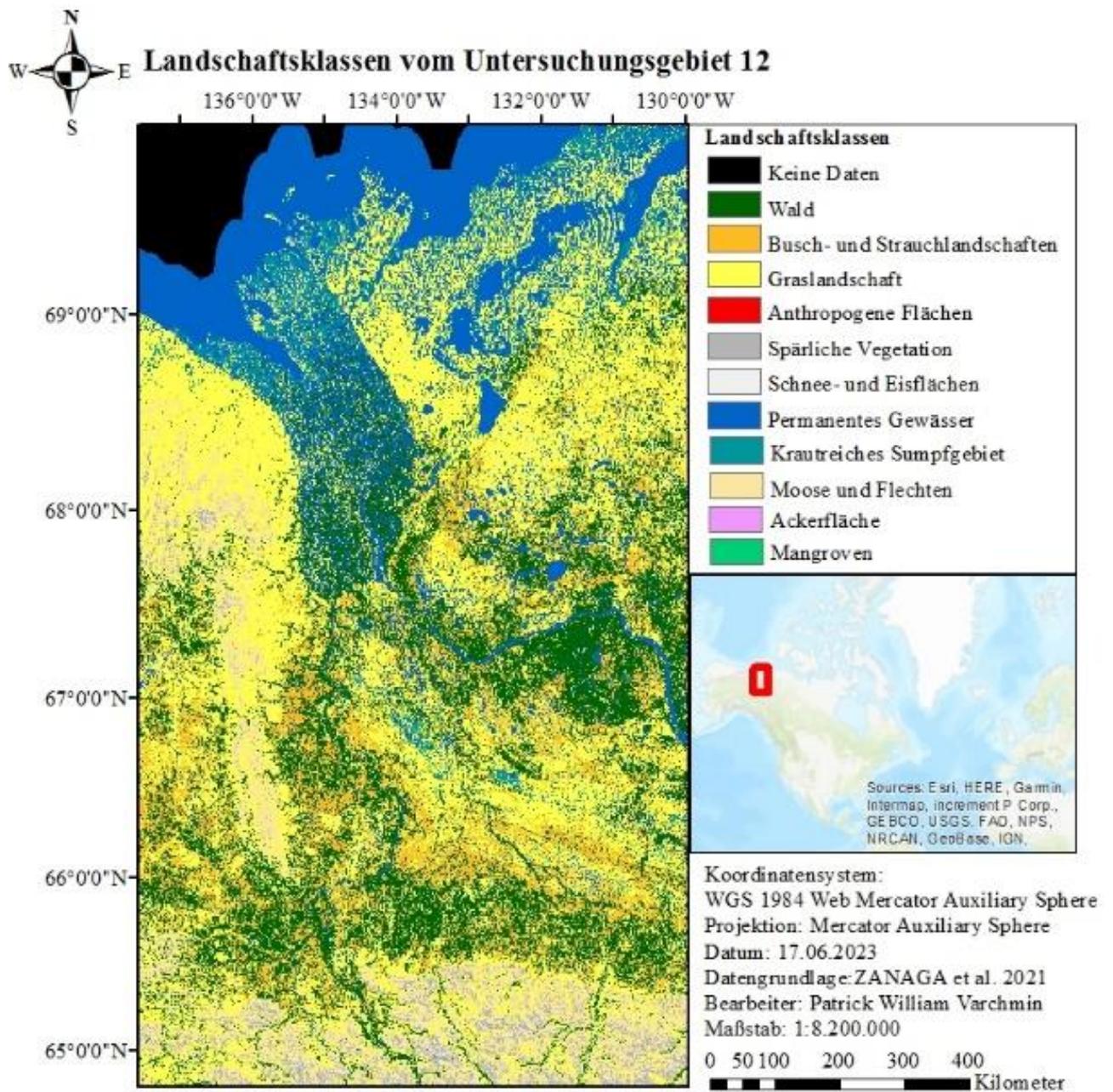
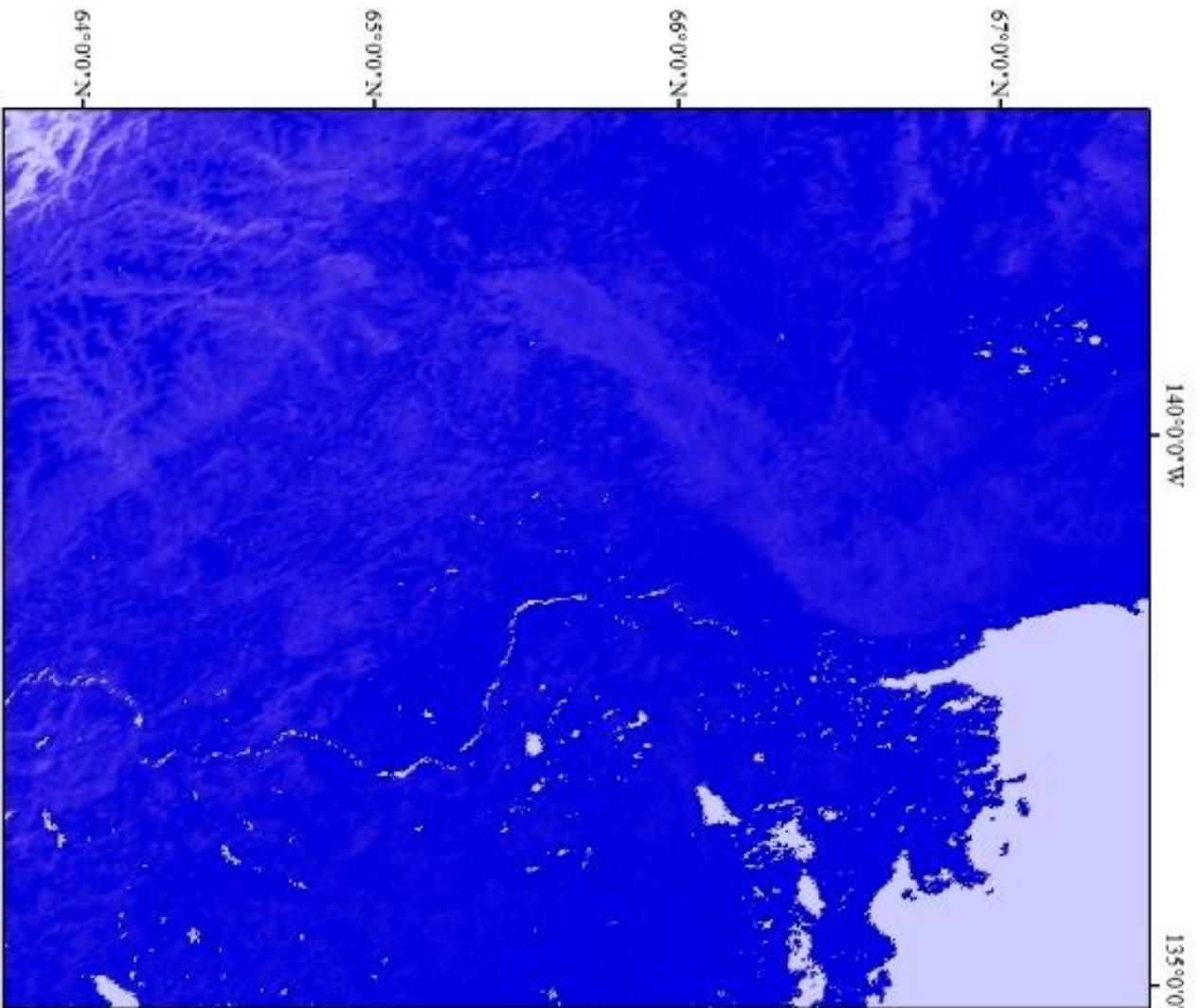


Abbildung A58: Landschaftsklassen vom Untersuchungsgebiet 12 (Eigene Darstellung 17.06.2023)



Permafrostgehalt vom Untersuchungsgebiet 12



Abbildung A59: Permafrostkarte vom Untersuchungsgebiet 12 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

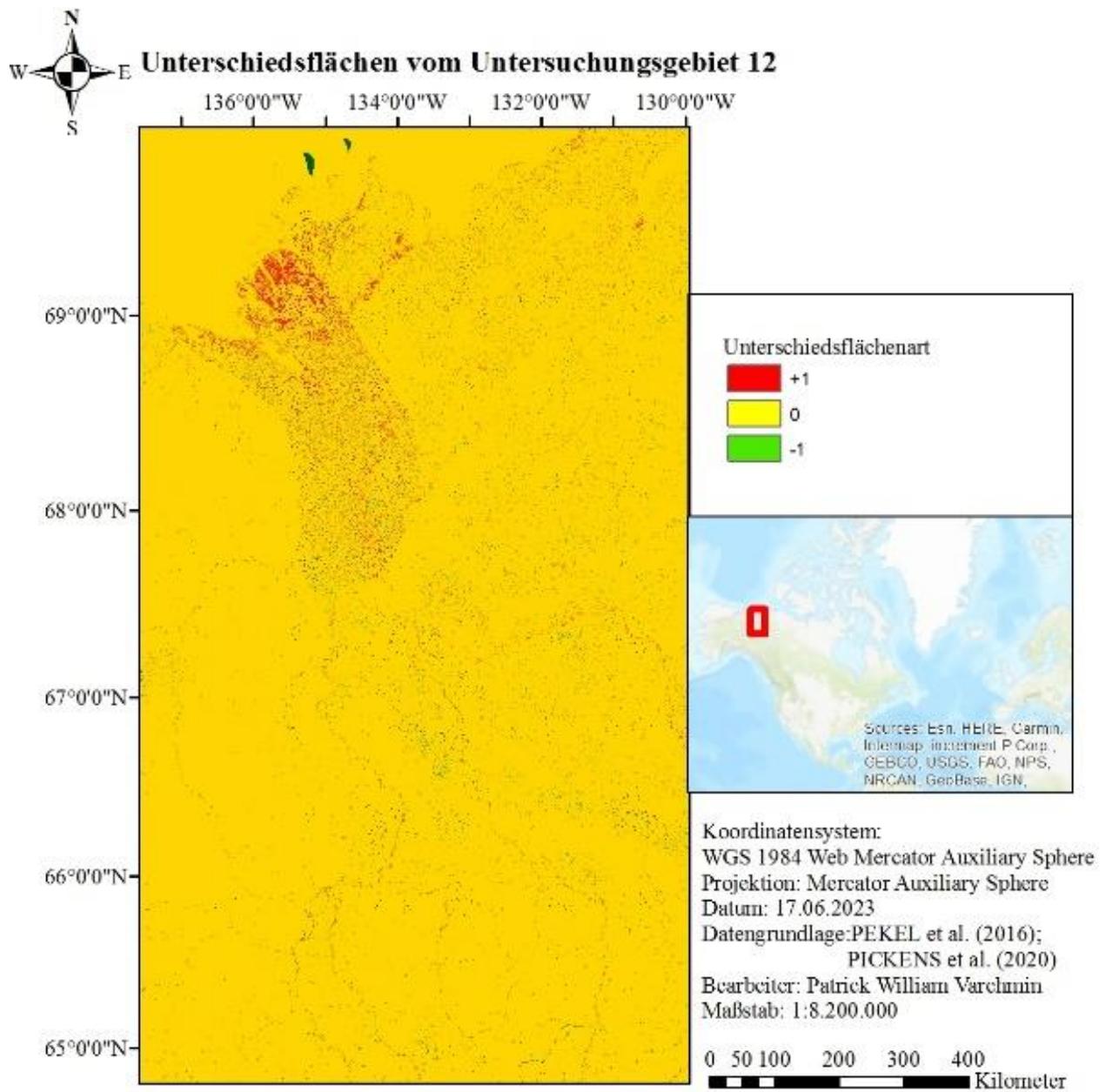


Abbildung A60: Unterschiedsflächen vom Untersuchungsgebiet 12 (Eigene Darstellung 17.06.2023)

Anhang B: Tabellen

Die Tabellen sind für angemeldete Nutzer der „*Google Docs*“ auch interaktiv einsehbar unter:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1RlKL25jIOJR_26RxmOJuyUaUybZDj6qkffqXBmFPZOI/edit?usp=sharing (Tabelle zu den Untersuchungsgebieten)

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1P3qS4t0tzocFJvNbL3eotDa2SZwWFWsnQ147gYaPq7w/edit?usp=sharing> (Tabelle zu den Bufferdistanzen)

UG1	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Accuracy	95,5%	95,6%	98,5%	97,5%	95,6%	95,9%	96,1%	97,3%	96,6%	96,3%	96,7%	96,4%	96,8%	94,3%	95,3%	95,1%	94,7%	96,2%	97,0%	96,5%	96,1%
Precision	97,5%	97,5%	99,2%	98,7%	97,6%	97,7%	97,8%	98,5%	98,1%	98,0%	98,2%	98,0%	98,2%	96,3%	96,8%	96,7%	97,1%	97,8%	98,2%	97,8%	97,6%
Recall	97,5%	97,5%	99,2%	98,7%	97,6%	97,7%	97,8%	98,5%	98,1%	98,0%	98,2%	98,0%	98,2%	96,2%	96,8%	96,5%	96,7%	97,7%	98,2%	97,7%	97,5%
User Accuracy	97,7%	97,8%	99,3%	98,7%	97,8%	97,9%	98,0%	98,6%	98,3%	98,1%	98,3%	98,2%	98,4%	97,0%	97,6%	97,4%	97,1%	98,0%	98,5%	98,2%	97,9%
Producer Accuracy	97,7%	97,8%	99,3%	98,7%	97,8%	97,9%	98,0%	98,6%	98,3%	98,1%	98,3%	98,2%	98,4%	97,2%	97,6%	97,5%	97,5%	98,1%	98,5%	98,3%	98,1%
PA1	97,5%	97,5%	99,2%	98,7%	97,6%	97,7%	97,8%	98,5%	98,1%	98,0%	98,2%	98,0%	98,2%	96,2%	96,8%	96,5%	96,7%	97,7%	98,2%	97,7%	97,5%
PA2	81,2%	81,2%	90,4%	79,6%	74,4%	80,0%	81,4%	85,7%	84,5%	81,9%	82,4%	83,2%	85,9%	88,9%	91,1%	91,2%	83,9%	87,0%	91,6%	92,9%	90,0%
PA3	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	100,0%	99,8%
UA1	97,5%	97,5%	99,2%	98,7%	97,6%	97,7%	97,8%	98,5%	98,1%	98,0%	98,2%	98,0%	98,2%	96,3%	96,8%	96,7%	97,1%	97,8%	98,2%	97,8%	97,6%
UA2	81,2%	81,2%	90,4%	79,6%	74,4%	79,9%	81,3%	85,7%	84,5%	81,9%	82,3%	83,2%	85,9%	88,5%	91,0%	90,8%	82,0%	86,5%	91,5%	92,7%	89,5%
UA3	99,6%	98,8%	98,1%	98,5%	98,6%	98,6%	99,6%	98,9%	99,2%	99,7%	98,7%	99,7%	99,1%	99,8%	99,7%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,8%	100,0%
Overall Accuracy	95,5%	95,6%	98,5%	97,5%	95,6%	95,9%	96,1%	97,3%	96,6%	96,3%	96,7%	96,4%	96,8%	94,3%	95,3%	95,1%	94,7%	96,2%	97,0%	96,5%	96,1%
F1	97,5%	97,5%	99,2%	98,7%	97,6%	97,7%	97,8%	98,5%	98,1%	98,0%	98,2%	98,0%	98,2%	96,2%	96,8%	96,6%	96,9%	97,8%	98,2%	97,7%	97,6%
UG2	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Accuracy	88,2%	92,0%	97,7%	93,3%	90,8%	89,6%	86,5%	89,9%	93,0%	87,3%	91,0%	87,1%	82,0%	86,1%	86,7%	86,2%	91,6%	92,8%	89,1%	90,0%	91,6%
Precision	92,7%	95,0%	98,3%	95,8%	94,1%	93,2%	91,7%	93,9%	95,7%	92,5%	94,3%	92,1%	88,2%	90,0%	89,9%	88,3%	94,6%	95,2%	92,4%	92,7%	93,9%
Recall	92,6%	95,0%	98,3%	95,8%	94,1%	93,2%	91,5%	93,7%	95,6%	92,1%	94,2%	91,9%	88,1%	89,7%	89,7%	88,2%	94,2%	94,9%	92,2%	92,4%	93,7%
User Accuracy	93,7%	95,8%	98,8%	96,5%	95,2%	94,5%	92,7%	94,6%	96,4%	93,0%	95,2%	93,0%	90,1%	92,4%	92,8%	92,5%	95,4%	96,1%	94,2%	94,6%	95,5%
Producer Accuracy	93,8%	95,8%	98,8%	96,5%	95,2%	94,5%	92,8%	94,8%	96,4%	93,4%	95,3%	93,2%	90,1%	92,7%	92,9%	92,6%	95,8%	96,3%	94,4%	94,9%	95,7%
PA1	92,6%	95,0%	98,3%	95,8%	94,1%	93,2%	91,5%	93,7%	95,6%	92,1%	94,2%	91,9%	88,1%	89,7%	89,7%	88,2%	94,2%	94,9%	92,2%	92,4%	93,7%
PA2	71,4%	79,5%	96,4%	82,4%	78,6%	77,3%	65,1%	73,5%	82,0%	64,1%	78,9%	66,9%	62,3%	78,5%	80,8%	83,4%	83,6%	86,8%	82,0%	85,2%	87,3%

PA3	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	100,0%
UA1	92,7%	95,0%	98,3%	95,8%	94,1%	93,2%	91,7%	93,9%	95,7%	92,5%	94,3%	92,1%	88,2%	90,0%	89,9%	88,3%	94,6%	95,2%	92,4%	92,7%	93,9%
UA2	71,1%	79,5%	96,4%	82,4%	78,6%	77,3%	64,6%	73,0%	82,0%	62,7%	78,6%	66,4%	62,1%	77,9%	80,6%	83,2%	82,3%	86,1%	81,4%	84,6%	86,8%
UA3	93,3%	90,3%	86,7%	91,3%	89,6%	88,6%	93,7%	95,5%	89,6%	95,5%	92,7%	94,5%	93,5%	96,6%	96,8%	96,1%	98,6%	98,1%	97,3%	97,1%	98,8%
Overall Accuracy	88,2%	92,0%	97,7%	93,3%	90,8%	89,6%	86,5%	89,9%	93,0%	87,3%	91,0%	87,1%	82,0%	86,1%	86,7%	86,2%	91,6%	92,8%	89,1%	90,0%	91,6%
F1	92,6%	95,0%	98,3%	95,8%	94,1%	93,2%	91,6%	93,8%	95,7%	92,3%	94,3%	92,0%	88,2%	89,8%	89,8%	88,2%	94,4%	95,1%	92,3%	92,5%	93,8%
UG3	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Accuracy	89,5%	87,5%	92,5%	88,2%	92,1%	91,5%	93,1%	96,1%	94,0%	94,3%	92,8%	94,0%	94,8%	93,4%	94,6%	88,8%	90,4%	89,6%	91,3%	90,1%	90,0%
Precision	93,3%	91,5%	95,1%	92,5%	94,9%	94,5%	95,7%	97,6%	96,2%	96,6%	95,3%	96,2%	96,7%	95,4%	96,1%	91,7%	93,6%	93,6%	94,2%	93,6%	93,3%
Recall	93,2%	91,3%	95,0%	92,5%	94,9%	94,5%	95,5%	97,6%	96,1%	96,4%	95,3%	96,2%	96,7%	95,2%	95,9%	91,5%	92,6%	92,4%	93,6%	92,7%	92,4%
User Accuracy	94,4%	93,3%	96,0%	93,8%	95,9%	95,5%	96,3%	98,0%	96,9%	96,9%	96,3%	96,9%	97,3%	96,5%	97,2%	94,0%	94,6%	94,0%	95,2%	94,4%	94,4%
Producer Accuracy	94,5%	93,4%	96,1%	93,8%	95,9%	95,6%	96,5%	98,0%	96,9%	97,2%	96,3%	96,9%	97,3%	96,6%	97,3%	94,1%	95,3%	95,0%	95,7%	95,1%	95,1%
PA1	93,2%	91,3%	95,0%	92,5%	94,9%	94,5%	95,5%	97,6%	96,1%	96,4%	95,3%	96,2%	96,7%	95,2%	95,9%	91,5%	92,6%	92,4%	93,6%	92,7%	92,4%
PA2	76,3%	77,8%	84,2%	73,3%	82,3%	81,1%	84,2%	89,8%	86,9%	84,8%	84,4%	86,3%	88,0%	89,1%	92,0%	83,4%	85,3%	81,4%	85,5%	83,1%	84,5%
PA3	100,0%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	99,9%	99,5%	99,6%	99,9%	99,5%	99,5%	99,6%	99,7%	99,8%	99,8%	99,9%	99,8%
UA1	93,3%	91,5%	95,1%	92,5%	94,9%	94,5%	95,7%	97,6%	96,2%	96,6%	95,3%	96,2%	96,7%	95,4%	96,1%	91,7%	93,6%	93,6%	94,2%	93,6%	93,3%
UA2	76,0%	77,4%	83,8%	73,2%	82,3%	81,0%	83,6%	89,7%	86,6%	83,7%	84,4%	86,3%	88,0%	88,7%	91,6%	83,1%	83,2%	78,4%	84,0%	81,1%	82,5%
UA3	97,6%	97,4%	98,7%	92,5%	97,4%	97,3%	98,8%	99,7%	98,6%	99,6%	99,2%	99,6%	99,2%	99,7%	99,8%	98,0%	99,7%	99,6%	99,7%	99,4%	99,8%
Overall Accuracy	89,5%	87,5%	92,5%	88,2%	92,1%	91,5%	93,1%	96,1%	94,0%	94,3%	92,8%	94,0%	94,8%	93,4%	94,6%	88,8%	90,4%	89,6%	91,3%	90,1%	90,0%
F1	93,2%	91,4%	95,1%	92,5%	94,9%	94,5%	95,6%	97,6%	96,1%	96,5%	95,3%	96,2%	96,7%	95,3%	96,0%	91,6%	93,1%	93,0%	93,9%	93,1%	92,9%
UG4	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Accuracy	97,5%	98,4%	99,2%	99,2%	99,0%	97,7%	98,7%	98,1%	98,9%	98,0%	97,9%	98,3%	98,5%	96,3%	97,9%	92,9%	91,9%	95,2%	94,3%	95,6%	94,0%
Precision	98,5%	99,1%	99,5%	99,6%	99,4%	98,7%	99,3%	98,9%	99,4%	98,8%	98,8%	98,9%	99,1%	97,5%	98,3%	94,5%	94,0%	96,5%	95,9%	97,0%	95,7%
Recall	98,5%	99,1%	99,5%	99,6%	99,4%	98,7%	99,3%	98,9%	99,4%	98,8%	98,8%	98,9%	99,1%	97,6%	98,6%	94,5%	93,9%	96,5%	95,8%	96,9%	95,5%
User Accuracy	98,7%	99,2%	99,6%	99,6%	99,5%	98,8%	99,4%	99,0%	99,5%	99,0%	98,9%	99,1%	99,2%	98,2%	99,0%	96,3%	95,8%	97,5%	97,0%	97,7%	96,8%
Producer Accuracy	98,7%	99,2%	99,6%	99,6%	99,5%	98,8%	99,4%	99,1%	99,5%	99,0%	98,9%	99,1%	99,2%	98,1%	98,8%	96,3%	95,8%	97,5%	97,1%	97,7%	97,0%
PA1	98,5%	99,1%	99,5%	99,6%	99,4%	98,7%	99,3%	98,9%	99,4%	98,8%	98,8%	98,9%	99,1%	97,6%	98,6%	94,5%	93,9%	96,5%	95,8%	96,9%	95,5%
PA2	90,5%	93,4%	97,5%	92,8%	95,2%	89,7%	92,7%	92,2%	96,0%	92,5%	92,9%	95,9%	93,9%	92,6%	96,1%	90,0%	87,9%	92,2%	90,9%	91,8%	90,6%
PA3	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,7%	99,6%	100,0%	99,9%	100,0%	99,9%	100,0%	99,8%

UA1	98,5%	99,1%	99,5%	99,6%	99,4%	98,7%	99,3%	98,9%	99,4%	98,8%	98,8%	98,9%	99,1%	97,5%	98,3%	94,5%	94,0%	96,5%	95,9%	97,0%	95,7%
UA2	90,5%	93,4%	97,5%	92,8%	95,2%	89,7%	92,7%	92,0%	96,0%	92,4%	92,9%	96,0%	93,9%	92,9%	96,7%	89,9%	87,7%	92,2%	90,6%	91,7%	90,3%
UA3	99,6%	99,7%	99,4%	98,9%	97,4%	99,6%	99,3%	99,6%	99,5%	99,7%	99,5%	99,5%	99,4%	99,8%	99,7%	97,8%	97,3%	99,1%	99,9%	99,5%	99,8%
Overall Accuracy	97,5%	98,4%	99,2%	99,2%	99,0%	97,7%	98,7%	98,1%	98,9%	98,0%	97,9%	98,3%	98,5%	96,3%	97,9%	92,9%	91,9%	95,2%	94,3%	95,6%	94,0%
F1	98,5%	99,1%	99,5%	99,6%	99,4%	98,7%	99,3%	98,9%	99,4%	98,8%	98,8%	98,9%	99,1%	97,5%	98,5%	94,5%	94,0%	96,5%	95,9%	97,0%	95,6%
UG5	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Accuracy	97,1%	97,2%	96,6%	98,0%	95,4%	97,1%	98,6%	96,6%	97,0%	98,3%	97,3%	98,7%	97,7%	97,0%	95,1%	95,5%	96,2%	96,5%	96,1%	95,0%	97,4%
Precision	98,4%	98,4%	98,1%	98,9%	97,5%	98,4%	99,2%	98,2%	98,4%	99,1%	98,5%	99,3%	98,7%	98,3%	97,2%	97,4%	97,9%	98,0%	97,5%	97,1%	98,5%
Recall	98,4%	98,4%	98,1%	98,9%	97,5%	98,3%	99,2%	98,1%	98,4%	99,1%	98,4%	99,3%	98,7%	98,2%	96,7%	97,2%	97,5%	97,7%	97,4%	96,8%	98,4%
User Accuracy	98,5%	98,6%	98,3%	99,0%	97,7%	98,5%	99,3%	98,3%	98,5%	99,1%	98,6%	99,3%	98,8%	98,5%	97,3%	97,6%	97,9%	98,1%	97,9%	97,3%	98,7%
Producer Accuracy	98,5%	98,6%	98,3%	99,0%	97,7%	98,5%	99,3%	98,3%	98,5%	99,1%	98,6%	99,3%	98,8%	98,5%	97,7%	97,8%	98,2%	98,3%	98,1%	97,6%	98,7%
PA1	98,4%	98,4%	98,1%	98,9%	97,5%	98,3%	99,2%	98,1%	98,4%	99,1%	98,4%	99,3%	98,7%	98,2%	96,7%	97,2%	97,5%	97,7%	97,4%	96,8%	98,4%
PA2	84,4%	87,6%	85,0%	89,7%	76,0%	85,7%	91,8%	83,1%	82,1%	89,9%	89,5%	92,4%	90,3%	91,2%	88,5%	88,2%	89,2%	90,7%	92,0%	87,1%	92,9%
PA3	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	99,9%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%
UA1	98,4%	98,4%	98,1%	98,9%	97,5%	98,4%	99,2%	98,2%	98,4%	99,1%	98,5%	99,3%	98,7%	98,3%	97,2%	97,4%	97,9%	98,0%	97,5%	97,1%	98,5%
UA2	84,3%	87,6%	84,8%	89,7%	76,0%	85,3%	91,8%	82,9%	81,6%	89,9%	89,4%	92,4%	90,3%	90,9%	86,9%	87,2%	87,5%	89,4%	91,5%	86,0%	92,5%
UA3	98,9%	99,4%	99,7%	99,1%	98,6%	99,7%	99,9%	99,4%	99,7%	99,7%	99,6%	99,6%	99,3%	99,9%	99,8%	99,7%	100,0%	100,0%	99,9%	99,9%	99,9%
Overall Accuracy	97,1%	97,2%	96,6%	98,0%	95,4%	97,1%	98,6%	96,6%	97,0%	98,3%	97,3%	98,7%	97,7%	97,0%	95,1%	95,5%	96,2%	96,5%	96,1%	95,0%	97,4%
F1	98,4%	98,4%	98,1%	98,9%	97,5%	98,4%	99,2%	98,1%	98,4%	99,1%	98,5%	99,3%	98,7%	98,2%	96,9%	97,3%	97,7%	97,9%	97,4%	97,0%	98,4%
UG6	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Accuracy	96,6%	97,4%	94,3%	98,7%	95,8%	94,7%	95,1%	94,6%	94,4%	95,4%	96,3%	95,8%	97,0%	95,9%	93,2%	90,6%	93,1%	94,9%	95,5%	94,0%	95,7%
Precision	98,1%	98,5%	96,8%	99,3%	97,7%	97,1%	97,2%	96,9%	96,9%	97,4%	98,0%	97,6%	98,3%	97,5%	96,0%	94,0%	95,8%	96,9%	97,0%	96,5%	97,3%
Recall	98,1%	98,5%	96,8%	99,3%	97,7%	97,0%	97,1%	96,8%	96,8%	97,4%	97,9%	97,6%	98,3%	97,5%	95,8%	93,7%	95,5%	96,7%	97,0%	96,4%	97,2%
User Accuracy	98,3%	98,7%	97,1%	99,3%	97,9%	97,3%	97,4%	97,2%	97,1%	97,6%	98,1%	97,8%	98,5%	97,9%	96,4%	94,9%	96,3%	97,3%	97,7%	96,8%	97,8%
Producer Accuracy	98,3%	98,7%	97,1%	99,3%	97,9%	97,3%	97,5%	97,3%	97,2%	97,6%	98,1%	97,8%	98,5%	97,9%	96,6%	95,2%	96,6%	97,4%	97,7%	97,0%	97,9%
PA1	98,1%	98,5%	96,8%	99,3%	97,7%	97,0%	97,1%	96,8%	96,8%	97,4%	97,9%	97,6%	98,3%	97,5%	95,8%	93,7%	95,5%	96,7%	97,0%	96,4%	97,2%
PA2	87,1%	88,4%	75,0%	88,5%	79,9%	76,0%	80,7%	80,5%	77,7%	81,1%	82,1%	82,8%	89,2%	87,9%	81,4%	80,4%	83,6%	87,2%	91,2%	81,0%	90,7%
PA3	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	99,8%	99,9%	100,0%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	99,9%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%
UA1	98,1%	98,5%	96,8%	99,3%	97,7%	97,1%	97,2%	96,9%	96,9%	97,4%	98,0%	97,6%	98,3%	97,5%	96,0%	94,0%	95,8%	96,9%	97,0%	96,5%	97,3%

UA2	87,1%	88,4%	74,9%	88,5%	79,9%	75,5%	80,3%	80,1%	77,2%	80,9%	81,8%	82,7%	89,2%	87,7%	80,7%	79,5%	82,4%	86,8%	91,1%	80,3%	90,3%
UA3	99,6%	99,1%	99,5%	97,0%	99,0%	99,6%	99,7%	99,9%	99,8%	99,7%	99,9%	99,4%	99,0%	99,8%	99,8%	99,8%	99,9%	99,9%	99,5%	99,9%	99,9%
Overall Accuracy	96,6%	97,4%	94,3%	98,7%	95,8%	94,7%	95,1%	94,6%	94,4%	95,4%	96,3%	95,8%	97,0%	95,9%	93,2%	90,6%	93,1%	94,9%	95,5%	94,0%	95,7%
F1	98,1%	98,5%	96,8%	99,3%	97,7%	97,0%	97,2%	96,9%	96,8%	97,4%	98,0%	97,6%	98,3%	97,5%	95,9%	93,9%	95,7%	96,8%	97,0%	96,4%	97,2%
UG7	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Accuracy	97,2%	96,5%	96,9%	96,5%	97,1%	96,7%	96,8%	97,2%	96,8%	97,1%	95,8%	97,5%	96,4%	95,9%	95,5%	95,8%	96,4%	96,8%	96,5%	96,8%	96,3%
Precision	98,5%	98,0%	98,3%	98,1%	98,4%	98,1%	98,2%	98,4%	98,2%	98,4%	97,7%	98,6%	98,0%	97,4%	97,1%	97,3%	97,6%	98,0%	97,7%	97,9%	97,7%
Recall	98,5%	98,0%	98,3%	98,1%	98,4%	98,1%	98,2%	98,4%	98,2%	98,4%	97,7%	98,6%	98,0%	97,4%	97,1%	97,3%	97,6%	98,0%	97,7%	97,9%	97,6%
User Accuracy	98,6%	98,2%	98,4%	98,2%	98,6%	98,3%	98,4%	98,6%	98,4%	98,5%	97,9%	98,8%	98,2%	97,9%	97,7%	97,9%	98,1%	98,4%	98,2%	98,4%	98,1%
Producer Accuracy	98,6%	98,2%	98,4%	98,2%	98,6%	98,3%	98,4%	98,6%	98,4%	98,5%	97,9%	98,8%	98,2%	97,9%	97,7%	97,9%	98,1%	98,4%	98,2%	98,4%	98,1%
PA1	98,5%	98,0%	98,3%	98,1%	98,4%	98,1%	98,2%	98,4%	98,2%	98,4%	97,7%	98,6%	98,0%	97,4%	97,1%	97,3%	97,6%	98,0%	97,7%	97,9%	97,6%
PA2	85,7%	85,1%	85,7%	82,2%	86,1%	86,0%	84,8%	86,3%	85,5%	85,6%	80,8%	87,3%	84,1%	90,4%	89,9%	90,6%	92,3%	91,7%	92,8%	92,7%	91,5%
PA3	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	99,9%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%
UA1	98,5%	98,0%	98,3%	98,1%	98,4%	98,1%	98,2%	98,4%	98,2%	98,4%	97,7%	98,6%	98,0%	97,4%	97,1%	97,3%	97,6%	98,0%	97,7%	97,9%	97,7%
UA2	85,7%	85,1%	85,7%	82,2%	86,2%	86,0%	84,8%	86,3%	85,5%	85,7%	80,8%	87,3%	84,1%	90,4%	89,9%	90,6%	92,3%	91,6%	92,8%	92,7%	91,5%
UA3	97,7%	98,7%	99,0%	98,4%	99,3%	99,4%	99,1%	98,8%	99,3%	99,2%	98,8%	98,7%	97,6%	99,5%	99,5%	99,5%	99,7%	99,6%	99,4%	99,6%	99,3%
Overall Accuracy	97,2%	96,5%	96,9%	96,5%	97,1%	96,7%	96,8%	97,2%	96,8%	97,1%	95,8%	97,5%	96,4%	95,9%	95,5%	95,8%	96,4%	96,8%	96,5%	96,8%	96,3%
F1	98,5%	98,0%	98,3%	98,1%	98,4%	98,1%	98,2%	98,4%	98,2%	98,4%	97,7%	98,6%	98,0%	97,4%	97,1%	97,3%	97,6%	98,0%	97,7%	97,9%	97,6%
UG8	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Accuracy	95,8%	96,1%	97,0%	96,2%	96,7%	97,4%	96,3%	96,5%	96,8%	96,8%	96,2%	97,1%	95,0%	95,4%	94,7%	96,0%	95,3%	95,3%	96,2%	95,7%	96,6%
Precision	97,6%	97,7%	98,3%	97,9%	98,1%	98,5%	97,9%	98,0%	98,2%	98,2%	97,8%	98,4%	97,0%	96,9%	96,6%	97,2%	96,8%	96,8%	97,3%	96,9%	97,6%
Recall	97,5%	97,6%	98,3%	97,9%	98,1%	98,5%	97,9%	98,0%	98,2%	98,2%	97,8%	98,4%	97,0%	96,8%	96,5%	97,1%	96,7%	96,6%	97,2%	96,9%	97,6%
User Accuracy	97,9%	98,0%	98,5%	98,0%	98,3%	98,7%	98,1%	98,2%	98,4%	98,4%	98,0%	98,5%	97,4%	97,6%	97,3%	97,9%	97,5%	97,5%	98,0%	97,8%	98,3%
Producer Accuracy	97,9%	98,0%	98,5%	98,1%	98,3%	98,7%	98,1%	98,2%	98,4%	98,4%	98,1%	98,5%	97,4%	97,7%	97,3%	98,0%	97,6%	97,6%	98,1%	97,8%	98,3%
PA1	97,5%	97,6%	98,3%	97,9%	98,1%	98,5%	97,9%	98,0%	98,2%	98,2%	97,8%	98,4%	97,0%	96,8%	96,5%	97,1%	96,7%	96,6%	97,2%	96,9%	97,6%
PA2	85,5%	87,9%	87,0%	81,6%	88,5%	88,0%	83,8%	86,2%	85,8%	86,7%	84,8%	86,7%	84,9%	91,3%	88,6%	93,3%	91,6%	91,9%	93,6%	93,2%	94,5%
PA3	100,0%	99,9%	100,0%	99,9%	100,0%	100,0%	99,9%	99,9%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	100,0%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	100,0%	99,9%
UA1	97,6%	97,7%	98,3%	97,9%	98,1%	98,5%	97,9%	98,0%	98,2%	98,2%	97,8%	98,4%	97,0%	96,9%	96,6%	97,2%	96,8%	96,8%	97,3%	96,9%	97,6%
UA2	85,5%	87,7%	86,9%	81,5%	88,5%	88,0%	83,6%	86,2%	85,7%	86,7%	84,6%	86,6%	84,8%	91,1%	88,4%	93,2%	91,3%	91,6%	93,5%	93,1%	94,4%

UA3	97,7%	99,4%	99,2%	99,3%	99,3%	99,2%	99,5%	99,4%	99,3%	99,3%	99,5%	99,4%	98,0%	99,6%	99,4%	99,7%	99,5%	99,6%	99,4%	99,4%	99,3%
Overall Accuracy	95,8%	96,1%	97,0%	96,2%	96,7%	97,4%	96,3%	96,5%	96,8%	96,8%	96,2%	97,1%	95,0%	95,4%	94,7%	96,0%	95,3%	95,3%	96,2%	95,7%	96,6%
F1	97,6%	97,6%	98,3%	97,9%	98,1%	98,5%	97,9%	98,0%	98,2%	98,2%	97,8%	98,4%	97,0%	96,9%	96,6%	97,1%	96,7%	96,7%	97,3%	96,9%	97,6%
UG9	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Accuracy	98,0%	98,0%	98,4%	98,0%	99,3%	98,8%	97,6%	98,1%	98,6%	98,7%	98,4%	98,9%	97,8%	97,6%	98,2%	97,7%	98,1%	98,0%	98,3%	98,6%	98,4%
Precision	98,9%	98,9%	99,1%	98,9%	99,6%	99,3%	98,5%	98,9%	99,2%	99,3%	99,1%	99,4%	98,8%	98,6%	98,8%	98,6%	98,8%	98,7%	98,9%	99,1%	98,9%
Recall	98,9%	98,9%	99,1%	98,9%	99,6%	99,3%	98,8%	98,9%	99,2%	99,3%	99,1%	99,4%	98,8%	98,6%	98,9%	98,6%	98,9%	98,7%	98,9%	99,1%	98,9%
User Accuracy	99,0%	99,0%	99,2%	99,0%	99,7%	99,4%	98,9%	99,1%	99,3%	99,4%	99,2%	99,5%	98,9%	98,8%	99,1%	98,9%	99,1%	99,0%	99,1%	99,3%	99,2%
Producer Accuracy	99,0%	99,0%	99,2%	99,0%	99,7%	99,4%	98,7%	99,0%	99,3%	99,4%	99,2%	99,4%	98,9%	98,8%	99,1%	98,8%	99,0%	99,0%	99,1%	99,3%	99,2%
PA1	98,9%	98,9%	99,1%	98,9%	99,6%	99,3%	98,8%	98,9%	99,2%	99,3%	99,1%	99,4%	98,8%	98,6%	98,9%	98,6%	98,9%	98,7%	98,9%	99,1%	98,9%
PA2	89,8%	89,9%	92,1%	89,7%	95,7%	93,3%	87,9%	92,1%	93,0%	93,5%	92,4%	95,2%	88,2%	92,2%	95,1%	93,7%	94,3%	95,3%	96,3%	95,6%	96,6%
PA3	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	99,9%	99,9%	99,8%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%
UA1	98,9%	98,9%	99,1%	98,9%	99,6%	99,3%	98,5%	98,9%	99,2%	99,3%	99,1%	99,4%	98,8%	98,6%	98,8%	98,6%	98,8%	98,7%	98,9%	99,1%	98,9%
UA2	89,8%	89,9%	92,1%	89,7%	95,7%	93,3%	89,5%	92,3%	93,1%	93,5%	92,6%	95,4%	88,2%	92,1%	95,2%	93,7%	94,7%	95,4%	96,4%	95,6%	96,6%
UA3	99,7%	99,8%	99,6%	99,8%	99,6%	99,7%	100,0%	99,9%	99,8%	99,9%	99,9%	100,0%	99,3%	99,8%	99,9%	99,5%	99,8%	99,7%	99,6%	99,2%	99,8%
Overall Accuracy	98,0%	98,0%	98,4%	98,0%	99,3%	98,8%	97,6%	98,1%	98,6%	98,7%	98,4%	98,9%	97,8%	97,6%	98,2%	97,7%	98,1%	98,0%	98,3%	98,6%	98,4%
F1	98,9%	98,9%	99,1%	98,9%	99,6%	99,3%	98,6%	98,9%	99,2%	99,3%	99,1%	99,4%	98,8%	98,6%	98,9%	98,6%	98,8%	98,7%	98,9%	99,1%	98,9%
UG10	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Accuracy	97,9%	98,2%	97,7%	96,8%	98,7%	98,5%	98,2%	97,5%	97,2%	97,7%	96,9%	97,9%	96,9%	97,7%	97,5%	97,7%	97,6%	97,7%	98,7%	98,1%	97,7%
Precision	98,8%	99,0%	98,7%	98,2%	99,3%	99,1%	99,0%	98,6%	98,4%	98,6%	98,2%	98,8%	98,3%	98,5%	98,4%	98,4%	98,4%	98,6%	99,1%	98,8%	98,3%
Recall	98,8%	99,0%	98,7%	98,2%	99,3%	99,2%	99,0%	98,6%	98,5%	98,7%	98,2%	98,8%	98,3%	98,5%	98,4%	98,4%	98,5%	98,6%	99,1%	98,9%	98,5%
User Accuracy	98,9%	99,1%	98,8%	98,4%	99,4%	99,3%	99,1%	98,7%	98,6%	98,8%	98,4%	98,9%	98,4%	98,8%	98,7%	98,8%	98,8%	98,9%	99,3%	99,1%	98,9%
Producer Accuracy	98,9%	99,1%	98,8%	98,4%	99,3%	99,2%	99,1%	98,7%	98,6%	98,8%	98,4%	98,9%	98,4%	98,8%	98,7%	98,8%	98,8%	98,8%	99,3%	99,0%	98,8%
PA1	98,8%	99,0%	98,7%	98,2%	99,3%	99,2%	99,0%	98,6%	98,5%	98,7%	98,2%	98,8%	98,3%	98,5%	98,4%	98,4%	98,5%	98,6%	99,1%	98,9%	98,5%
PA2	91,5%	92,6%	90,7%	85,7%	93,4%	93,5%	92,7%	89,6%	87,5%	91,3%	89,0%	91,3%	84,8%	94,7%	94,5%	95,6%	94,4%	94,3%	97,2%	94,4%	95,7%
PA3	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	99,8%	99,9%	100,0%	99,8%	99,8%
UA1	98,8%	99,0%	98,7%	98,2%	99,3%	99,1%	99,0%	98,6%	98,4%	98,6%	98,2%	98,8%	98,3%	98,5%	98,4%	98,4%	98,4%	98,6%	99,1%	98,8%	98,3%
UA2	91,5%	92,7%	90,7%	85,7%	93,5%	93,6%	92,8%	89,6%	87,9%	91,3%	89,1%	91,3%	84,8%	94,7%	94,5%	95,6%	94,6%	94,4%	97,3%	94,8%	96,0%
UA3	99,6%	99,6%	99,7%	99,6%	99,8%	98,5%	99,5%	98,3%	99,7%	99,8%	98,5%	98,8%	99,2%	99,4%	99,4%	99,8%	100,0%	99,9%	99,6%	100,0%	100,0%

Overall Accuracy	97,9%	98,2%	97,7%	96,8%	98,7%	98,5%	98,2%	97,5%	97,2%	97,7%	96,9%	97,9%	96,9%	97,7%	97,5%	97,7%	97,6%	97,7%	98,7%	98,1%	97,7%
F1	98,8%	99,0%	98,7%	98,2%	99,3%	99,1%	99,0%	98,6%	98,4%	98,6%	98,2%	98,8%	98,3%	98,5%	98,4%	98,4%	98,5%	98,6%	99,1%	98,8%	98,4%
UG11	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Accuracy	96,9%	95,8%	96,4%	97,5%	96,5%	96,8%	95,8%	95,4%	96,8%	95,2%	95,6%	98,1%	97,9%	96,5%	97,8%	92,1%	96,1%	98,6%	98,6%	95,6%	94,6%
Precision	98,3%	97,7%	98,0%	98,7%	98,1%	98,2%	97,7%	97,5%	98,2%	97,5%	97,5%	99,0%	98,8%	97,9%	98,8%	95,2%	98,0%	99,2%	99,2%	97,6%	97,0%
Recall	98,3%	97,7%	98,0%	98,7%	98,0%	98,2%	97,6%	97,4%	98,2%	97,1%	97,5%	99,0%	98,8%	97,8%	98,7%	95,0%	97,6%	99,2%	99,2%	97,4%	96,3%
User Accuracy	98,4%	97,8%	98,2%	98,7%	98,2%	98,4%	97,8%	97,6%	98,4%	97,4%	97,7%	99,1%	98,9%	98,2%	98,9%	95,8%	97,9%	99,3%	99,3%	97,7%	96,9%
Producer Accuracy	98,4%	97,8%	98,2%	98,7%	98,2%	98,4%	97,9%	97,7%	98,4%	97,7%	97,7%	99,1%	98,9%	98,2%	98,9%	96,0%	98,2%	99,3%	99,3%	97,9%	97,5%
PA1	98,3%	97,7%	98,0%	98,7%	98,0%	98,2%	97,6%	97,4%	98,2%	97,1%	97,5%	99,0%	98,8%	97,8%	98,7%	95,0%	97,6%	99,2%	99,2%	97,4%	96,3%
PA2	84,9%	78,4%	80,8%	80,3%	84,7%	85,6%	79,1%	77,6%	87,5%	78,6%	79,9%	90,2%	89,8%	90,4%	92,4%	79,6%	86,5%	95,3%	94,9%	84,1%	87,5%
PA3	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%
UA1	98,3%	97,7%	98,0%	98,7%	98,1%	98,2%	97,7%	97,5%	98,2%	97,5%	97,5%	99,0%	98,8%	97,9%	98,8%	95,2%	98,0%	99,2%	99,2%	97,6%	97,0%
UA2	84,9%	78,4%	80,8%	80,3%	84,7%	85,5%	78,6%	76,8%	87,4%	75,9%	79,8%	90,2%	89,8%	90,0%	92,3%	78,7%	84,5%	95,3%	94,8%	82,8%	84,9%
UA3	98,8%	98,1%	99,5%	97,8%	98,9%	99,3%	99,4%	99,3%	99,5%	99,9%	98,9%	99,7%	99,3%	99,9%	99,9%	99,9%	100,0%	99,9%	100,0%	99,9%	99,9%
Overall Accuracy	96,9%	95,8%	96,4%	97,5%	96,5%	96,8%	95,8%	95,4%	96,8%	95,2%	95,6%	98,1%	97,9%	96,5%	97,8%	92,1%	96,1%	98,6%	98,6%	95,6%	94,6%
F1	98,3%	97,7%	98,0%	98,7%	98,0%	98,2%	97,6%	97,4%	98,2%	97,3%	97,5%	99,0%	98,8%	97,8%	98,7%	95,1%	97,8%	99,2%	99,2%	97,5%	96,6%
UG12	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Accuracy	96,3%	94,4%	94,7%	94,4%	97,1%	96,4%	96,9%	96,6%	95,9%	97,6%	95,1%	96,7%	96,3%	96,6%	95,1%	93,4%	95,6%	95,8%	96,2%	96,0%	97,9%
Precision	97,9%	96,8%	96,9%	96,8%	98,4%	98,0%	98,3%	98,1%	97,8%	98,7%	97,2%	98,2%	97,9%	98,0%	97,1%	96,0%	97,4%	97,6%	97,7%	97,7%	98,7%
Recall	97,9%	96,7%	96,9%	96,8%	98,4%	98,0%	98,3%	98,1%	97,7%	98,7%	97,0%	98,1%	97,9%	98,0%	96,9%	95,7%	97,2%	97,4%	97,7%	97,4%	98,6%
User Accuracy	98,1%	97,1%	97,3%	97,1%	98,5%	98,1%	98,4%	98,2%	97,9%	98,8%	97,4%	98,3%	98,1%	98,3%	97,4%	96,5%	97,7%	97,8%	98,0%	97,9%	99,0%
Producer Accuracy	98,1%	97,2%	97,3%	97,1%	98,5%	98,2%	98,4%	98,3%	98,0%	98,8%	97,6%	98,4%	98,1%	98,3%	97,6%	96,7%	97,9%	98,0%	98,1%	98,1%	99,0%
PA1	97,9%	96,7%	96,9%	96,8%	98,4%	98,0%	98,3%	98,1%	97,7%	98,7%	97,0%	98,1%	97,9%	98,0%	96,9%	95,7%	97,2%	97,4%	97,7%	97,4%	98,6%
PA2	85,9%	79,6%	83,1%	77,7%	85,4%	82,3%	85,9%	83,1%	81,5%	88,5%	83,1%	86,0%	86,4%	90,2%	87,3%	85,0%	89,5%	88,5%	89,6%	90,5%	95,6%
PA3	100,0%	99,9%	100,0%	100,0%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%
UA1	97,9%	96,8%	96,9%	96,8%	98,4%	98,0%	98,3%	98,1%	97,8%	98,7%	97,2%	98,2%	97,9%	98,0%	97,1%	96,0%	97,4%	97,6%	97,7%	97,7%	98,7%
UA2	85,8%	78,9%	83,1%	77,7%	85,3%	81,6%	85,8%	82,8%	80,8%	88,5%	82,2%	85,6%	86,4%	89,9%	86,4%	84,2%	88,6%	87,7%	89,3%	89,6%	95,5%
UA3	99,4%	99,1%	99,2%	98,1%	99,8%	99,8%	99,8%	99,8%	99,7%	99,7%	99,7%	99,8%	99,2%	99,8%	99,8%	99,5%	99,9%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%
Overall Accuracy	96,3%	94,4%	94,7%	94,4%	97,1%	96,4%	96,9%	96,6%	95,9%	97,6%	95,1%	96,7%	96,3%	96,6%	95,1%	93,4%	95,6%	95,8%	96,2%	96,0%	97,9%

FI	97,9%	96,8%	96,9%	96,8%	98,4%	98,0%	98,3%	98,1%	97,7%	98,7%	97,1%	98,2%	97,9%	98,0%	97,0%	95,8%	97,3%	97,5%	97,7%	97,5%	98,7%
----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Anhang B1: Genauigkeitsanalyse der Untersuchungsgebiete

Mackenzie																					
Buffer1 100	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
B_100_Accuracy	97,4%	96,8%	98,2%	96,3%	98,2%	95,6%	98,6%	97,9%	97,5%	99,1%	96,3%	97,5%	99,4%	99,1%	98,2%	96,5%	96,9%	94,4%	97,8%	96,5%	99,2%
B_100_Precision	98,4%	98,1%	98,9%	98,0%	99,0%	97,6%	99,2%	98,8%	98,6%	99,5%	98,0%	98,4%	99,7%	99,5%	99,0%	98,0%	98,2%	96,6%	98,7%	98,0%	99,5%
B_100_Recall	98,3%	98,0%	99,0%	98,0%	99,0%	97,5%	99,1%	98,8%	98,6%	99,5%	98,0%	98,8%	99,7%	99,5%	98,9%	97,8%	97,9%	96,6%	98,7%	97,8%	99,5%
B_100_F1	98,3%	98,1%	98,9%	98,0%	99,0%	97,5%	99,2%	98,8%	98,6%	99,5%	98,0%	98,6%	99,7%	99,5%	99,0%	97,9%	98,1%	96,6%	98,7%	97,9%	99,5%
B_100_User Accuracy	98,7%	98,3%	99,1%	98,1%	99,1%	97,7%	99,3%	98,9%	98,7%	99,6%	98,1%	98,9%	99,7%	99,6%	99,1%	98,2%	98,3%	97,1%	98,9%	98,1%	99,6%
B_100_Producer Accuracy	98,7%	98,4%	99,1%	98,1%	99,1%	97,8%	99,3%	99,0%	98,7%	99,6%	98,1%	98,6%	99,7%	99,5%	99,1%	98,3%	98,5%	97,1%	98,9%	98,3%	99,6%
B_100_PA1	98,3%	98,0%	99,0%	98,0%	99,0%	97,5%	99,1%	98,8%	98,6%	99,5%	98,0%	98,8%	99,7%	99,5%	98,9%	97,8%	97,9%	96,6%	98,7%	97,8%	99,5%
B_100_PA2	94,5%	90,6%	94,2%	80,0%	91,1%	80,2%	96,7%	91,5%	86,0%	95,7%	80,4%	85,9%	97,9%	96,5%	93,9%	89,0%	91,9%	83,3%	92,1%	90,0%	98,5%
B_100_PA3	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	99,9%	99,5%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	99,9%	100,0%	99,8%	100,0%
B_100_UA1	98,4%	98,1%	98,9%	98,0%	99,0%	97,6%	99,2%	98,8%	98,6%	99,5%	98,0%	98,4%	99,7%	99,5%	99,0%	98,0%	98,2%	96,6%	98,7%	98,0%	99,5%
B_100_UA2	94,4%	90,0%	94,3%	79,9%	91,0%	79,5%	96,5%	91,3%	86,2%	95,5%	80,4%	88,7%	97,9%	96,6%	93,6%	88,4%	90,7%	83,0%	92,2%	89,1%	98,4%
B_100_UA3	99,9%	99,7%	99,7%	99,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
B_100_Overall Accuracy	97,4%	96,8%	98,2%	96,3%	98,2%	95,6%	98,6%	97,9%	97,5%	99,1%	96,3%	97,5%	99,4%	99,1%	98,2%	96,5%	96,9%	94,4%	97,8%	96,5%	99,2%

Anhang B2: Ausschnitt der Genauigkeitsanalyse der Buffer

Anhang C: „Google Earth Engine“-Skript (JavaScript)

Der Code ist für angemeldete Nutzer der *Google Earth Engine* auch interaktiv einsehbar unter:
<https://code.earthengine.google.com/d48faf701f283538f1be136fa49ba570>

```

var geometry =

  /* color: #057ad6 */

  /* shown: false */

  /* displayProperties: [

    {

      "type": "rectangle"

    }

  ] */

  ee.Geometry.Polygon(

    [[[66.00898793726621, 71.70705726728355],

      [66.00898793726621, 66.92928419173288],

      [73.74336293726621, 66.92928419173288],

      [73.74336293726621, 71.70705726728355]]], null, false),

  water_visualization =
{"opacity":1,"bands":["water_class"],"min":1,"max":3,"palette":["ffffff","1432ff"]},

  imageVisParam = {"opacity":1,"bands":["waterClass"],"min":-3,"max":2,"gamma":1},

  difference_vis =
{"opacity":1,"bands":["waterClass"],"palette":["ff0909","ffffff","1432ff"]},

  imageCollection = ee.ImageCollection("JRC/GSW1_4/YearlyHistory"),

  datasetingmar = ee.ImageCollection("users/ingmarnitze/TCTrend_SR_2000-
2019_TCVIS"),

  geometry2 =

  /* color: #d63000 */

  /* shown: false */

```

```

/* displayProperties: [
  {
    "type": "rectangle"
  }
] */

ee.Geometry.Polygon(
  [[[69.70066682722774, 65.28755630971868],
    [69.70066682722774, 58.96820898874213],
    [77.43504182722774, 58.96820898874213],
    [77.43504182722774, 65.28755630971868]]], null, false),

geometry3 =

/* color: #98ff00 */

/* shown: false */

/* displayProperties: [
  {
    "type": "rectangle"
  }
] */

ee.Geometry.Polygon(
  [[[126.20884553816524, 65.54351263980838],
    [126.20884553816524, 59.46022277682436],
    [133.94322053816524, 59.46022277682436],
    [133.94322053816524, 65.54351263980838]]], null, false),

```

```
geometry4 =  
  
/* color: #2c8b3a */  
  
/* shown: false */  
  
/* displayProperties: [  
  
  {  
  
    "type": "rectangle"  
  
  }  
  
] */  
  
ee.Geometry.Polygon(  
  
  [[[121.8616398363802, 74.2074145185057],  
  
    [121.8616398363802, 70.05986048193176],  
  
    [129.60700116450522, 70.05986048193176],  
  
    [129.60700116450522, 74.2074145185057]]], null, false),  
  
geometry5 =  
  
/* color: #ffc82d */  
  
/* shown: false */  
  
/* displayProperties: [  
  
  {  
  
    "type": "rectangle"  
  
  }  
  
] */  
  
ee.Geometry.Polygon(  
  
  [[[-166.3197226097182, 65.73360969019856],
```

```

        [-166.3197226097182, 59.521284678375906],
        [-158.6073202659682, 59.521284678375906],
        [-158.6073202659682, 65.73360969019856]]], null, false),

geometry6 =

/* color: #00ffff */

/* shown: false */

/* displayProperties: [

{

    "type": "rectangle"

}

] */

ee.Geometry.Polygon(

    [[[-159.34235057412283, 71.60391350246556],

        [-159.34235057412283, 66.80566109609813],

        [-151.61552867470877, 66.80566109609813],

        [-151.61552867470877, 71.60391350246556]]], null, false),

geometry7 =

/* color: #bf04c2 */

/* shown: false */

/* displayProperties: [

{

    "type": "rectangle"

}

] */

```

```

] */

ee.Geometry.Polygon(

  [[[-78.57079103854218, 62.908597466842686],

    [-78.57079103854218, 56.042812128712825],

    [-70.83813265231171, 56.042812128712825],

    [-70.83813265231171, 62.908597466842686]]], null, false),

geometry8 =

/* color: #cbffc0 */

/* shown: false */

/* displayProperties: [

  {

    "type": "rectangle"

  }

] */

ee.Geometry.Polygon(

  [[[-102.99589372041879, 64.3494244007513],

    [-102.99589372041879, 57.8105699545755],

    [-95.25945878389535, 57.8105699545755],

    [-95.25945878389535, 64.3494244007513]]], null, false),

geometry9 =

/* color: #00ff00 */

/* shown: false */

/* displayProperties: [

```

```

    {
      "type": "rectangle"
    }
  ]*/

ee.Geometry.Polygon(
  [[[-112.14284077426458, 73.04377744300346],
    [-112.14284077426458, 68.60594885224221],
    [-104.41121235629583, 68.60594885224221],
    [-104.41121235629583, 73.04377744300346]]], null, false),

geometry10 =

/* color: #0000ff */

/* shown: false */

/* displayProperties: [
  {
    "type": "rectangle"
  }
]*/

ee.Geometry.Polygon(
  [[[-74.39663348040119, 69.53233190823973],
    [-74.39663348040119, 64.22217714148415],
    [-66.70483050188557, 64.22217714148415],
    [-66.70483050188557, 69.53233190823973]]], null, false),

geometry11 =

```

```

/* color: #999900 */

/* shown: false */

/* displayProperties: [

  {

    "type": "rectangle"

  }

] */

ee.Geometry.Polygon(

  [[[155.13032548161297, 71.12869634363847],

    [155.13032548161297, 66.20644985133274],

    [162.86470048161297, 66.20644985133274],

    [162.86470048161297, 71.12869634363847]]], null, false),

geometry12 =

/* color: #009999 */

/* shown: false */

/* displayProperties: [

  {

    "type": "rectangle"

  }

] */

ee.Geometry.Polygon(

  [[[-137.62962319744418, 69.95544703522825],

    [-137.62962319744418, 64.75386273901836],

```

```

[-129.90623452556926, 64.75386273901836],

[-129.90623452556926, 69.95544703522825]]], null, false),

imageVisParam2          =          {"opacity":1,"bands":["waterClass"],"min":-
1,"max":1,"palette":["ff5514","ffffff","0c1eff"]};

////////////////////////////////////

var Pekel = imageCollection.filterDate('2000-01-01', '2021-12-31');

//var jahr = 2000;

for (var jahr=2000;jahr<2021;jahr++){

  var clip_Pekel = imageCollection.filterDate(jahr.toString() + '-01-01', jahr.toString() + '-12-
31');

}

//Visualisierung Pekel

var visualization = {

  bands: ['waterClass'],

  min: 1,

  max: 3,

  palette: ["ffffff","1432ff"]

};

//print(Pekel);

Map.addLayer(Pekel, {min:1, max:3}, "Pekel", false);

////////////////////////////////////

//Download Pickens:

//https://glad.umd.edu/dataset/global-surface-water-dynamics

```

```

var Pickens = ee.ImageCollection('projects/glad/water/annual')//.filterDate('2014-01-01',
'2014-12-31');

for (var jahri=2000;jahri<2021;jahri++){

  var Pickens = ee.ImageCollection('projects/glad/water/annual').filterDate(jahri.toString() + '-
01-01', jahri.toString() + '-12-31');

}

//Klassifizierung Pickens

var pickens_to_pekelf = function(pickens_annual){

//var pickens_c0 = pickens_annual.lte(0)// 0=Klasse 0

var pickens_c1 = (pickens_annual.lte(9).and(pickens_annual.gt(1)))//von 0-10=Klasse 1

var pickens_c2 = (pickens_annual.lte(89).and(pickens_annual.gt(10))).multiply(2) //von 10-
89=Klasse 2

//var pickens_c2 = pickens_annual.gte(10).multiply(2)//Klasse 2&3 zusammen

var pickens_c3 = pickens_annual.gte(90).multiply(3)//ab 90=Klasse 3

//var
                                pickens_pekelf
                                =
pickens_c1.add(pickens_c2).add(pickens_c3).add(pickens_c0).select([0], ['waterClass'])

//var pickens_pekelf = pickens_c1.add(pickens_c2).select([0], ['waterClass'])

var
  pickens_pekelf
  =
  pickens_c1.add(pickens_c2).add(pickens_c3).select([0],
['waterClass'])//zusammenpacken der Daten

return pickens_pekelf

}

//Nochmal Zeit, weil es sonst oben nicht klappt

var pickens_annual = Pickens.filterDate('2000-01-01', '2021-12-31').first()

var pickens_pekelf = pickens_to_pekelf(pickens_annual) // function call

//Ausmaskierung Pikel

```

```

Pekel = Pekel.mosaic().unmask()

// Vergleich beider Datensätze

var diff= Pekel.subtract(pickens_pekedef);

//Visualisierung der Daten

Map.addLayer(Pekel, visualization, 'Pekel', false);

Map.addLayer(pickens_pekedef, visualization, 'Pickens', false);

Map.addLayer(diff, null, 'diff', false);

// Clip

var clip_Pekel = Pekel.clip(geometry)

var clip_Pickens = pickens_pekedef.clip(geometry)

//Maskierung der Daten und Visualisierung

var data_mask = clip_Pickens.mask().or(clip_Pekel.mask())

clip_Pekel = clip_Pekel.updateMask(data_mask)

clip_Pickens = clip_Pickens.updateMask(data_mask)

Map.addLayer(clip_Pekel, visualization, 'Pekel_clip', true);

Map.addLayer(clip_Pickens, visualization, 'Pickens_clip', true);

//Erstellung einer Schleife um jährliche Werte zu vergleichen

var image_areas = ee.Image()

var list = [1, 2, 3];

for (var jahr=2000;jahr<2020;jahr++){

    var Pekell = imageCollection.filterDate(jahr.toString() + '-01-01', jahr.toString() + '-12-31').first();

    var Pick = ee.ImageCollection('projects/glad/water/annual').filterDate(jahr.toString() + '-01-01', jahr.toString() + '-12-31').first()

```

```

var PickPekdef= pickens_to_pekedef(Pick)

for (var i = 0; i < list.length; i++){

  for (var j = 0; j < list.length; j++){

    var bandname = 'area_Pekel_' + list[i].toString() + '_Pickens_' + list[j].toString()

    image_areas
image_areas.addBands(ee.Image.pixelArea().multiply(Pekell.eq(list[i]).and(PickPekdef.eq(list[j])))).rename(bandname))

  }}

}

// Zur Berechnung der Werte, wegen der Unterschiedlichen Pixelgröße

var image_areas = image_areas.select(

  image_areas.bandNames().remove('constant')

);

var reduced_table = image_areas.reduceRegion(

  {reducer:ee.Reducer.sum(),

  geometry: geometry,

  maxPixels:1e12,

  bestEffort:true,

  })

print(reduced_table)

//Daten anzeigen

//var reduced_table= ee.String(reduced_table)

//2000

```

```

//confusion matrix

var                                cmatrix                                =
ee.Array([[reduced_table.get('area_Pekel_1_Pickens_1'),reduced_table.get('area_Pekel_1_Pic
kens_2'),reduced_table.get('area_Pekel_1_Pickens_3')],[reduced_table.get('area_Pekel_2_Pic
kens_1'),reduced_table.get('area_Pekel_2_Pickens_2'),reduced_table.get('area_Pekel_2_Picke
ns_3')],[reduced_table.get('area_Pekel_3_Pickens_1'),reduced_table.get('area_Pekel_3_Picke
ns_2'),reduced_table.get('area_Pekel_3_Pickens_3')]])

print('Confusion matrix: ', cmatrix)

// Berechnung der Genauigkeitsparameter

// TP = true positive

var                                TP                                =
ee.Number(reduced_table.get('area_Pekel_1_Pickens_1')).add(reduced_table.get('area_Pekel_
2_Pickens_2')).add(reduced_table.get('area_Pekel_3_Pickens_3'));

// TN = true negative

var                                TN                                =
ee.Number(reduced_table.get('area_Pekel_1_Pickens_3')).add(reduced_table.get('area_Pekel_
2_Pickens_3')).add(reduced_table.get('area_Pekel_3_Pickens_2'));

// FP = false positive

var                                FP                                =
ee.Number(reduced_table.get('area_Pekel_1_Pickens_2')).add(reduced_table.get('area_Pekel_
2_Pickens_1')).add(reduced_table.get('area_Pekel_3_Pickens_1'));

// FN = false negative

var                                FN                                =
ee.Number(reduced_table.get('area_Pekel_1_Pickens_1')).add(reduced_table.get('area_Pekel_
1_Pickens_2')).add(reduced_table.get('area_Pekel_2_Pickens_1'));

// Berechnung accuracy

var accuracy = ee.Number(TP.add(TN)).divide(TP.add(TN).add(FP).add(FN))

```

```

print('Accuracy: ', accuracy);

// precision

var precision = TP.divide(TP.add(FP))

// recall

var recall = TP.divide(TP.add(FN))

// f1

var f1 = ee.Number(reduced_table.get('area_Pekel_1_Pickens_3')).multiply(precision).multiply(recall).divide(precision.add(recall))

//Visualisierung Precision, Recall und F1

print('Precision: ', precision);

print('Recall: ', recall);

print('F1: ', f1);

// Berechnung consumer's accuracy

var ca = ee.Number(TP.add(TN)).divide(TP.add(TN).add(FN))

print('Consumer\'s Accuracy: ', ca);

// Berechnung producer's accuracy

var pa = ee.Number(TP.add(TN)).divide(TP.add(TN).add(FP))

print('Producer\'s Accuracy: ', pa);

//kappa

// Here we are using the following formula:

// kappa = (observed accuracy - expected accuracy) / (1 - expected accuracy)

// observed accuracy

var oa = accuracy

```

```

// expected accuracy

var pr = TN.divide(TN.add(FP))

var pnr = FN.divide(FN.add(TP))

var ea = TN.add(TP).divide(TN.add(FP).add(FN).add(TP)).multiply(pr.add(pnr))

// kappa

var                                kappa                                =
ee.Number(oa.subtract(ea)).divide(ee.Number(reduced_table.get('area_Pekel_1_Pickens_2')).
subtract(ea))

print('Kappa: ', kappa);

// Berechnung producer accuracy jeder Klassw

var PA_1 = ee.Number(TP).divide(ee.Number(TP).add(FN));

var PA_2 = ee.Number(TN).divide(ee.Number(TN).add(FP));

var                                PA_3                                =
ee.Number(reduced_table.get('area_Pekel_3_Pickens_3')).divide(ee.Number(reduced_table.g
et('area_Pekel_3_Pickens_1')).add(reduced_table.get('area_Pekel_3_Pickens_3')));

// Berechnung user accuracy jeder Klasse

var UA_1 = ee.Number(TP).divide(ee.Number(TP).add(FP));

var UA_2 = ee.Number(TN).divide(ee.Number(FN).add(TN));

var                                UA_3                                =
ee.Number(reduced_table.get('area_Pekel_3_Pickens_3')).divide(ee.Number(reduced_table.g
et('area_Pekel_1_Pickens_3')).add(reduced_table.get('area_Pekel_3_Pickens_3')));

// Berechnung overall accuracy

var OA = ee.Number(TP).add(TN).divide(ee.Number(TP).add(TN).add(FP).add(FN));

//Ausgabe der Metriken

print('TP: ', TP);

```

```

print('TN: ', TN);

print('FP: ', FP);

print('FN: ', FN);

print('Producer Accuracy class 1: ', PA_1);

print('Producer Accuracy class 2: ', PA_2);

print('Producer Accuracy class 3: ', PA_3);

print('User Accuracy class 1: ', UA_1);

print('User Accuracy class 2: ', UA_2);

print('User Accuracy class 3: ', UA_3);

print('Overall Accuracy: ', OA);

// Darstellung der Temperaturdaten

// täglicher Mittelwert der 2 m Lufttemperatur

var era5_2mt = ee.ImageCollection('ECMWF/ERA5/DAILY')

    .select('mean_2m_air_temperature')

    .filter(ee.Filter.date('2000-01-01', '2019-12-31'));

print(era5_2mt);

// Tägliche Niederschlagswerte zum überprüfen möglicher Wolkenbildungen

var era5_tp = ee.ImageCollection('ECMWF/ERA5/DAILY')

    .select('total_precipitation')

```

```

        .filter(ee.Filter.date('2000-01-01', '2019-12-31'));

// Visualisierung des Niederschlags

var visTp = {

  min: 0.0,

  max: 0.1,

  palette: ['ffffff', '00ffff', '0080ff', 'da00ff', 'ffa400', 'ff0000']

};

// Visualization der Temperatur

var vis2mt = {

  min: 50,

  max: 500,

  palette: [

    '000080', '0000d9', '4000ff', '8000ff', '0080ff', '00ffff', '00ff80',

    '80ff00', 'daff00', 'ffff00', 'fff500', 'ffda00', 'ffb000', 'ffa400',

    'ff4f00', 'ff2500', 'ff0a00', 'ff00ff'

  ]

};

Map.addLayer(

  era5_tp.filter(ee.Filter.date('2000-01-01', '2019-12-31')), visTp,

  'Daily total precipitation sums');

Map.addLayer(

  era5_2mt.filter(ee.Filter.date('2000-01-01', '2019-12-31')), vis2mt,

```

```

'Daily mean 2m air temperature');

//Import Landschaftsklassifikation und Visualisierung nach ZANAGA et al. (2021)

var dataset = ee.ImageCollection('ESA/WorldCover/v200').first();

var visualization = {

  bands: ['Map'],

};

Map.centerObject(dataset);

Map.addLayer(dataset, visualization, "Landcover", false);

// Import Topographie nach YAMAZAKI et al. (2017)

var datacat = ee.Image('UMN/PGC/ArcticDEM/V2/5m');

var arcticDEM = datacat.select('elevation');

var datapet = ee.Image('USGS/GMTED2010');

var elevation = datapet.select('be75');

var elevationVis = {

  min: -50.0,

  max: 1000.0,

  palette:['543005', '8c510a', 'bf812d', 'dfc27d', 'f6e8c3', 'f5f5f5',

'c7eae5', '80cdc1', '35978f', '01665e', '003c30'].reverse()

};

Map.addLayer(elevation, elevationVis, 'Elevation_GMTED2010', false);

//Map.addLayer(arcticDEM, elevationVis, 'Elevation_ArcticDEM', false);

//

//Import HANSEN et al. (2013) und Visualisierung

```

```

var gfc2014 = ee.Image('UMD/hansen/global_forest_change_2015');

Map.addLayer(gfc2014);

Map.addLayer(gfc2014, {bands: ['treecover2000']}, 'treecover2000', false);

Map.addLayer(
  gfc2014, {bands: ['last_b50', 'last_b40', 'last_b30']}, 'false color', false);

Map.addLayer(gfc2014, {
  bands: ['loss', 'treecover2000', 'gain'],
  max: [1, 255, 1]
}, 'forest cover, loss, gain', false);

Map.addLayer(gfc2014, {
  bands: ['treecover2000'],
  palette: ['000000', '00FF00']
}, 'forest cover palette', false);

Map.addLayer(gfc2014, {
  bands: ['treecover2000'],
  palette: ['000000', '00FF00'],
  max: 100
}, 'forest cover percent', false);

Map.addLayer(gfc2014.mask(gfc2014), {
  bands: ['treecover2000'],
  palette: ['000000', '00FF00'],
  max: 100
}, 'forest cover masked', false);

```

```
var treeCover = gfc2014.select(['treecover2000']);

var lossImage = gfc2014.select(['loss']);

var gainImage = gfc2014.select(['gain']);

// Add the tree cover layer in green.

Map.addLayer(treeCover.updateMask(treeCover),

  {palette: ['000000', '00FF00'], max: 100}, 'Forest Cover', false);

// Add the loss layer in red.

Map.addLayer(lossImage.updateMask(lossImage),

  {palette: ['FF0000']}, 'Loss', false);

// Add the gain layer in blue.

Map.addLayer(gainImage.updateMask(gainImage),

  {palette: ['0000FF']}, 'Gain', false);
```

ERKLÄRUNG

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit einzig für diese Prüfung eingereicht und selbstständig unter Verwendung genannter Quellen angefertigt habe. Sämtliche genutzte Literatur, inklusive Internetquellen, habe ich abgewandelt oder unverändert wiedergegeben und als solche kenntlich gemacht. Mir ist bekannt, dass Verstöße gegen Grundsätze als Täuschungsversuch geahndet werden.

Berlin, den 29.08.2023

Patrick William Varchmin