

Bachelorarbeit HS 2019

**Erfassung der Nutzungsintensität von Wiesen in der
Unesco Biosphäre Entlebuch LU**

Eine Suche nach Prädiktoren für die Schnitthäufigkeit

Autorin: Nina Gremlich

Betreuer: Florian Knaus

Co-Betreuer: Christian Ginzler

Zürich, 21.02.2020

Zusammenfassung

Die Beobachtung der Nutzungsintensität von Wiesen ist aus ökonomischen und ökologischen Gründen von steigendem Interesse. Die Intensivierung der Landwirtschaft gefährdet unter anderem artenreiche Wiesen, welche subventioniert werden und wertvollen Lebensraum für Tiere und Pflanzen bieten.

Bisherige Studien über die Erfassung der Schnitthäufigkeit oder Nutzungsintensität von Wiesen zeigen, dass automatisierte Modelle bereits geeignet sind, um mittels einer geringen, aber signifikanten NDVI-Differenz (NDVI = Normalized Difference Vegetation Index) einen Wiesenchnitt zu erkennen und dass der Blattflächenindex als guter Prädiktor für das Monitoring des Mähens und Grasens ausgewiesen wurde, der jedoch nicht direkt aus den Spektralbändern berechenbar ist.

Das Ziel dieser Forschungsarbeit ist es daher, zu ermitteln, wie die manuell erfasste Schnitthäufigkeit und damit die Nutzungsintensität von Wiesen in der Unesco Biosphäre Entlebuch durch einen Prädiktor bestimmt werden kann, welche aus Satellitendaten berechenbar sind. Dies würde eine Überwachung der Nutzungsintensität vereinfachen. Dazu wird folgende Forschungsfrage gestellt: Gibt es einen Prädiktor für die Schnitthäufigkeit von Wiesen, d.h. die Nutzungsintensität, der aus Satellitendaten berechenbar ist?

Um diese Forschungsfrage zu beantworten, wurde die Schnitthäufigkeit mithilfe der Satellitendaten von PlanetScope manuell erfasst. 13 Prädiktoren wie beispielsweise das NDVI-Frühlingsbild und die NDVI-Standardabweichung durch die ganze Vegetationsperiode wurden aus den Satellitendaten erarbeitet. Zwischen der Schnitthäufigkeit und den Prädiktoren wurden Korrelationen gesucht, um zu sehen, welcher Prädiktor sich für die Abbildung der Schnitthäufigkeit eignet.

Die Ergebnisse der statistischen Analyse zeigen, dass keiner der ermittelten Prädiktoren für die Abbildung der Schnitthäufigkeit geeignet ist. Die beste Korrelation wurde mit dem NDVI-Frühlingsbild erreicht, welche mit der Schnitthäufigkeit mit einem Korrelationskoeffizient (r^2) nach Pearson von 0.373 korreliert ($p = 0.000$). Die niedrigen Korrelationswerte könnten damit erklärt werden, dass Schnittereignisse unzureichend erfasst wurden. Die Befähigung des NDVI-Frühlingsbildes als Prädiktor für die Schnitthäufigkeit könnte durch eine andere Wahl der Satellitenbilder, eine Kombination von Satellitendaten aus verschiedenen Satelliten, wiederholtes Erfassen der Schnitthäufigkeit in verschiedenen Jahren, eine Validierung oder durch erweiterte statistische Analysemodelle wie MLR oder GWR weiter präzisiert werden.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, welche mich während dem Entstehungsprozess meiner Arbeit unterstützt haben.

Ich bedanke mich herzlich bei Florian Knaus vom Departement Umweltsystemwissenschaften und Experte für die Unesco Biosphäre Entlebuch für die grossartige Betreuung meiner Bachelorarbeit.

Mein bester Dank gilt auch Christian Ginzler, Gruppenleiter und Senior Scientist in Landschaftsdynamik und Fernerkundung der Eidg. Forschungsanstalt WSL, der diese Arbeit durch den Zugang zu den Satellitenbildern überhaupt erst ermöglichte. Von ihm bekam ich die benötigten Satellitenbilder und weitere Hilfe bei Fragen und Anliegen rund um die Satellitendaten. Sein Mitarbeiter Achilleas Psomas hat mir auch gute Hilfe in GIS-spezifischen Fragen geleistet.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
2. Methodik	8
2.1 Genutzte Satellitenbilder	8
2.2. Arbeiten in ArcMap	8
2.2.1 Daten der Satellitenbilder	9
2.2.2 Auswahl der Transekte	9
2.2.3 Erarbeitung der Schnitthäufigkeit	10
2.2.4 Verarbeitung der Satellitenbilder zu den benötigten Prädiktoren	11
2.2.5 Regressionsanalyse mittels Whitebox Geospatial Analysis Tools (GAT).....	14
3. Ergebnisse	15
3.1 Schnitthäufigkeit.....	15
3.2. Prädiktoren 3.2.1 NDVI Standardabweichung	18
3.2.2 NDVI Frühlingsbild	19
3.2.3 NDVI Herbstbild	21
3.2.4 Nahinfrarot Standardabweichung.....	22
3.2.5 Nahinfrarot Frühlingsbild.....	24
3.2.6 Nahinfrarot Herbstbild	25
3.2.7 Rotband Standardabweichung.....	27
3.2.8 Rotband Frühlingsbild.....	28
3.2.9 Rotband Herbstbild	30
3.2.10 Grünband Standardabweichung	31
3.2.11 Grünband Frühlingsbild	33
3.2.12 Grünband Herbstbild	34
3.2.13 Knaus‘ Landnutzungsintensität	36
3.3. Statistische Analyse	38
4. Diskussion	39
4.1 Schnitthäufigkeit und Nutzungsintensität.....	39
4.2 Korrelationen	40
4.3 Methodenkritik und Begrenzungen	43
4.4 Fazit	44
5. Referenzen.....	45
6. Anhang	48
6.1 Datumsübersicht der Satellitenbilder.....	48
6.2 Ursprüngliche Satellitenbilder der Transekte	49

6.2.1 Schüpheim.....	49
6.2.2 Escholzmatt	51
6.2.3 Marbach.....	54
6.2.4 Flühli	56
6.3 Eigenständigkeitserklärung	58

1. Einleitung

Der Zustand der Biodiversität in der Schweiz ist laut dem Bundesamt für Umwelt BAFU (2018) unbefriedigend. Seit 1990 nimmt die biologische Vielfalt stetig ab, was bisher nicht ausreichend gestoppt werden konnte. Der ungenügende Zustand betrifft die Lebensräume, die Arten und die genetische Vielfalt, wodurch Ökosystemleistungen bedroht sind. In der Schweiz gibt es über 230 verschiedene Lebensraumtypen. Von den Lebensräumen ist bereits die Hälfte bedroht, von den Arten ein Drittel. Unter anderem sind die Wiesen als Lebensraum bedroht. Die Rote Liste zeigt, dass 43 % der Wiesen- und Weidetypen im Grünland und 64 % der Begleitvegetationstypen der Äcker bedroht sind (BAFU, 2019). Dabei werden in der Kategorie Rasen und Wiesen 34 Typen unterschieden, wovon 3 % vom Aussterben bedroht (CR), 3 % stark gefährdet (EN), 37 % gefährdet (VU), 20 % potenziell gefährdet (NT) und 37 % nicht gefährdet (LC) sind (Delarze et al., 2016).

Die Intensivierung der Landwirtschaft ist einer der wichtigsten Gründe für den Rückgang und damit die Gefährdung der artenreichen Wiesen (Pro Natura, n.d.). Der vermehrte Einsatz von Dünger bewirkt ein stärkeres Wachstum konkurrenzstarker Gräser und erlaubt einen früheren und häufigeren Schnitt. Rasch wachsende Arten, die an nährstoffreiche Böden und einen häufigen Schnitt angepasst sind, dominieren so die konkurrenzschwächeren Pflanzenarten der artenreichen Blumenwiesen. Als Folge erscheinen die Flächen zunehmend in einem einheitlichen Grün. Aufgrund der schweizweiten Intensivierung der Landwirtschaft ist auch im Kanton Luzern die Landschaft vielerorts ökologisch verarmt (Kanton Luzern, 2020). Bäche wurden eingedeckt, Hecken gerodet, Weiher aufgefüllt und blumenreiche Wiesen intensiviert.

In dieser Arbeit liegt der Fokus auf den Wiesen in der Unesco Biosphäre Entlebuch (UBE) im Kanton Luzern. Die UBE liegt gemäss dem Resultat der Landschaftstypisierung der WSL aufgrund ihrer umfassenden Landschaftsdaten im sogenannten Vorgebirge (WSL, 2007). Dort gibt es mässig unterschiedliche Höhenlagen, viele Feuchtstandorte und kleinere Seen, ein hoher Waldanteil mit Fichten und Tannen im montanen und subalpinen Gebiet und ein generell hoher Anteil an Mooren und Moorlandschaften. Die UBE ist ein Biosphärenreservat mit der wichtigen Aufgabe der Forschung und des Monitorings, wodurch sich diese Bachelorarbeit gut eingliedern lässt (vgl. UNESCO Biosphäre Entlebuch, n.d.). In der UBE herrscht das Prinzip der nachhaltigen Regionalentwicklung (Knaus, 2017). Im ca. 40'000 ha grossen Gebiet befinden sich viele Schutzzonen. Die nicht geschützten Gebiete wie Wiesen und Weiden, aber auch die geschützten Biotop werden durch die Landwirtschaft beeinflusst. Maschinell bewirtschaftete Flächen werden seit Jahrzehnten immer intensiver genutzt, auch bis in die subalpine Höhenlage.

Heuwiesen spielen in Europa eine wichtige Rolle als Futterlieferant in der Viehzucht (Halabuk et al., 2015). Die Erhaltung von Wiesen in einem guten Zustand bedarf einem Schnittmanagement, welches sehr schwierig zu überwachen ist. Zudem werden gewisse Graslandmanagements subventioniert, womit eine Überwachung auch politische und ökonomische Gründe hat (Asam et al., 2015). Subventionen werden zum Beispiel für Biodiversitätsförderflächen wie extensiv genutzte Wiesen erhalten, die nur ein- bis zweimal geschnitten werden dürfen (AGRIDEA, 2018). Ausserdem darf eine extensive Wiese gemäss Agridea frühestens ab dem 15. Juni geschnitten werden, dessen Kontrolle ein Monitoring ermöglicht. Die Kontrolle der landwirtschaftlichen Nutzung ist zudem u.a. auch wegen Nährstoffeinträgen aus der intensiven Landwirtschaft für die Moore von Bedeutung, welche dadurch gefährdet werden (BAFU, 2007).

Die Frequenz und der Zeitpunkt von Schnitten ist ein wichtiger Prädiktor der Graslandnutzungsintensität (Griffiths et al., 2019). Methoden, um die Graslandnutzungsintensität klein und grossflächig zu analysieren, werden dringend benötigt. Griffiths et al. (2019) präsentieren in ihrer Studie einen neuen Algorithmus, der in Zentraleuropa die Anzahl Schnitte und den Zeitpunkt eines Schnittes entdeckt und quantifiziert. Dafür wurden Satellitenbilder von Sentinel-2 und Landsat-8 gebraucht. Anhand der Schnittfrequenz können die Wiesen in verschiedene Nutzungsintensitäten klassifiziert werden. In der Studie von Gómez Giménez et al. (2017) werden drei Nutzungsintensitäten unterschieden, nämlich extensiv (ein bis zwei Schnitte), mittelintensiv (drei Schnitte) und stark intensiv (vier bis fünf Schnitte). Die Studie kam zum Ergebnis, dass von den untersuchten Flächen im Kanton Zürich im Jahr 2013 37 % extensiv, 46 % mittelintensiv und 17 % stark intensiv bewirtschaftet wurden.

Das Ziel dieser Arbeit ist es deshalb, Prädiktoren zu finden, die die Nutzungsintensität von Wiesen, ausgedrückt durch die Schnitthäufigkeit, darstellen können. Dies würde eine Überwachung der Nutzungsintensität vereinfachen (Garioud et al., 2019), da die Evaluierung der Schnitthäufigkeit zeitintensiv und mühsam ist.

Diese Arbeit ist eine Art Machbarkeitsstudie, in der mit Parametern, welche aus Satellitendaten herausgearbeitet wurden, experimentiert wird. Zur Verfügung stehen Satellitenbilder von PlanetScope mit einer Auflösung von 3 m und mit vier Spektralbändern, namentlich Rot (R), Grün (G), Blau (B) und Nahinfrarot (NIR). Aus diesen Daten können Parameter wie der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) berechnet werden, welcher in dieser Arbeit gebraucht wird.

Der NDVI wird oft verwendet, wo die Vegetation, d.h. die Dichte des Blattgrüns, gemessen wird, wie z.B. im Grasland, in den Äckern oder im Wald. In einer Studie von Garioud et al. (2019) wird versucht, Schnittereignisse von Wiesen mittels einer NDVI-Zeitreihe mit Satellitenbildern von Sentinel-2 zu messen. Ihre Ergebnisse deuten darauf hin, dass optische Zeitreihen für das Entdecken von Schnittereignissen effektiv sind. Jedoch sind die in der Studie verwendeten Sentinel-2-Daten stark von Bewölkung betroffen gewesen, was die Anzahl brauchbarer Bilder reduzierte. In einer Studie von Kolečka et al. (2018) wurde für die Schweiz bereits illustriert, dass Sentinel-2 Zeitreihen Potenzial für die regionale Kartierung der Mähfrequenz besitzen. Durch zusätzliche Wolkenmasken und die Entfernung von gemischten Pixeln konnten 77 % der Mähereignisse identifiziert werden, während mit konventionellen Wolkenmasken die Schnittereignisse deutlich überschätzt wurden.

In einer Studie von Dusseux et al. (2014) erwies sich der Blattflächenindex (BFI, engl. LAI) als guter Prädiktor für das Monitoring des Mähens und Grasens von Grasland. Es wurde mit Satellitenbildern von dem Satelliten SPOT gearbeitet. Gemäss Dusseux et al. (2014) ist das Grasland-Monitoring mittels Fernerkundung sehr limitiert wegen geringer Wiederbesichtigungszeit und tiefer räumlicher Auflösung. Die Autoren meinen, dass die zwei Satelliten Sentinel-2 und Venus hier Abhilfe schaffen können, in dem sie durch ihre hohe räumliche und zeitliche Auflösung das Grasland-Monitoring verbessern.

In der Studie von Asam et al. (2015) wurde ebenfalls ausgewertet, inwiefern mit RapidEye-Satellitendaten eine BFI-Zeitreihe erarbeitet und wie mit dem BFI die Graslandnutzungsintensität in einem Studiengebiet in Deutschland beurteilt werden kann. Gemäss Asam et al. (2015) wird extensive Wiesenbewirtschaftung mit ein- bis zweimaligem Schnitt und eine intensive Wiesenbewirtschaftung mit drei- bis fünfmaligem Schnitt klassifiziert.

Die Forschungsfrage lautet nun: Gibt es Prädiktoren, berechenbar aus einzelnen oder mehreren, aber wenigen Satellitendaten, die mit der Schnitthäufigkeit von Wiesen korrelieren und so die Erfassung der Schnitthäufigkeit und dementsprechend der Landnutzungsintensität stark vereinfachen? Zur Beantwortung der Frage werden 13 verschiedene Parameter im Zusammenhang mit dem NDVI und den Spektralbändern der Satellitenbilder auf eine Korrelation mit der Schnitthäufigkeit untersucht.

2. Methodik

2.1 Genutzte Satellitenbilder

Es wurde mit Bildaufnahmen von den Satelliten *PlanetScope* gearbeitet. Die Satellitenbilder unterliegen dem Copyright von Planet Labs Inc. (2020). Die insgesamt 120 Satelliten sammeln täglich Bilder der ganzen Erde mit einer Auflösung von 3 m und vier Spektralbändern, namentlich Rot, Grün, Blau (RGB) und Nahinfrarot (NIR) (Planet., 2016). Die hohe Auflösung von 3 m erleichtert die Analyse von Auge und die täglichen Aufnahmen erhöhen die Chance für brauchbare Bilder hinsichtlich Bewölkung, respektive regelmässiger Zeitabstände von Bildern ohne Bewölkung. Es wurde der Zeitraum der Vegetationsperiode von März bis Oktober im Jahr 2017 festgesetzt. Das gewählte Jahr wurde so ausgewählt, dass es möglichst aktuell ist. 2018 schien ungeeignet angesichts dessen, dass es das wärmste Jahr mit sehr wenigen Sommer- und Herbstniederschlägen seit Messbeginn 1864 war (MeteoSchweiz, 2019). Jedoch gilt auch für 2017, dass es den drittwärmsten Frühling und den drittwärmsten Sommer seit Messbeginn im Jahr 1864 hatte und seither das sechstwärmste Jahr war (MeteoSchweiz, 2018). Das früheste brauchbare Bild der Vegetationsperiode ist vom 15.03.2017 und das Letzte ist vom 31.10.2017. Die Bilder wurden so gewählt, dass sie plus minus zwei Wochen auseinanderliegen, um möglichst keine Schnittereignisse zu verpassen. Die Auswahl hing von mehreren Faktoren ab, was in Kapitel 2.2.2 erläutert wird. Eine Übersicht über die verwendeten Satellitenbilder der einzelnen Transekte ist in Anhang 6.1 und 6.2 zu finden.

2.2. Arbeiten in ArcMap

Die Satellitenbilder und die daraus erarbeiteten Produkte wurden in der Software *ArcMap* von *ArcGis Pro* von Esri bearbeitet bzw. erstellt. Die Werkzeuge sind nachfolgend in englischer Sprache geschrieben, aufgrund der verwendeten englischen Version, und wurden nicht übersetzt.

Zu Beginn ist es ausserdem wichtig zu erwähnen, dass die *Environments* entsprechend gesetzt wurden, um Prozessierungsfehler zu vermeiden. In den *Environments* wurde das *Output Coordinate System* auf *WGS_1984_UTM_Zone_32N* gesetzt. Für den *Extent* wurde eines der Satellitenbilder verwendet, damit künftig erstellte Raster kongruent sind. Des Weiteren galt es zu beachten, alle externen Raster- und Polygonlayer zuerst in das richtige Koordinatensystem zu projizieren.

2.2.1 Daten der Satellitenbilder

Als erstes wurden die wichtigsten technischen Daten der Satellitenbilder in *ArcMap* begutachtet: Die Satellitenbilder liegen als Raster im projektierten Koordinatensystem *WGS_1984_UTM_Zone_32N* vor. Die Rasterzellengrösse beträgt 3 x 3 m. Die Rasterlayer enthalten die vier verschiedenen Bänder R, G, B und NIR.

2.2.2 Auswahl der Transekte

Da der gesamte Perimeter des Biosphärenreservats, respektive das Grünland im ganzen Perimeter, zu grossflächig für die Untersuchung war, wurden Transekte als Stichprobenflächen ausgewählt. Die Auswahl der Transekte beruhte auf folgenden Kriterien: Die Transekte verlaufen durch möglichst viele verschiedene Nutzungsintensitätstypen, die in einer älteren Untersuchung bereits ermittelt wurden (Knaus 2015). Ausserdem wurden die Transekte so gewählt, dass sie durch die ganze Vegetationsperiode hindurch in bestimmten Zeitabständen wolkenfrei sind. Als letztes schliessen die Transekte möglichst viele verschiedene Höhenlagen mit ein, weshalb sich die Transekte von Hügel zu Hügel bzw. Wald zu Wald durch das Tal erstrecken, um möglichst viele Wiesen bis in hohe Lagen einzuschliessen. Die Transekte sind daher alle unterschiedlich lang. Die Breite wurde so gewählt, dass das Transekt möglichst mehrere Parzellen einschliesst, gleichzeitig aber möglichst schmal ausfällt.

Um die Transekte in *ArcMap* abzulegen, wurde jeweils ein *File Geodatabase Feature Class* angelegt, um sie als Polygon zu kreieren. Die Transekte wurden gemäss ihrem örtlichen Bezug benannt: Transekt Schüpheim, Transekt Escholzmatt, Transekt Marbach und Transekt Flühli. Die Gesamtfläche der Transekte beträgt 4'277'518 m². Einzelne beträgt die Fläche des Transekts Schüpheim 1'162'126 m², die des Transekts Escholzmatt 1'499'503 m², die des Transekts Marbach 694'361 m² und die des Transekts Flühli 921'528 m². Nach dem *Clippen* der Transekte mit dem Landnutzungs-Pufferlayer (für Entstehung siehe Kapitel 2.2.4) haben sie jeweils noch eine Grösse von 518'560 m² (Schüpheim), 750'827 m² (Escholzmatt), 249'103 m² (Marbach) und 498'508 m² (Flühli).

2.2.3 Erarbeitung der Schnitthäufigkeit

Innerhalb der Transektgrenzen wurde die Schnitthäufigkeit von Wiesen erfasst. Basierend auf dem Vergleich von zwei Satellitenbildern jeweils aufeinanderfolgender Zeitschritte wurde optisch erfasst, welche Flächen geschnitten wurden. Konkret wurde ermittelt, ob eine Wiesenfläche zwischen den zwei Zeitpunkten heller wurde. Wann eine Fläche als geschnitten galt, wird folglich erläutert. Bilder zwischen zwei Zeitpunkten wurden nur von Auge darauf überprüft, ob eine Wiesenfläche heller wurde, was als geschnitten interpretiert wurde, weil dann mehr Blattgrün fehlen sollte. In der Studie von Kolecka et al. (2018) wurde festgestellt, dass nach einem Schnitt der NDVI stark abfällt, welcher die Dichte des Blattgrüns misst. Jedoch war es in einigen Fällen nicht immer klar ersichtlich, ob eine Fläche wirklich heller wurde.

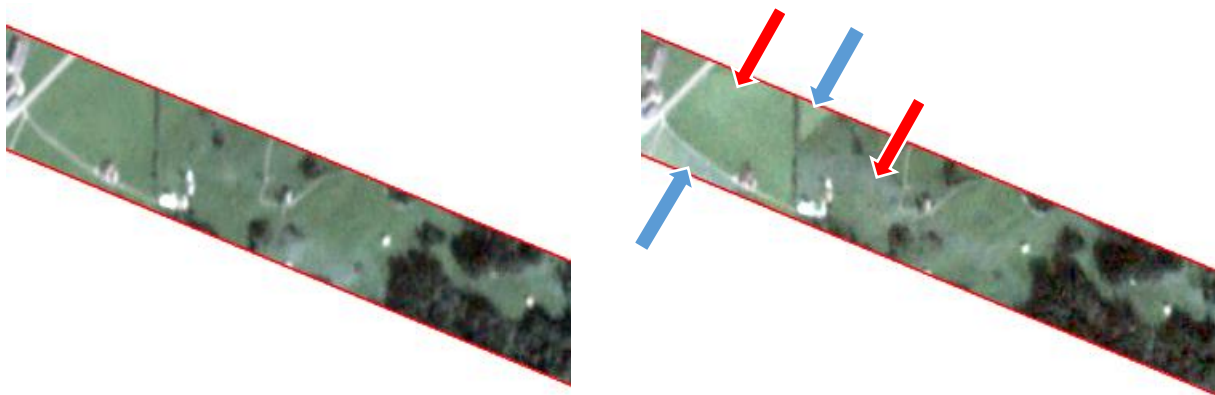


Abbildung 1: Beurteilung eines Schnittes vom 05.09.17 bis 22.09.17: rot = nicht geschnitten, blau = geschnitten
Quelle: eigene Darstellung mit Daten von Planet Labs Inc. (2020)

In Abbildung 1 wird ein solches Beispiel illustriert, wo Flächen zwar heller erscheinen (rote Pfeile), aber eine klar abgrenzbare Fläche nicht ersichtlich ist. Die blauen Pfeile hingegen zeigen auf Flächen, welche als geschnitten gelten aufgrund klarer Konturen. Des Weiteren gab es einige wenige Flächen, die hell blieben, während andere wieder dunkler wurden (Abbildung 2). Diejenigen Flächen, die hell blieben, wurden nicht als geschnitten betrachtet, obwohl dies auch

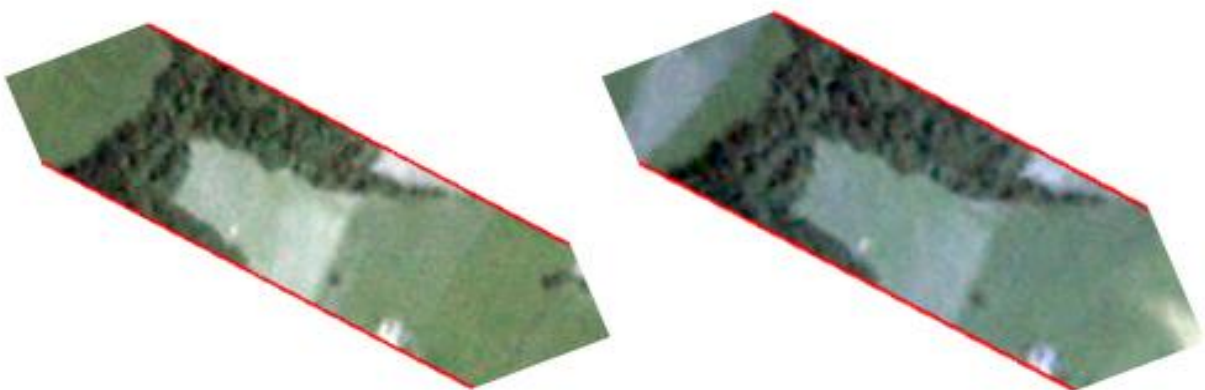


Abbildung 2: Wiesenfläche bleibt hell vom 05.07.17 bis 19.07.17
Quelle: eigene Darstellung mit Daten von Planet Labs Inc. (2020)

anders interpretiert werden könnte. Ein anderer Grund für Unklarheit waren unscharfe Mählinien, aber z.T. auch beschattete Flächen. In diesem Fall wurden die Linien nach eigenem Ermessen gezogen.

Letztlich kamen gewisse Unsicherheiten bei der Beurteilung eines Schnittes durch nicht immer gleich ausgeleuchtete Satellitenbilder hervor. Es wurde versucht, mit der Funktion DRA (dynamic range adjustment) die Farbdarstellung für das Auge zu verbessern. Diese Funktion passt den Streckungstyp der Daten im jeweiligen Sichtfeld der *Map* an. Durch heranzoomen des Bildes konnte so die Bilddarstellung verbessert werden, sodass z.B. sehr dunkle Bilder aufgehellt wurden.

Aufgrund z.T. unterschiedlicher Zeitpunkte der Bildaufnahmen (siehe Anhang 6.1) wurde vorerst jedes Transekt separat bearbeitet. Wurde eine geschnittene Fläche als Polygon festgehalten, wurde in der Attributtabelle zusätzlich das Attribut „Schnitt“ mit einem Wert von 1 mit Typ *short integer* für jedes Polygon hinzugefügt. Gesamthaft wurden für jedes Transekt 16 bis 17 Layer mit unterschiedlich vielen Polygonen kreiert. Zum Schluss wurden alle Layer mit dem Werkzeug *Polygon to Raster* in ein Raster konvertiert. Ebenso wurde den leeren Transektpolygonen ein neues Attribut „Schnitt“ in der Attributtabelle mit dem Wert 0, für nicht geschnitten, hinzugefügt. Die Transektpolygone wurden ebenfalls in ein Raster umgewandelt. Das Transekttraster diente dazu, die restlichen Rasterzellen der Schnittlayer mit den Werten 0 auszufüllen. Dazu wurde jedes einzelne Schnittraster mit dem Transekttraster mit dem Werkzeug *Mosaic To New Raster* zusammengefügt, damit die gesamte Transektfläche mit entweder dem Wert 0 oder 1 in einer Rasterzelle versehen ist. Schliesslich wurden die entstandenen Raster für jedes Transekt separat mit dem Werkzeug *Raster Calculator* mit dem *Operator* + addiert, woraus für jede Rasterzelle die Anzahl Schnitte resultiert. Die vier noch separaten Transekte wurden danach zu einem gemeinsamen Layer zusammengefügt. Schliesslich wurde der Layer für die Schnitthäufigkeit mit dem Pufferlayer geschnitten (siehe Kapitel 2.2.4). Das Ergebnis ist ein Syntheselayer der Anzahl Schnitte aller Transekte.

2.2.4 Verarbeitung der Satellitenbilder zu den benötigten Prädiktoren

Für die Quantifizierung der Prädiktoren für die Schnitthäufigkeit wurde in zwei Schritten gearbeitet. In einem ersten Schritt wurden Berechnungen für alle Prädiktoren gemeinsam durchgeführt, im zweiten Schritt spezifische für jeden einzelnen Prädiktor.

Die Satellitenbilder lagen wegen des Charakters der Satellitenaufnahmen in Einzelteilen vor und mussten zuerst mit dem Werkzeug *Mosaic To New Raster* verbunden werden. Dann wurden die Bilder mit dem Werkzeug *Clip Raster* jeweils zuerst mit dem Umriss der UBE geschnitten. Dazu musste der UBE-Perimeter zunächst in das richtige Koordinatensystem projiziert werden. Im nächsten Schritt wurden die UBE-Bilder mit den Transektpolygonen geschnitten. Die ausgeschnittenen Transekte wurden wiederum zuerst mit einem Landnutzungslayer von 2016, welcher grösstenteils nur die Wiesenflächen beinhaltet und somit Wege, einige Bäume, Wälder, Gewässer und Infrastruktur ausschliesst, geschnitten. Dieser Landnutzungslayer wurde als Polygonlayer vom Betreuer dieser Arbeit zur Verfügung gestellt.

Bei einer Kontrollansicht wurde festgestellt, dass aufgrund der Ungenauigkeit der Satellitenbilder die Wege nicht immer korrekt aus dem Raster geschnitten wurden. D.h. in Flächen, die auf dem Raster eigentlich Grünland sein sollten, waren nach wie vor Ausschnitte mit Strassen ersichtlich. Zudem zeigte sich bei einigen Flächen auch starker Schattenwurf, der die Interpretation schwierig machte. Aus diesem Grund wurde ein zusätzlicher Puffer von 12 Metern in das Grünland gelegt, um diese Fehlerquellen zu minimieren. Dazu wurde mit dem Werkzeug *Buffer* ein Puffer von minus zwölf Meter im Landnutzungslayer gesetzt und damit die Transekte nochmals ausgeschnitten. Für jedes Datum liegt nun ein Rasterlayer der Satellitenbilder vor, in denen alle Transekte enthalten und mit dem Pufferlayer geschnitten sind.

Wegen einigen schneebedeckten Flächen am 15.03.2017 wurde für diesen Tag eine Schneemaske erstellt. Diese Schneemaske enthält möglichst schneefreie Flächen. Dazu werden die Arbeitsschritte illustriert (Abbildung 3): (1) Es wurde eine *File Geodatabase Feature Class* angelegt, in der die schneefreie Fläche als Polygon kreiert wurde. (2) Diese Schneemaske wurde dann dazu genutzt, das Satellitenbild vom 15.03.2017 zu *clippen*. (3) Die nun fehlenden Flächen im Raster vom 15.03.2017 wurden mit dem Satellitenbild vom 10.04.2017 ergänzt, indem die beiden Raster mit dem Werkzeug *Mosaic To New Raster* verbunden wurden. Zu beachten war

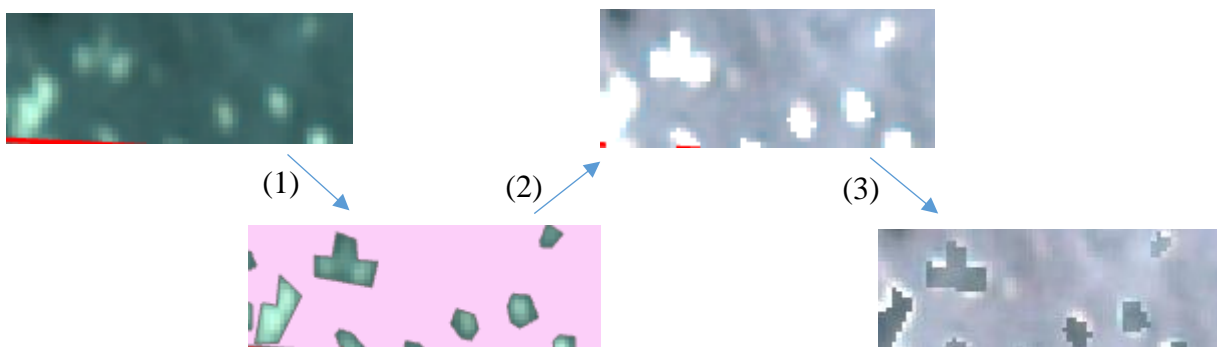


Abbildung 3: Entfernen des Schnees vom 15.03.2017 an einem Beispiel.
Quelle: eigene Darstellung mit Daten von Planet Labs Inc. (2020).

hier, dass im Feld *Mosaic Operator* das Wort *First* einzusetzen war, falls als erstes *Input Raster* das schneefreie Raster vom 15.03.2017 gesetzt wurde. Das zweite *Input Raster* war das Raster vom 10.04.2017. Dies ist wichtig, damit bei der Überlappung von Rasterzellen beider Raster nur diejenigen vom ersten Raster übernommen werden. Das so erhaltene Raster wurde neu als Raster für den 15.03.2017 verwendet, nachdem es mit dem Pufferlayer geschnitten worden ist. Nun folgt eine Reihe von Arbeitsschritten, die spezifisch für den jeweiligen Prädiktor sind:

NDVI-Standardabweichung: Für diesen Prädiktor wurde zunächst für alle vorbereiteten Satellitenbilder von jedem Datum ein NDVI-Layer erstellt. Der NDVI wird berechnet aus dem sichtbaren Licht und dem Nahinfrarot, welches die Vegetation reflektiert (Weier & Herring, 2000). Die Formel zur Berechnung des NDVI lautet $NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$, wobei NIR das Nahinfrarot und VIS das sichtbare Licht ist. Die Werte des NDVI reichen von -1 bis +1. Ein Wert nahe bei null bedeutet, dass kein Blattgrün vorhanden ist und Werte nahe +1 induzieren eine grösstmögliche Dichte an Blattgrün. Mit der in ArcMap enthaltene Funktion *NDVI Colorized* zur automatischen Berechnung des NDVI wurde unter Eingabe des Rotbandes (1. Band) für das sichtbare Licht und des Nahinfrarotbandes (4. Band) ein NDVI-Raster mit einer *Colormap* erstellt. Durch die *Colormap* werden die Werte von -1 bis +1 in Werte von 0 bis 255 umgewandelt und gestreckt, was lediglich die Darstellung verändert (vgl. Esri, 2019). Auch hier gilt, je höher der Wert, desto dichter ist das Grün der Vegetation. Mit diesen NDVI-Rastern wurde für jede Rasterzelle in den Transekten mit dem Werkzeug *Cell Statistics* die Standardabweichung durch das ganze Jahr berechnet.

NDVI-Frühlingsbild und NDVI-Herbstbild: Für diese zwei Prädiktoren wurde lediglich der NDVI-Raster vom 15.03.2017 bzw. vom 31.10.2017 benötigt, die bereits auch für die Berechnung der Standardabweichung erstellt wurden.

Nahinfrarotband-Standardabweichung: Für diesen Prädiktor wurden zunächst für alle vorbereiteten Satellitenbilder von jedem Datum mit dem Werkzeug *Make Raster Layer* ein Rotbandraster erstellt, indem von den 4-Band-Rastern das erste Band, d.h. das Rotband, extrahiert wurde. Mit diesen Rotbandrastern wurde mit dem Werkzeug *Cell Statistics* die Standardabweichung für jede Rasterzelle durch das ganze Jahr berechnet.

Nahinfrarotband-Frühlingsbild und Nahinfrarotband-Herbstbild: Für diese zwei Prädiktoren wurde lediglich das Rotbandraster vom 15.03.2017 bzw. vom 31.10.2017 benötigt, welche bereits für die Berechnung der Standardabweichung erstellt wurden.

Das Vorgehen für die jeweils drei Prädiktoren aus dem **Rotband** und dem **Grünband** ist identisch zum Vorgehen bei den Nahinfrarot-Prädiktoren. Zu beachten war hier die richtige Eingabe der Band-ID, d.h. Rotband = 1, Grünband = 2, Blauband = 3 (wird nicht gebraucht), Nahinfrarotband = 4.

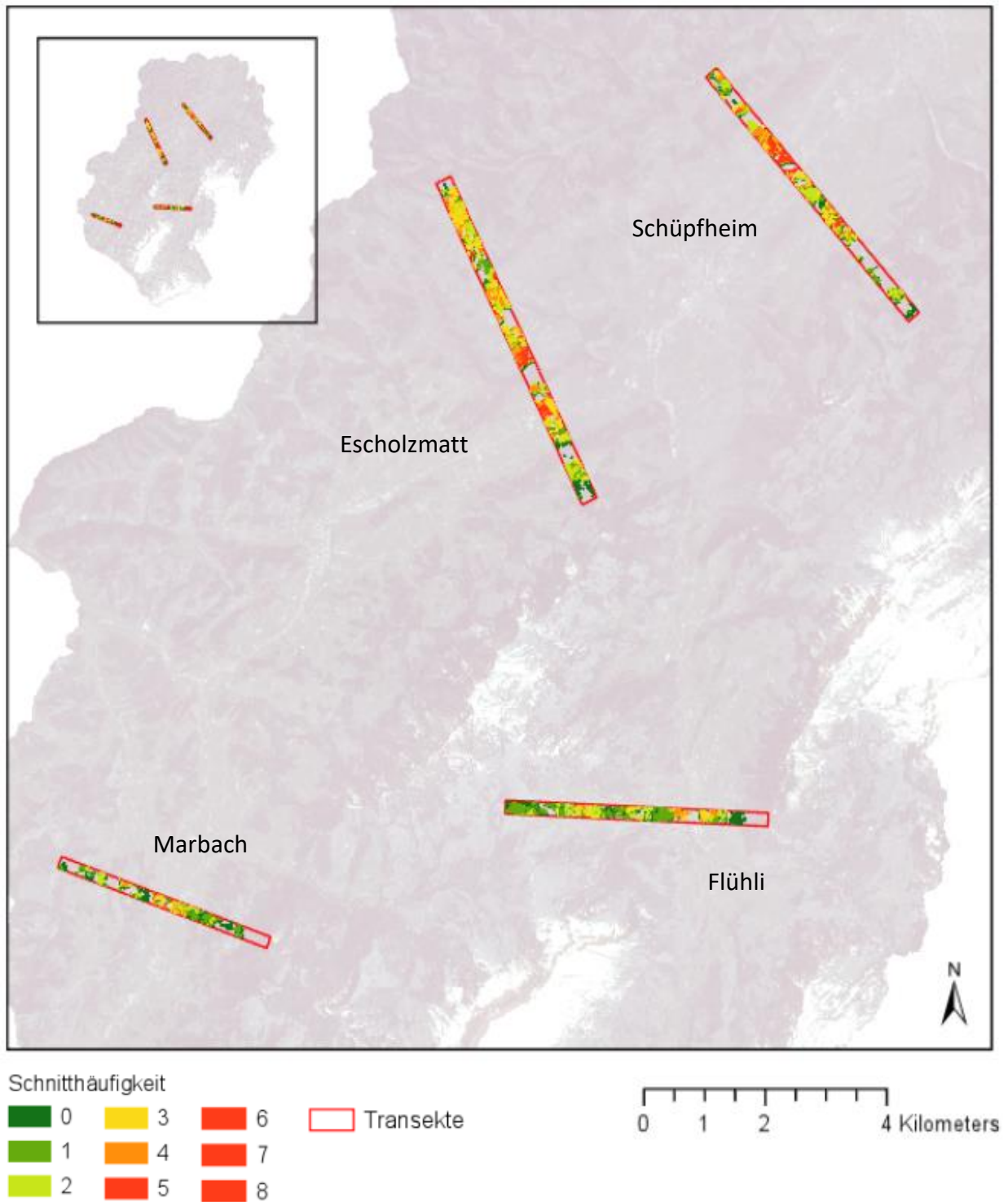
Knaus' Landnutzungsintensität: In einem internen Bericht von Knaus (2015) wurde für die Landnutzungsintensität (LNI) in der Unesco Biosphäre Entlebuch ein Prädiktor erarbeitet, der die genutzte Trockenmasse in kg/Jahr/ha abbildet. Das Raster dazu liegt in einem anderen Koordinatensystem vor, weshalb es zuerst mit dem Werkzeug *Project* in das benötigte Koordinatensystem projiziert wurde. Das Raster hat zudem eine Auflösung von 25 m, welche mit dem Werkzeug *Resample* auf die benötigte Auflösung von 3 m gebracht wurde, wobei automatisch der *Extent* gemäss den Einstellungen in den *Environments* angepasst wird. Danach musste das neue Raster nur noch mit dem Pufferlayer der Transekte mit dem Werkzeug *Clip Raster* geschnitten werden.

2.2.5 Regressionsanalyse mittels Whitebox Geospatial Analysis Tools (GAT)

Die Schnitthäufigkeit konnte schliesslich mit jeweils einem der 13 erstellten Prädiktoren in Korrelation gesetzt werden. Mittels einer linearen Regression sollte herausgefunden werden, welche Prädiktoren wie gut mit der Schnitthäufigkeit zusammenhängen. Dies wurde mithilfe der *Whitebox GAT* von John Lindsay (2015-2020) umgesetzt. Die *Whitebox GAT* ist ein freizugängliches GIS-Softwarepaket, das u.a. Werkzeuge für eine statistische Analyse von Rasterdaten enthält. Die Rasterdaten mussten gemäss Lindsay (2013) zunächst in *ArcMap* mit dem Werkzeug *Raster to Float* umgewandelt werden. Die neuen Raster konnten so in die *Whitebox GAT* importiert werden. Mit dem Werkzeug *Bildregression* wurde die lineare Regression ausgeführt. Dazu wurde als erstes Inputraster jeweils einer der 13 Prädiktoren eingesetzt und als zweites Inputraster die Schnitthäufigkeit. Dieses Werkzeug funktioniert wie folgt: Die *Bildregression* führt eine zweidimensionale, lineare Regressionsanalyse mit zwei Rasterbildern aus. Ausgegeben wird ein Bericht, der das Regressionsmodell mit Korrelationskoeffizienten nach Pearson und die Signifikanz der Regressionskoeffizienten zusammenfasst.

3. Ergebnisse

3.1 Schnitthäufigkeit



Karte N. Gremlich, 2020
Daten N. Gremlich, 2020
Hintergrundbild © 2020 Planet Labs Inc.

Abbildung 4: Karte zur Verteilung der Schnitthäufigkeit.

In den untersuchten Transekten wurden Schnitthäufigkeiten von 0 (kein Schnitt) bis 8 Schnitten erfasst (Abbildung 4, S.15). Die hohen Schnitthäufigkeiten konzentrierten sich auf die Tallagen, während Flächen mit wenigen Schnitten eher in höheren Lagen vorzufinden waren.

Ein Grossteil der Flächen wurden mit 22.7 % einmal, mit 22.8 % zweimal und mit 20 % dreimal geschnitten (Abbildung 5). 13.2 % der Flächen wurden gar nicht geschnitten. Ein etwa gleich grosser Anteil der Flächen mit 12.8 % wurde viermal geschnitten. Wenig Fläche, d.h. 5.5 % und 2.7 %, wurde fünf- bzw. sechsmal geschnitten. Sehr wenig geschnitten wurde eine Fläche von 0.2 % (sieben Schnitte) und eine Fläche von 0.1 % (acht Schnitte).

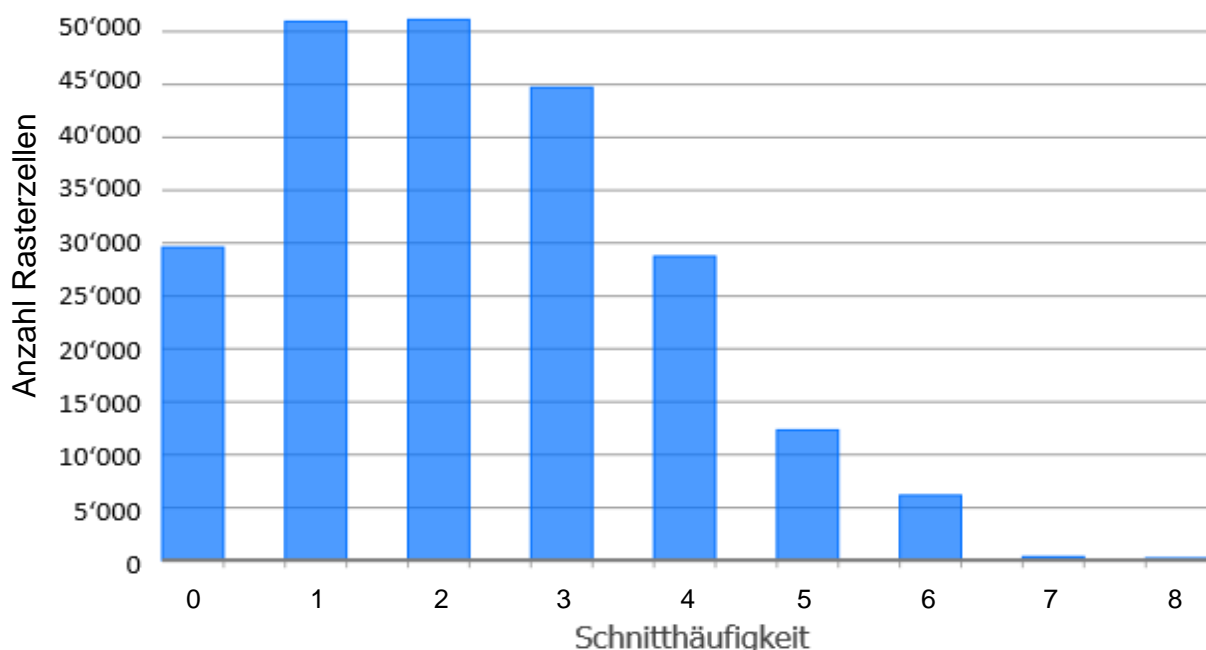


Abbildung 5: Zusammengefasste Anzahl Rasterzellen pro Schnitthäufigkeit.

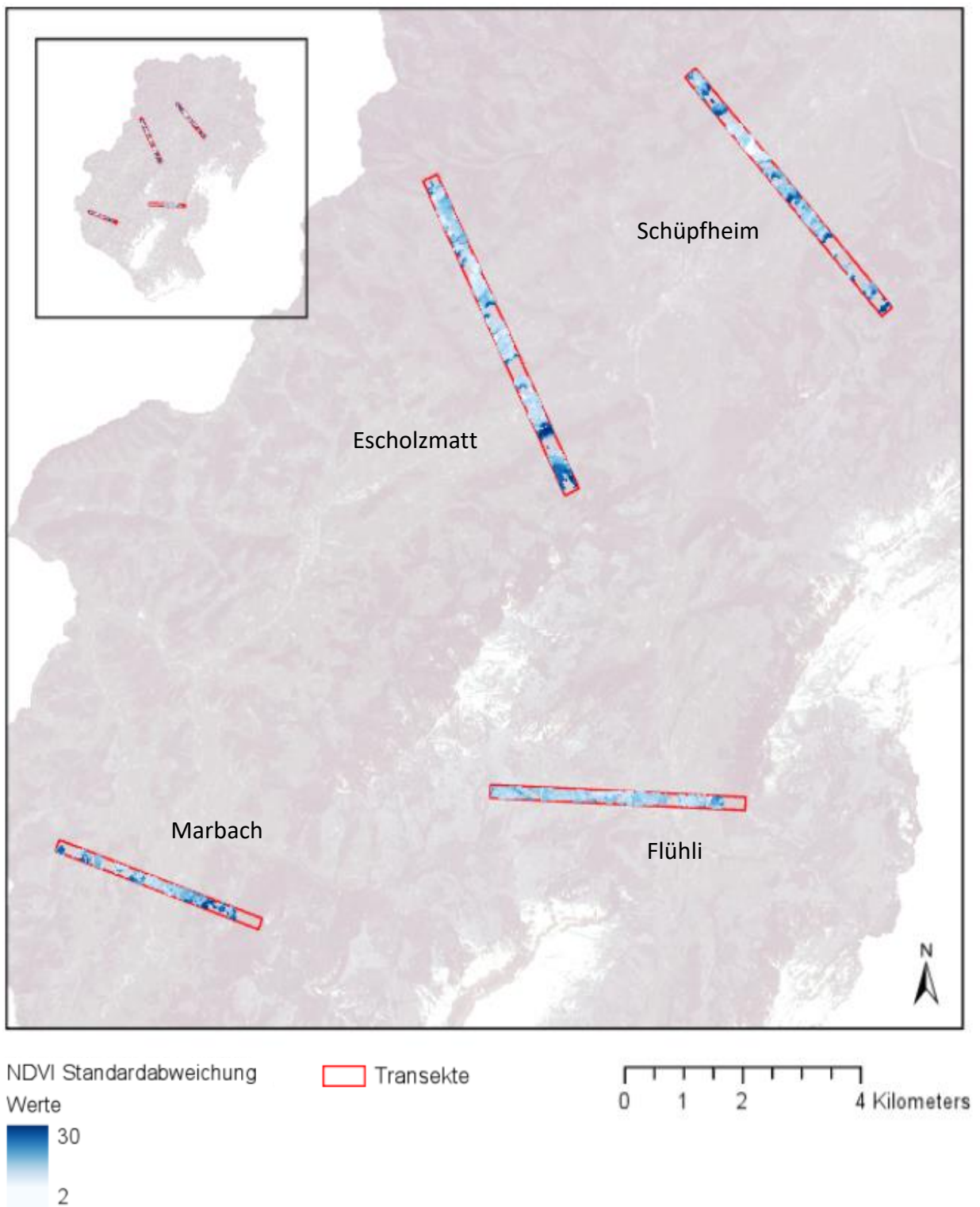
Gemäss der Klassifizierung, wie sie in der Studie von Asam et al. (2015) gemacht wird, liegt der Anteil extensiv genutzter Wiesen (ein bis zwei Schnitte) bei 45.5 %. Wird die Fläche ohne Schnitt dazugezählt, sind es 58.7 %. Der Anteil intensiv genutzter Wiesen (drei bis fünf Schnitte) liegt dann bei 38.3 %. Werden Flächen mit mehr als fünf Schnitten dazugezählt, sind es 41.3 %.

Wenn eine Klassifizierung gemäss Gómez Giménez et al. (2017) angewandt wird, liegt der Anteil extensiv genutzter Wiesen (auch ein bis zwei Schnitte) bei 45.5 %. Wird der Anteil nicht geschnittener Fläche dazugezählt, sind es 58.7 %. Der Anteil stark intensiv genutzter Wiesen (vier bis fünf Schnitte) liegt bei 18.3 %. Der Anteil dreimal geschnittener Fläche liegt in dieser Klassifizierung zwischen extensiv und intensiv genutzter Wiese, weshalb dieser Anteil folglich

als mittelintensiv bezeichnet wird. Eigens werden demnach 20 % der Wiesen mittelintensiv (drei Schnitte) genutzt. Da in dieser Arbeit bis zu acht Schnitte erfasst wurden, liegt der Anteil der folglich sehr intensiv genutzten Wiesen (sechs bis acht Schnitte) bei 3%. Werden zum Anteil der intensiv genutzten Wiesen die Flächen mit sechs- bis achtmaligem Schnitt dazugezählt, sind es 21.3%.

3.2. Prädiktoren

3.2.1 NDVI Standardabweichung



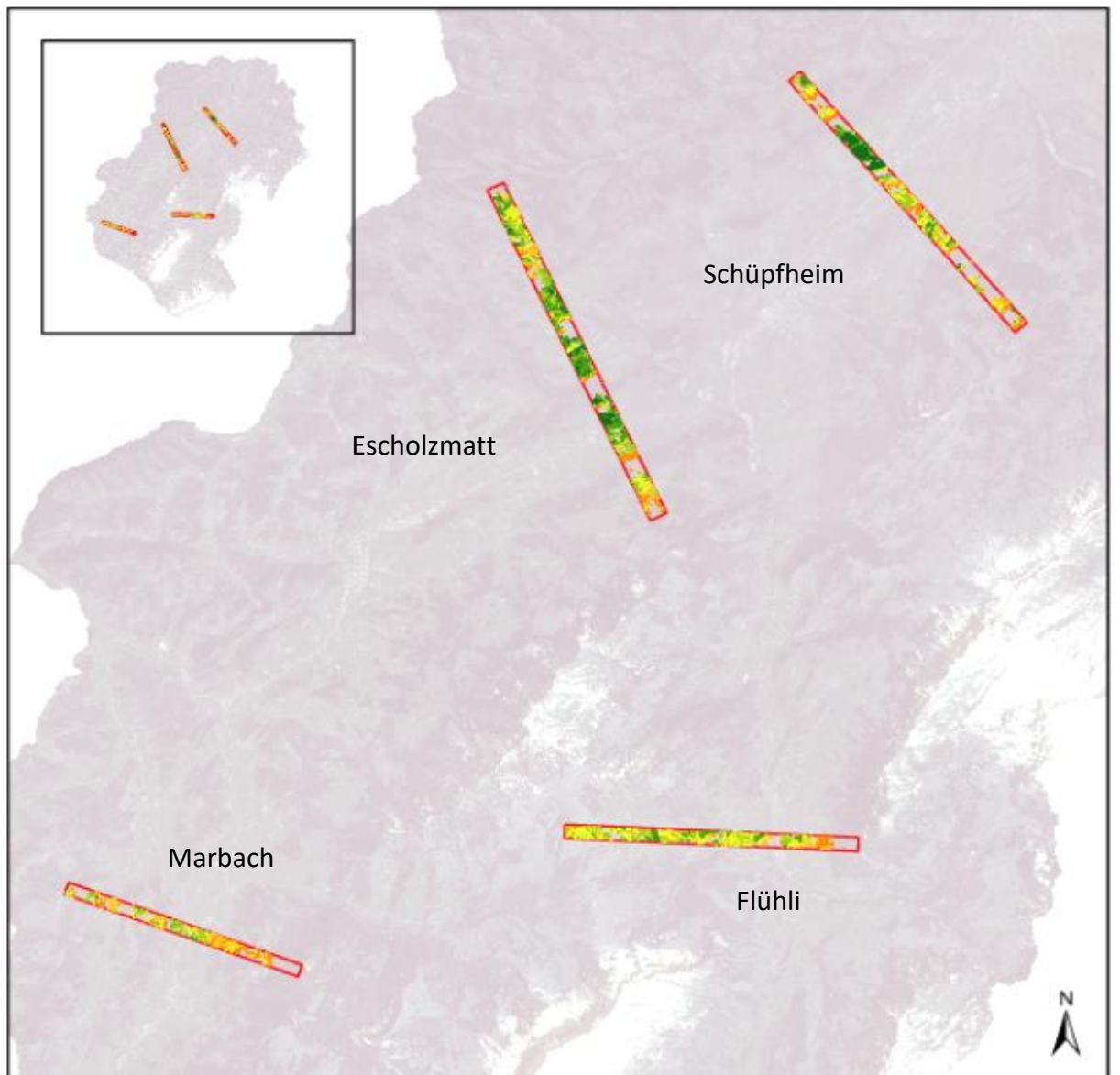
Karte N. Gremlich, 2020
Daten © 2020 Planet Labs Inc.
Hintergrundbild © 2020 Planet Labs Inc.

Abbildung 6: Karte zu Verteilung der Werte der NDVI-Standardabweichung.

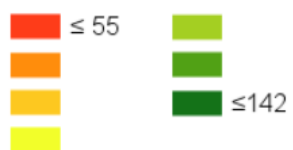
In den untersuchten Transekten konnte für die NDVI-Standardabweichung der Satellitenbilder über die ganze Vegetationsperiode Werte von 2 bis 30 festgestellt werden (Abbildung 6, S.18). Die Standardabweichung schien bei qualitativer Betrachtung entlang der Höhengradienten nicht zu- oder abzunehmen. Im Tal gibt es genauso hohe und tiefe Werte wie in höheren Lagen. Ausserdem hatte es oft dort eine hohe Standardabweichung, wo die Fläche an Wald grenzt, was z.B. gut zu sehen ist im südlichen Teil des Transekts Escholzmatt. Im Vergleich zur Schnitthäufigkeit ist bei der qualitativen Betrachtung beider Karten ersichtlich, dass niedrige Werte für die NDVI-Standardabweichung, d.h. helle Flächen, nicht unbedingt auf einen spezifischen Wert der Schnitthäufigkeit trafen. So gab es z.B. im Transekt Escholzmatt sowohl dunkle als auch helle Flächen bei der NDVI-Standardabweichung, welche sich an derselben Stelle in der Karte zur Schnitthäufigkeit nicht mehr gross zu unterscheiden schienen. Wie gross der Zusammenhang ist, wird in der statistischen Analyse aufgezeigt (Kapitel 3.3).

3.2.2 NDVI Frühlingsbild

In den untersuchten Transekten konnten im NDVI-Frühlingsbild Werte von 55 bis 142 festgestellt werden (Abbildung 7, S.20). In der *Symbology* wurde die *Colormap*, welche Werte von 0 bis 255 enthält, manuell neu klassifiziert, sodass nun der minimale und der maximale Wert mit Zwischenstufen in neuen Intervallen vereinfacht dargestellt wird. In den Transekten Schüpheim, Escholzmatt und Marbach wurden eher im Tal höhere NDVI-Werte erzielt. Im Vergleich zur Schnitthäufigkeit kann bei einer qualitativen Betrachtung festgestellt werden, dass Stellen mit hohem NDVI im Frühlingsbild oft kongruent sind mit Stellen mit hoher Schnitthäufigkeit. Wie gross der Zusammenhang ist, wird in der statistischen Analyse aufgezeigt (Kapitel 3.3).



NDVI Frühlingsbild
Werte



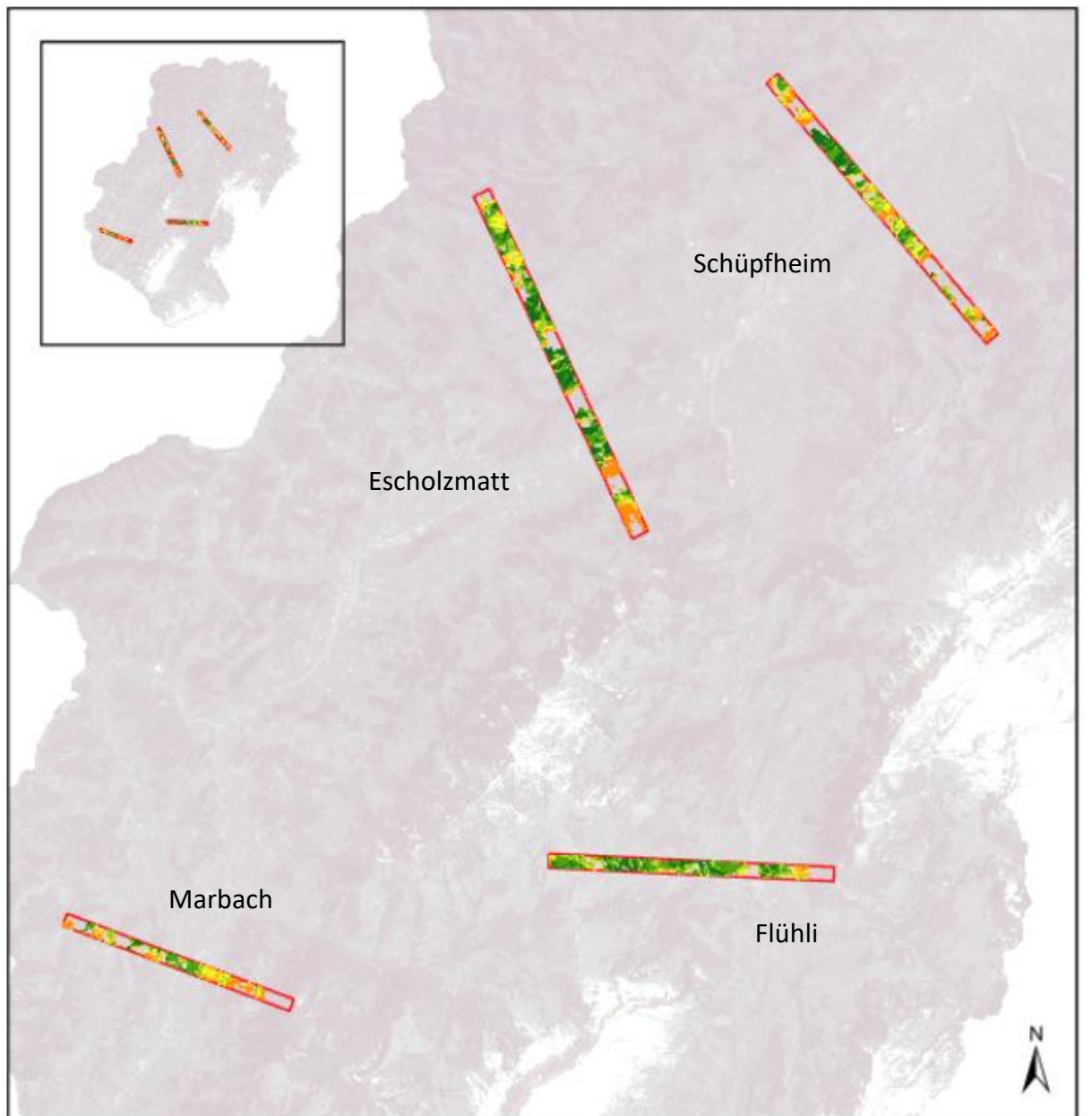
 Transekte



Karte N. Gremlich, 2020
Daten © 2020 Planet Labs Inc.
Hintergrundbild © 2020 Planet Labs Inc.

Abbildung 7: Karte zur Verteilung der NDVI-Werte im Frühlingsbild.

3.2.3 NDVI Herbstbild



NDVI Herbstbild

Werte



 Transekte



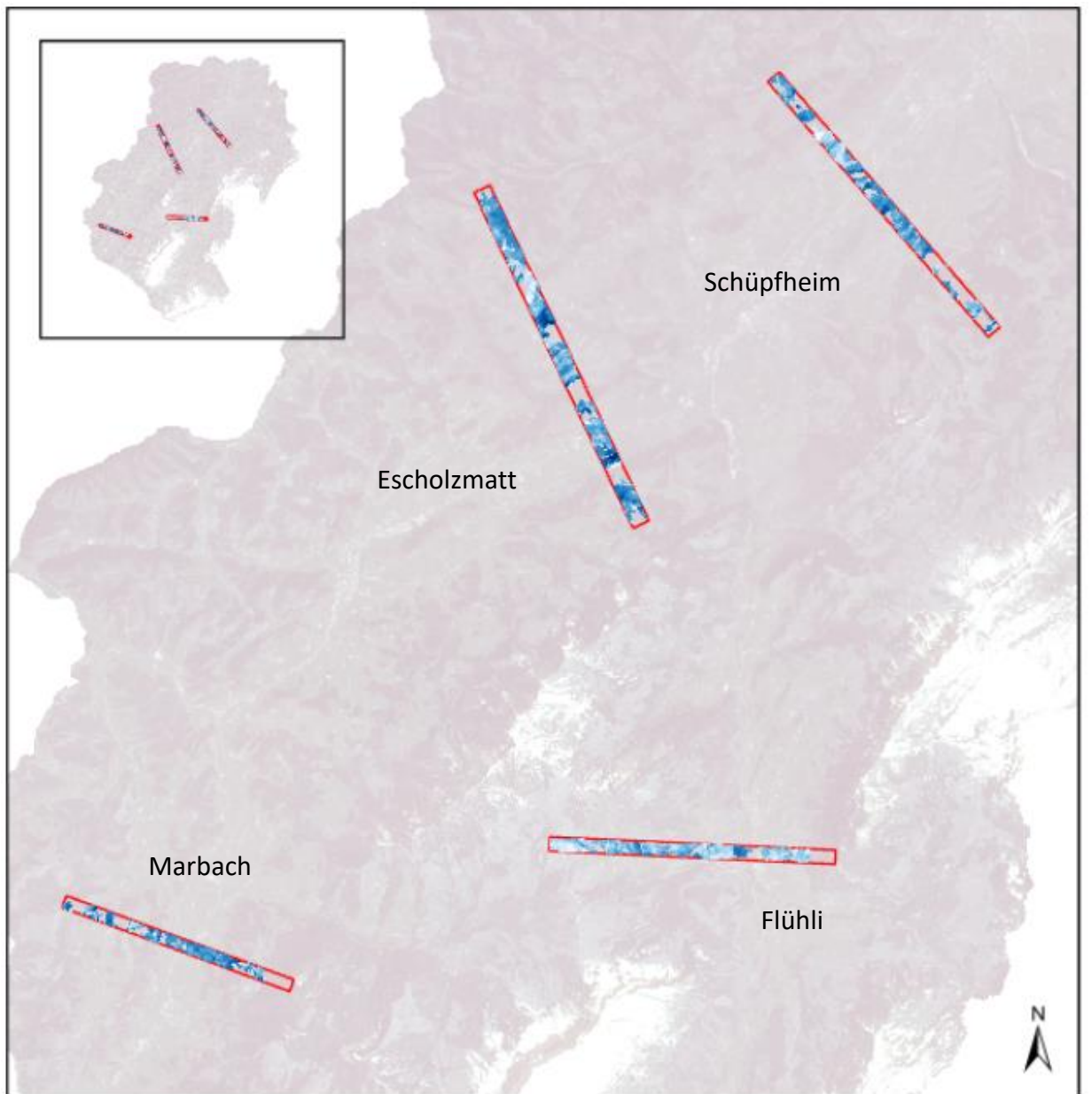
Karte N. Gremlich, 2020
Daten © 2020 Planet Labs Inc.
Hintergrundbild © 2020 Planet Labs Inc.

Abbildung 8: Karte zur Verteilung der NDVI-Werte im Herbstbild.

In den untersuchten Transekten konnten im NDVI-Herbstbild Werte von 46 bis 157 festgestellt werden (Abbildung 8, S.21). In der *Symbology* wurde die *Colormap*, welche Werte von 0 bis 255 enthält, manuell neu klassifiziert, sodass nun der minimale und der maximale Wert mit Zwischenstufen in neuen Intervallen vereinfacht dargestellt wird. In allen Transekten war die Verteilung von hohen und tiefen NDVI-Werten in allen Höhenlagen durchmischt. Im Vergleich zur Schnitthäufigkeit kann bei einer qualitativen Betrachtung festgestellt werden, dass in den Transekten Schüpflheim und Marbach hohe bzw. tiefe NDVI-Werte mit hoher bzw. tiefer Schnitthäufigkeit aufeinander passen. In den Transekten Flühli und Escholzmatt scheint dies nicht zuzutreffen. Wie gross der Zusammenhang ist, wird in der statistischen Analyse aufgezeigt (Kapitel 3.3).

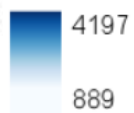
3.2.4 Nahinfrarot Standardabweichung

In den untersuchten Transekten konnten für die Nahinfrarot-Standardabweichung der Satellitenbilder über die ganze Vegetationsperiode Werte von 889 bis 4'197 festgestellt werden (Abbildung 9, S.23). Tiefe und hohe Werte scheinen keiner Regel betreffend der Verteilung durch die verschiedenen Höhenlagen zu folgen. Hohe Werte der NIR-Standardabweichung liegen im Vergleich mit der Schnitthäufigkeit bei einer qualitativen Betrachtung sowohl an Stellen mit hoher als auch tiefer Schnitthäufigkeit. Wie gross der Zusammenhang ist, wird in der statistischen Analyse aufgezeigt (Kapitel 3.3).



NIR Standardabweichung Transekte

Werte

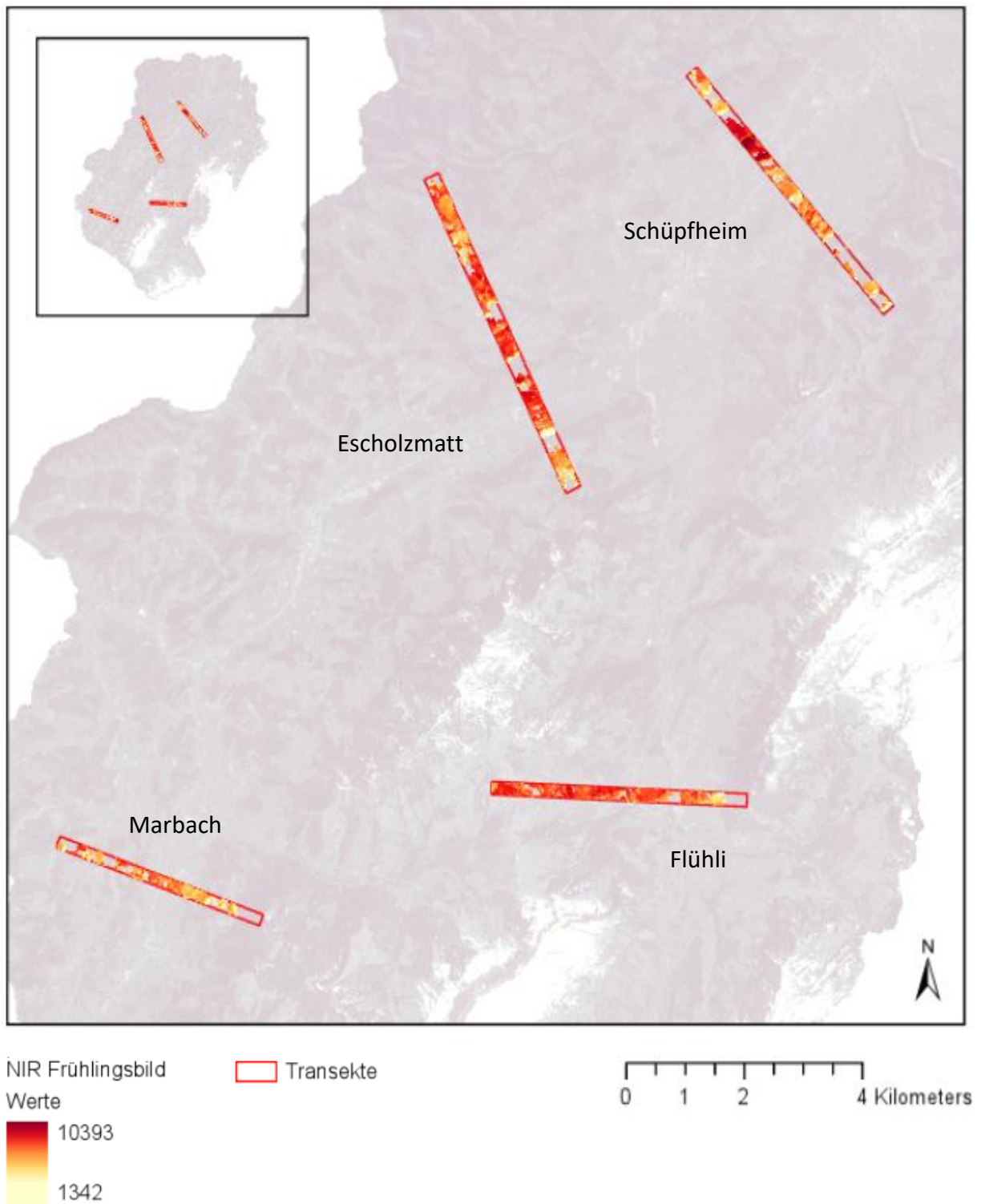


0 1 2 4 Kilometers

Karte N. Gremlich, 2020
 Daten © 2020 Planet Labs Inc.
 Hintergrundbild © 2020 Planet Labs Inc.

Abbildung 9: Karte zur Verteilung der Standardabweichung der Nahinfrarotwerte.

3.2.5 Nahinfrarot Frühlingsbild



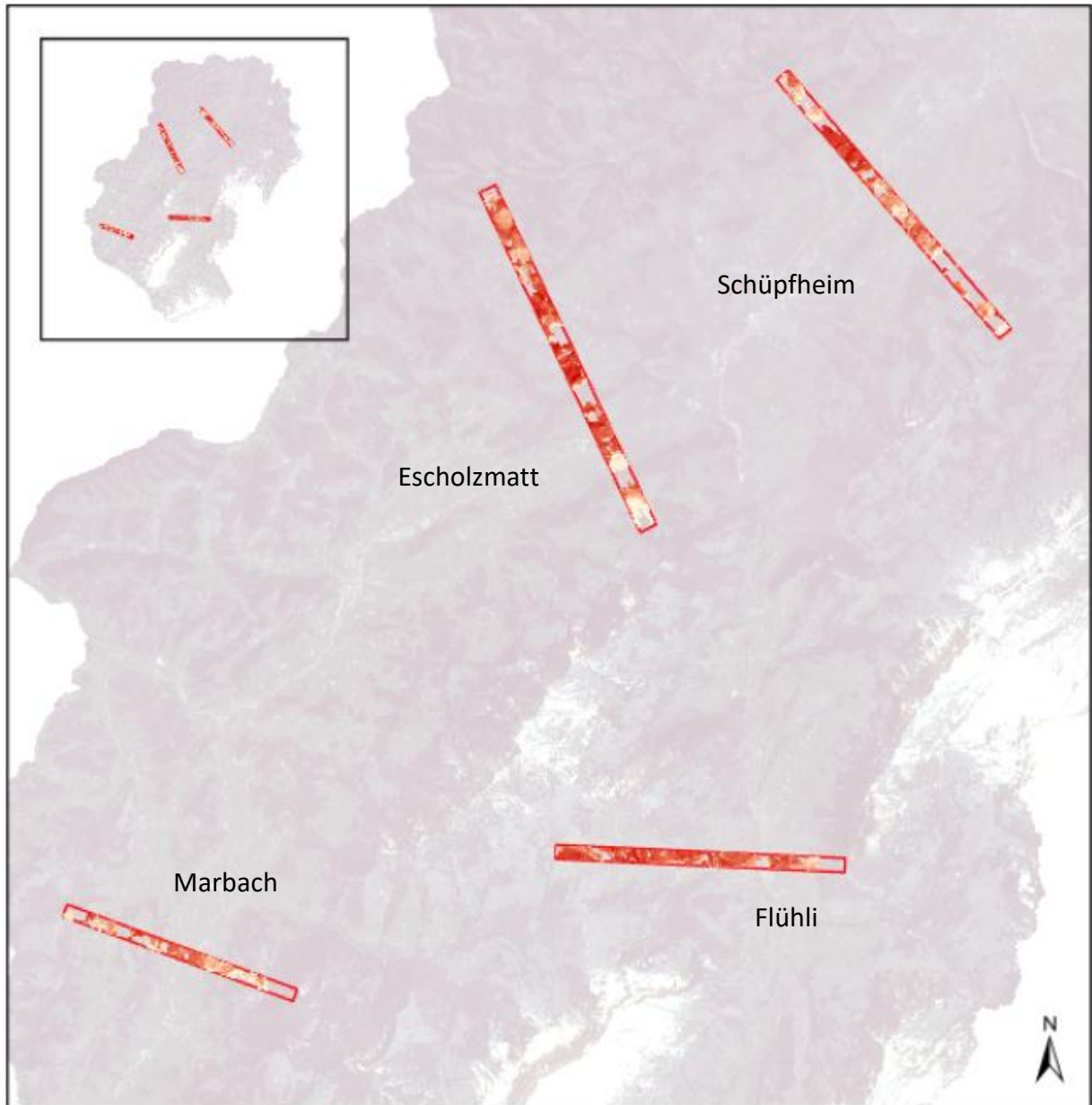
Karte N. Gremlich, 2020
Daten © 2020 Planet Labs Inc.
Hintergrundbild © 2020 Planet Labs Inc.

Abbildung 10: Karte zur Verteilung der Nahinfrarotwerte im Frühlingsbild.

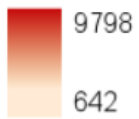
In den untersuchten Transekten konnten im Nahinfrarot-Frühlingsbild Werte von 1'342 bis 10'393 festgestellt werden (Abbildung 10, S.24). Hohe bzw. tiefe Werte scheinen v.a. in den Transekten Schüpfheim und Marbach auf hohe bzw. tiefe Werte der Schnitthäufigkeit zutreffend. In den Transekten Escholzmatt und Flühli hingegen ist bei einer qualitativen Betrachtung kein Zusammenhang zu sehen. Wie gross der Zusammenhang ist, wird in der statistischen Analyse aufgezeigt (Kapitel 3.3).

3.2.6 Nahinfrarot Herbstbild

In den untersuchten Transekten konnten im Nahinfrarot-Herbstbild Werte von 642 bis 9'798 festgestellt werden (Abbildung 11, S.26). Hohe bzw. tiefe Werte scheinen bei qualitativer Betrachtung v.a. in den Transekten Schüpfheim und Marbach auf hohe bzw. tiefe Werte der Schnitthäufigkeit relativ passend. In den Transekten Escholzmatt und Flühli hingegen ist bei einer qualitativen Betrachtung kein Zusammenhang zu sehen. Wie gross der Zusammenhang ist, wird in der statistischen Analyse aufgezeigt (Kapitel 3.3).



NIR Herbstbild
Werte



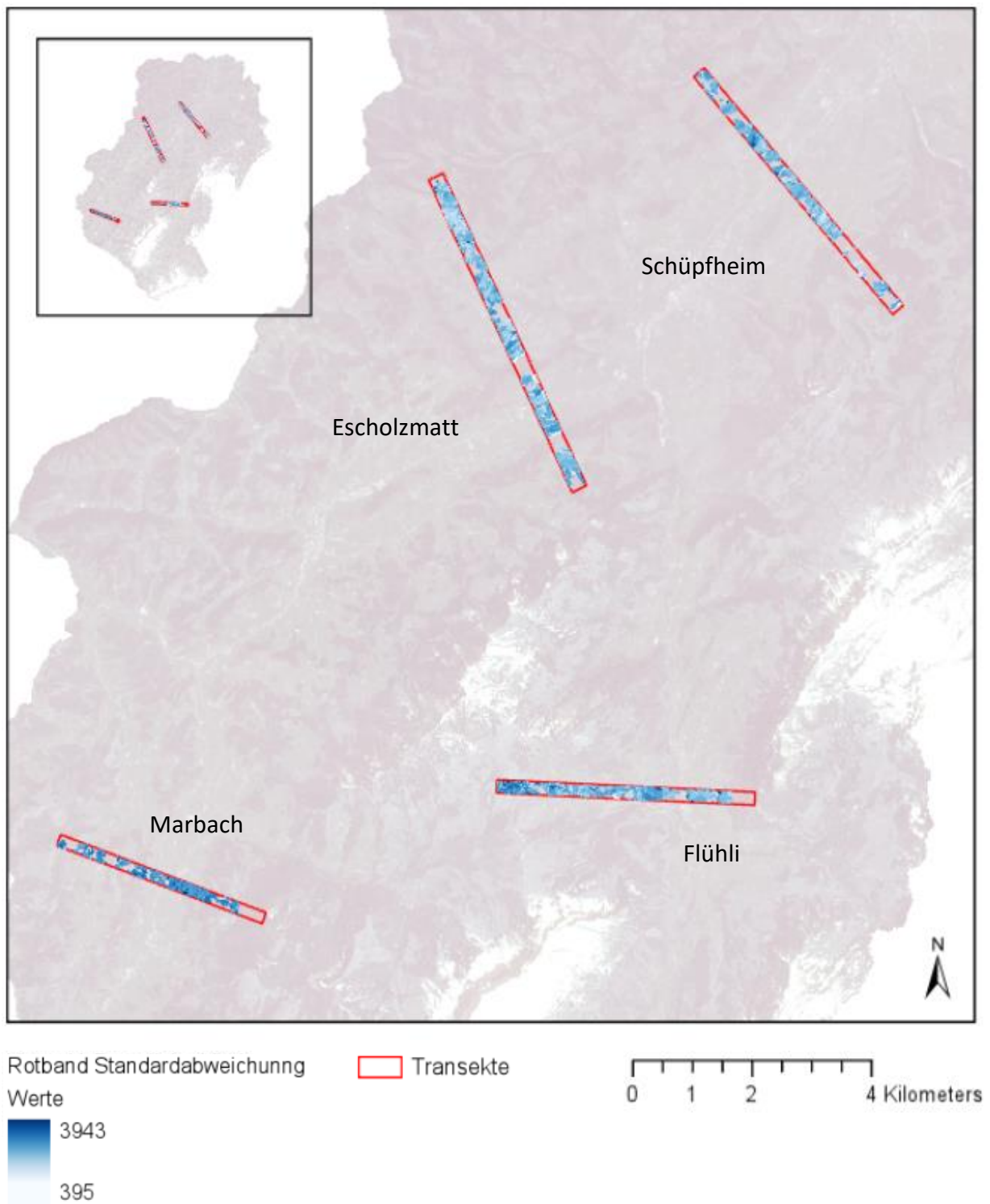
Transekte



Karte N. Gremlich, 2020
Daten © 2020 Planet Labs Inc.
Hintergrundbild © 2020 Planet Labs Inc.

Abbildung 11: Karte zur Verteilung der Nahinfrarotwerte im Herbstbild.

3.2.7 Rotband Standardabweichung



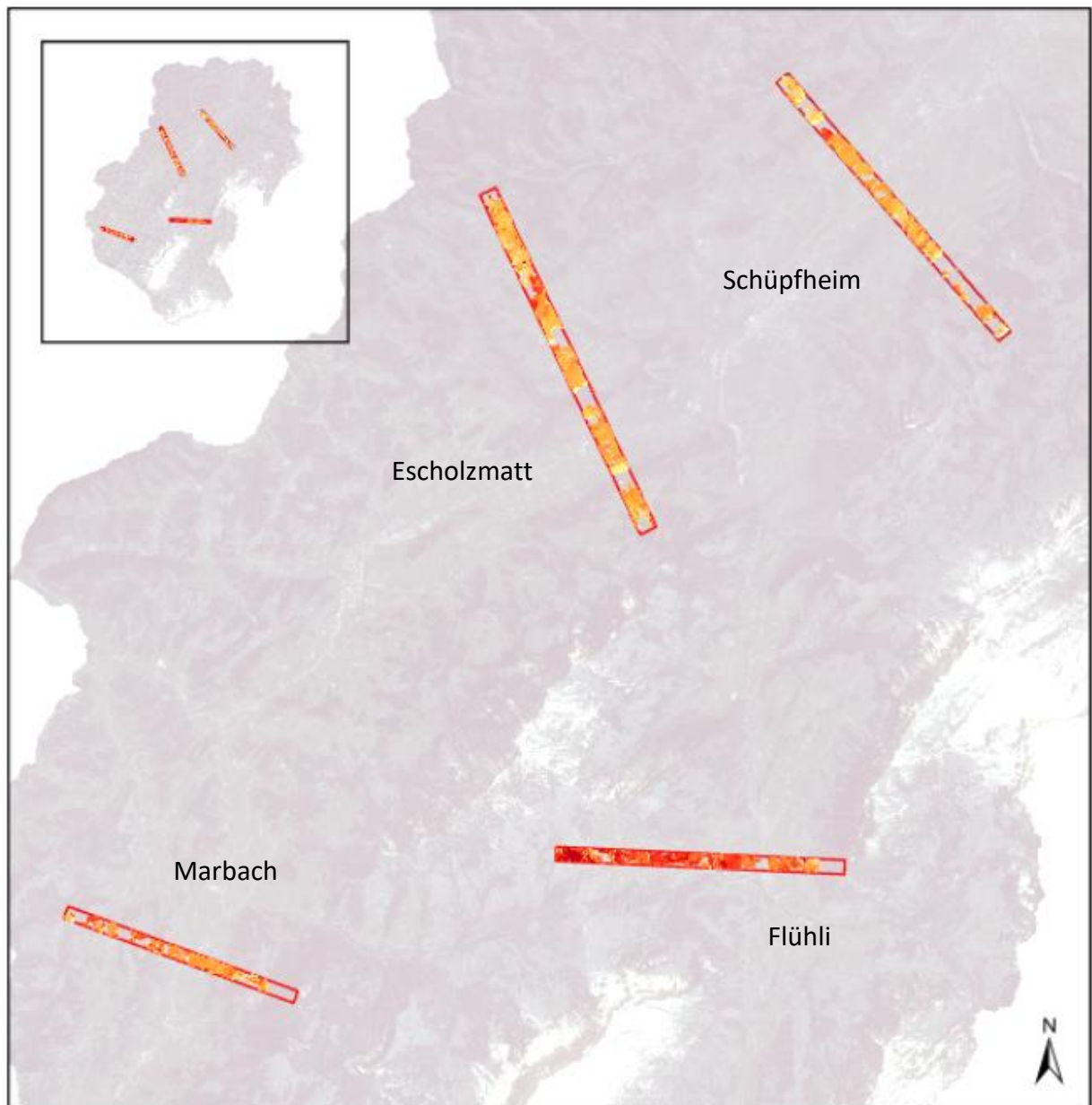
Karte N. Gremlich, 2020
Daten © 2020 Planet Labs Inc.
Hintergrundbild © 2020 Planet Labs Inc.

Abbildung 12: Karte zur Verteilung der Werte der Rotband-Standardabweichung.

In den untersuchten Transekten konnten für die Rotband-Standardabweichung der Satellitenbilder über die ganze Vegetationsperiode Werte von 395 bis 3'943 festgestellt werden (Abbildung 12, S.27). Tiefe und hohe Werte scheinen bei qualitativer Betrachtung keiner Regel betreffend die Verteilung durch die verschiedenen Höhenlagen zu folgen. In allen Transekten scheint die Verteilung der Werte homogen, anders als die Verteilung der Schnitthäufigkeit, wo v.a. in tieferen Lagen die Schnitthäufigkeit grösser ist als in höheren Lagen. Wie gross der Zusammenhang ist, wird in der statistischen Analyse aufgezeigt (Kapitel 3.3).

3.2.8 Rotband Frühlingsbild

In den untersuchten Transekten konnten im Rotband-Frühlingsbild Werte von 3'054 bis 13'724 festgestellt werden (Abbildung 13, S.29). Bei qualitativer Betrachtung scheinen tiefe und hohe Werte keiner Regel betreffend der Verteilung durch die verschiedenen Höhenlagen zu folgen. In allen Transekten scheint die Verteilung der Werte relativ homogen, anders als die Verteilung der Schnitthäufigkeit, wo v.a. in tieferen Lagen die Schnitthäufigkeit grösser ist als in höheren Lagen. Das Transekt Flühli hat im Vergleich zu den anderen Transekten hohe Werte für das Rotband. Wie gross der Zusammenhang ist, wird in der statistischen Analyse aufgezeigt (Kapitel 3.3).



Rotband Frühlingsbild

Transekte

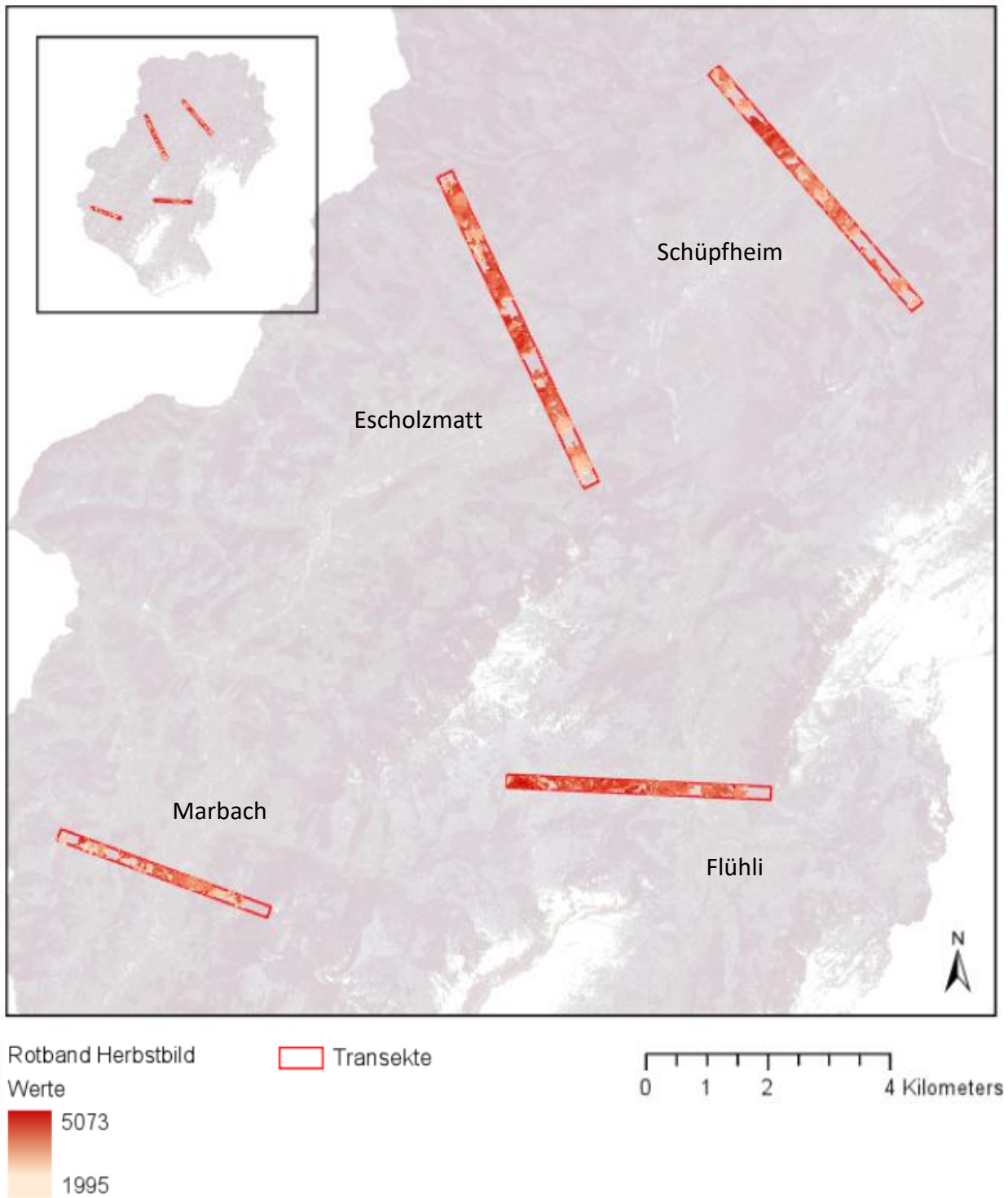
Werte



Karte N. Gremlich, 2020
 Daten © 2020 Planet Labs Inc.
 Hintergrundbild © 2020 Planet Labs Inc.

Abbildung 13: Karte zur Verteilung der Rotbandwerte im Frühlingsbild.

3.2.9 Rotband Herbstbild



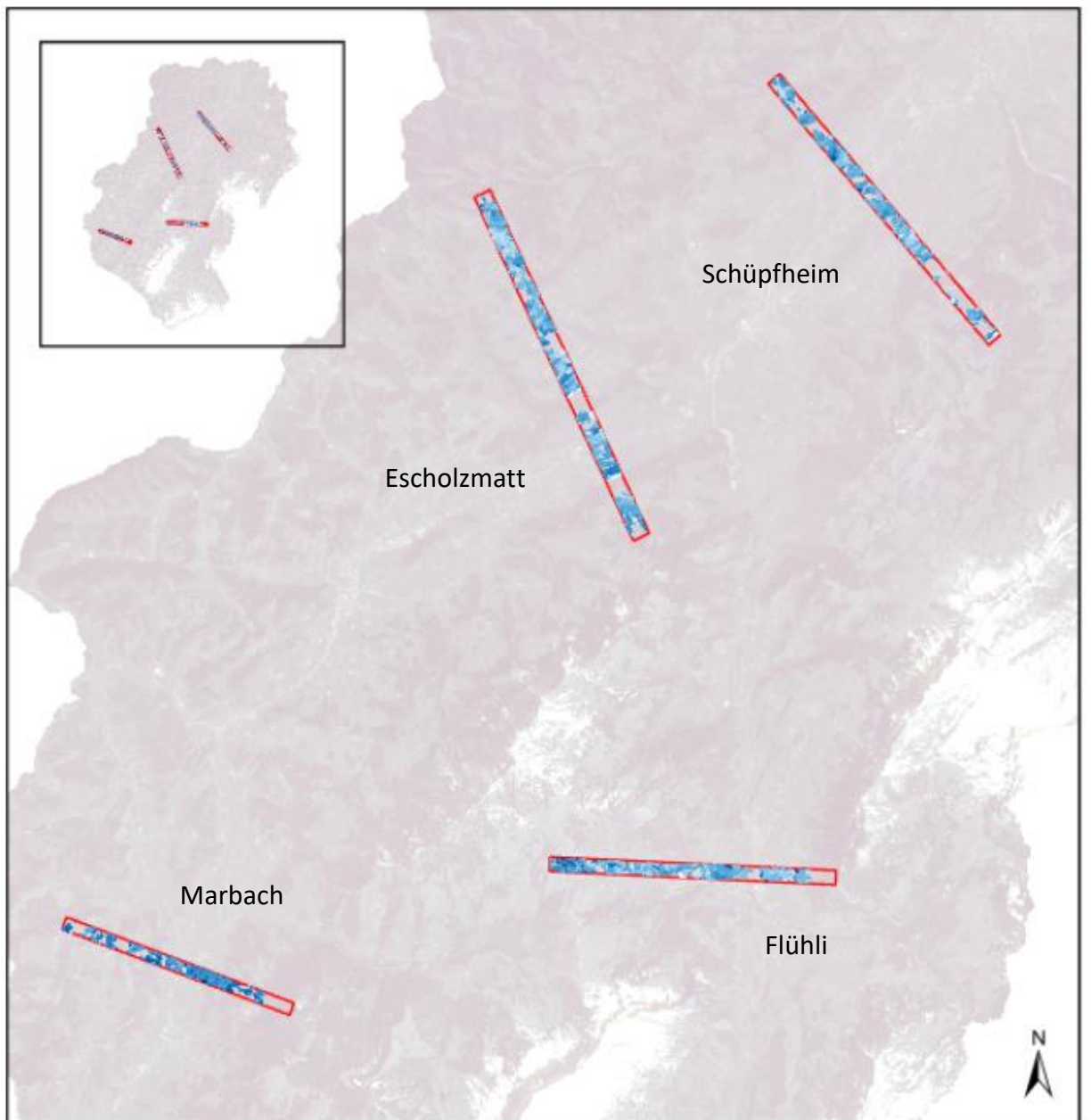
Karte N. Gremlich, 2020
Daten © 2020 Planet Labs Inc.
Hintergrundbild © 2020 Planet Labs Inc.

Abbildung 14: Karte zur Verteilung der Rotbandwerte im Herbstbild.

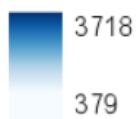
In den untersuchten Transekten konnten im Rotband-Herbstbild Werte von 1'995 bis 5'073 festgestellt werden (Abbildung 14, S.30). Anders als bei der Verteilung der Schnitthäufigkeit, sind bei qualitativer Betrachtung relativ oft hohe Werte für das Rotband durch alle Höhenlagen hindurch vorhanden. Hohe Werte des Rotbandes scheint es sowohl für tiefe als auch für hohe Werte der Schnitthäufigkeit an derselben Stelle zu geben. Wie gross der Zusammenhang ist, wird in der statistischen Analyse aufgezeigt (Kapitel 3.3).

3.2.10 Grünband Standardabweichung

In den untersuchten Transekten konnten für die Grünband-Standardabweichung der Satellitenbilder über die ganze Vegetationsperiode Werte von 379 bis 3'7183 festgestellt werden (Abbildung 15, S.32). Bei qualitativer Betrachtung scheint die Verteilung der Werte für die Grünband-Standardabweichung gleichmässig homogen durch alle Höhenlagen. Tiefe als auch hohe Werte für die Schnitthäufigkeit scheinen an derselben Stelle eine ähnliche Grünband-Standardabweichung zu haben. Wie gross der Zusammenhang ist, wird in der statistischen Analyse aufgezeigt (Kapitel 3.3).



Grünband Standardabweichung
Werte



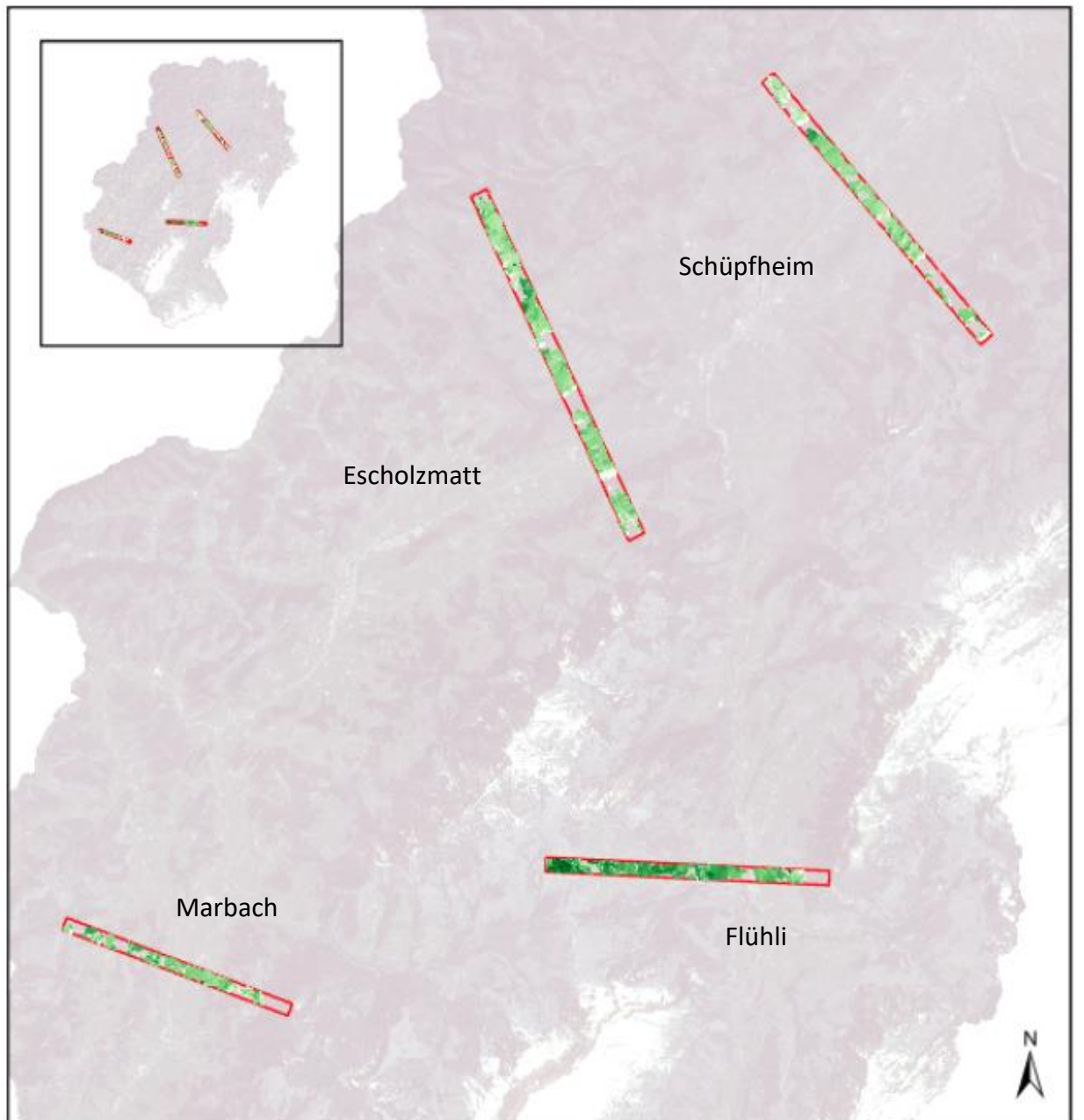
Transekte



Karte N. Gremlich, 2020
Daten © 2020 Planet Labs Inc.
Hintergrundbild © 2020 Planet Labs Inc.

Abbildung 15: Karte zur Verteilung der Standardabweichung der Grünbandwerte.

3.2.11 Grünband Frühlingsbild



Grünband Frühlingsbild

Werte

12695

2571

Transekte

0 1 2 4 Kilometers

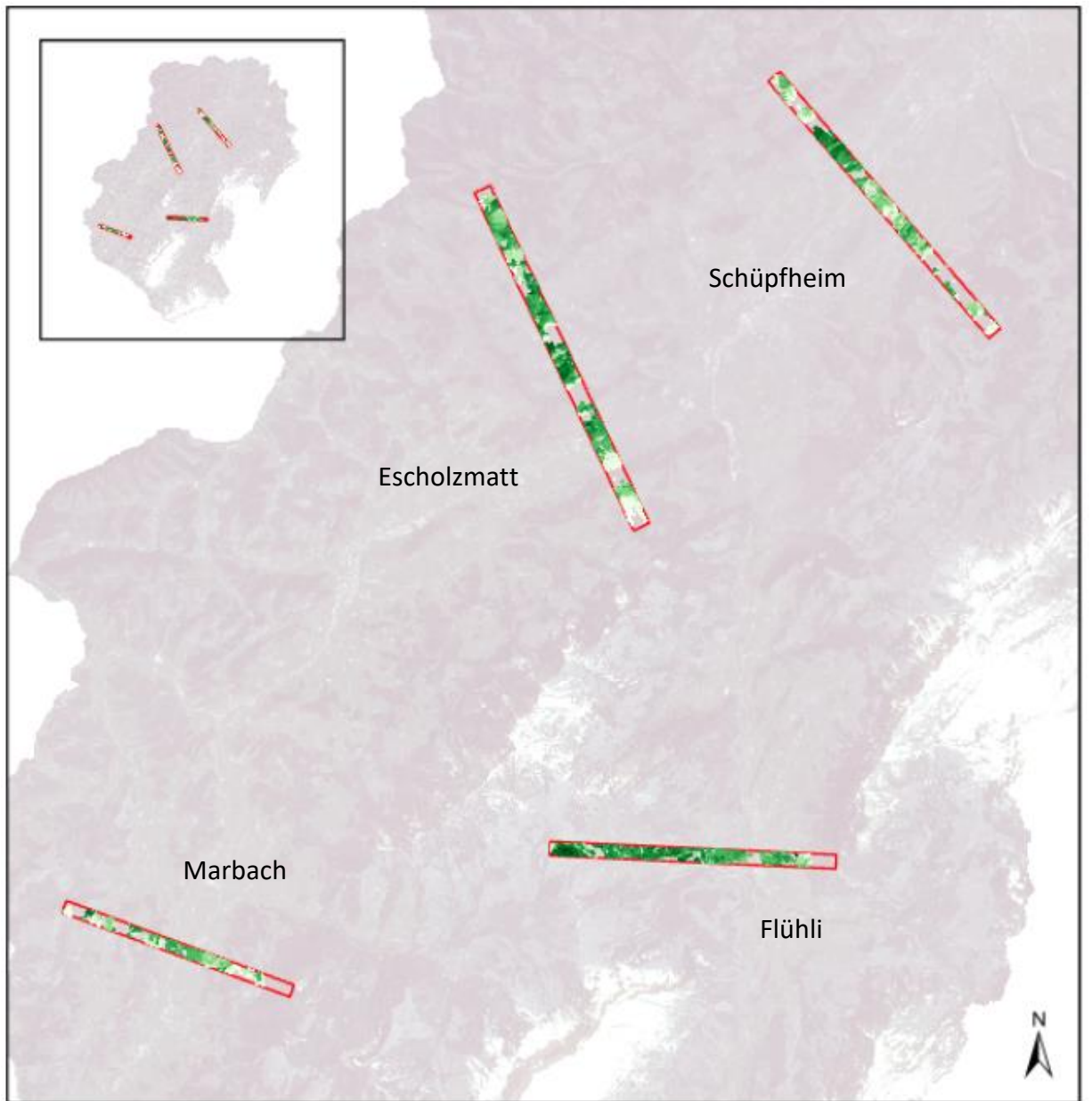
Karte N. Gremlich, 2020
Daten © 2020 Planet Labs Inc.
Hintergrundbild © 2020 Planet Labs Inc.

Abbildung 16: Karte zur Verteilung der Grünbandwerte im Frühlingsbild.

In den untersuchten Transekten konnten im Grünband-Frühlingsbild Werte von 2'571 bis 12'695 festgestellt werden (Abbildung 16, S.33). Bei qualitativer Betrachtung gibt es die höchsten Werte v.a. im Transekt Flühli. Hohe Werte für das Grünband scheint es sowohl für tiefe als auch für hohe Werte der Schnitthäufigkeit an derselben Stelle zu geben. Wie gross der Zusammenhang ist, wird in der statistischen Analyse aufgezeigt (Kapitel 3.3).

3.2.12 Grünband Herbstbild

In den untersuchten Transekten konnten im Grünband-Herbstbild Werte von 1'594 bis 4'631 festgestellt werden (Abbildung 17, S.35). Bei qualitativer Betrachtung scheinen die Werte z.T. in den Tälern zu liegen, z.T. aber auch in höheren Lagen. Hohe Werte für das Grünband scheint es sowohl für tiefe als auch für hohe Werte der Schnitthäufigkeit an derselben Stelle zu geben. Wie gross der Zusammenhang ist, wird in der statistischen Analyse aufgezeigt (Kapitel 3.3).



Grünband Herbstbild

Transekte

Werte

4631

1594

0 1 2 4 Kilometers

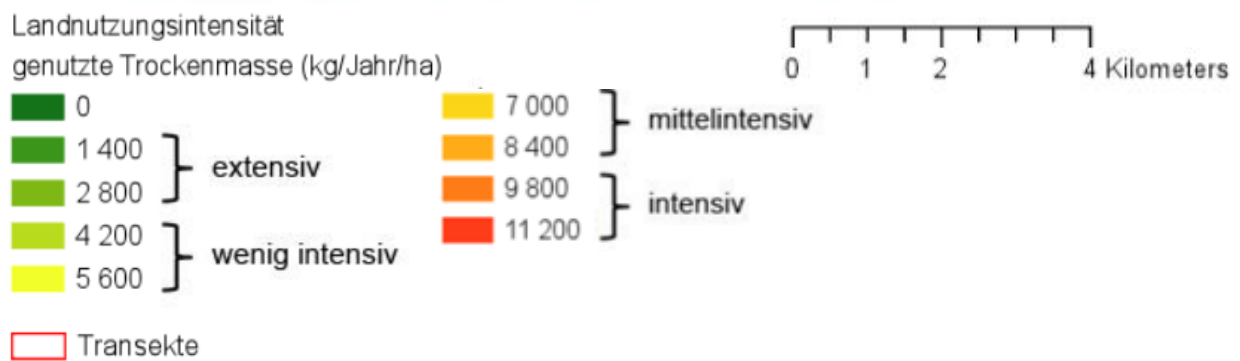
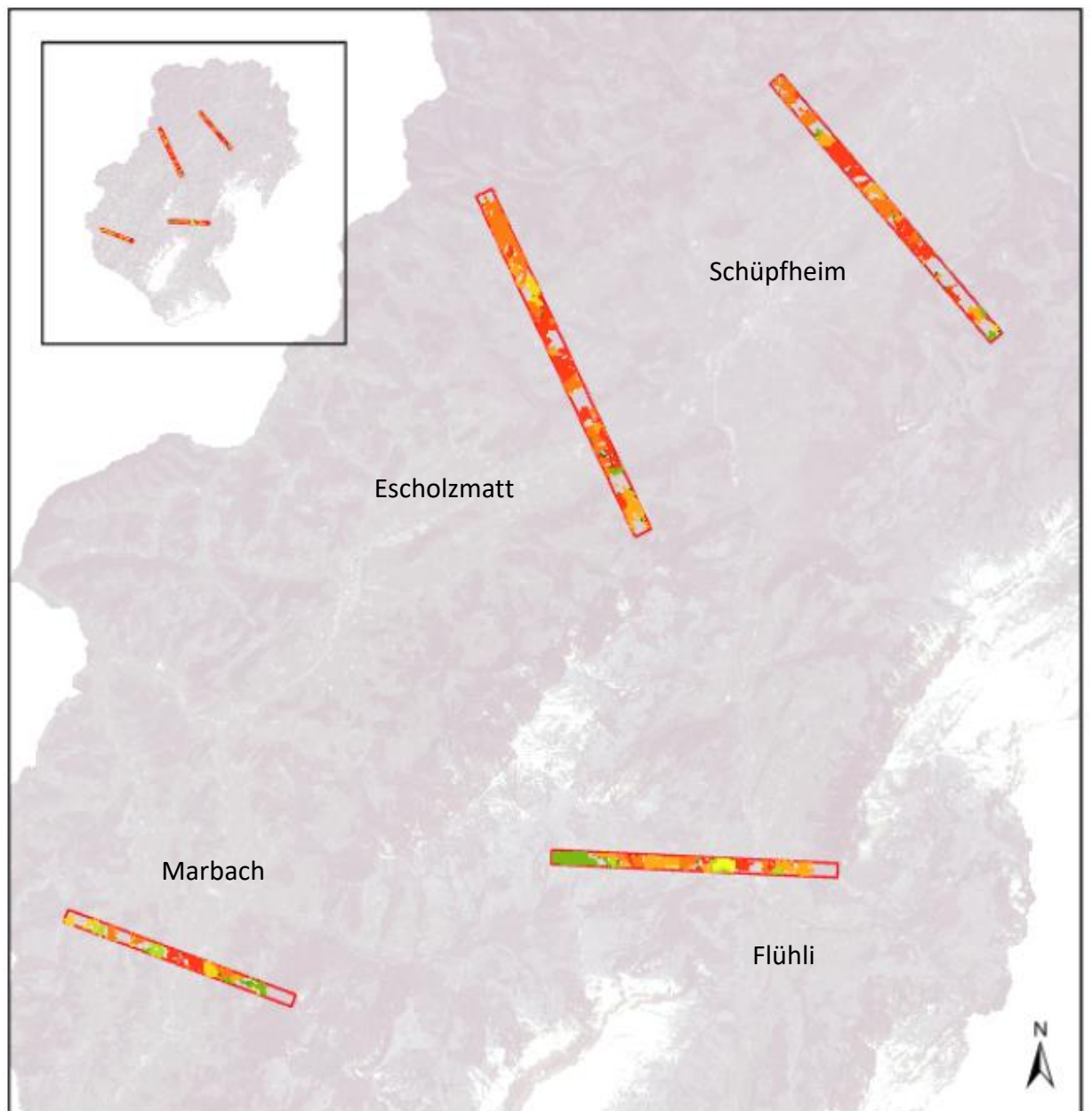
Karte N. Gremlich, 2020

Daten © 2020 Planet Labs Inc.

Hintergrundbild © 2020 Planet Labs Inc.

Abbildung 17: Karte zur Verteilung der Grünbandwerte im Herbstbild.

3.2.13 Knaus' Landnutzungsintensität



Karte N. Gremlich, 2020
 Daten © F. Knaus, 2015
 Hintergrundbild © 2020 Planet Labs Inc.

Abbildung 18: Karte zur Verteilung der genutzten Trockenmasse als Landnutzungsintensität.

In den untersuchten Transekten konnten Landnutzungsintensitäten, gemessen als genutzte Trockenmasse von 0 bis 11'200 kg/Jahr/ha, festgestellt werden (Abbildung 18, S.36). Es ist ersichtlich, dass in allen Transekten vor allem intensiv genutzte Wiesen vertreten sind (siehe auch Abbildung 19). Bei qualitativer Betrachtung ist zu erkennen, dass im Tal die Flächen intensiver genutzt werden als in höheren Lagen. Mit zunehmender Höhe nimmt die Landnutzungsintensität ab, jedoch ist der Anteil an extensiv bewirtschafteten Wiesen im grünen Bereich v.a. in den Transekten Schüpfheim und Escholzmatt gering. Im Vergleich sind in den zwei südlich gelegenen Transekten mehr extensive Wiesen vorhanden als in den nördlichen Transekten. Im Vergleich zur Schnitthäufigkeit ist bei qualitativer Betrachtung zu sehen, dass z.B. tiefe Schnitthäufigkeiten nicht immer auf Stellen mit tiefer genutzter Trockenmasse fallen, und umgekehrt.

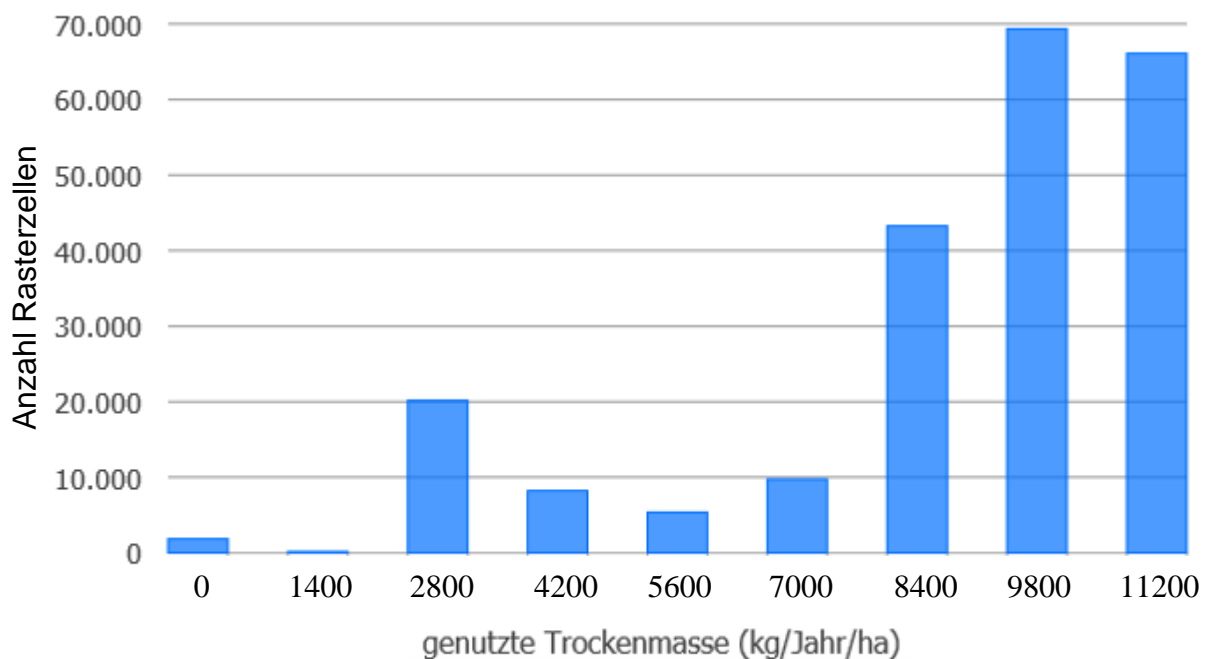


Abbildung 19: Histogramm mit der Anzahl Rasterzellen pro Wert für die genutzte Trockenmasse.
Quelle: eigene Darstellung mit Daten von F. Knaus (2015).

In der vorliegenden Arbeit gelten 13.2 % der Fläche als nicht geschnitten, während gemäss Knaus' Studie nur 0.9 % der Fläche als nicht geschnitten gelten. Ausserdem liegt in dieser Arbeit ein grösserer Anteil an extensiver Wiesen vor (ca. 58 %), während intensive Wiesen in der Studie von Knaus den grösseren Anteil ausmachen. Wie gross der Zusammenhang zwischen der hier erfassten Schnitthäufigkeit und Knaus' Landnutzungsintensität ist, wird in der statistischen Analyse aufgezeigt (Kapitel 3.3).

3.3. Statistische Analyse

Die Forschungsfragen wurden mittels linearer Regressionsanalyse mit der Schnitthäufigkeit als abhängige Variable und den 13 Prädiktoren als unabhängige Variablen überprüft. Die linearen Korrelationen zwischen Schnitthäufigkeit und den Prädiktoren fallen tief aus (Tabelle 1).

Tabelle 1: Schnitthäufigkeit in Korrelation mit den 13 Prädiktoren mit den Korrelationskoeffizienten r und r^2 , wobei SD = Standardabweichung.

	Schnitthäufigkeit		
	r	r^2	p -Wert
NDVI SD	- 0.353	0.125	0.000
NDVI Frühlingsbild	0.611	0.373	0.000
NDVI Herbstbild	0.422	0.178	0.000
NIR SD	0.142	0.02	0.000
NIR Frühlingsbild	0.461	0.213	0.000
NIR Herbstbild	0.437	0.191	0.000
Rotband SD	- 0.184	0.034	0.000
Rotband Frühlingsbild	- 0.249	0.062	0.000
Rotband Herbstbild	0.238	0.056	0.000
Grünband SD	- 0.157	0.025	0.000
Grünband Frühlingsbild	- 0.207	0.043	0.000
Grünband Herbstbild	0.295	0.087	0.000
Knaus' LNI	0.473	0.223	0.000

Am besten korreliert die Schnitthäufigkeit mit dem NDVI-Frühlingsbild ($r^2 = 0.373$). Alle anderen Prädiktoren zeigen einen Korrelationskoeffizienten (r^2) von unter 0.223, was beim qualitativen Vergleich der Karten bereits erahnt werden konnte. Die Signifikanz (p -Wert) der Korrelationskoeffizienten ist für jeden Prädiktor annähernd gleich null und damit äusserst hoch. Die Suche nach einem geeigneten Prädiktor für die Schnitthäufigkeit kann hiermit als wenig erfolgreich angesehen werden, obschon das NDVI-Frühlingsbild am besten, aber dennoch wenig mit der Schnitthäufigkeit korreliert.

4. Diskussion

4.1 Schnitthäufigkeit und Nutzungsintensität

In dieser Arbeit wird ersichtlich, dass die genutzte Zeitreihe grosse Lücken von drei bis vier Wochen aufweist, anstatt der angestrebten zwei Wochen, was sehr wahrscheinlich dazu geführt haben könnte, dass nicht alle Schnitte erfasst wurden. Das kann auch dadurch erkannt werden, dass gemäss der Studie von Knaus (2015) der Anteil nicht geschnittener Fläche im Total 12.3 % geringer ist. Auch ein- bis zweimal geschnittene Flächen erzielen in dieser Arbeit einen grösseren Anteil. Die nicht geschnittenen Flächen fallen im Transekt Escholzmatt grösstenteils auf Weiden (vgl. rawi Kanton Luzern, 2020). Im Transekt Schüpflheim beziehen sich die nicht geschnittene Flächen auf Ökoflächen (Kulturflächen im NHG), Weiden oder Bäume. Im Transekt Flühli fallen nicht geschnittene Flächen auf Sömmerungsweiden, Weiden, Bäume, aber auch Wiesen. Im Transekt Marbach fallen nicht geschnittene Flächen auf Kulturflächen im NHG, Weiden, normale Wiesen oder Bäume. Ausserdem muss in Betracht gezogen werden, dass die nicht geschnittenen Flächen im gesetzten Zeitraum vom 15.03.2017 bis 31.10.2017 zwar nicht geschnitten wurden, jedoch die Möglichkeit besteht, dass die Flächen vor oder nach diesem Zeitraum geschnitten wurden. Von daraus resultierenden Schnittversäumnissen wurde bereits in Studien von Gómez Giménez et al. (2017) und Asam et al. (2015) berichtet. Eine weitere Möglichkeit, um die Anzahl der Beobachtungszeitpunkte zu verbessern, besteht in der Kombination aus verschiedenen Satelliten, wie beispielsweise eine Kombination aus Landsat-8 und Sentinel-2 in der Studie von Griffiths et al. (2019). Anstelle von Satelliten könnten auch Drohnen genutzt werden. Fan et al. (2017) demonstrieren in ihrem Paper den Gebrauch einer Drohne, welche mit einer kostengünstigen RGB-NIR-Kamera ausgestattet ist. Bisher fehlte die Nahinfrarotaufnahme bei Drohnen. Vorteile der Drohne sind, dass das gewünschte Gebiet selbst in gewünschter Zeitperiode überflogen und eine Bewölkung unterflogen werden kann.

Interessant ist ein Vergleich der Ergebnisse zur Verteilung der Nutzungsintensitäten zwischen dieser Arbeit und der Studie von Gómez Giménez et al. (2017), da beide Studiengebiete in der Schweiz liegen und einen hohen Anteil an Dauerwiesen aufweisen. Ein Vergleich kann, muss aber nicht, einen Hinweis auf die Validität der selbst erfassten Schnitthäufigkeit geben. Wird eine Klassifizierung gemäss Gómez Giménez et al. (2017) auf die hier erfasste Schnitthäufigkeit angewendet und die nicht geschnittenen Flächen zu den extensiven Wiesen und die mehr als sechsmal geschnittenen Flächen zu den intensiven Wiesen gezählt, so liegt der Anteil extensiver Wiesen bei 58.7 % (Anteil in dieser Arbeit) vs. 37 % (Anteil in der Studie von Gómez Giménez et al. (2017)), der Anteil mittelintensiver Wiesen bei 20 % vs. 46 % und der Anteil

intensiver Wiesen bei 21.3 % vs. 17 %. Die Anwendung der oben erwähnten Klassifizierung macht sich in einem grossen Unterschied der extensiven und mittelintensiven Wiesen-Anteile bemerkbar. Dies führt zur Annahme, dass in dieser Arbeit eine Problematik der Schnittversäumnisse vorliegt, welche zu einem Versäumen von Schnitten führt.

Die Schnitthäufigkeit wurde in dieser Bachelorarbeit optisch von Auge und manuell erfasst, weshalb sie subjektiv ist. Es wurde deshalb mit Satellitenbildern gearbeitet, die eine hohe Auflösung aufweisen. Eine Auflösung von 10 m, wie z.B. die von Sentinel-2, wurde bereits als zu unscharf wahrgenommen. Es erwies sich als Schwierigkeit, Mähflächen aufgrund von Unschärfe oder Unsicherheit korrekt zu erfassen. Das könnte daran gelegen haben, dass einige Flächen als Weide oder Ökofläche genutzt wurden, die dadurch farblich schwierig einzuschätzen waren. Dies wurde jedoch nicht berücksichtigt. Eine fundierte Validierung der erfassten Schnitthäufigkeit gab es nicht. Wie bereits erwähnt, kann es passiert sein, dass nicht alle Schnittereignisse erfasst wurden, entweder wegen lückenhafter Zeitreihe oder vereinzelter Unsicherheiten beim Bildvergleich. Damit die in dieser Arbeit erfasste Schnitthäufigkeit auf ihre Korrektheit untersucht werden kann, wäre ein Vergleich mit computerbasierten Modellen sinnvoll. Die Studie von Kolecka et al. (2018) kam zum Ergebnis, dass die Schnitthäufigkeit gut anhand des trotz geringen NDVI-Unterschiedes vor und nach einem Schnittereignis automatisiert erfasst werden kann. Eine Ausweitung des Untersuchungszeitraumes auf Februar bis November kann indes auch sinnvoll sein, um Schnittversäumnisse zu vermindern. Der Untersuchungszeitraum müsste zwischen Studien in allen Studien einheitlich gewählt werden, um einen korrekten Vergleich zu gewährleisten.

4.2 Korrelationen

Um die erfasste Schnitthäufigkeit der Wiesen und damit die Nutzungsintensität einfacher darstellen zu können, wurde im Rahmen dieser Arbeit nach Prädiktoren für die Nutzungsintensität gesucht, die aus Satellitendaten abgeleitet werden können. Die Ergebnisse zeigen, dass unter 13 getesteten Prädiktoren das NDVI-Frühlingsbild, unter Annahme eines linearen Zusammenhangs, am besten, aber nur schwach ($r^2 = 0.373$) mit der Schnitthäufigkeit korreliert. Der erhaltene Korrelationswert zwischen der Schnitthäufigkeit und dem NDVI-Frühlingsbild könnte dadurch erklärt werden, dass zu Beginn der Wachstumsperiode die nährstoffreicheren, intensiv genutzten Wiesen schneller wachsen, während die nährstoffärmeren, extensiv genutzten Wiesen langsamer wachsen, was sich dann in unterschiedlichen NDVI-Werten zeigen könnte. Diese

Überlegung kann darauf gestützt werden, dass die gelblich-braun gefärbte, im Winter vertrocknete Magerwiese ihr Wachstum erst wieder einstellen muss (Bernstein, 2015). Im Gegenteil dazu bleiben die nährstoffreichen Fettwiesen gemäss Bernstein (2015) auch im Winter grün und können aufgrund der vorhandenen Nährstoffreserven durch die Düngung auch früher austreiben. Im Vergleich zu den niedrigeren Korrelationen der anderen Prädiktoren liegt es deshalb nahe, dass sich die unterschiedlich genutzten Wiesen im Frühling am stärksten unterscheiden. Die Korrelation könnte höher ausfallen, wenn ein pures Bild vom 15.03.2017, jedoch ohne Schnee, analysiert werden würde. Dies, weil im März die Differenzierung zwischen den unterschiedlich genutzten Wiesen grösser ist, als im April. In einer weiteren Studie könnte mit einem noch früheren Frühlingbild, z.B. anfangs März, überprüft werden, ob die Korrelation noch deutlicher wird. Dazu könnten dann jegliche Satellitenbilder von verschiedenen Satelliten herangezogen werden, welche nur wolkenfrei sein müssten. Damit der Zusammenhang zwischen einem frühen Frühlingbild und der Anzahl Schnitte generalisiert werden kann, müsste dieser Prädiktor in verschiedenen Regionen und Jahren weiter getestet werden. Die Variabilität zwischen verschiedenen Jahren wird in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, da sie sich nur auf das Jahr 2017 bezieht. Dieser Prädiktor könnte sowohl in weiteren Jahren als auch in vermehrt abnormen Jahren, wie z.B. das Hitzejahr 2018, im Hinblick auf den Klimawandel und damit verbundene Veränderungen in der Vegetation und Bewirtschaftung, untersucht werden.

Zu Beginn der Arbeit wurde weiter davon ausgegangen, dass ein Zusammenhang zwischen der Schnitthäufigkeit und der NDVI-Standardabweichung bestehen könnte. Diese Annahme beruhte darauf, dass gemäss Christian Ginzler (zitiert nach Florian Knaus, persönliche Kommunikation, 07.02.2020) eine höhere Schnitthäufigkeit zu einer grösseren Variabilität des NDVIs über die verschiedenen, untersuchten Satellitenbilder führt. Die niedrige Korrelation von $r^2 = 0.125$ könnte dadurch erklärt werden, dass die Farbunterschiede zwischen den geschnittenen, aufwachsenden und ungeschnittenen Flächen geringfügig sind. Respektive, dass es andere Einflüsse gibt, die wesentlich grösser ausfallen. Dazu gehört insbesondere die Beschattung durch umliegende Wälder und tiefer Sonnenstand zur Zeit der Bildaufnahme. Für eine genauere Untersuchung dieser Einflüsse müssten die Puffer um die Wälder wesentlich grösser gezogen werden.

Die Korrelation der Schnitthäufigkeit mit der Knaus' Landnutzungsintensität (LNI) fällt niedrig aus ($r^2 = 0.223$). Ein direkter Vergleich ist aufgrund des unterschiedlichen Untersuchungsjahres und der unterschiedlichen Klassifizierung und Einheit schwierig. Eine Überlegung zu diesem

Ergebnis ist, dass die Schnitthäufigkeit nicht unbedingt mit der extrahierten Trockenmasse korrelieren muss. Bei verschiedenen Schnitten könnte unterschiedlich viel Gras extrahiert worden sein. So könnte es sein, dass bei häufigem Schnitt mit wenig extrahierter Trockenmasse sogar ähnlich viel extrahiert wird wie bei weniger häufigem, tiefen Schnitt mit mehr extrahierter Trockenmasse. Das Ergebnis könnte auch anderen Faktoren zugrunde liegen, wie das Versäumnis eines Schnittes, das unterschiedliche Untersuchungsjahr, die verschiedene Klassifizierung und Einheit oder andere Faktoren. In der Studie von Griffiths et al. (2019) wurde mit ihrer neuen Methode das Resultat angezeigt, dass 25 % des Graslandes nicht gemäht wird, jedoch erwies sich der Algorithmus bei diesem Schnittereignis als relativ fehlerhaft in Bezug auf ein Versäumnis eines Schnittes. Als Validierung wurden Berichte über Schnittereignisse vom Landwirtschaftsbetrieb herangezogen. In dieser Bachelorarbeit liegt der Anteil nicht geschnittener Flächen bei 13.2 %. Auch hier könnten Schnittversäumnisse aufgrund zum Teil grösserer Lücken von drei bis vier Wochen zwischen zwei Beobachtungszeitpunkten bestehen, was nicht nur im Vergleich der Schnitthäufigkeit mit Knaus' LNI, sondern auch mit den anderen Prädiktoren eine Rolle spielen könnte.

Die restlichen Prädiktoren scheinen wegen der geringen Korrelation (siehe Tabelle 1, S.39) für eine Abbildung der Schnitthäufigkeit nicht geeignet zu sein. Es wurden ausserdem noch keine Studien gefunden, die mit den gleichen oder ähnlichen Prädiktoren versucht haben, die Landnutzungsintensität vorauszusagen.

4.3 Methodenkritik und Begrenzungen

In der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt wurden Unterschiede aufgrund verschiedener Höhenlagen, die Art der Wiesenbewirtschaftung (Weide oder Wiese) und die Zusammensetzung der Pflanzenarten und Klima-/Wettergegebenheiten, die einen Einfluss auf die Satellitendaten oder die Resultate haben könnten. Trotz sorgfältiger Evaluierung der Schnitthäufigkeit und Eliminierung möglicher Fehlerquellen wie Schnee, Wald, Bäume, Wege und Infrastruktur, blieben Fehlerquellen bestehen, wie bspw. Schattenwurf, oder gewisse Einzelbäume. Ein zusätzliches Problem stellten fein bewölkte Satellitenbilder dar, da sie das Bild und somit die Daten verschlechtern. Beispiele für Satellitenbilder mit leichter Bewölkung finden sich in Anhang 6.2. In einigen Studien wird daher eine Wolkenmaske angewendet (vgl. Kolecka et al., 2018), die jedoch auch nicht fehlerfrei ist. Die grösste Herausforderung waren allerdings die Lücken in der Zeitreihe aufgrund starker Bewölkung. Es stellt zusätzlich sich die Frage, inwiefern die unterschiedliche Ausleuchtung der Satellitenbilder einen Effekt auf die Resultate haben kann.

In dieser Arbeit wurde eine begrenzte Auswahl an einfachen Parametern als Prädiktor für die Schnitthäufigkeit getroffen. Obwohl in der Studie von Dusseux et al. (2014) mit Satellitenbilder von SPOT und der Studie von Asam et al. (2015) mit Satellitenbilder von RapidEye der Blattflächenindex (BFI, engl. LAI) als guter Prädiktor für das Monitoring des Mähens und Grasens von Grasland entdeckt wurde, wurde dem hier nicht nachgegangen, da die Berechnungen dazu zu komplex sind.

Aufgrund der zeitlichen Beschränkung dieser Arbeit gibt es zudem Einschränkungen bei der statistischen Analyse. Ein Nachteil der Whitebox GAT ist, dass die Regression mit den Residuen nicht bildlich dargestellt wird, womit die Verteilung der Residuen nicht weiter interpretiert werden kann. Das r^2 alleine genügt nicht unbedingt, um die Korrelation richtig zu deuten. Alternativ könnte zu den Werkzeugen von Esri oder John Lindsay die Software R genutzt werden, um die lineare Regression für eine Residuenanalyse zu plotten. Des Weiteren kann es sein, dass die lineare Regression nicht das passende Modell ist. Es kann sein, dass wichtige erklärende Variablen fehlen, womit das Regressionsmodell nur einen Teilbereich erfasst. Weiterführende statistische Analysen wären gemäss Esri (2018) eine Ausführung der Hot-Spot-Analyse für die Regressionsresiduen, welche dazu beitragen kann, verschiedenen räumliche Ordnungen zu entdecken, die in einer multiplen linearen Regression (MLR) mit regionalen Variablen, hier könnte z.B. das Höhenmodell miteinflussen, oder in einer geografisch gewichteten Regressionsmethode (GWR) ausgeglichen werden könnten.

4.4 Fazit

Die Resultate der statistischen Analyse zeigen, dass kein Korrelationskoeffizient zwischen der Schnitthäufigkeit und den 13 getesteten Prädiktoren hoch genug ist, um einen Parameter als zuverlässigen Prädiktor für die Schnitthäufigkeit auszuweisen. Allerdings korrelierte das NDVI-Frühlingsbild in dieser Studie am besten, aber dennoch wenig, mit der Schnitthäufigkeit, dessen Potenzial in weiteren Studien getestet werden könnte. Folglich können einige Hinweise und Empfehlungen gemacht werden. Die selbst erarbeitete Schnitthäufigkeit weist einige Unsicherheiten auf. Es konnten nicht alle Schnittereignisse erfasst werden, entweder aufgrund einer lückenhaften Zeitreihe oder Unklarheiten bei den Bildvergleichen von Auge. Andererseits könnte es an den genutzten Satellitenbildern liegen, da auch vereinzelte Bilder trotz leichten Wolkenschleiern genutzt wurden. Zuletzt konnten sicherlich nicht alle Fehlerquellen wie Schatten, Bäume, Wälder und Infrastruktur gänzlich beseitigt werden. Es wird empfohlen, in Bewölkungsreichen Gebieten auf eine Kombination von Bildern unterschiedlicher Satelliten zurückzugreifen, um die Anzahl brauchbarer Bilder zu erhöhen und damit auch die zeitliche Distanz zwischen den einzelnen Bildern zu verkleinern und grössere Pufferzonen anzulegen. Des Weiteren müssen automatische Modelle zur Schnitterfassung genauer werden oder die Erfassung von Auge besser validiert werden. Eine Herausforderung wird es auch künftig noch sein, die genannten Fehlerquellen besser erkennen und beheben zu können. Auch die Nutzung von Drohnen könnte eine neue Perspektive bieten. Zudem könnte der Studienzeitraum auf mehrere Jahre erweitert werden, um aussagekräftigere Resultate zu erhalten und allenfalls könnte die Vegetationsperiode auf den Zeitraum von Februar bis November ausgeweitet werden. Zuletzt sollte auch die statistische Analyse in weiteren Studien tiefgründiger sein, in dem die Residuen analysiert werden und unter Umständen passendere Modelle gewählt werden, um z.B. die verschiedenen Höhenlagen miteinzubeziehen. Es gilt, künftig präzisere und verlässlichere Prädiktoren, automatisierte Schnitterfassungen oder andere Modelle zur Beobachtung der Nutzungsintensität von Wiesen zu erarbeiten, die mit den erwähnten Problematiken und Fehlerquellen auskommen oder sie gar mindern.

5. Referenzen

- AGRIDEA. (2018). Extensiv genutzte Wiesen. Retrieved February 12, 2020, from <http://www.bff-spb.ch/de/les-surfaces-de-promotion-de-la-biodiversite/wiesen-und-weiden/>
- Asam, S., Klein, D., & Dech, S. (2015). *ESTIMATION OF GRASSLAND USE INTENSITIES BASED ON HIGH SPATIAL RESOLUTION LAI TIME SERIES*. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-285-2015>
- BAFU. (2007). *Zustand und Entwicklung der Moore in der Schweiz*. Retrieved from <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/publikationen-studien/publikationen/zustand-entwicklung-moore.html>
- BAFU. (2018). Zustand der Biodiversität in der Schweiz. Retrieved December 18, 2019, from <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/fachinformationen/zustand-der-biodiversitaet-in-der-schweiz.html>
- BAFU. (2019). Zustand der Lebensräume in der Schweiz. Retrieved February 12, 2020, from <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/fachinformationen/zustand-der-biodiversitaet-in-der-schweiz/zustand-der-lebensraeume-in-der-schweiz.html>
- Bernstein, P. (2015). Hintergrund: Die Entwicklung einer Wiese im Laufe des Jahres. Retrieved February 21, 2020, from <https://www.planetenschule.de/wissenspool/lebensraeume-auf-feldern-und-wiesen/inhalt/hintergrund/ein-leben-mit-anspruechen-die-oekologie-der-hecken-wiesen-und-felder/die-entwicklung-einer-wiese-im-laufe-des-jahres.html>
- Delarze, R., Eggenberg, S., Steiger, P., Bergamini, A., Fivaz, F., Gonseth, Y., ... Stucki P. (2016). Rote Liste der Lebensräume der Schweiz. Retrieved February 12, 2020, from https://www.infoflora.ch/de/assets/content/documents/download/CH_RL_Lebensraeume_2017_v171130.pdf
- Dusseux, P., Vertès, F., Corpetti, T., Corgne, S., & Hubert-Moy, L. (2014). Agricultural practices in grasslands detected by spatial remote sensing. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(12), 8249–8265. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4001-5>
- Esri. (2018). Grundlagen zur Regressionsanalyse—Hilfe | ArcGIS Desktop. Retrieved September 9, 2019, from <http://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/regression-analysis-basics.htm>
- Esri. (2019). Funktion “Streckung”—Hilfe | ArcGIS Desktop. Retrieved January 20, 2020, from <https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/stretch-function.htm>

- Fan, X., Kawamura, K., Xuan, T. D., Yuba, N., Lim, J., Yoshitoshi, R., ... Obitsu, T. (2017). Low-cost visible and near-infrared camera on an unmanned aerial vehicle for assessing the herbage biomass and leaf area index in an Italian ryegrass field. *Grassland Science*, 64(2). <https://doi.org/10.1111/grs.12184>
- Garioud, A., Giordano, S., Valero, S., & Mallet, C. (2019). Challenges in Grassland Mowing Event Detection with Multimodal Sentinel Images. *2019 10th International Workshop on the Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images, MultiTemp 2019*. <https://doi.org/10.1109/Multi-Temp.2019.8866914>
- Gómez Giménez, M., de Jong, R., Della Peruta, R., Keller, A., & Schaepman, M. E. (2017). Determination of grassland use intensity based on multi-temporal remote sensing data and ecological indicators. *Remote Sensing of Environment*, 198, 126–139. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.003>
- Griffiths, P., Nendel, C., Pickert, J., & Hostert, P. (2019). Towards national-scale characterization of grassland use intensity from integrated Sentinel-2 and Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.017>
- Halabuk, A., Mojses, M., Halabuk, M., & David, S. (2015). Towards Detection of Cutting in Hay Meadows by Using of NDVI and EVI Time Series. *Remote Sensing*, 7(5), 6107–6132. <https://doi.org/10.3390/rs70506107>
- Kanton Luzern. (2020). Biotopförderung - Kanton Luzern. Retrieved January 16, 2020, from <https://lawa.lu.ch/Natur/biotopfoerderung>
- Knaus, F. (2015). *Die räumliche Verteilung ökologischer, landschaftlicher und gesellschaftlicher Werte und Gefahren für diese Werte in der UNESCO Biosphäre Entlebuch*. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-010540343>
- Knaus, F. (2017). Die UNESCO-Biosphäre Entlebuch und ihr integrativer Zugang zum Naturschutz. *Schweiz-Fenster*, 471–473.
- Kolecka, N., Ginzler, C., Pazur, R., Price, B., & Verburg, P. (2018). Regional Scale Mapping of Grassland Mowing Frequency with Sentinel-2 Time Series. *Remote Sensing*, 10(8), 1221. <https://doi.org/10.3390/rs10081221>
- Lindsay, J. (2013). How to get data into Whitebox. Retrieved December 3, 2019, from <https://jblindsay.github.io/ghrg/Whitebox/Help/tutorials/HowToGetDataIntoWhitebox.html>
- Lindsay, J. (2020). Whitebox GAT | Home. Retrieved January 8, 2020, from <https://jblindsay.github.io/ghrg/Whitebox/>
- MeteoSchweiz. (2018). *Klimabulletin Jahr 2017*. Retrieved from

- https://www.meteoschweiz.admin.ch/content/dam/meteoswiss/de/service-und-publikationen/Publikationen/doc/klimabulletin_jahr_2017.pdf
- MeteoSchweiz. (2019). *Klimareport 2018*. Retrieved from www.meteoschweiz.ch
- Planet. (2016). *PLANET IMAGERY PRODUCT SPECIFICATION: PLANETSCOPE & RAPIDEYE*. Retrieved from https://www.planet.com/products/satellite-imagery/files/1610.06_Spec_Sheet_Combined_Imagery_Product_Letter_ENGv1.pdf
- Planet Labs Inc. (2020). Daily Satellite Imagery and Insights | Planet. Retrieved January 14, 2020, from <https://www.planet.com/>
- ravi Kanton Luzern. (2020). Landwirtschaft - Geoportal Kanton Luzern. Retrieved February 18, 2020, from <https://www.geo.lu.ch/map/landwirtschaft/>
- UNESCO Biosphäre Entlebuch. (n.d.). Forschung als Grundlage für die Weiterentwicklung der UNESCO Biosphäre Entlebuch. Retrieved from <https://www.biosphaere.ch/de/unesco-biosphaere-a-z/forschung/ziel-zweck-der-forschung/>
- Weier, J., & Herring, D. (2000, August 30). Measuring Vegetation (NDVI & EVI). Retrieved January 27, 2020, from https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_1.php
- WSL. (2007). Landschaftstypisierung. Retrieved January 27, 2020, from <https://www.wsl.ch/land/products/biosphaere/popup/LS-typ.htm>

6. Anhang

6.1 Datumsübersicht der Satellitenbilder

Table 2: Datumsübersicht der gebrauchten Satellitenbilder

Quelle: eigene Darstellung

	Transekt Schüpfheim	Transekt Escholzmatt	Transekt Marbach	Transekt Flühli
15.03.2017	✓	✓	✓	✓
10.04.2017	✓	✓	✓	✓
24.04.2017	✓	✓	✓	✓
17.05.2017	✓	✓	✓	✓
11.06.2017	✓	✓	✓	✓
26.06.2017	✓	✓	leichter Schleier ✓	✓
05.07.2017	✓	leichter Schleier ✓	✓	✓
12.07.2017			✓	
19.07.2017	✓	✓	nicht vor- handen	✓
02.08.2017	✓	✓	✓	✓
14.08.2017	✓	✓	nicht vorhan- den	✓
26.08.2017	✓	✓	✓	✓
05.09.2017	✓	leichter Schleier ✓	✓	✓
22.09.2017	✓	✓	leichter Schleier ✓	leichter Schleier ✓
28.09.2017	✓	✓	✓	✓
11.10.2017	✓	✓	✓	✓
25.10.2017	✓	✓	✓	✓
31.10.2017	✓	✓	✓	✓

6.2 Ursprüngliche Satellitenbilder der Transekte

6.2.1 Schüpfheim

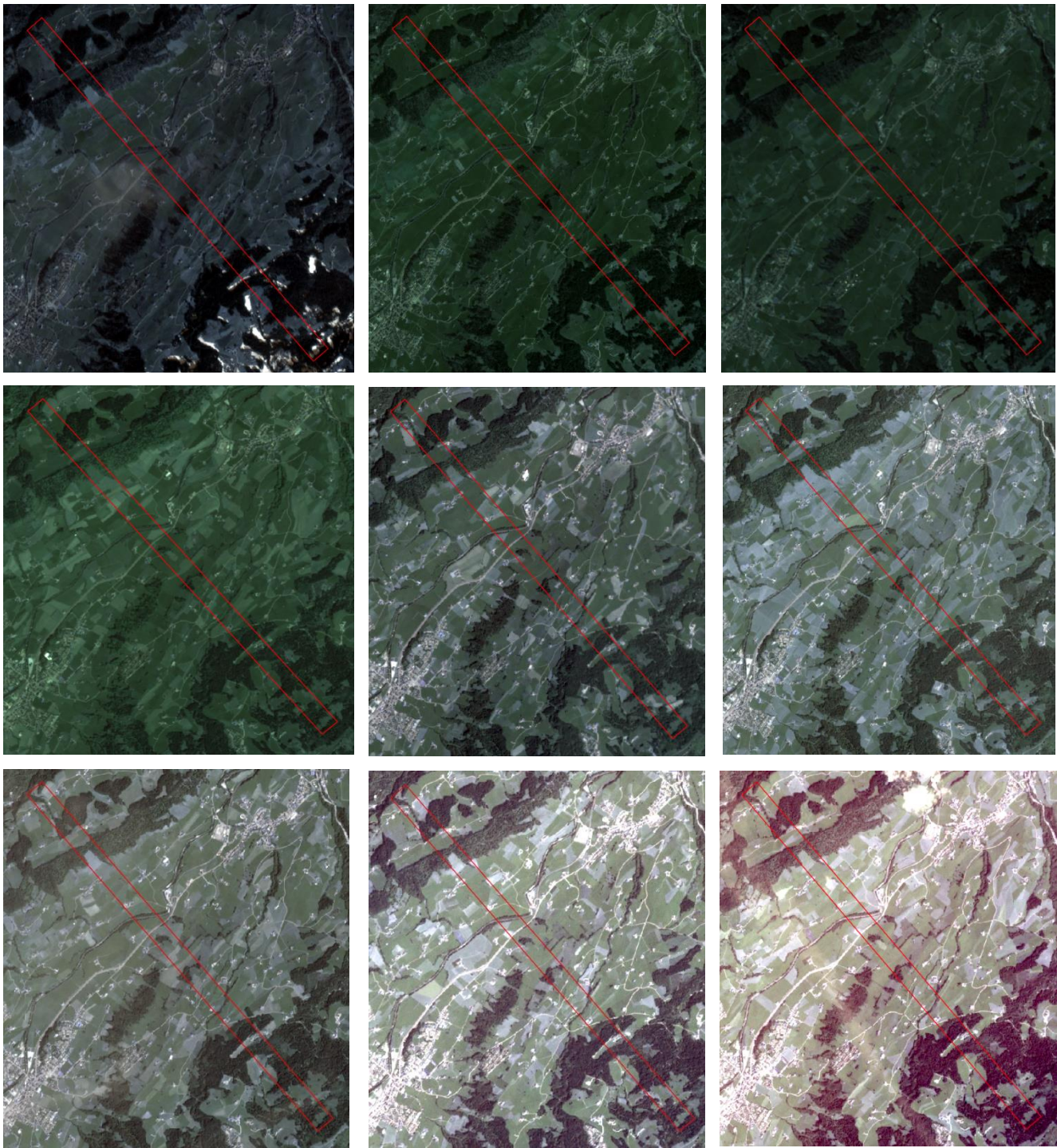


Abbildung 20: Satellitenbilder von Schüpfheim. Von links oben nach rechts unten: 15.03., 10.04., 24.04., 17.05., 11.06., 26.06., 05.07., 19.07., 02.08.

Quelle: eigene Darstellung mit Daten von Planet Labs Inc. (2020).

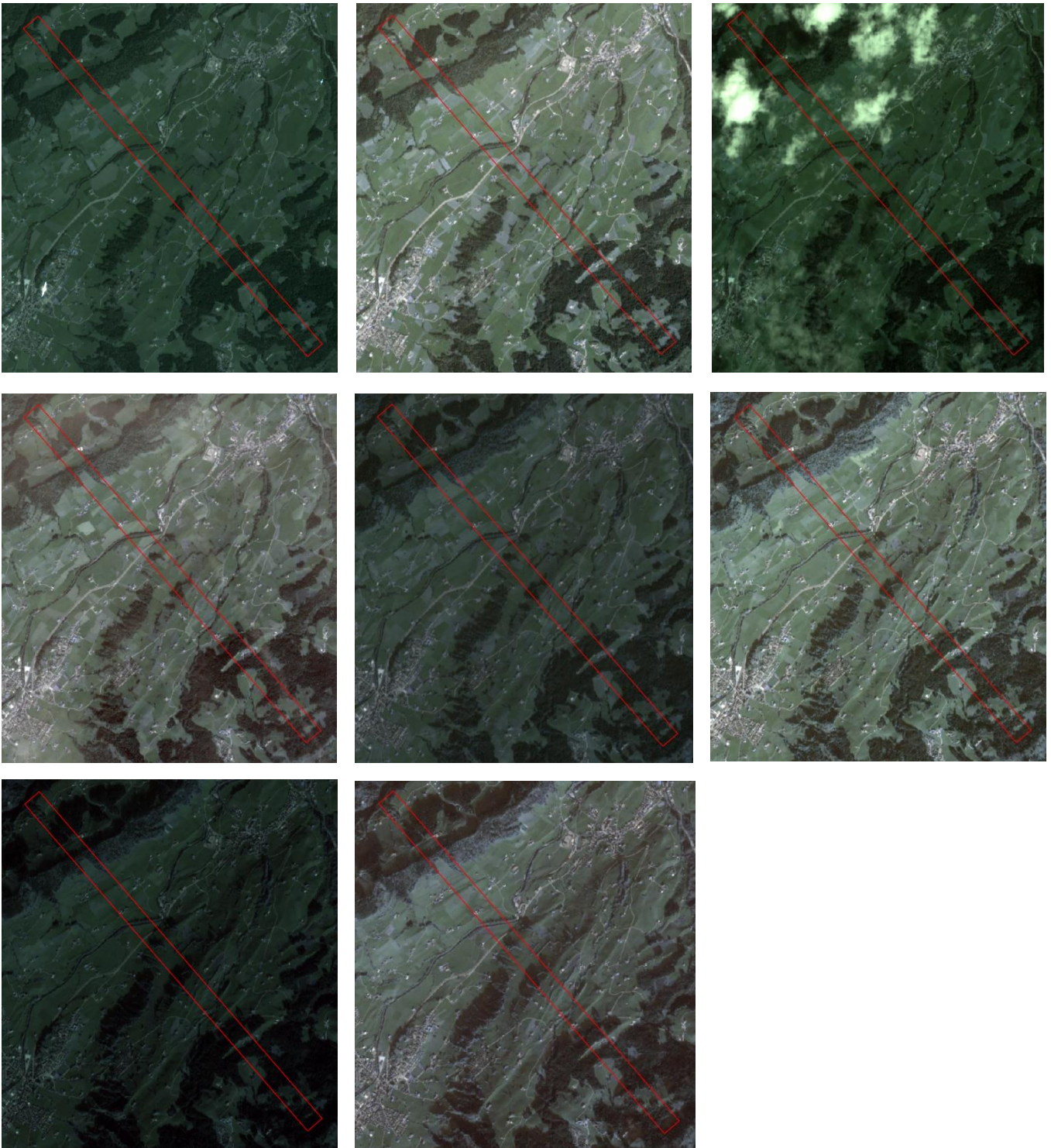


Abbildung 21: Satellitenbilder von Schüpfheim. Von links oben nach rechts unten: 14.08., 26.08., 05.09., 22.09., 28.09., 11.10., 25.10., 31.10.

Quelle: eigene Darstellung mit Daten von Planet Labs Inc. (2020).

6.2.2 Escholzmatt

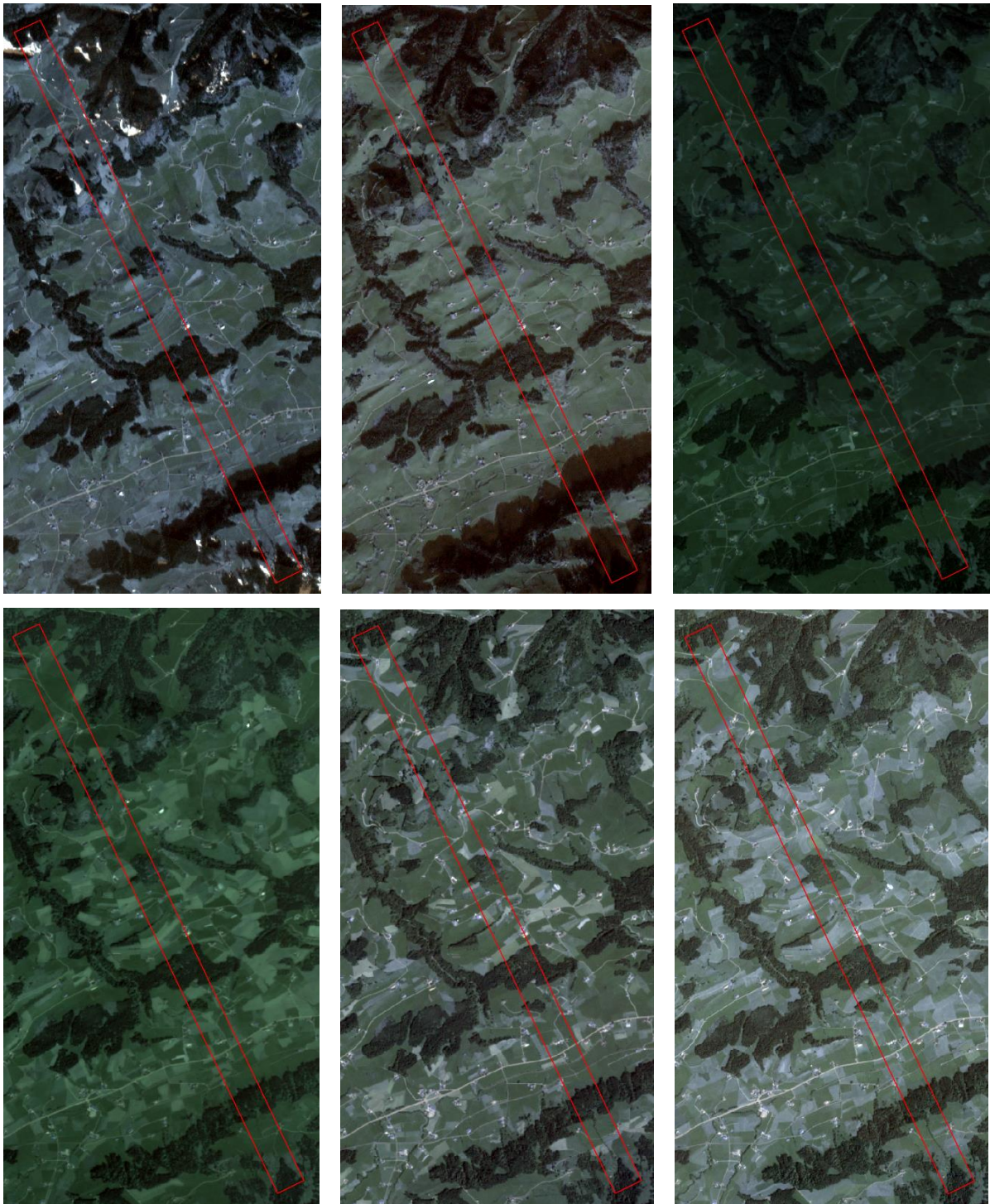


Abbildung 22: Satellitenbilder von Escholzmatt. Von links oben nach rechts unten: 15.03., 10.04., 24.04., 17.05., 11.06., 26.06.

Quelle: eigene Darstellung mit Daten von Planet Labs Inc. (2020).

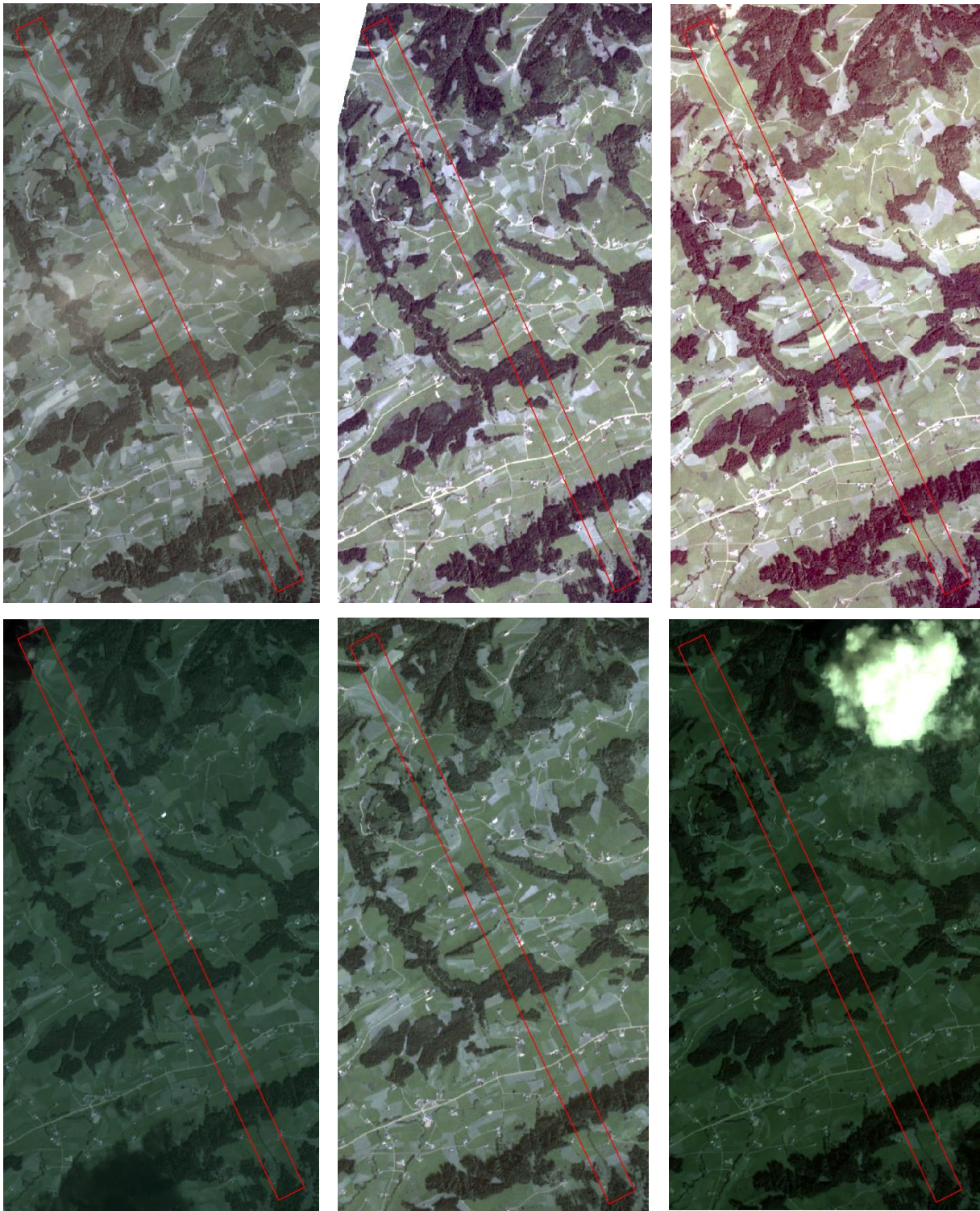


Abbildung 23: Satellitenbilder von Escholzmatt: von links oben nach rechts unten: 05.07., 19.07., 02.08., 14.08., 26.08., 05.09.

Quelle: eigene Darstellung mit Daten von Planet Labs Inc. (2020).

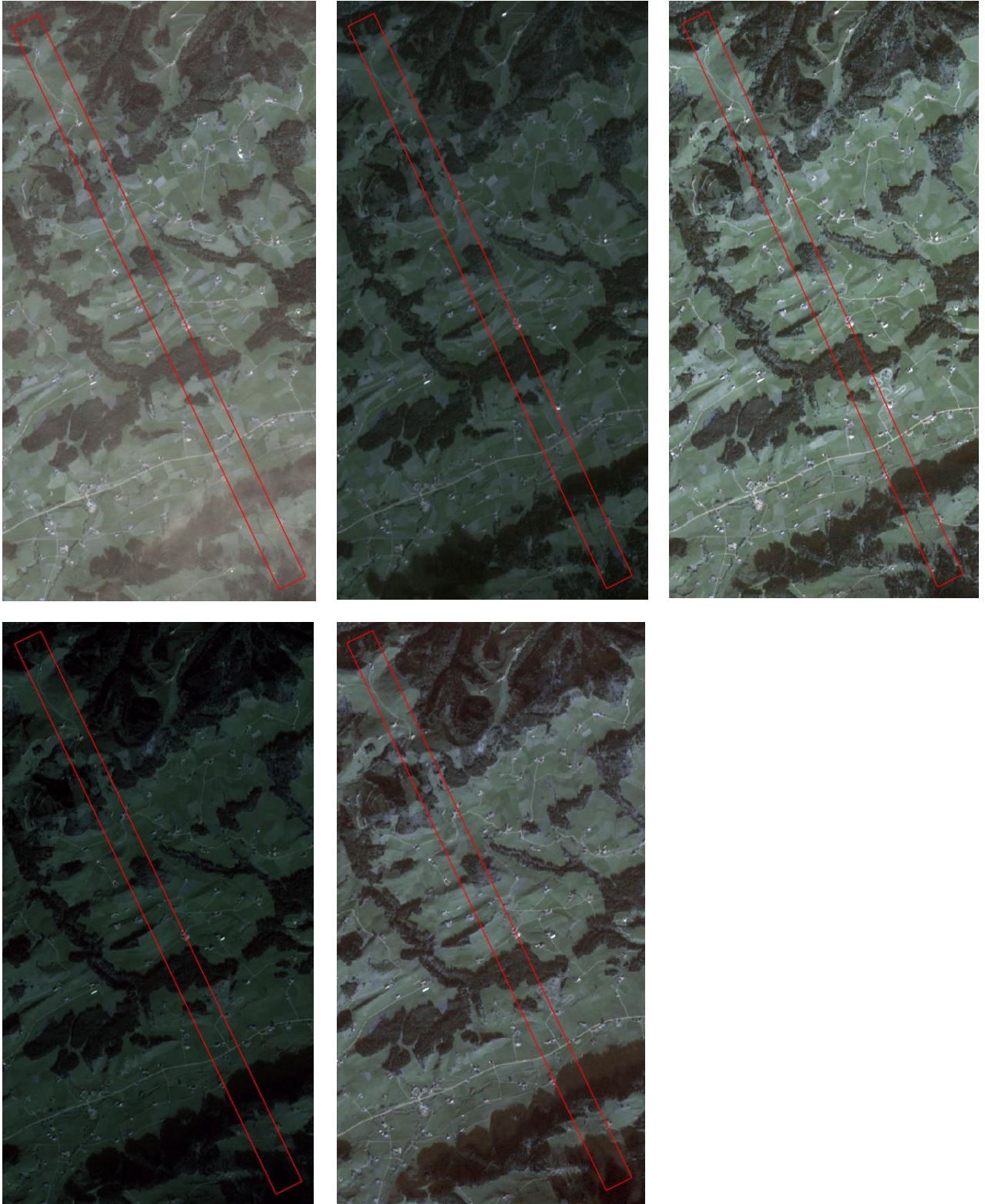


Abbildung 24: Satellitenbilder von Escholzmatt: von links oben nach rechts unten: 22.09., 28.09., 11.10., 25.10., 31.10.
Quelle: eigene Darstellung mit Daten von Planet Labs Inc. (2020).

6.2.3 Marbach

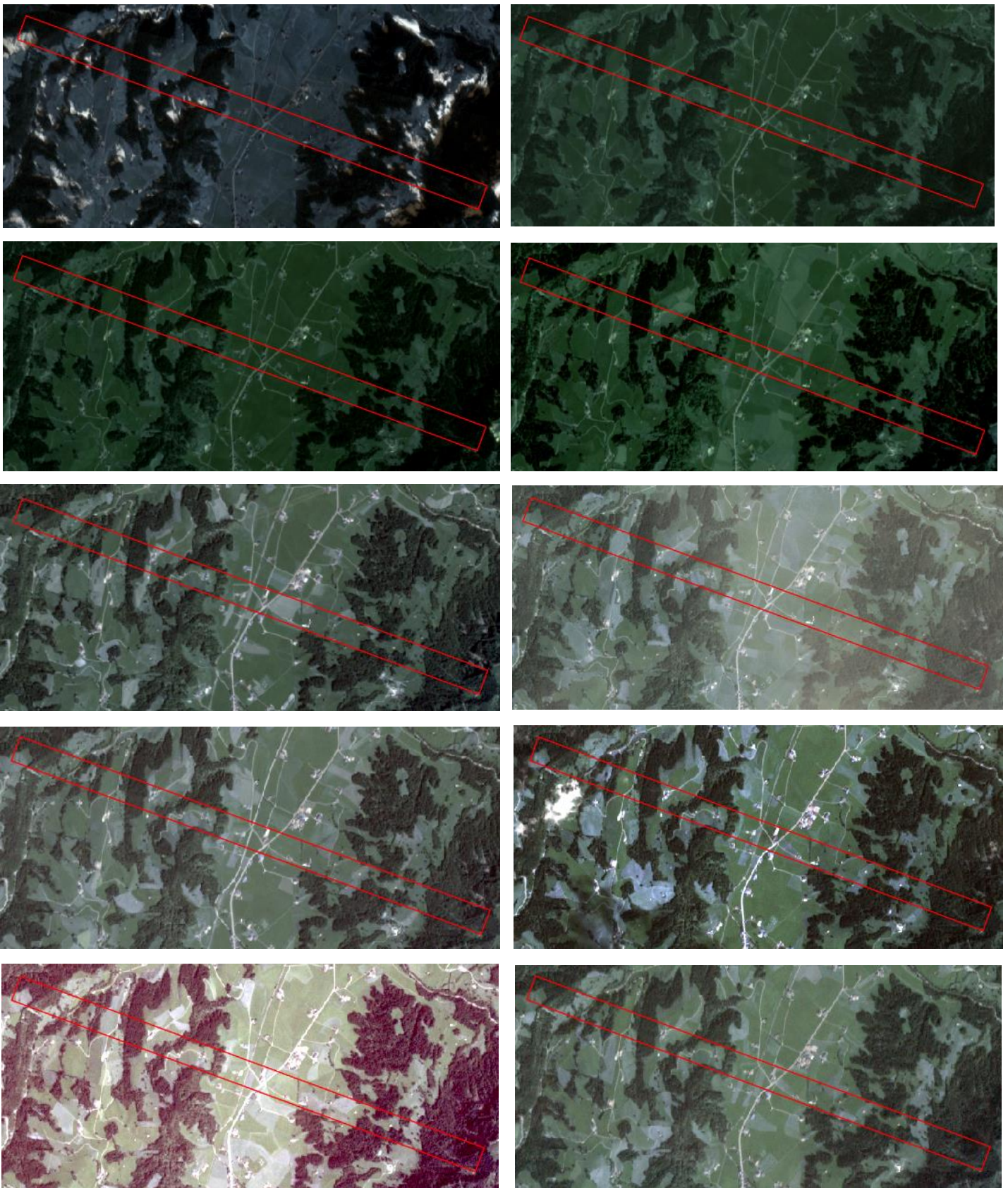


Abbildung 25: Satellitenbilder von Marbach. Von links oben nach rechts unten: 15.03., 10.04., 24.04., 17.05., 11.06., 26.06., 05.07., 12.07., 02.08., 26.08.

Quelle: eigene Darstellung mit Daten von Planet Labs Inc. (2020).

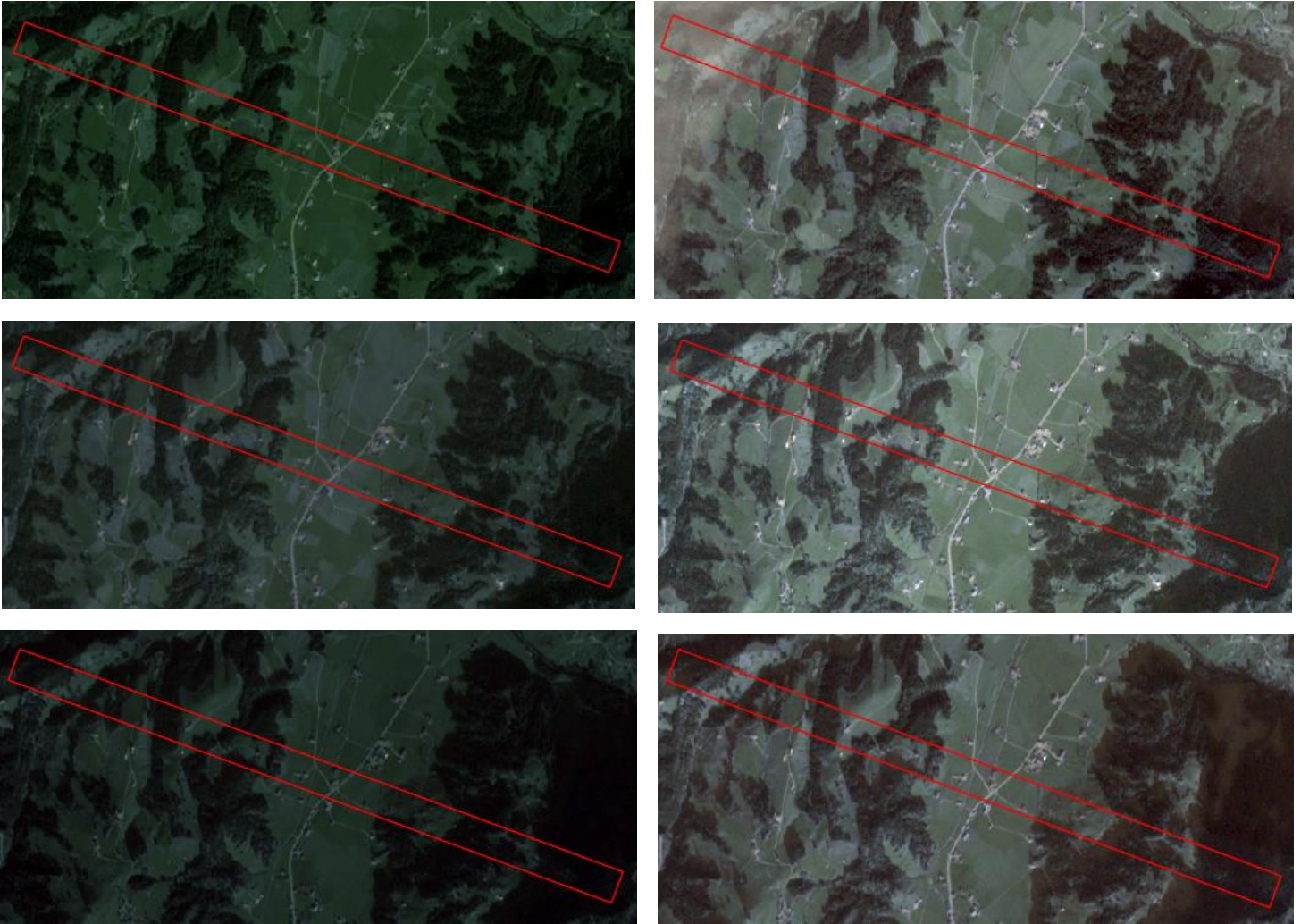


Abbildung 26: Satellitenbilder von Marbach. Von links oben nach rechts unten: 05.09., 22.09., 28.09., 11.10., 25.10., 31.10.
Quelle: eigene Darstellung mit Daten von Planet Labs Inc. (2020).

6.2.4 Flühli

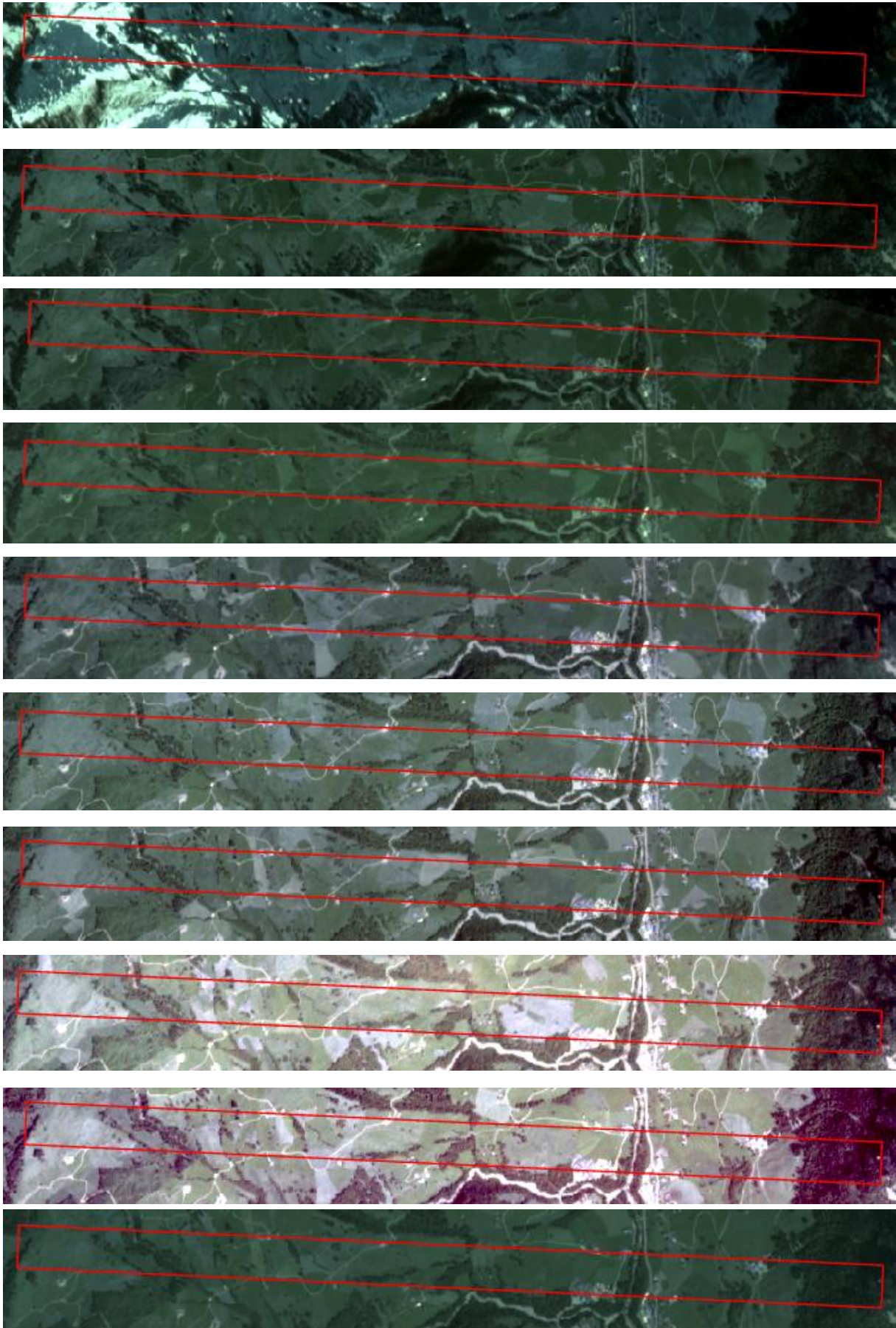


Abbildung 27: Satellitenbilder von Flühli. Von links oben nach rechts unten: 15.03., 10.04., 24.04., 17.05., 11.06., 26.06., 05.07., 19.07., 02.08., 14.08.

Quelle: eigene Darstellung mit Daten von Planet Labs Inc. (2020).

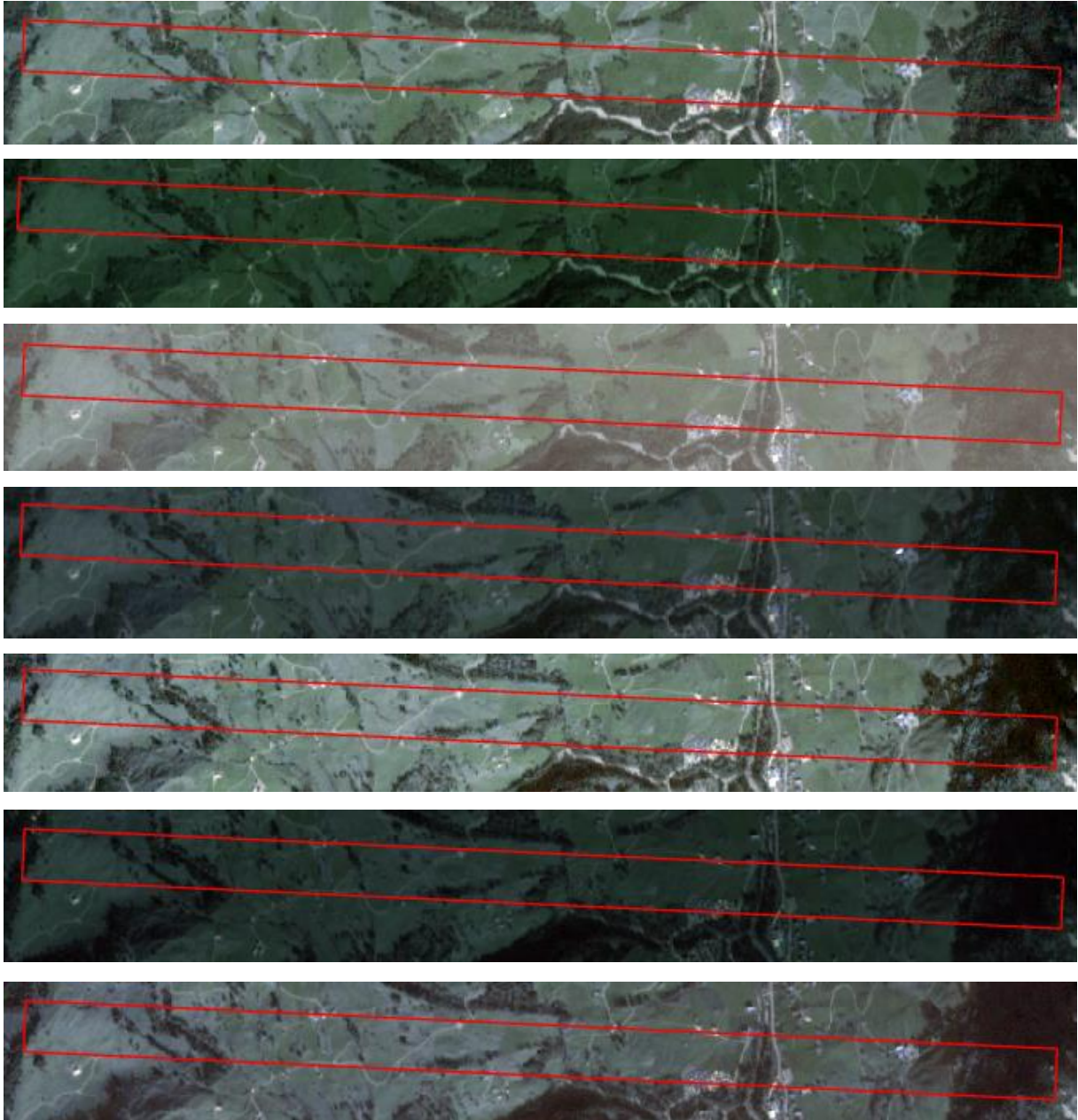


Abbildung 28: Satellitenbilder von Flühli. Von links oben nach rechts unten: 26.08., 05.09., 22.09., 28.09., 11.10., 25.10., 31.10.
Quelle: eigene Darstellung mit Daten von Planet Labs Inc. (2020).

6.3 Eigenständigkeitserklärung

Ich bestätige, die vorliegende Arbeit selbständig und in eigenen Worten verfasst zu haben. Davon ausgenommen sind sprachliche und inhaltliche Korrekturvorschläge durch die Betreuer und Betreuerinnen der Arbeit.

Titel der Arbeit:

Machbarkeitsstudie über die Nutzungsintensität von Wiesen in der Unesco Biosphäre Entlebuch LU

Eine Suche nach Prädiktoren für die Schnitthäufigkeit

Verfasst von: Nina Gremlich

Ich bestätige mit meiner Unterschrift:

- Ich habe keine im Merkblatt „Zitier-Knigge“ beschriebene Form des Plagiats begangen.
- Ich habe alle Methoden, Daten und Arbeitsabläufe wahrheitsgetreu dokumentiert.
- Ich habe keine Daten manipuliert.
- Ich habe alle Personen erwähnt, welche die Arbeit wesentlich unterstützt haben.

Ich nehme zur Kenntnis, dass die Arbeit mit elektronischen Hilfsmitteln auf Plagiate überprüft werden kann.

Ort, Datum

Unterschrift

Zürich, 21.02.2020

