

ADAPT-CATMILK

Adaptation in Austrian cattle and milk production

WP2: Grassland Yield and Grassland Yield Risk

1 Einleitung

Der Beitrag der HBLFA Raumberg-Gumpenstein zum Projekt ADAPT-CATMILK umfasst gemäß der Beschreibung in WP2 eine räumliche Analyse von Grünlanderträgen und deren klimabedingte Veränderungen bzw. Risiken mit Hilfe des Modells „SpatialGRAM“. In Abstimmung mit den Projektpartnern (WIFO und INWE-BOKU) wurde dieses statistische Modell für Grünlanderträge, entwickelt auf Basis langjähriger, über ganz Österreich verteilter Grünlandversuche (Schaumberger, 2011), für ADAPT-CATMILK adaptiert. SpatialGRAM ist in der Lage, Erträge des Wirtschaftsgrünlandes (2-, 3- und 4-Schnitt-Systeme) mit Hilfe von Klimadaten und Klimaszenarien, insbesondere Trockenheit, räumlich abzubilden, kann jedoch nur beschränkt Informationen zur Bewirtschaftung liefern.

Wie in Schaumberger (2011, 18ff) dargestellt, ist SpatialGRAM nicht dafür geeignet, Parameter wie die Düngung oder die Zusammensetzung des Pflanzenbestandes sowie Pflegemaßnahmen zu beschreiben. Die Bewirtschaftung hängt in erster Linie vom Landwirt und dessen individueller Wirtschaftsweise ab und kann deshalb weder mittels verallgemeinernder GIS-Algorithmen noch mit prozessorientierten physikalischen Modellen flächendeckend modelliert werden. Bestenfalls können Zusammenhänge zu anderen (flächendeckend) verfügbaren Informationen, wie zum Beispiel der Witterung, hergestellt werden. In SpatialGRAM wird dies bei der Ermittlung der Zahl von Schnittnutzungen und von Schnittzeitpunkten realisiert, indem ein räumliches Temperatursummenmodell angewendet wird.

Für die Schätzung der Grünlanderträge werden Witterungsdaten in täglicher Auflösung benötigt. Die im Rahmen dieses Projektes verwendeten Klimadaten beschreiben eine vergangene Periode (1975 bis 2008) sowie zwei Klimaszenarien für die Periode 2008 bis 2040 (Strauss, 2012, Strauss *et al.*, 2013). Beide Szenarien nehmen eine Temperaturerhöhung von + 1.5 °C bis zum Jahr 2040 an und unterscheiden sich lediglich in der Projektion des Niederschlags. Das Szenario SC5 rechnet mit einer Zunahme um 20 % bis 2040, Szenario SC9 geht von einer Abnahme des Niederschlags um 20 % aus.

Bei der Interpretation der Ergebnisse aus SpatialGRAM müssen sowohl der Modellfehler als auch die speziellen Eigenschaften des Modells, wie sie in Schaumberger (2011, 224ff) beschrieben sind, berücksichtigt werden. Zusätzlich ist zu beachten, dass in SpatialGRAM nur der Ertrag hinsichtlich seiner Quantität und nicht in der für die Fütterung entscheidenden Qualität ausgewertet werden kann. Bei der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Bewirtschaftung (Nutzungsfrequenz und Düngung) und Ertrag darf dieser Aspekt auf keinen Fall vernachlässigt werden. **Eine standortangepasste Bewirtschaftung führt durch ein ausgewogenes Verhältnis von Düngung und Nutzungsfrequenz zu einer nachhaltigen Optimierung des Qualitätsertrages, weist jedoch nicht zwangsläufig einen gleichgearteten funktionalen Zusammenhang mit dem Biomassertrag auf.**

Neben den GIS-Daten und Karten, die im Folgenden beschrieben werden, liegen auch einige der hier zitierten Arbeiten im Verzeichnis „CATMILK Literatur“ dem Projektabgabepaket bei.

2 Datenaufbereitung

2.1 Klimadaten

Die Klimadaten wurden in ASCII-Text-Dateien auf Tagesbasis für die Parameter Temperatur, Niederschlag, relative Luftfeuchte, Wind und Globalstrahlung zur Verfügung gestellt. Die räumliche Zuordnung erfolgt über eine ArcGIS-Shape-Datei mit Zellpolygonen in 1 x 1 km Auflösung. Mittels der Verbindung zwischen räumlichem Polygonraster und Textdaten wurde für jeden Tag und jeden Wetterparameter ein flächendeckender Raster erzeugt, der die Voraussetzung für eine Weiterverarbeitung in GIS bildet.

Aus den Wetterdaten eines jeweiligen Tages wurde zusätzlich noch eine Rasterkarte der potenziellen Evapotranspiration nach Allen *et al.* (1998) berechnet. Mit diesen flächendeckenden Informationen können in weiterer Folge die Berechnungen der Vegetationsperiode, der Schnittzeitpunkte und der Bodenwasserbilanz vorgenommen werden.

2.2 Digitales Höhenmodell

Um den Grünlandflächen eine Seehöheninformation zuordnen zu können, wurden Daten des aktuellen Digitalen Geländemodells aus Airborne Laserscans in einer räumlichen Auflösung von 10 Metern (data.gv.at – Geoland.at) verwendet. Mittels bilinearer Resampling-Technik wurde der 10-Meter-Raster in die in CATMILK verwendete Zielauflösung von 1 km überführt.

Durch das Resampling wird das Gelände geglättet, bietet jedoch für die Anwendung der Zuordnung von Grünlandflächen zu Höhenlagen eine ausreichende Genauigkeit.

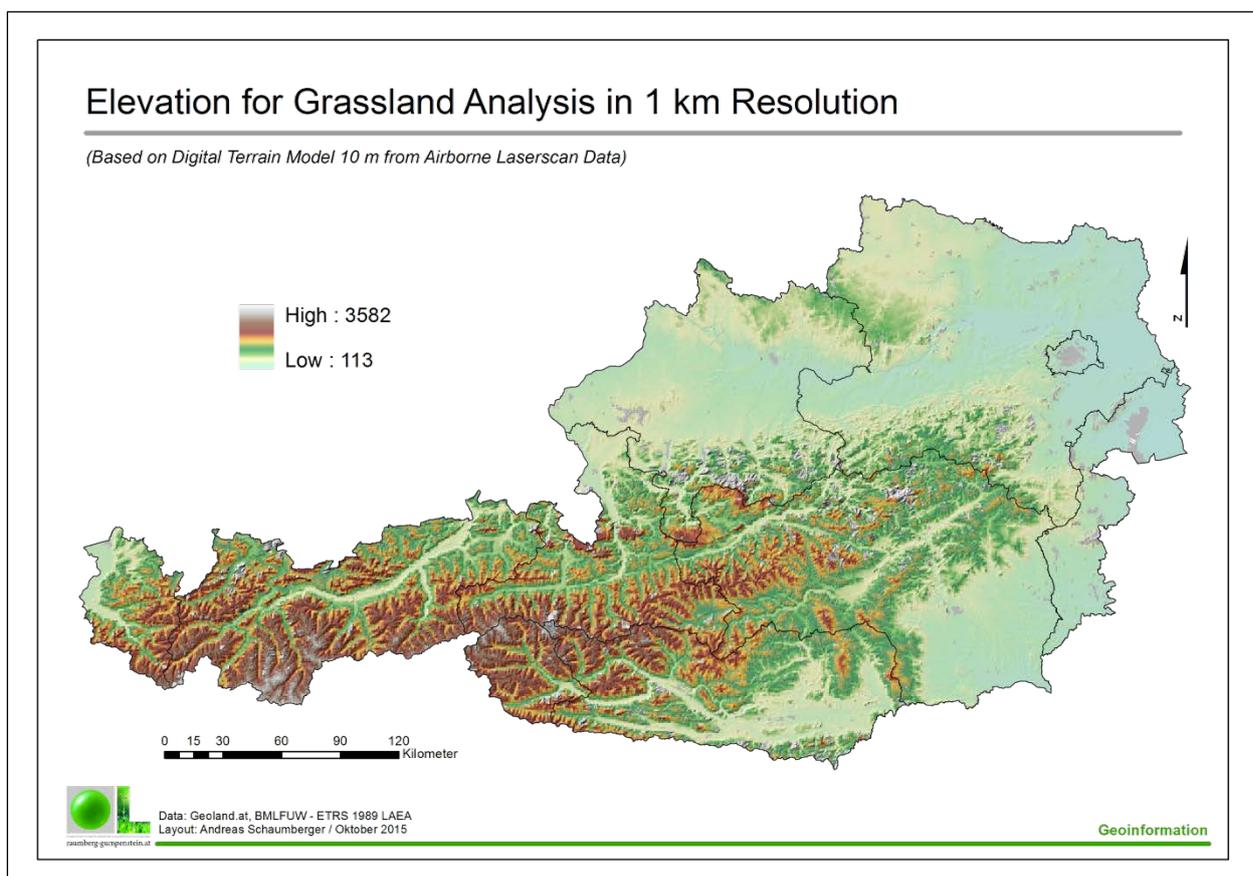


Abbildung 1: DGM Österreich in 1 km Auflösung

2.3 Räumliche Übersicht der Grünlandnutzung in Österreich

Datengrundlage für die räumliche Zuordnung von Grünlandnutzungstypen ist INVEKOS 2009. Guggenberger *et al.* (2012) haben die Fläche Österreichs in 1-Kilometer-Zellen unterteilt und in ETRS 1989 LAEA projiziert. Jede dieser Zellen enthält zu den drei hier verwendeten Grünlandtypen eine Flächenangabe in ha. Das erste Bild in *Abbildung 2* zeigt alle Zellen in Grün, welche Grünland beliebigen Typs enthalten. Die drei folgenden Bilder beschreiben die räumliche Dichte der drei verschiedenen Typen. Je mehr ha in einer 1 x 1 km Zelle als Grünland bewirtschaftet werden, desto grüner die Farbgebung.

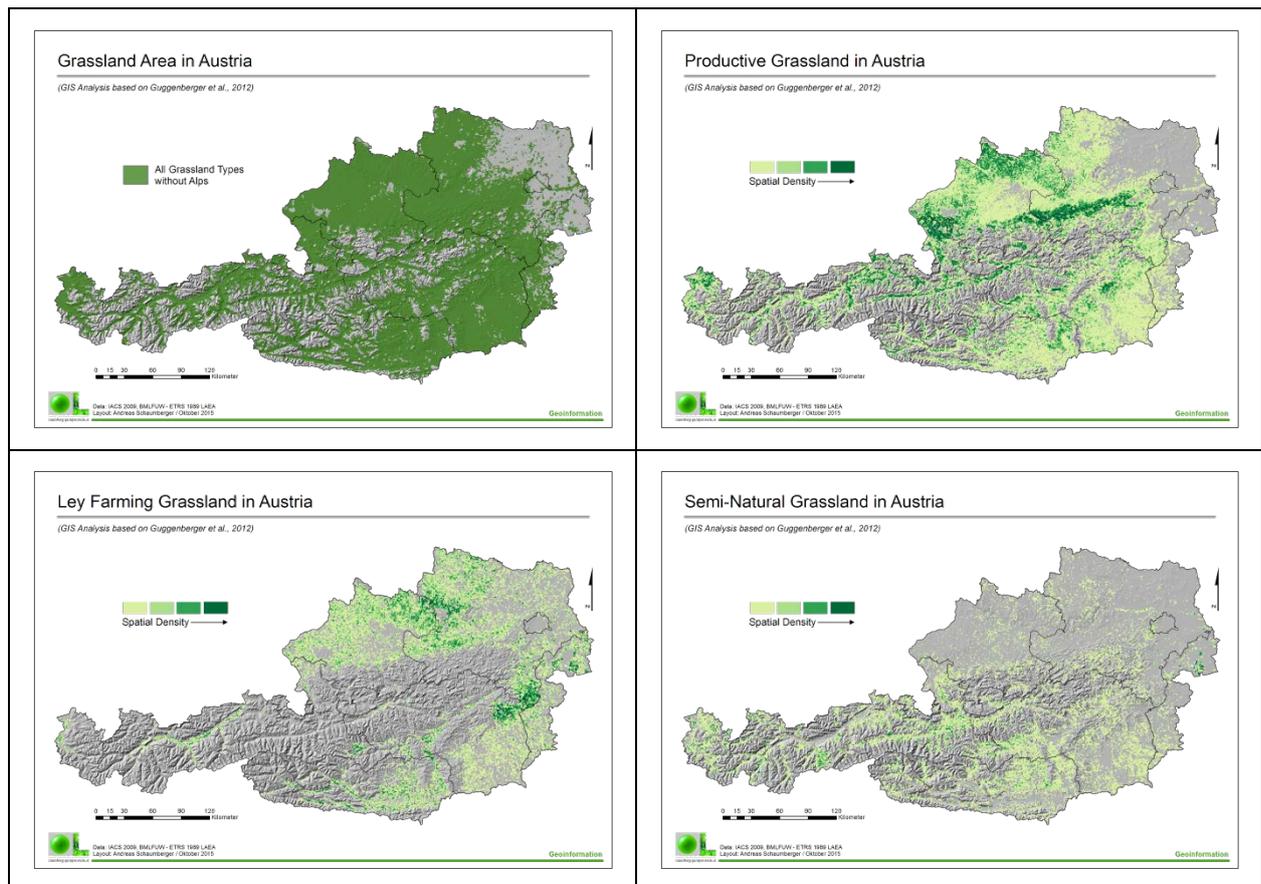


Abbildung 2: Räumliche Verteilung des Grünlandes in Österreich

Für die Bildung der Grünlandtypen wurden die INVEKOS-Schlagnutzungsarten nach Guggenberger *et al.* (2012) wie folgt zusammengefasst:

- *Wirtschaftsgrünland (G13) - Productive Grassland*: Dauerweide, Kulturweide, Mähwiese/-weide drei und mehr Nutzungen, Nähwiese/-weide zwei Nutzungen, Mehrmähdige Wiese, Rollrasen
- *Extensivgrünland (G14) - Semi-Natural Grassland*: Einmähdige Wiese, GLÖZ G, Hutweide, Landschaftselement G, Sonstige Grünlandflächen, Streuwiese
- *Feldfutterbau (G6) - Ley Farming Grassland*: Futtergräser, Grünschnittroggen, Klee, Klee-gras, Luzerne, Sonstiges Feldfutter, Sudangras, Wechselwiese (EGART, Ackerweide), Wicken-Getreide-Gemenge

Die Grünlandflächenausmaße, aufgeteilt nach den drei Typen, werden zusätzlich zur kartografischen Darstellung in sämtlichen beigelegten Tabellen numerisch angeführt.

3 Berechnung von Vegetationsperiode, Schnittfrequenz und Ertrag

3.1 Beginn der Vegetationsperiode

Für die Schätzung des Grünlandertrages ist eine möglichst genaue Erfassung der Dauer des ersten Aufwuchses notwendig. Der Aufwuchs beginnt mit dem Start der Vegetationsperiode im Frühjahr und damit wird die eng mit dem Ertrag zusammenhängende Aufwuchsdauer wesentlich von diesem Termin bestimmt.

Die Vegetationsperiode wird in der Literatur vielfach mit einem Temperaturkriterium definiert, das in den meisten Fällen eine Überschreitung der Tagesmitteltemperatur von 5 °C auf fünf aufeinanderfolgenden Tagen fordert. In extremen Jahren mit sehr frühem oder spätem Beginn sind jedoch teilweise unrealistische Ergebnisse infolge besonderer Witterungsbedingungen zu beobachten. Vor allem in einem Wertebereich mit unmittelbarer Nähe zur Temperaturschwelle treten oft fehlerhafte Zuordnungen auf. Schon geringe Unterschiede im engeren Bereich zwischen Erfüllung und Nichterfüllung des 5°C-Kriteriums können damit zu einer signifikanten Verschiebung des errechneten Beginns der Vegetationsperiode führen. Um diese unerwünschten Effekte beim Auftreten von Ausnahmesituationen abzuschwächen, wird eine Methode mit zusätzlichen Kriterien verwendet, hier bezeichnet als *Multicriterial Thermal Definition* (MTD).

Ausgehend von der Grundüberlegung, dass bei einem durchgehenden Zeitraum von einigen Tagen mit ausreichend hohen Temperaturen das Pflanzenwachstum einsetzt, wird bei MTD das Zeitfenster auf 10 Tage erweitert und hinsichtlich des Auftretens von Frostereignissen untersucht. Innerhalb dieses Zeitraums muss das einfache 5°C-Kriterium erfüllt werden. Darüber hinaus muss die Durchschnittstemperatur des 10-tägigen Zeitraums 6 °C überschreiten. In *Abbildung 3* ist das Schema der Kombination verschiedener Schwellenwerte grafisch dargestellt.

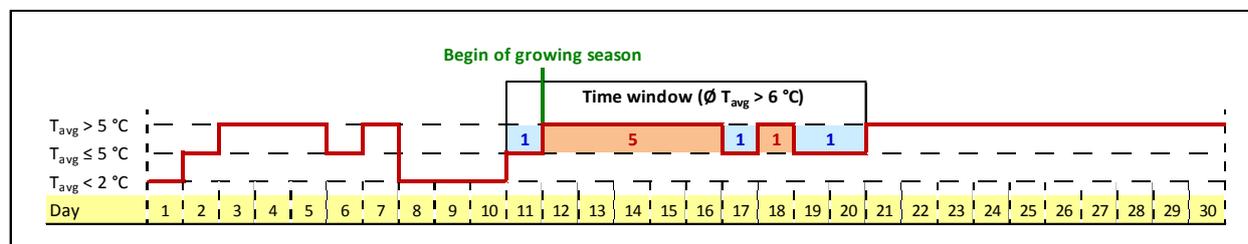


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Vegetationsbeginns nach MTD

Ein Frostereignis wird mit dem Unterschreiten der Tagesmitteltemperatur von 2 °C identifiziert. Die Festlegung des Schwellenwertes von 6 °C für die Durchschnittstemperatur des gesamten Zeitfensters begründet sich in einer Auswertung der Temperaturdaten für den Zeitraum 1971 bis 2010 in den Monaten März bis Mai. In der Literatur findet sich zum überwiegenden Teil eine Temperaturschwelle von 5 °C. Davon wird abgegangen, da die Temperaturbeobachtungen zeigen, dass bei Tagesmitteltemperaturen zwischen 2 und 5 °C eine mittlere Tagesminimumtemperatur von -0,6 °C erreicht wird. Ein gewisses Risiko, den Vegetationsbeginn trotz Frostperiode festzusetzen, ist somit gegeben. Die Erhöhung der Schwelle um 1 °C reduziert die mittlere Tagesminimumtemperatur in den untersuchten Monaten auf -0,2 °C.

Eine detaillierte Beschreibung der Berechnungsmethode ist in Schaumberger (2011, 87ff) nachzulesen. In der vorliegenden Arbeit wurde der Vegetationsbeginn nach MTD für die Perioden 1975 bis 2007 und für 2008 bis 2040 jährlich berechnet und dann über die beiden Perioden gemittelt (arithmetisches Mittel und Median) sowie die Standardabweichung. Zusätzlich wurde für den Szenariozeitraum 2008 bis 2040 Mittelwert, Median und Standardabweichung pro Dekade berechnet, kartografisch dargestellt und auch tabellarisch den Grünlandflächen zugeordnet.

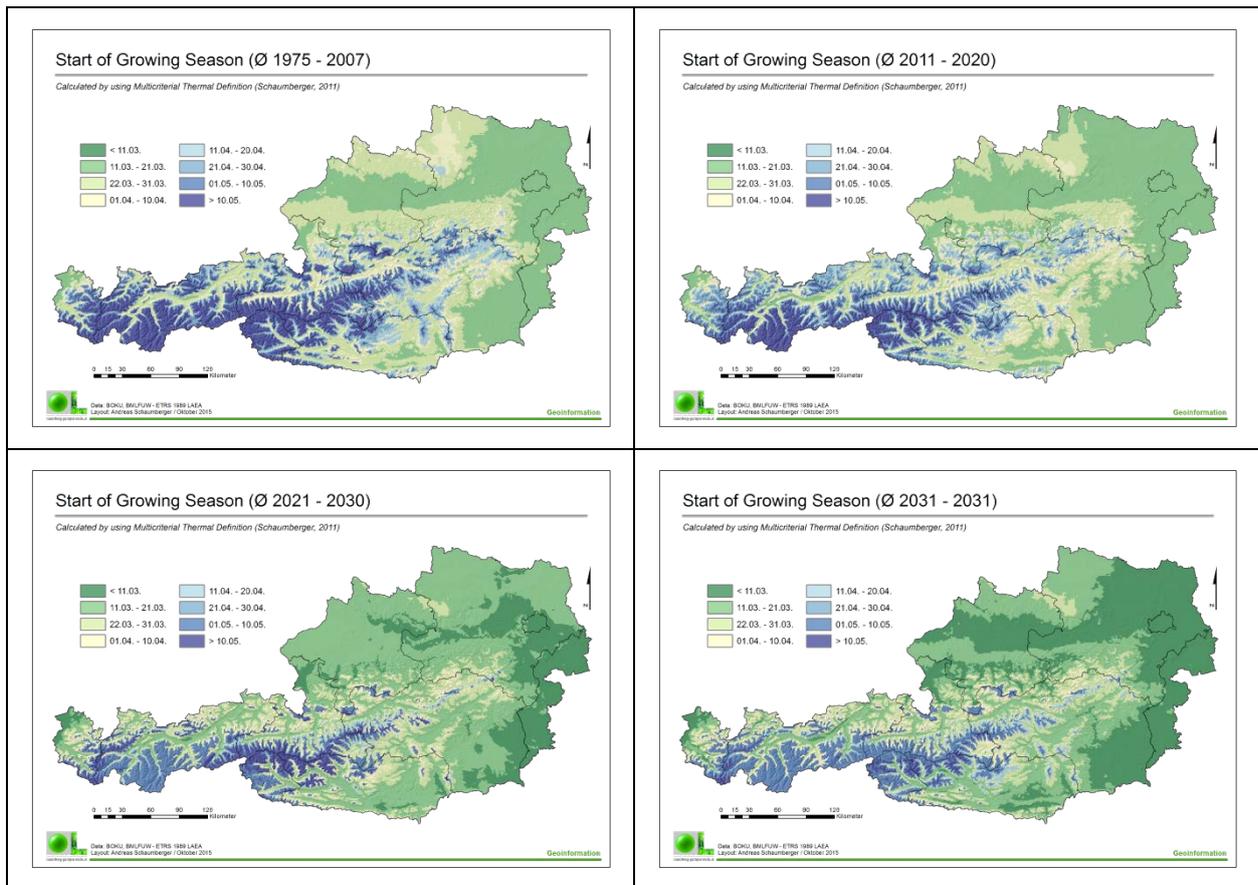


Abbildung 4: Veränderung des Vegetationsbeginns bis zum Jahr 2040 nach MTD

3.2 Schnittfrequenz und Schnittzeitpunkte

Die mehrmalige Schnittnutzung innerhalb einer Vegetationsperiode ist ein charakteristisches Merkmal des Wirtschaftsgrünlandes. Die Erträge der einzelnen Aufwüchse hängen unter den gegebenen Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen in hohem Maß von der Aufwuchsdauer ab. Klimatische Gunstlagen sowie eine intensive Bewirtschaftungsform ermöglichen in der Regel eine viermalige Nutzung, in Ausnahmefällen auch darüber hinaus. Das Wirtschaftsgrünland in den benachteiligten Berglagen wird überwiegend zwei bzw. dreimal geschnitten (Buchgraber *et al.*, 2011). Die Summe der Einzelerträge ergibt je nach Bewirtschaftungsform den Jahresertrag mit einer entsprechenden Streuung von Quantität und Qualität. Für die in der vorliegenden Arbeit entwickelte Modellierung der Ertragsdynamik ist somit die Definition der Nutzungszeitpunkte und die davon abgeleitete Dauer der einzelnen Aufwüchse eine Schlüsselkomponente. Da die Ernte von vielen Faktoren beeinflusst wird, welche neben objektiven standort- und bewirtschaftungsabhängigen Variablen auch individuelle Möglichkeiten und Präferenzen des einzelnen Landwirtes betreffen, bleibt die Berechnung des Nutzungszeitpunktes stets eine Näherung, bei der ein gewisser Fehlerbereich unvermeidlich ist.

Die räumliche Modellierung erfordert eine zusätzliche Einschränkung auf erklärende Variablen, welche als kontinuierliche Oberflächen verfügbar gemacht werden können. Die Berechnung einer flächendeckenden Information von Nutzungszeitpunkten macht deshalb eine weitere Vereinfachung notwendig. Dies bedingt wiederum die Akzeptanz einer größeren Streuung der Schätzwerte um den realen Nutzungstermin. Die Schnittreife entspricht im Wesentlichen dem Erreichen einer phänologischen Phase, deren jährliche Variabilität in Zusammenhang mit der Witterung, insbesondere mit dem Temperaturverlauf, steht (Ansquer *et al.*, 2009).

Um eine allgemeine Beziehung zwischen Nutzungsterminen und Temperatursummen herstellen zu können, werden langjährige Beobachtungen ausgewertet. Dazu stehen Temperaturdaten an ZAMG-Messstationen und die Erntezeitpunkte zahlreicher Versuche des LFZ Raumberg-Gumpenstein im Zeitraum von 1990 bis 2009, verteilt über ganz Österreich, zur Verfügung. Insgesamt handelt es sich um einen Datenbestand mit Beobachtungen der Nutzungszeitpunkte von Zwei-, Drei- und Vierschnittsystemen. Für jeden Aufwuchs muss die dem Beobachtungsstandort nächstliegende ZAMG-Messstation eine durchgehende Temperaturzeitreihe aufweisen, um eine gültige Summe bilden zu können. Der in der vorliegenden Arbeit entwickelte Algorithmus umfasst folgende Schritte:

- (1) Aus den zur Verfügung stehenden 9364 Beobachtungen werden nur jene verwendet, welche den hier abzubildenden Nutzungssystemen entsprechen und über eine vollständige Reihe von Aufwüchsen verfügen. Die verbleibenden 3243 Datensätze mit den erhobenen Ernteterminen werden um die Information des Starttages eines jeden Aufwuchses ergänzt. Bei den ersten Aufwüchsen der einzelnen Schnittsysteme handelt es sich um den nach MTD berechneten Vegetationsbeginn, bei den Folgeaufwüchsen um den Erntetermin des vorangegangenen Aufwuchses.
- (2) Die Temperaturdaten an den ZAMG-Messstationen, welche den jeweiligen Versuchsstandorten als Nächstliegende zugeordnet sind, werden über die Dauer eines Aufwuchses, also vom Start- bis zum Erntetermin, akkumuliert. Bei einer Basistemperatur von 0 °C finden für die Bildung der Temperatursumme nur die über dieser Schwelle liegenden Temperaturen Berücksichtigung (Degree days).
- (3) An den Versuchsstandorten werden der Median und weitere statistische Kenndaten von Nutzungszeitpunkten und Temperatursummen für jedes Schnittsystem und jeden Aufwuchs über alle zur Verfügung stehenden Jahre (1990 bis 2009) gebildet. Dabei werden nur jene Daten berücksichtigt, bei denen es sich sowohl beim Erntetermin als auch bei der Temperatursumme um keine statistischen Ausreißer handelt.

Da für jede Beobachtung eine Temperatursumme gebildet werden muss, erfordert dies eine Vielzahl an Iterationen in Verbindung mit temporären und persistenten Speicherstrukturen. Die statistische Auswertung erfolgt mithilfe der numerischen Bibliothek IMSL 6.5 (*International Mathematical and Statistical Library*), welche in die entwickelte C#-Software eingebunden wird. Neben dem Median werden für eine statistische Beschreibung des Datenbestandes an jeder Versuchsstation auch das arithmetische Mittel, Minimum und Maximum berechnet. Die Klassifizierung von Ausreißern bezieht sich auf Werte, welche außerhalb der dreifachen Standardabweichung liegen.

Die Ergebnisse sind in *Abbildung 5* dargestellt und mit dem Median für alle Stationen eines bestimmten Aufwuchses ergänzt. Die auf diese Weise ermittelten neun Nutzungszeitpunkte stellen die statistischen Zentralwerte jeden Aufwuchses über alle Jahre und Stationen dar, welche für die Modellierung herangezogen werden. Die Trendkurven in der *Abbildung* zeigen keinen funktionalen Zusammenhang zwischen Tag des Jahres und Temperatursumme, sondern lediglich den Verlauf der Steigung zwischen den aufwuchsbezogenen Summen. Je geringer die Nutzungsfrequenz ist, desto deutlicher unterscheidet sich das Niveau der Temperatursummen zwischen den Aufwüchsen eines Nutzungssystems. Für die Anwendung des Modells bedeutet dies, dass die jährliche Variabilität der mittels Temperatursumme prädierten Erntezeitpunkte mit einer zunehmenden Steigung zunimmt. Dies begründet sich im größeren zeitlichen Abstand zwischen den Aufwüchsen. Die für die Dauer eines jeden Aufwuchses ermittelten Temperatursummen mit den dazugehörigen und in *Abbildung 5* dargestellten Nutzungszeitpunkten bilden die Basis für das hier implementierte Schnittnutzungsmodell.

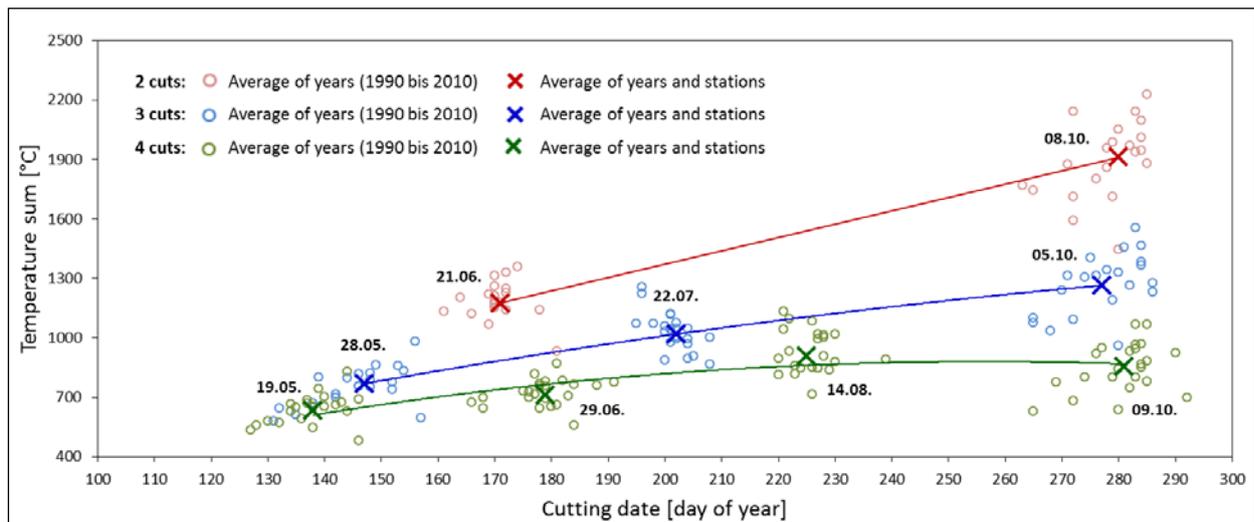


Abbildung 5: Beziehung zwischen aufwuchsbezogenen Temperatursummen und Ernteterminen unterschiedlicher Schnittsysteme auf Basis langjähriger Mittelwerte

Neben dem Temperaturverlauf wird der Nutzungszeitpunkt von Faktoren beeinflusst, welche im Rahmen einer räumlichen Implementierung nicht berücksichtigt werden können. Mit der Temperatursumme als einzige Erklärungsvariable ist somit keine ausreichend genaue Schätzung möglich. Außerdem sind die jährlichen Schwankungen der Temperatursummen zu groß, um daraus eine realistische Verschiebung des Schnitttermins ableiten zu können. In der landwirtschaftlichen Praxis ist es üblich, innerhalb gewisser Zeitfenster zu ernten, welche auf jahrelange Beobachtungen der regionalen klimatischen Verhältnisse und ihrer Auswirkungen auf den Pflanzenbestand zurückgehen. Die Bewirtschaftungsmaßnahmen, insbesondere die Mahd, richten sich zwar primär nach der phänologischen Entwicklung des Grünlandbestandes und dessen Erntereife, bewegen sich jedoch nicht immer in einer der Witterung entsprechenden Variabilität.

Das hier entwickelte Modell berücksichtigt zudem nur die Temperatur und vernachlässigt beispielsweise die Wasserverfügbarkeit, welche nach Smit *et al.* (2008) einen entscheidenden Einfluss auf die Produktivität des Grünlandes hat. Dennoch ist die Temperatur besonders dazu geeignet, zeitliche Veränderungen im landwirtschaftlichen Management als Reaktion auf phänologische Entwicklungen zu beschreiben (Sparks *et al.*, 2005). Sie ist deshalb in der vorliegenden Arbeit die Grundlage für eine räumliche Modellierung der Nutzungszeitpunkte. Dabei wird jedoch nicht der funktionale Zusammenhang zwischen Temperatursumme und Erntetermin ausgewertet, da dies extreme Verschiebungen ergeben würde, welche nicht der landwirtschaftlichen Praxis entsprechen. Es werden hingegen die relativen Änderungen der jährlichen Temperatursummen für die Berechnung von Abweichungen der in *Abbildung 5* dargestellten Zentralwerte verwendet. Damit wird erreicht, dass Verschiebungen des Erntezeitpunktes weniger sensibel auf Schwankungen der Temperatursumme reagieren und den beträchtlichen Einfluss vieler unbekannter Faktoren nicht verzerren. In *Abbildung 6* wird die Übertragung der jährlichen Temperatursummenanomalien auf die Schwankungsbreite der Erntezeitpunkte in einem vereinfachten Schema dargestellt.

Die Variabilität der Temperatursumme wird mithilfe dieses Ansatzes als relative Änderung der Nutzungszeitpunkte auf der Grundlage von langjährigen Grünlandexperimenten (vgl. *Abbildung 5*) abgebildet. Die rechte Säule in *Abbildung 6* stellt die Akkumulation der Temperatur für einen Aufwuchs eines bestimmten Schnittsystems dar. Der Median der Temperatursumme zum Nutzungszeitpunkt bezieht sich auf die Auswertung sämtlicher Experimente im Zeitraum 1990 bis 2009 und bildet die Basis (100 %). In *Abbildung 5* ist diese Basis für jeden Aufwuchs der ver-

schiedenen Nutzungssysteme abgebildet. Die für den mittleren Erntezeitpunkt berechnete Temperatursumme des aktuellen Jahres wird dem Basiswert gegenübergestellt und als relative Abweichung festgehalten.

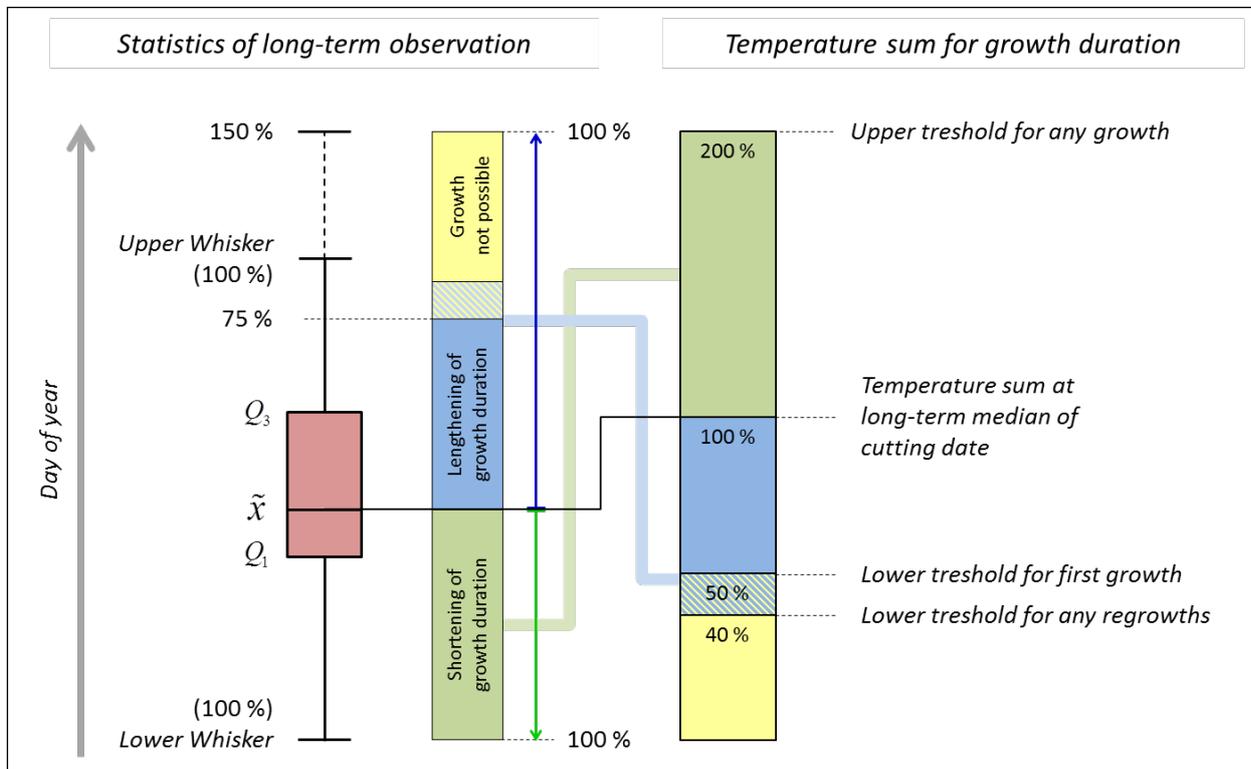


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Ermittlung des Erntezeitpunktes aus Temperatursummen

Als obere Grenze ist eine Verdoppelung der Temperatursumme (200 %) vorgesehen. Darüber hinausgehende Werte bleiben unberücksichtigt, da angenommen werden muss, dass für derartige Situationen ein Schnittsystem mit höherer Frequenz und damit kürzer Aufwuchsdauer besser geeignet ist und der realen Situation eher entspricht. Der untere Schwellenwert begrenzt das temperatursummenabhängige Potenzial eines Schnittsystems. Wird beim ersten Aufwuchs nur die Hälfte der Temperatursumme erreicht, ist der entsprechende Standort für das jeweilige Schnittsystem ungeeignet. Aufgrund des starken Zusammenhangs der Temperatur mit der Seehöhe wird mithilfe dieser Restriktion die Ausweisung eines Schnittsystems in einer dafür nicht geeigneten Höhenlage vermieden. Da bei den Folgeaufwüchsen die Variabilität der Nutzungszeitpunkte zunimmt (vgl. Abbildung 5), wird der untere Schwellenwert etwas herabgesetzt und mit 40 % angenommen.

Im linken Bereich der *Abbildung 6* sind die statistischen Parameter des aufwuchsbezogenen Nutzungszeitpunktes auf Basis der langjährigen Beobachtungen schematisch dargestellt. In Form einer *Boxplot*-Grafik werden Median, erstes und drittes Quartil sowie der untere und obere *Whisker* mit dem maximal 1,5-fachen Interquartilsabstand angegeben. Diese Kennwerte bilden die Grundlage für die Übertragung der relativen Temperatursummenabweichungen. Betragen diese mehr als 100 %, führen sie zu einer Verkürzung der Aufwuchsdauer im aktuellen Jahr, da das Temperatursummenverhältnis auf den Abstand zwischen Median des Nutzungszeitpunktes und dem unteren *Whisker* zur Anwendung kommt. So führen überdurchschnittliche Temperaturverhältnisse, beispielsweise mit 120 % des langjährigen Medians der Temperatursumme, zu einem früheren Schnitt.



Mit dem 150. Tag des Jahres als Median des Erntezeitpunktes und einem unteren *Whisker* am 125. Tag ergibt sich eine um fünf Tage bzw. 20 % frühere Ernte (25 Tage = 100 %). Wird die Temperatursumme am Tag des langjährigen Medians nicht erreicht, führt dies zu einer Verlängerung der Aufwuchsdauer und damit zu einem späteren Erntetermin. Dies ist vor allem im Berggebiet relativ häufig der Fall, da mit zunehmender Höhe die Temperatursumme geringer wird und sich die Ernte auf einen zunehmend späteren Zeitpunkt verschiebt. Die unteren Schwellenwerte für den ersten Aufwuchs (50 %) und die Folgeaufwüchse (40 %) verhindern eine nicht plausible Unterschreitung von Mindestanforderungen an die Temperatur. Die Übertragung der relativen Temperatursummen wird auf einen größeren Wertebereich der Schnittzeitpunkte vorgenommen. Der Abstand zwischen Median und oberem *Whisker* wird um 50 % erweitert. Damit beträgt die größtmögliche positive Abweichung des Nutzungszeitpunktes für den ersten Aufwuchs 75 % des Abstandes zwischen Median und oberem *Whisker* sowie 90 % für die Folgeaufwüchse.

Wenn in einem Jahr beispielsweise nur 80 % der langjährigen mittleren Temperatursumme erreicht werden, bedeutet dies eine Verlängerung der Aufwuchsdauer. Bei einem mittleren Schnitttermin am 150. Tag des Jahres und einem oberem *Whisker* am 180. Tag ergibt dies einen um 9 Tage späteren Erntezeitpunkt (30 Tage = 100 %; 45 Tage = 150 %); das sind 20 % des erweiterten Wertebereichs (150 %) oder 30 % des Abstandes zwischen Median und oberem *Whisker*. Die Erweiterung des Wertebereiches auf 150 % erhöht die Streubreite bei der Berechnung einer Verlängerung der Vegetationsdauer für den ohnehin durch die unteren Schwellenwerte begrenzten Bereich der relativen Temperatursummen. Unter diesen Schwellenwerten liegende Temperatursummen werden nicht berücksichtigt und davon betroffene Standorte weisen daher keine Ergebnisse für das jeweilige Schnittsystem aus.

Die Festlegung der Schwellenwertprozente (200 und 50 bzw. 40 %) sowie die Übertragung auf einen erweiterten Bereich (150 %) für positive Abweichungen der Schnitttermine erfolgte aufgrund umfangreicher Testläufe für die Untersuchungsjahre.

Für jede Zelle der Rasteroberfläche wird die Temperatur akkumuliert und bei Erreichen des langjährigen Medians des Nutzungszeitpunktes gemäß den oben angeführten methodischen Vorgaben auf den Wertebereich der langjährigen Erntebeobachtungen übertragen. Die so berechneten Abweichungen eines bestimmten Jahres zum langjährigen, zentralen Erntezeitpunkt werden in Ergebniskarten gespeichert und für weitere Analysen bereitgestellt. Eine detaillierte Beschreibung für die Erstellung von Schnitthäufigkeitskarten findet sich in Schaumberger (2011, 205ff).

In *Abbildung 7* werden die Ergebnisse der jährlich bestimmten Schnittfrequenzen über die beiden Untersuchungszeiträume 1975 bis 2007 und 2008 bis 2040 aggregiert. Die dargestellten Karten beschreiben die relative Häufigkeit der Jahre, an denen ein bestimmtes Schnittsystem aufgrund klimatischer Bedingungen erfolgt. In den Veränderungen zwischen vergangener und zukünftiger Periode kommt die Wirkung der im Szenario verwendeten Temperaturerhöhung von + 1,5 °C auf die räumliche Verteilung der Schnittfrequenz deutlich zum Ausdruck. In allen drei Fällen (2-, 3- und 4-Schnittsystem) werden die Gebiete des jeweiligen Systems größer, insbesondere betrifft dies die Alpentäler.

Mit höheren Temperaturen wird die Vegetationsperiode länger (vgl. *Abbildung 4*) und damit der für ein Schnittsystem verfügbare Zeitraum. Höhere Temperaturen ermöglichen in diesen Regionen auch eine kürzere Aufwuchsdauer und damit ergibt sich häufig auch die Möglichkeit einer zusätzlichen Schnittnutzung. Diese Berechnungen entsprechen vielfach den in der Realität zu beobachtenden Entwicklungen. Beispielsweise erfolgen im Mittleren Ennstal mittlerweile auf der überwiegenden Zahl von Grünlandflächen vier Nutzungen, die in den vergangenen Jahrzehnten kaum öfter als dreimal geschnitten wurden.

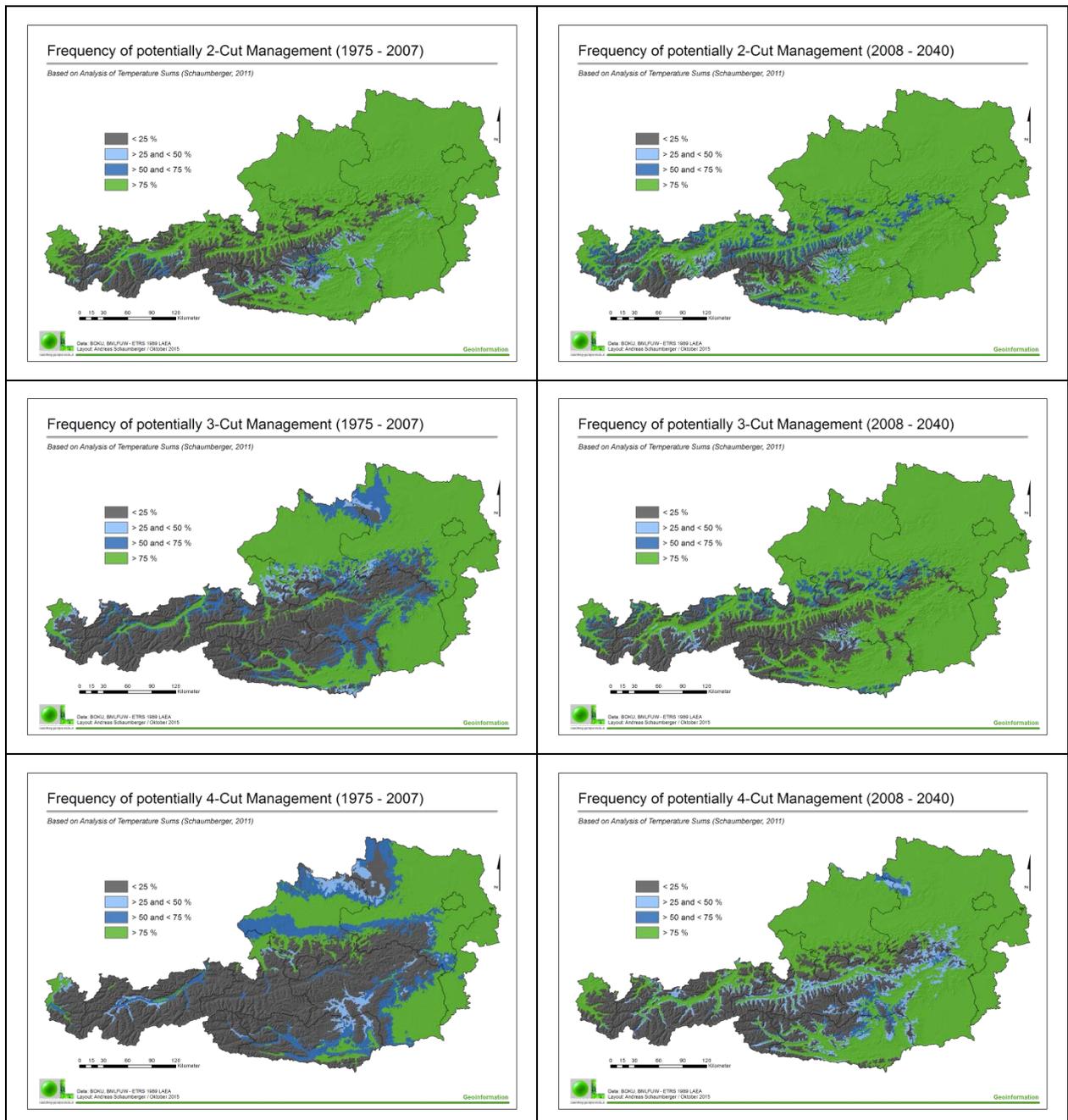


Abbildung 7: Veränderung des Vegetationsbeginns bis zum Jahr 2040 nach MTD

3.3 Erträge und deren Veränderungen aufgrund klimatischer Bedingungen

Die Methodik der Ertragsschätzung sowie die Evaluierung des Schätzmodells wird ausführlich in Schaumberger (2011) diskutiert. In der vorliegenden Beschreibung werden lediglich zusammenfassende Erklärungen angeführt, welche eine inhaltliche Einordnung der hier gezeigten Ergebnisse erleichtern, nicht jedoch die Lektüre von Schaumberger (2011) ersetzen können.

Die Bodenwasserbilanz und eine damit mögliche Beurteilung der Wasserverfügbarkeit ist die Voraussetzung für eine Auswertung der Beziehung von Wetter und Ertrag. Ein negativer Bodenwasserhaushalt führt bei anhaltend trockenen Bedingungen zu Wasserstress und damit zu Ertragsminderungen. Ausgehend von den Oberflächen des Niederschlags und der Referenz-Evapotranspiration wurde ein einfaches Modell der FAO (Allen *et al.*, 1998) implementiert. Zu-

nächst erfolgte eine Anpassung der Referenz-Evapotranspiration an das Wirtschaftsgrünland, indem ein Pflanzenfaktor die Änderung zur Referenzgrasoberfläche bewirkt. Auf Grundlage der Aufwuchsdauer wurde dafür ein räumliches Modell entwickelt, welches eine lineare Zunahme des Pflanzenbestandes zwischen den einzelnen Erntezeitpunkten annimmt. Die Oberfläche der Nutzbaren Feldkapazität ergab in Kombination mit angepasster Grünland-Evapotranspiration, Niederschlag, Tiefenversickerung und Bodenwasserabsenkung die aktuelle Evapotranspiration als Resultat der Bilanz. Die räumlichen Implementierung erfordert einige Vereinfachungen. So basiert beispielsweise die Interzeptionsverdunstung auf einer einfachen linearen Beziehung zum Pflanzenfaktor. Der Kapillarhub aus dem Grundwasser sowie der Oberflächenabfluss konnten aufgrund fehlender Basisdaten bzw. Modelle nicht berücksichtigt werden.

Die Wasserverfügbarkeit als Resultat der Bodenwasserbilanzierung wurde aus der Relation von aktueller zu Grünland-Evapotranspiration abgeleitet. Mit der Akkumulation des Verhältniswertes über unterschiedlich lange Zeiträume und der Anwendung empirischer Koeffizienten ergab sich daraus ein Wasserverfügbarkeitsfaktor. Um aus der Wasserverfügbarkeit eine Information der Wachstumsbedingungen zu erhalten, wurde ein empirischer Wachstumsfaktor angewendet. Die funktionale Beziehung zwischen Wasserverfügbarkeit und diesem Faktor bestimmt die Größe des Einflusses einer unzureichenden Wasserversorgung auf die Ertragsminderung. Unter der Annahme, dass Globalstrahlung und Temperatur die entscheidenden Parameter des Wachstums darstellen, wurde der täglich generierte räumliche Wachstumsfaktor auf die Oberflächen der beiden Wetterinformationen angebracht. Ist die Wasserversorgung beeinträchtigt, reduzieren sich damit Strahlung und Temperatur. Mit der Akkumulation der beiden Parameter als effektive Globalstrahlung und effektive Temperatur über die Dauer eines Aufwuchses ergeben sich die Modellprädiktoren für die Ertragsschätzung. Eine Prüfung und Anpassung des Zusammenhangs von Wasserverfügbarkeit und Wachstumsfaktor wurde über aufwendige Testläufe vorgenommen, in denen seine Auswirkung auf die Qualität der Ertragsschätzung bewertet wurde.

Die Entwicklung eines empirischen Modells zur Schätzung von Grünlanderträgen wurde auf die Verfügbarkeit von Geodaten abgestimmt. Als hoch signifikante Parameter gehen die oben beschriebene effektive Globalstrahlung und Temperatur in die Modellierung ein. Sie beschreiben näherungsweise die unter mangelnder Wasserversorgung beeinträchtigte Effizienz von Globalstrahlung und Temperatur bei der Entwicklung von Biomasse. Zusätzlich wurde eine vom Wachstumsfaktor unbeeinflusste Summe beider Parameter in Relation zu den Effektiv-Varianten sowie die Aufwuchsdauer als Erklärung des Ertrages aufgenommen. Nutzungssystem sowie Aufwuchs fanden als kategoriale Variablen Berücksichtigung. Mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,63 und einen RMSE von 6,69 dt TM ha⁻¹ Aufwuchs⁻¹ ergab sich daraus die Grundlage für eine räumliche Anwendung der Schätzung. Die daraus generierten Oberflächen bilden den Ertrag eines jeweiligen Aufwuchses der verschiedenen Nutzungssysteme im Untersuchungsgebiet ab.

Die räumliche Implementierung der Ertragsschätzung erfordert eine Reihe von Vereinfachungen und Restriktionen. So kann beispielsweise die Düngung aufgrund eines fehlenden räumlichen Modells nicht als Erklärung herangezogen werden, hier wird lediglich eine ausreichende Nährstoffversorgung angenommen. Bei der Zusammenführung der Aufwuchserträge zu einem Jahresertrag kumulieren sich auch die Fehler. Während es bei den Einzelerträgen nur zu einer leichten Unterschätzung kommt, wird im Jahresertrag diese deutlich und spiegelt sich in den Ergebnisoberflächen wieder. Das Modell verhält sich allerdings sehr robust und unterschätzt über den gesamten Wertebereich gleichmäßig. Am aussagekräftigsten sind die witterungsbedingten jährlichen Schwankungen. Die Ergebnisse eignen sich aus diesem Grund bestens für die Auswertung der relativen Änderung, allerdings muss dabei die modellbedingte Unterschätzung beachtet werden. Eine Verwendung der Absoluterträge für Auswertungen darf nur unter Berücksichtigung des Modellfehlers erfolgen.

Auf den folgenden Seiten werden die Ergebnisse der Ertragsrechnung für unterschiedliche Zeiträume und Klimaszenarien dargestellt. In *Abbildung 8* werden die Erträge für 2-, 3- und 4-Schnitt-Systeme in der Referenzperiode 1975 bis 2007 dargestellt. Die vierte Abbildung besteht aus einer Aggregation aller drei Schnittsysteme, wobei die Allokation der schnittbezogenen Erträge nur auf den nicht berechneten Flächen des nächsthöheren Schnittsystems erfolgt. Eine Überschneidung der Ergebnisse wird damit vermieden.

Alle Ertragsergebnisse der unterschiedlichen Schnittsysteme sind in ihrer maximalen räumlichen Ausdehnung dargestellt und nicht nur auf die tatsächlich mit Grünland bewirtschaftete Fläche eingeschränkt. Dabei wird auch nicht berücksichtigt, ob sich Flächen in bestimmten Regionen überhaupt für ein bestimmtes Schnittsystem eignen bzw. die entsprechende Nutzung sinnvoll ist. Einzig die klimatischen Rahmenbedingungen (insbesondere die Temperatur) begrenzen die räumliche Ausdehnung. Für eine Zuordnung der Erträge auf tatsächliche Grünlandflächen ist eine nachträgliche Maskierung mit den in *Abbildung 2* gezeigten Grünlandklassen. Da sämtliche Ergebnisse aus den Karten auch numerisch ausgelesen und den jeweiligen Grünlandflächen tabellarisch zugeordnet wurden, erfolgt hier keine weitere kartografische Auswertung.

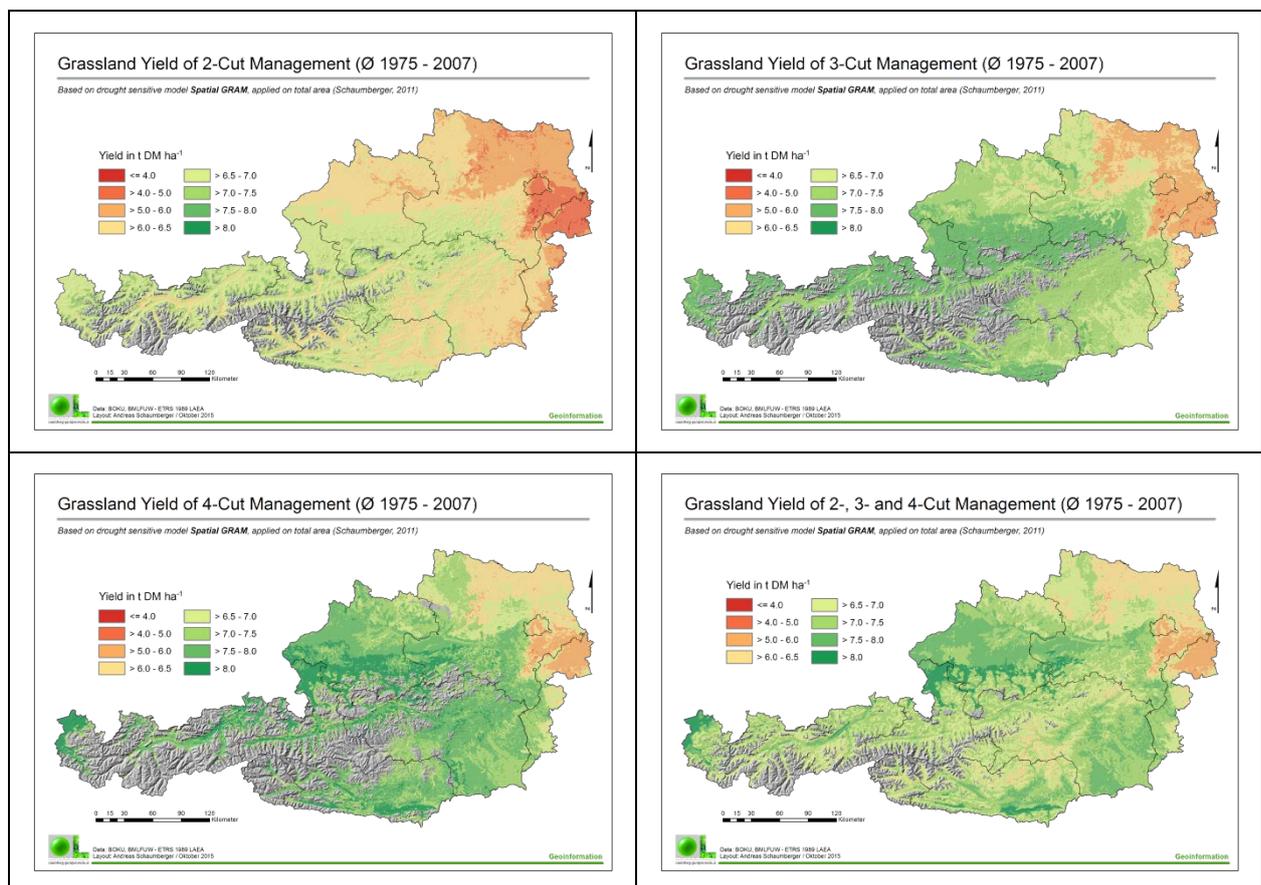


Abbildung 8: Grünlanderträge unterschiedlicher Schnittsysteme im Mittel der Periode 1975 bis 2007

In *Abbildung 9* bis *Abbildung 20* werden die Ergebnisse aus den Ertragsschätzungen für die beiden Klimaszenarien und für unterschiedliche Zeiträume (2008 bis 2040 sowie für die einzelnen Dekaden) in Absolutwerten, in relativen Änderungen zur Referenzperiode 1975 bis 2007 (vgl. *Abbildung 8*) sowie als Standardabweichungen für die einzelnen Perioden dargestellt. Die Karten zeigen trotz der bei der Klimadatengenerierung vorgenommenen Vereinfachungen (vgl. Strauss *et al.*, 2013) plausible und nachvollziehbare Ergebnisse.

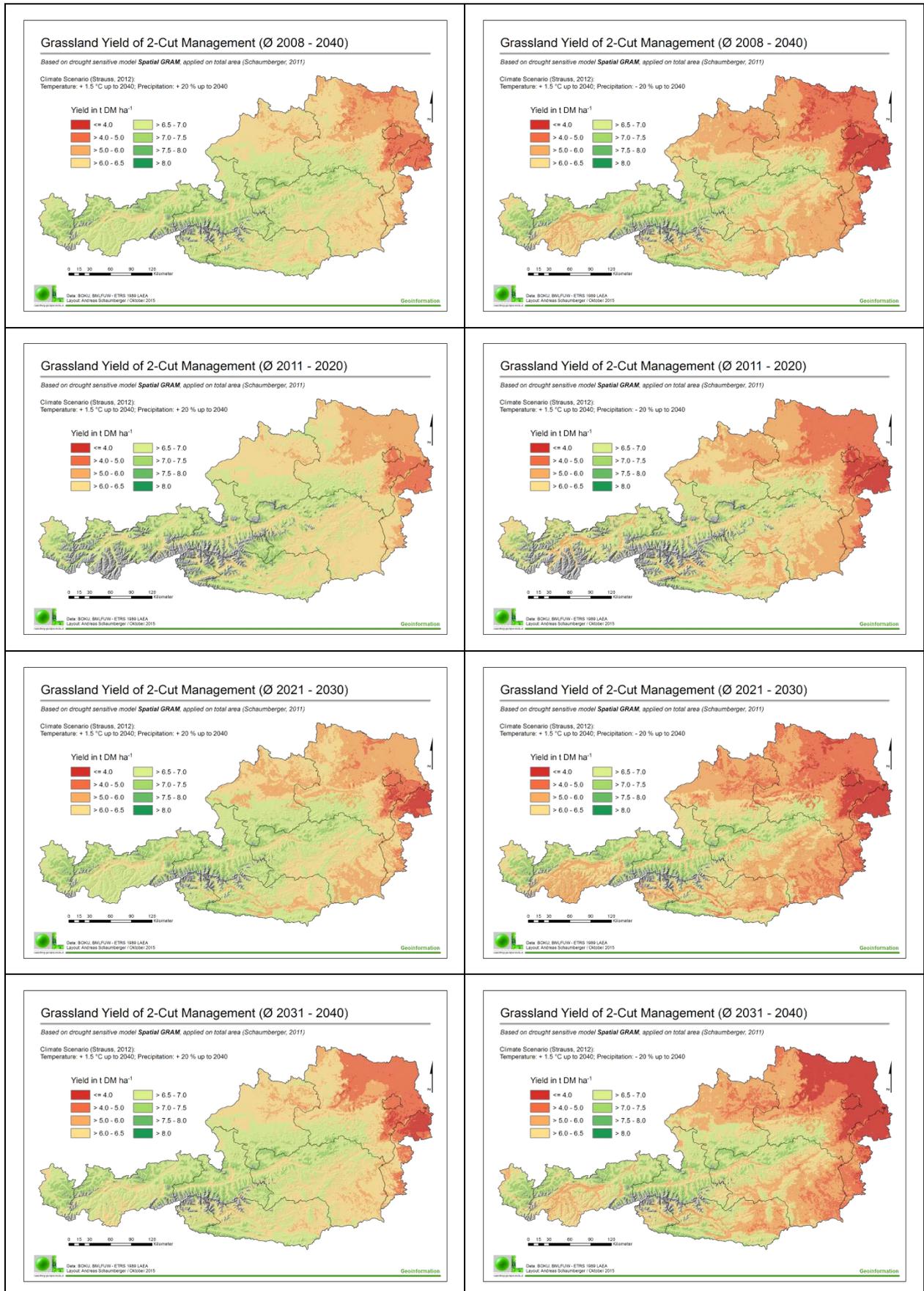


Abbildung 9: Mittlere Grünlanderträge eines 2-Schnitt-Systems für zwei Klimaszenarien

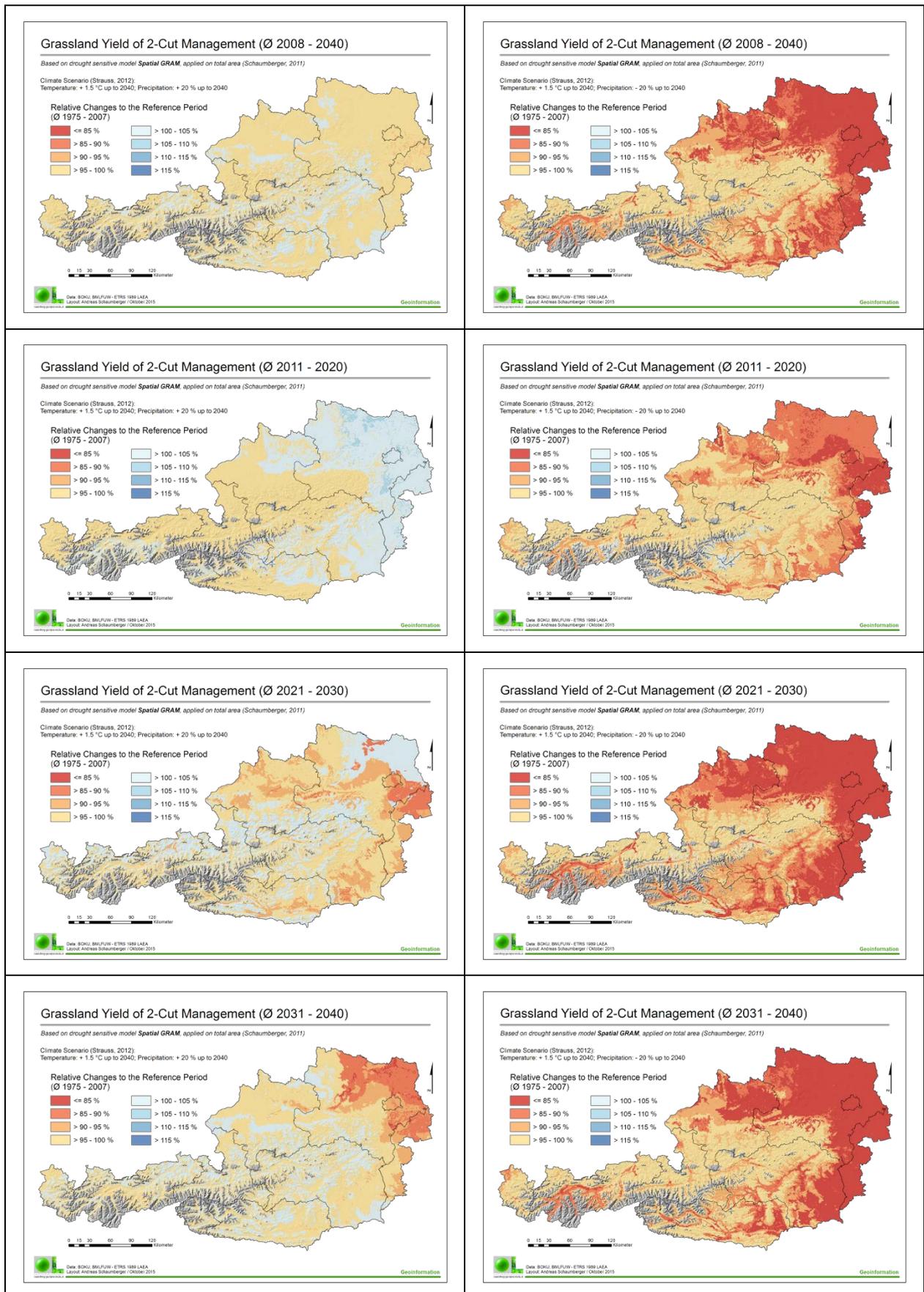


Abbildung 10: Relative Änderungen von Grünlanderträgen eines 2-Schnitt-Systems für zwei Klimaszenarien

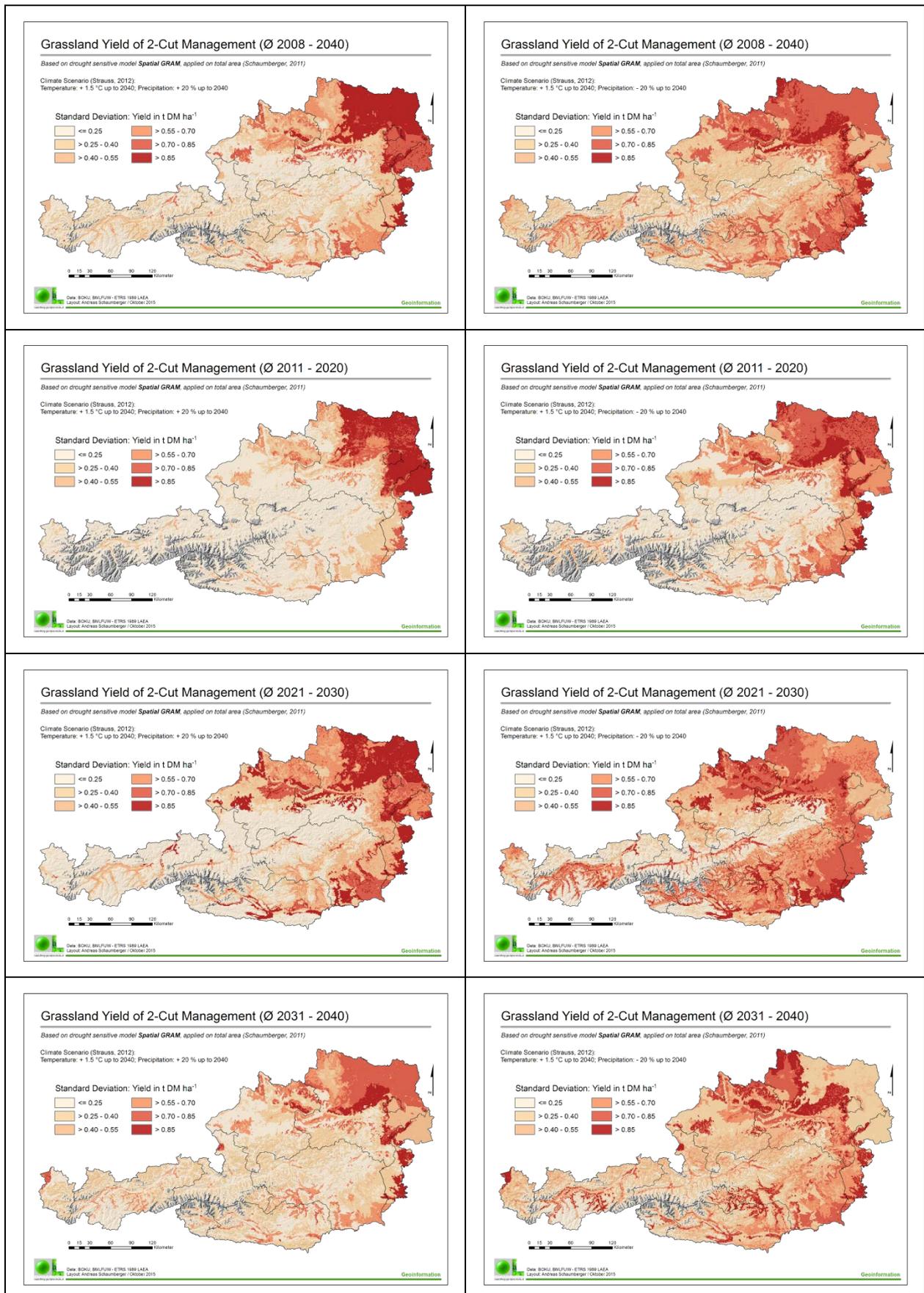


Abbildung 11: Standardabweichungen der Grünlanderträge eines 2-Schnitt-Systems für zwei Klimaszenarien

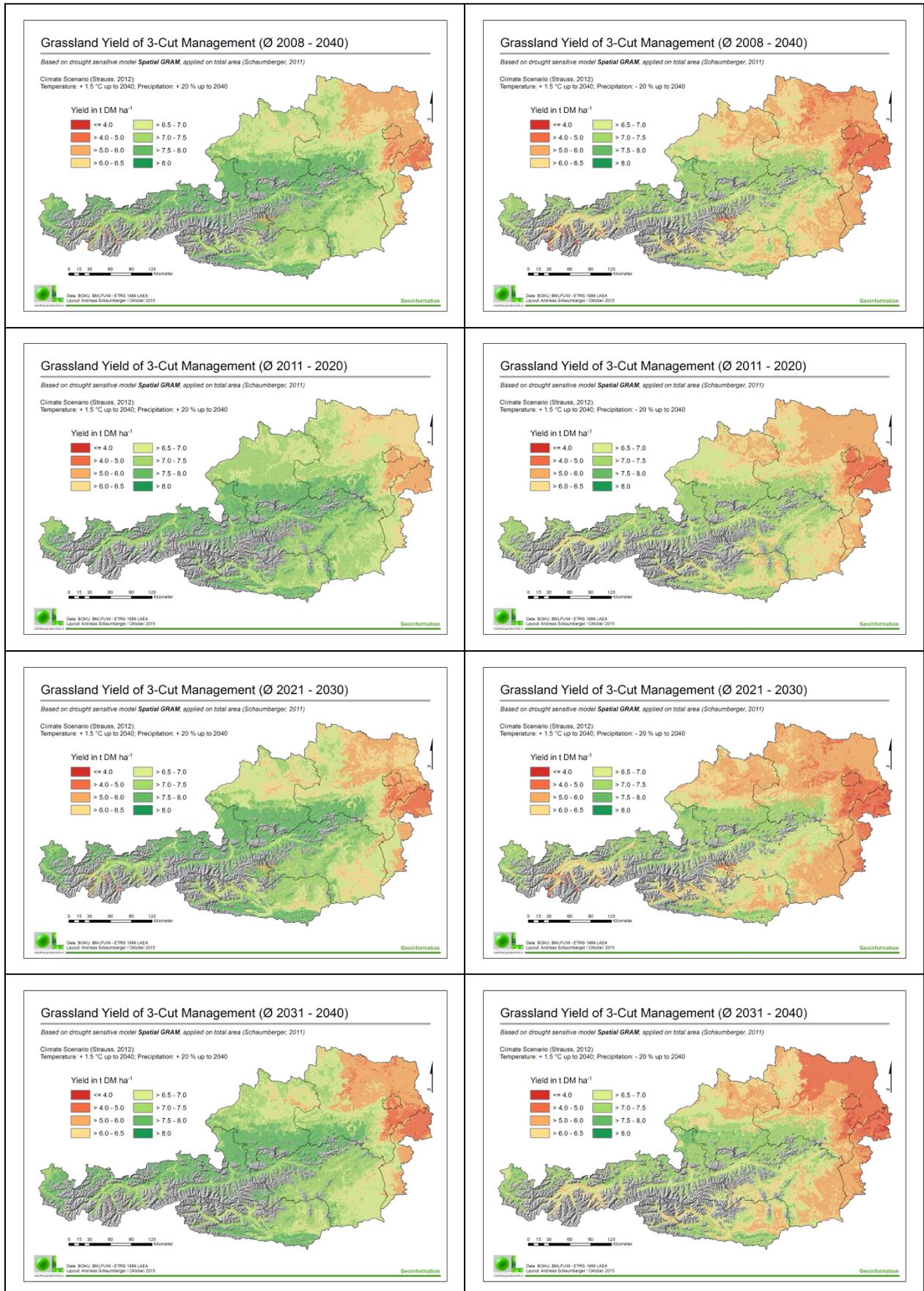


Abbildung 12: Mittlere Grünlanderträge eines 3-Schnitt-Systems für zwei Klimaszenarien

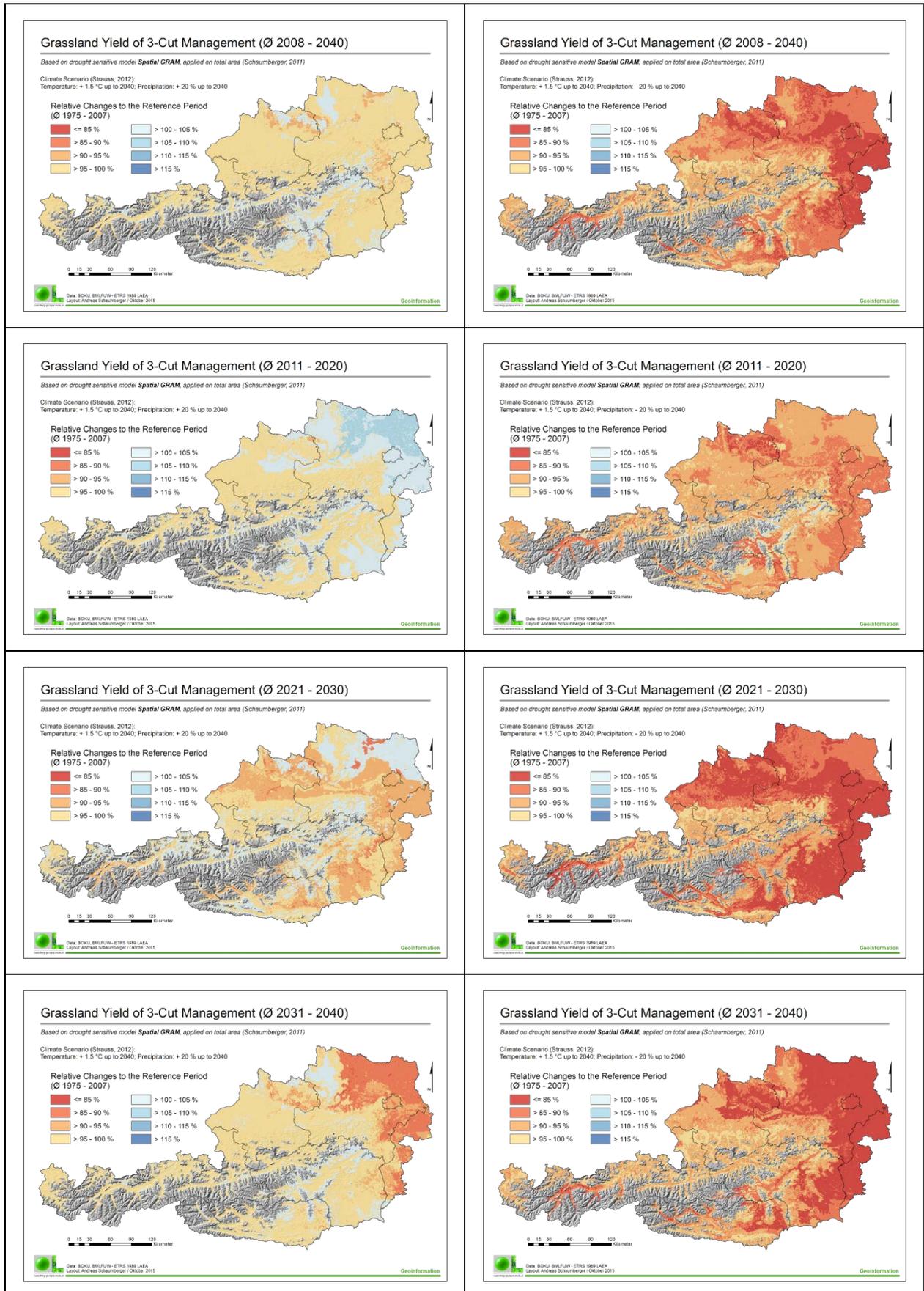


Abbildung 13: Relative Änderungen von Grünlanderträgen eines 3-Schnitt-Systems für zwei Klimaszenarien

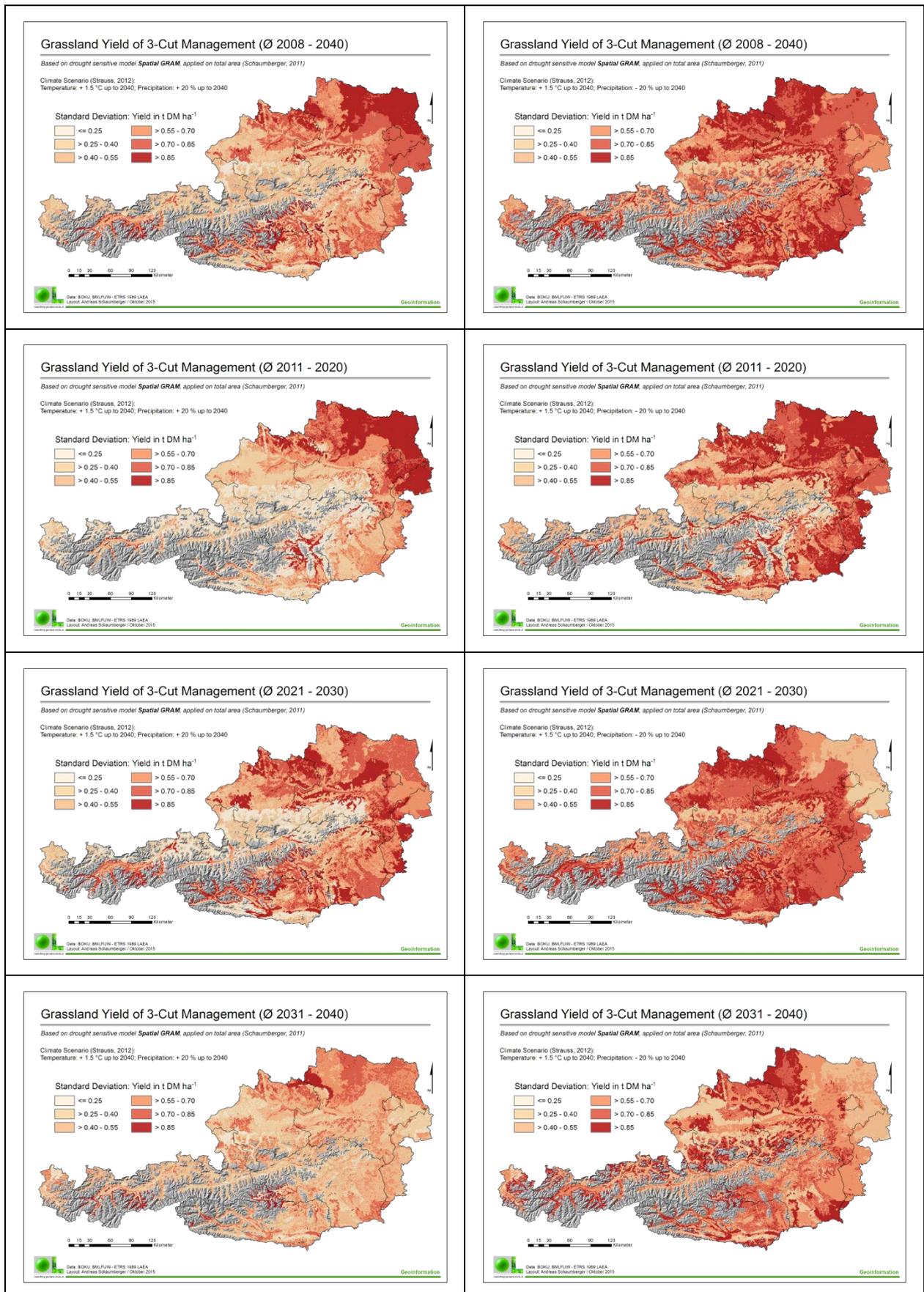


Abbildung 14: Standardabweichungen der Grünlanderträge eines 3-Schnitt-Systems für zwei Klimaszenarien

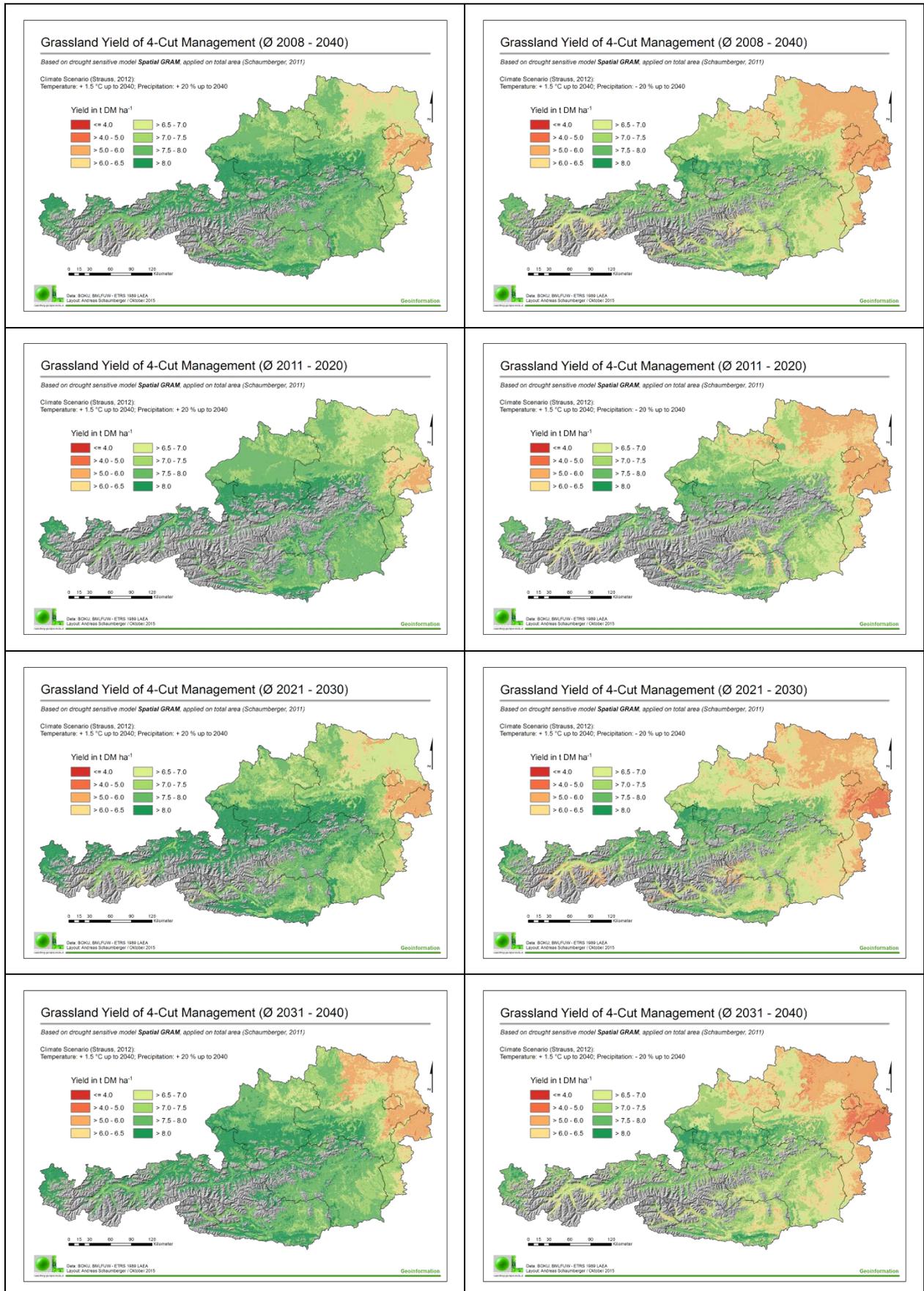


Abbildung 15: Mittlere Grünlanderträge eines 4-Schnitt-Systems für zwei Klimaszenarien

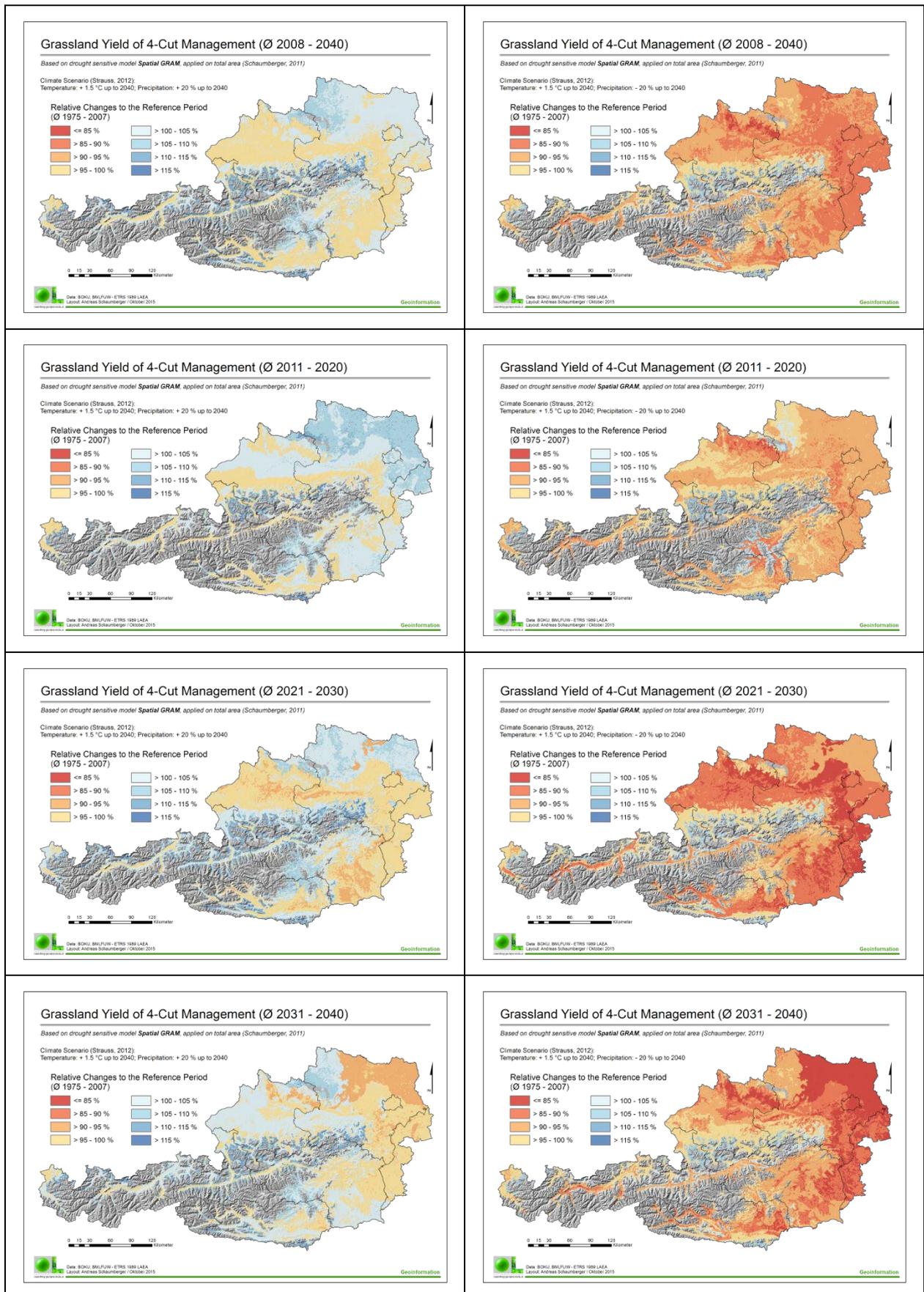


Abbildung 16: Relative Änderungen von Grünlanderträgen eines 4-Schnitt-Systems für zwei Klimaszenarien

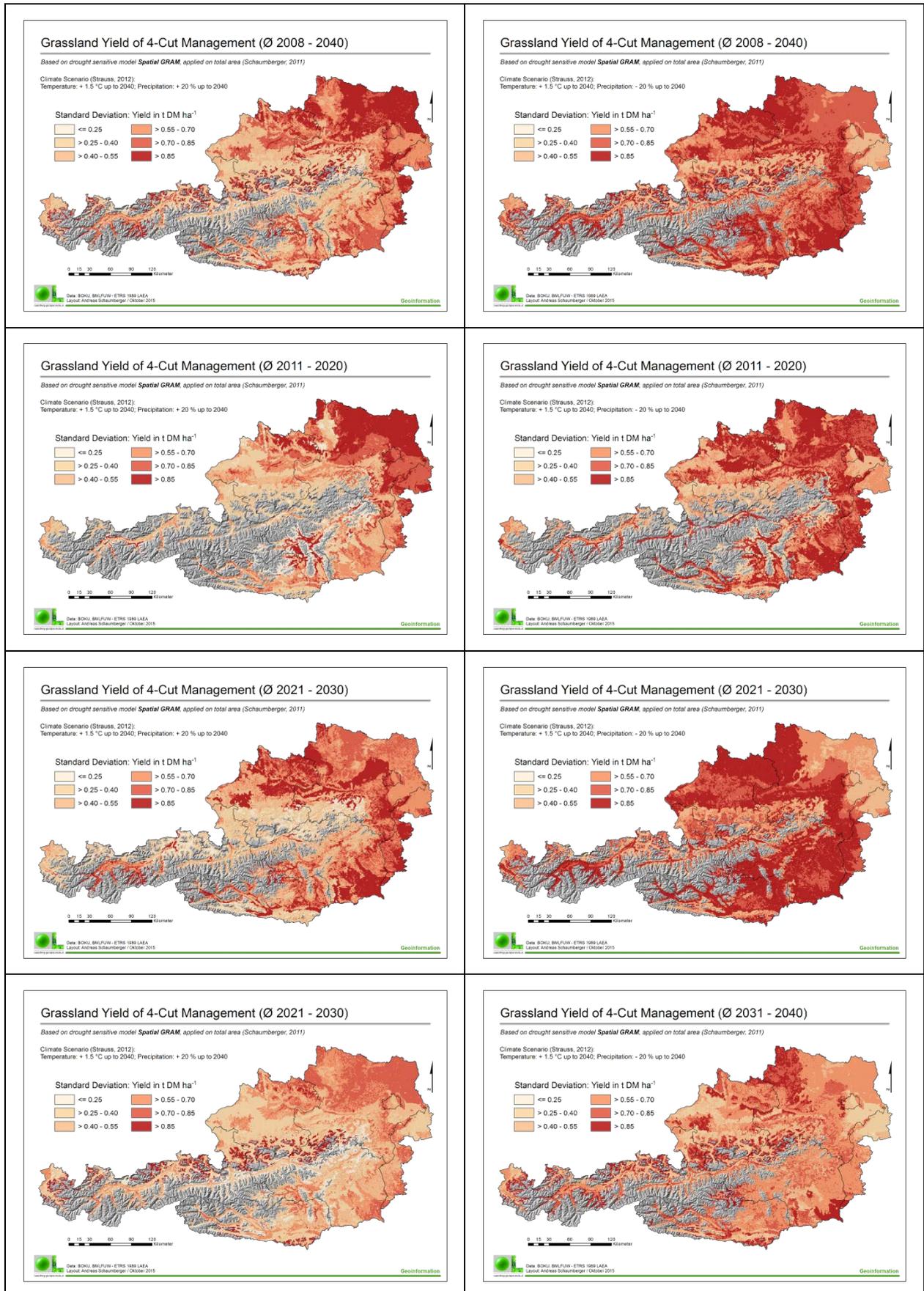


Abbildung 17: Standardabweichungen der Grünlanderträge eines 4-Schnitt-Systems für zwei Klimaszenarien

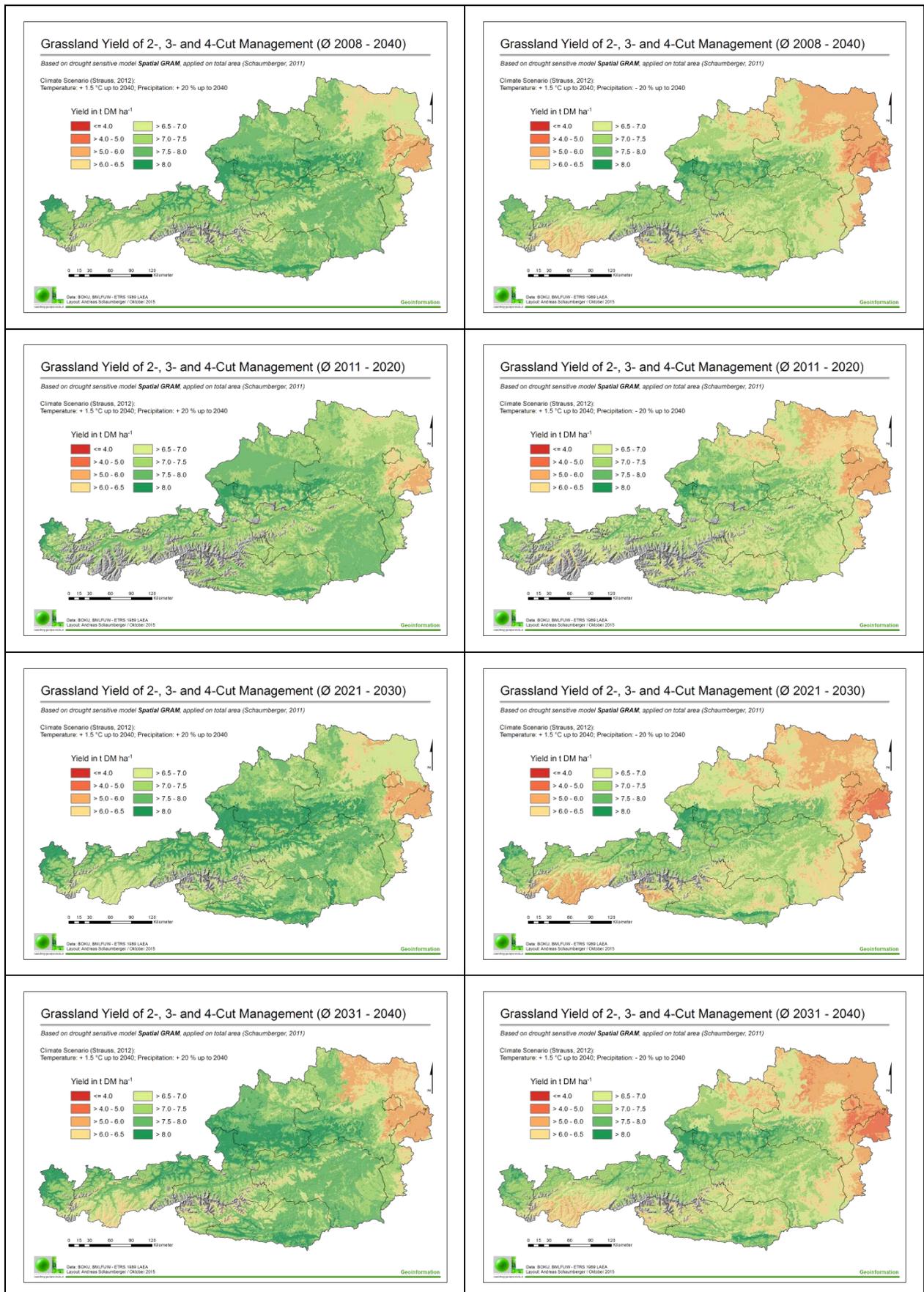


Abbildung 18: Mittlere Grünlanderträge eines 2-, 3- und 4-Schnitt-Systems für zwei Klimaszenarien

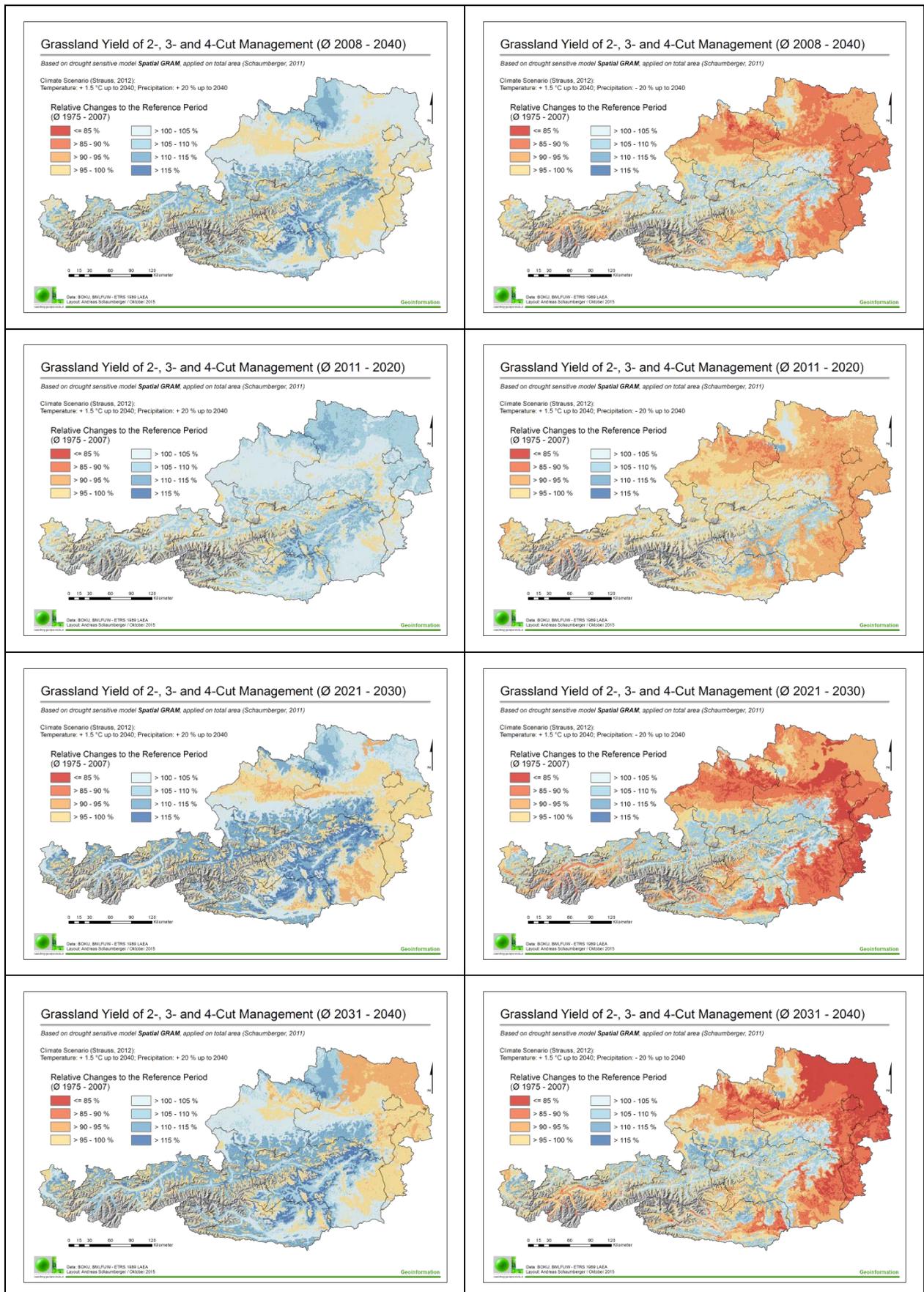


Abbildung 19: Relative Änderungen von Erträgen eines 2-, 3- und 4-Schnitt-Systems für zwei Klimaszenarien

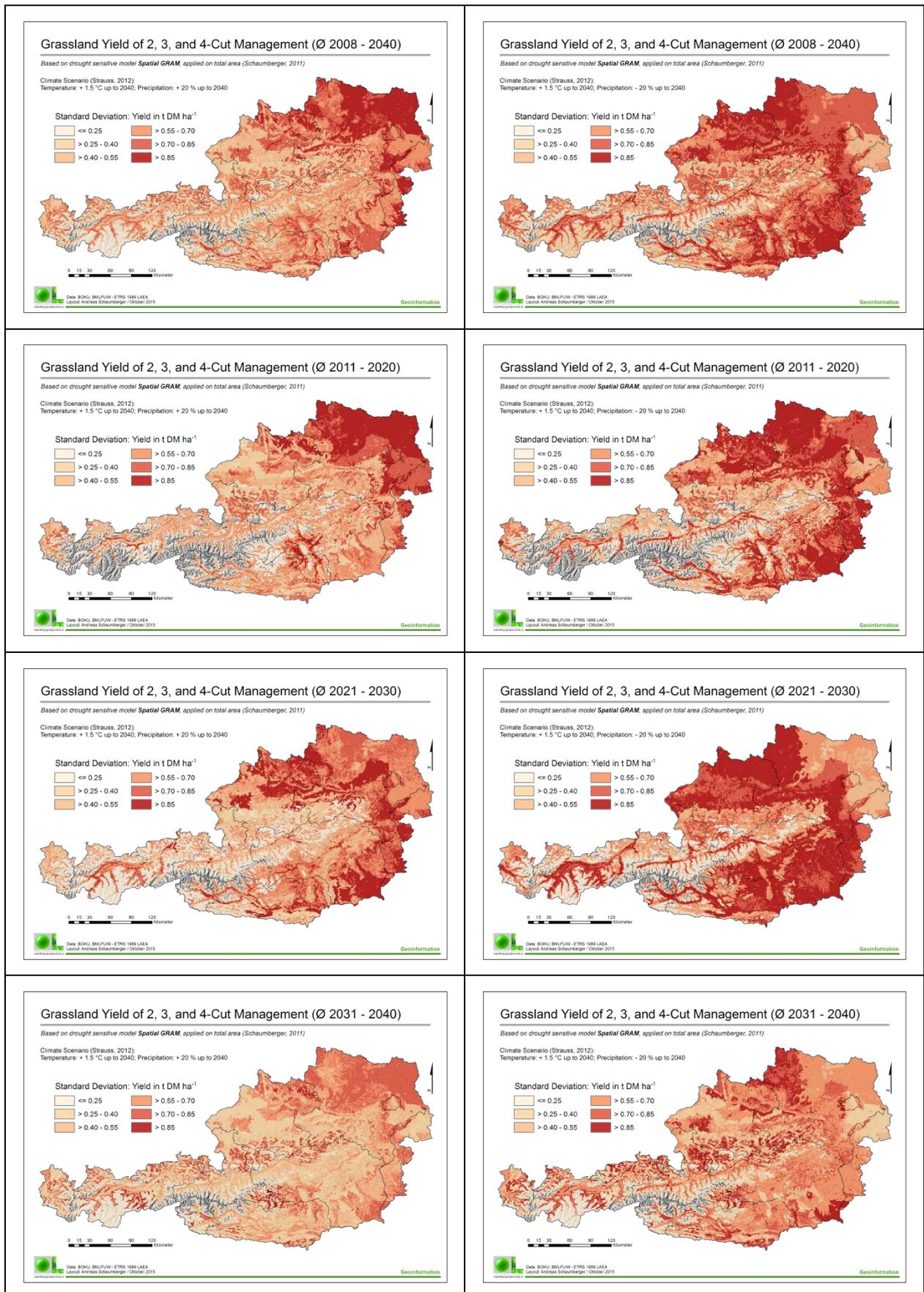


Abbildung 20: Standardabweichungen der Erträge eines 2-, 3- und 4-Schnitt-Systems für zwei Klimaszenarien

Ohne eine detaillierte Interpretation von Einzelergebnissen vorzunehmen, kann generell gesagt werden, dass die höheren Temperaturen nur dann ertragssteigernd wirken, wenn ausreichend Niederschläge vorhanden sind. Beim Szenario SC5 (Niederschlagsplus von 20 %) ist über sämtliche Auswertungen hinweg eine Ertragszunahme im Berggebiet zu erkennen. Ertragsminderungen ergeben sich bei diesem Szenario hauptsächlich in jenen Gebieten des Flachlandes, die auch heute bereits häufig von Trockenheit bedroht werden. Anders sieht die Entwicklung beim Szenario SC9 aus, wo zur Temperaturerhöhung auch eine Niederschlagsminderung von 20 % angenommen wird. Die Temperaturzunahme wirkt sich im Flachland besonders negativ aus, andererseits sind auch hier leichte Ertragszunahmen im Berggebiet feststellbar. Die Standardabweichungen sind in den flachen und eher trockenen Gebieten tendenziell höher.

Bei der Erstellung der Karten wurde besonders darauf geachtet, dass für alle Auswertungen dieselbe Klassenbildung mit entsprechender Farbgebung erfolgte. Nur dadurch ist ein Vergleich über alle Karten möglich, wirkt sich jedoch auch nachteilig aus, wenn Einzelergebnisse einer genaueren Betrachtung unterzogen werden. Die Interpretation einzelner Karten macht demnach noch eine ergänzende kartografische Darstellung notwendig. Aus diesem Grund sind sämtliche Daten zur Kartenerstellung in einem ArcMap-Dokument verfügbar; Zusammenstellungen sowie auf Raster-Algebra basierte Berechnungen können somit jederzeit durchgeführt werden.

4 Grünlandertrag, Nutzungsfrequenz und Stickstoffdüngung

Für die in *Abbildung 21* dargestellten Zusammenhänge wurden umfangreiche Langzeitversuche der HBLFA Raumberg-Gumpenstein ausgewertet. Die Ertragsdaten wurden im Rahmen von Düngungs-Nutzungs-Versuchen auf den Standorten Admont, Piber und Bischofshofen mit einem Düngungsgradienten von 0, 30, 60, 90 und 120 kg N pro ha und Aufwuchs und in vierfacher Wiederholung erhoben. Die Langzeitversuche erstrecken sich über den Zeitraum von 1961 bzw. 1968 bis 2003. Eine detaillierte Beschreibung und damit die Grundlage für eine Interpretation der hier gezeigten Modellergebnisse findet sich in Pötsch und Resch (2005).

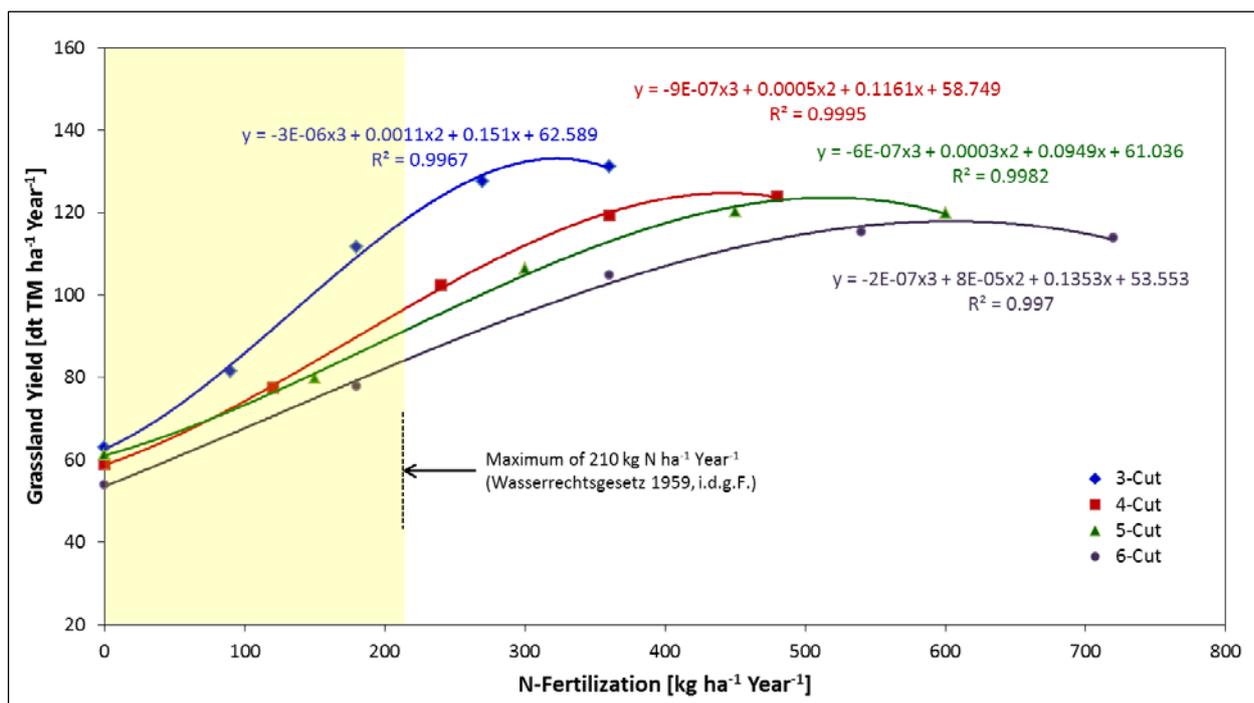


Abbildung 21: Einfluss von Nutzungsfrequenz und Stickstoffdüngung auf den Ertrag von Dauergrünland

Die Funktionen aus *Abbildung 21* dürfen unter Berücksichtigung der gesetzlich festgelegten Obergrenze von 210 kg/ha und Jahr nur bis zu diesem Grenzwert angewendet werden. Empfohlene Düngermengen für die verschiedenen Nutzungen im Grünland finden sich in BMLFUW (2006, 41). In diesem Bericht findet sich ebenfalls eine Übersicht über die Ertragslage für unterschiedliche Nutzungsformen (BMLFUW, 2006, 38).

Auf den untersuchten Standorten wurden keine Experimente zur Zweischnittnutzung vorgenommen, allerdings kann hierfür die Funktion für die Dreischnittnutzung näherungsweise zur Anwendung gebracht werden. Bei mittlerer Ertragslage wird laut BMLFUW (2006, 41) eine N-Düngung von 60 bis 90 kg pro ha und Jahr empfohlen. Eine Auswertung Gumpensteiner Zweischnittversuche (1994 bis 2006 in dreifacher Wiederholung) mit 60 bzw. 90 kg N-Düngung pro ha und Jahr ergab in beiden Fällen einen durchschnittlichen Ertrag von 77 dt TM pro ha und Jahr und bestätigt somit die Eignung der Dreischnittfunktion für Zweischnittnutzungen.

Die Arbeit von Buchgraber und Pötsch (1999) zeigt unter anderem einen Zusammenhang zwischen Ertrag, Nutzungsfrequenz und Höhenlage.

5 Übersicht über die Datenstruktur des Abgabepaketes

Aus den Textdateien mit den täglichen Klimadaten wurden mit Hilfe einer räumlichen Bezugsdatei ArcGIS Raster in einer Auflösung von 1 x 1 km generiert und in ArcGIS File Geodatabases abgespeichert. Diese Raster bilden die Grundlage für die in dem vorliegenden Bericht beschriebenen Berechnungen, deren Ergebnisse ebenfalls wieder in File Geodatabases als Rasterdaten gespeichert werden. Aus den Basisdaten mit insgesamt über 300 GB Datenvolumen wurden wiederum File Geodatabases erstellt, welche die für CATMILK relevanten Auswertungen enthalten und Teil des beiliegenden Datenpakets sind. Folgende File Geodatabases (ArcGIS Version 1.2) mit dem aufgelisteten Inhalt werden bereitgestellt:

- **CATMILK Grassland Analysis.gdb:**
 - GrasslandArea (Shape)
 - GrasslandMask (Raster)
 - DHM (Digitales Höhenmodell 1x1 km Raster)
 - Basisdaten (Bundesländergrenzen als Shape)

- **CATMILK Growing Season.gdb:**
 - Vegetationsbeginn nach MTD für 1975-2007
 - OBS_VBEGCOMB_Mean (arithmetisches Mittel)
 - OBS_VBEGCOMB_Median (Median)
 - OBS_VBEGCOMB_STD (Standardabweichung)
 - Vegetationsbeginn nach MTD für 2008-2040
 - SC_VBEGCOMB_Mean
 - SC_VBEGCOMB_Median
 - SC_VBEGCOMB_STD
 - Vegetationsbeginn nach MTD für die Dekaden 2011-2020, 2021-2030, 2031-2040
 - SC_2010_VBEGCOMB_Mean
 - SC_2010_VBEGCOMB_Median
 - SC_2010_VBEGCOMB_STD
 - SC_2020_VBEGCOMB_Mean
 - SC_2020_VBEGCOMB_Median
 - SC_2020_VBEGCOMB_STD
 - SC_2030_VBEGCOMB_Mean
 - SC_2030_VBEGCOMB_Median
 - SC_2030_VBEGCOMB_STD



– **CATMILK Cutting Frequency.gdb:**

- Flächenverteilung der Schnittnutzung, aggregiert über die gesamte 33-jährige Periode
 - OBS_2CutArea
 - OBS_3CutArea
 - OBS_4CutArea
 - SC5_2CutArea
 - SC5_3CutArea
 - SC5_4CutArea
 - SC9_2CutArea
 - SC9_3CutArea
 - SC9_4CutArea
- Räumliche Verteilung der Häufigkeit der potenziellen Schnittnutzung
 - OBS_Nr2Cut
 - OBS_Nr3Cut
 - OBS_Nr4Cut
 - SC5_Nr2Cut
 - SC5_Nr3Cut
 - SC5_Nr4Cut
 - SC9_Nr2Cut
 - SC9_Nr3Cut
 - SC9_Nr4Cut
- Räumliche Verteilung der relativen Häufigkeit der potenziellen Schnittnutzung
 - REL_OBS_Nr2Cut
 - REL_OBS_Nr3Cut
 - REL_OBS_Nr4Cut
 - REL_SC5_Nr2Cut
 - REL_SC5_Nr3Cut
 - REL_SC5_Nr4Cut
 - REL_SC9_Nr2Cut
 - REL_SC9_Nr3Cut
 - REL_SC9_Nr4Cut

– **CATMILK Grassland Yield.gdb:**

- Grünlandertrag für unterschiedliche Schnittsysteme 1975-2007
 - OBS_2Cuts_Mean
 - OBS_2Cuts_Median
 - OBS_2Cuts_STD
 - OBS_3Cuts_Mean
 - OBS_3Cuts_Median
 - OBS_3Cuts_STD
 - OBS_4Cuts_Mean
 - OBS_4Cuts_Median
 - OBS_4Cuts_STD
 - OBS_AllCuts_Mean
 - OBS_AllCuts_Median
 - OBS_AllCuts_STD
- Grünlandertrag für unterschiedliche Schnittsysteme 2008-2040 (Klimaszenario SC5)
 - SC5_2Cuts_Mean
 - SC5_2Cuts_Median
 - SC5_2Cuts_STD
 - SC5_3Cuts_Mean
 - SC5_3Cuts_Median
 - SC5_3Cuts_STD
 - SC5_4Cuts_Mean
 - SC5_4Cuts_Median



- SC5_4Cuts_STD
- SC5_AllCuts_Mean
- SC5_AllCuts_Median
- SC5_AllCuts_STD
- Grünlandertrag für unterschiedliche Schnittsysteme 2008-2040 (Klimaszenario SC9)
 - SC9_2Cuts_Mean
 - SC9_2Cuts_Median
 - SC9_2Cuts_STD
 - SC9_3Cuts_Mean
 - SC9_3Cuts_Median
 - SC9_3Cuts_STD
 - SC9_4Cuts_Mean
 - SC9_4Cuts_Median
 - SC9_4Cuts_STD
 - SC9_AllCuts_Mean
 - SC9_AllCuts_Median
 - SC9_AllCuts_STD
- Grünlandertrag für unterschiedliche Schnittsysteme im Mittel der Dekaden 2011-2020, 2021-2030, 2031-2040 (Klimaszenario SC5)
 - SC5_2010_2Cuts_Mean
 - SC5_2010_2Cuts_Median
 - SC5_2010_2Cuts_STD
 - SC5_2010_3Cuts_Mean
 - SC5_2010_3Cuts_Median
 - SC5_2010_3Cuts_STD
 - SC5_2010_4Cuts_Mean
 - SC5_2010_4Cuts_Median
 - SC5_2010_4Cuts_STD
 - SC5_2010_AllCuts_Mean
 - SC5_2010_AllCuts_Median
 - SC5_2010_AllCuts_STD
 - SC5_2020_2Cuts_Mean
 - SC5_2020_2Cuts_Median
 - SC5_2020_2Cuts_STD
 - SC5_2020_3Cuts_Mean
 - SC5_2020_3Cuts_Median
 - SC5_2020_3Cuts_STD
 - SC5_2020_4Cuts_Mean
 - SC5_2020_4Cuts_Median
 - SC5_2020_4Cuts_STD
 - SC5_2020_AllCuts_Mean
 - SC5_2020_AllCuts_Median
 - SC5_2020_AllCuts_STD
 - SC5_2030_2Cuts_Mean
 - SC5_2030_2Cuts_Median
 - SC5_2030_2Cuts_STD
 - SC5_2030_3Cuts_Mean
 - SC5_2030_3Cuts_Median
 - SC5_2030_3Cuts_STD
 - SC5_2030_4Cuts_Mean
 - SC5_2030_4Cuts_Median
 - SC5_2030_4Cuts_STD
 - SC5_2030_AllCuts_Mean
 - SC5_2030_AllCuts_Median
 - SC5_2030_AllCuts_STD



- Grünlandertrag für unterschiedliche Schnittsysteme im Mittel der Dekaden 2011-2020, 2021-2030, 2031-2040 (Klimaszenario SC9)
 - SC9_2010_2Cuts_Mean
 - SC9_2010_2Cuts_Median
 - SC9_2010_2Cuts_STD
 - SC9_2010_3Cuts_Mean
 - SC9_2010_3Cuts_Median
 - SC9_2010_3Cuts_STD
 - SC9_2010_4Cuts_Mean
 - SC9_2010_4Cuts_Median
 - SC9_2010_4Cuts_STD
 - SC9_2010_AllCuts_Mean
 - SC9_2010_AllCuts_Median
 - SC9_2010_AllCuts_STD
 - SC9_2020_2Cuts_Mean
 - SC9_2020_2Cuts_Median
 - SC9_2020_2Cuts_STD
 - SC9_2020_3Cuts_Mean
 - SC9_2020_3Cuts_Median
 - SC9_2020_3Cuts_STD
 - SC9_2020_4Cuts_Mean
 - SC9_2020_4Cuts_Median
 - SC9_2020_4Cuts_STD
 - SC9_2020_AllCuts_Mean
 - SC9_2020_AllCuts_Median
 - SC9_2020_AllCuts_STD
 - SC9_2030_2Cuts_Mean
 - SC9_2030_2Cuts_Median
 - SC9_2030_2Cuts_STD
 - SC9_2030_3Cuts_Mean
 - SC9_2030_3Cuts_Median
 - SC9_2030_3Cuts_STD
 - SC9_2030_4Cuts_Mean
 - SC9_2030_4Cuts_Median
 - SC9_2030_4Cuts_STD
 - SC9_2030_AllCuts_Mean
 - SC9_2030_AllCuts_Median
 - SC9_2030_AllCuts_STD
- Relative Änderung der Grünlanderträge in Bezug auf die Referenzperiode 1975-2007 für unterschiedliche Schnittsysteme im Mittel der gesamten Perioden bzw. der Dekaden 2011-2020, 2021-2030, 2031-2040 (Klimaszenarien SSC5 und SC9)
 - SC5_REL_2Cuts
 - SC5_REL_3Cuts
 - SC5_REL_4Cuts
 - SC5_REL_AllCuts
 - SC9_REL_2Cuts
 - SC9_REL_3Cuts
 - SC9_REL_4Cuts
 - SC9_REL_AllCuts
 - SC5_2010_REL_2Cuts
 - SC5_2010_REL_3Cuts
 - SC5_2010_REL_4Cuts
 - SC5_2010_REL_AllCuts
 - SC9_2010_REL_2Cuts
 - SC9_2010_REL_3Cuts



- SC9_2010_REL_4Cuts
 - SC9_2010_REL_AllCuts
 - SC5_2020_REL_2Cuts
 - SC5_2020_REL_3Cuts
 - SC5_2020_REL_4Cuts
 - SC5_2020_REL_AllCuts
 - SC9_2020_REL_2Cuts
 - SC9_2020_REL_3Cuts
 - SC9_2020_REL_4Cuts
 - SC9_2020_REL_AllCuts
 - SC5_2030_REL_2Cuts
 - SC5_2030_REL_3Cuts
 - SC5_2030_REL_4Cuts
 - SC5_2030_REL_AllCuts
 - SC9_2030_REL_2Cuts
 - SC9_2030_REL_3Cuts
 - SC9_2030_REL_4Cuts
 - SC9_2030_REL_AllCuts
- **CATMILK TableOutput.gdb:**
- Aus den wichtigsten oben angeführten Rasterdaten wurde für die in GrasslandArea mit dem jeweiligen Grünlandtyp besetzten Grünlandzellen der Rasterzellwert ausgelesen und als Tabelle gespeichert. Diese AcrGIS-Tabellen sind die Grundlage für die in weiter Folge erstellten Excel-Tabellen.

Aus den Rasterdaten wurden folgende Excel-Tabellen erstellt, die mit den jeweils gleich bezeichneten File Geodatabases in Beziehung stehen:

- **CATMILK Growing Season.xlsx**
- **CATMILK Cutting Frequency.xlsx**
- **CATMILK Grassland Yield – 2 Cuts.xlsx**
- **CATMILK Grassland Yield – 3 Cuts.xlsx**
- **CATMILK Grassland Yield – 4 Cuts.xlsx**
- **CATMILK Grassland Yield – All Cuts.xlsx**

Sämtliche Excel-Dateien enthalten auf dem Sheet „Description of Variables“ (an 2. Stelle) eine Aufstellung aller im Daten-Sheet angeführten Spalten

In der ArcMap-Datei „CATMILK Maps.mxd“ sind alle erstellten Karten definiert. Die Datei enthält sämtliche Klassifizierungen, Farbuordnungen und kartografische Beschriftungen. Alle GIS-Daten können mit Hilfe dieses Dokuments weiter analysiert werden. Die Gruppierung der einzelnen Layer korrespondiert mit der File Geodatabase Datenstruktur.

Im Ordner „CATMILK Maps“ sind in den Unterverzeichnissen, deren Bezeichnungen mit den anderen Datenstrukturen übereinstimmen, alle Kartenprodukte im Format PNG abgespeichert. Insgesamt handelt es sich um 132 Österreichkarten mit einheitlicher Klassifizierung und Farbgebung für die einzelnen Ergebnistypen.

Im Ordner „CATMILK Literatur“ sind die Originalarbeiten der hier zitierten Gumpensteiner Arbeiten sowie die Broschüre über die Sachgerechte Düngung enthalten.

6 Literatur

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D. und Smith, M. (1998): Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Papers. Paper No 56, FAO, Rome, 326 S.
- Ansquer, P.; Al Haj Khaled, R.; Cruz, P.; Theau, J.-P.; Therond, O. und Duru, M. (2009): Characterizing and predicting plant phenology in species-rich grasslands. *Grass and Forage Science* **64** (1), 57-70.
- BMLFUW (2006): Richtlinien für die sachgerechte Düngung, 6. Auflage, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 79 S.
- Buchgraber, K. und Pötsch, E.M. (1999): Einfluss der Höhenstufen auf Futterertrag, Futterqualität, Tierbesatz und Milchleistung: Landkalender 2000, 63. Jahrgang, *Leopold Stocker Verlag*, Graz, 133-138.
- Buchgraber, K.; Schaumberger, A. und Pötsch, E.M. (2011): Grassland Farming in Austria - status quo and future prospective. 16th Symposium of the European Grassland Federation "Grassland Farming and Land Management Systems in Mountainous Regions", Gumpenstein, Austria, Grassland Science in Europe, 16, August 29-31, 2011, 13-24.
- Guggenberger, T.; Hofer, O.; Fahrner, W.; Sucher, B.; Wiedner, G. und Bader, R. (2012): Fachatlas Landwirtschaft - Entwicklung landwirtschaftlicher Geodaten im Geographical Grid System Austria. Raumberg-Gumpenstein, Forschungsbericht, Band 49, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 508 S.
- Pötsch, E.M. und Resch, R. (2005): Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den Nährstoffgehalt von Grünlandfutter. 32. Viehwirtschaftliche Fachtagung, Irdning, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 13.-14. April 2005, 1-14.
- Schaumberger, A. (2011): Räumliche Modelle zur Vegetations- und Ertragsdynamik im Wirtschaftsgrünland. Dissertation, Technische Universität Graz, Institut für Geoinformation, 264 S.
- Smit, H.J.; Metzger, M.J. und Ewert, F. (2008): Spatial distribution of grassland productivity and land use in Europe. *Agricultural Systems* **98** (3), 208-219.
- Sparks, T.H.; Croxton, P.J.; Collinson, N. und Taylor, P.W. (2005): Examples of phenological change, past and present, in UK farming. *Annals of Applied Biology* **146** (4), 531-537.
- Strauss, F. (2012): Modeling climate change and impacts on crop production in Austria. Dissertation, University of Natural Resources and Life Sciences, Institute for Sustainable Economic Development, Vienna, 147 S.
- Strauss, F.; Formayer, H. und Schmid, E. (2013): High resolution climate data for Austria in the period 2008–2040 from a statistical climate change model. *International Journal of Climatology* **33** (2), 430-443.