BEAT – Bodenbedarf für die Ernährungssicherung in Österreich

Endbericht zum Forschungsprojekt Nr. 100975

Hans-Peter Haslmayr[1], Andreas Baumgarten[1], Michael Schwarz[1], Sigbert Huber[2], Gundula Prokop[2], Katrin Sedy[2], Carmen Krammer[3], Erwin Murer[3], Hannes Pock[4], Christian Rodlauer[5], Andreas Schaumberger[6], Imran Nadeem[7], Herbert Formayer[7]

1 Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit
2 Umweltbundesamt
3 Bundesamt für Wasserwirtschaft
4 Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft
5 Technisches Büro Rodlauer
6 HBLFA Raumberg Gumpenstein
7 Universität für Bodenkultur

Juli 2018

Finanziert aus Mitteln des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus

Bundesministerium
Nachhaltigkeit und
Tourismus

Zusammenfassung

Der Bedarf an Ressourcen für wirtschaftliche Prozesse führt in einer auf Wachstum ausgerichteten Wirtschaft zu einer steten Inanspruchnahme von Flächen, die der Nahrungsmittelproduktion dienen können. Nach wie vor fehlt eine wissenschaftliche Grundlage, mit der beurteilt werden kann, wie viel an Boden in Österreich für die landwirtschaftliche Produktion erforderlich ist, um die Versorgung der österreichischen Bevölkerung mit Lebensmitteln garantieren zu können. Ein Ziel dieses Projektes ist es, ein Lenkungs- und Argumentationsinstrument für den Schutz besonders wertvoller landwirtschaftlicher Produktionsflächen zu erarbeiten und den Verbrauch landwirtschaftlicher Böden fundiert zu bewerten.

Eine Schlüsselrolle kommt dabei den fruchtbarsten Böden Österreichs zu. Die Identifizierung dieser fruchtbarsten Böden erfolgte sowohl auf Basis der Daten der Bodenkartierung als auch der Finanzbodenschätzung. Darauf aufbauend und unter Verwendung regionaler Schwellenwerte (regionale Bodenklimazahl) wurden auf der Ebene der Kleinproduktionsgebiete wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen vorgeschlagen. Parallel dazu sollten Ertragsmodellierungen in Acker- und Grünland sowohl die gegenwärtige als auch das zukünftige, sich durch ein veränderndes Klima ergebende Ertragspotenzial Österreichischer Böden erfassen. Eine durch den Klimawandel induzierte räumliche Verschiebung von landwirtschaftlichen Gunstlagen und die damit verbundene Verlagerung der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen wurde über Bodenklimakurven abgeschätzt und dargestellt. Um am Ende eine Aussage hinsichtlich der gegenwärtig und zukünftig potentiell möglichen Ernährungssicherung in Österreich treffen zu können, erfolgte schließlich eine Gegenüberstellung von Produktionspotenzialen und Verbrauchsmengen.

Mit dem Simulationsmodell SIMWASER/STOTRASIM wurde der Ertrag für die beiden Klimaszenarien ALADIN („moderat“) und CMIP5 („extrem“) berechnet. Aufgrund der unterschiedlichen Produktionsbedingungen werden die höchsten Ertragspotentiale in den Hauptproduktionsgebieten (HPG) Alpenvorland und Südöstliches Flach- und Hügelland, die geringsten im Nordöstlichen Flach- und Hügelland erreicht. Innerhalb der HPG unterscheiden sich die Ertragspotenziale vor allem durch die Unterschiede der Böden. Die Rechenergebnisse zeigen, dass durch eine prognostizierte moderate Klimaänderung (ALADIN) die Ertragspotenziale gering abnehmen, im Südöstlichen Flach- und Hügelland sowie im Kärntner Becken finden sich Bereiche, in denen sie gleichbleiben oder geringfügig zunehmen. Wird eine extreme Klimaänderung angenommen (CMIP5), verringern sich die Ertragspotenziale auf allen Ackerflächen. Eine sehr starke Abnahme tritt im HPG Nordöstliches Flach- und Hügelland auf. Betroffen sind sowohl Standorte mit geringer als auch hoher Wasserspeicherfähigkeit.

Die Grünlanderträge in Österreich zeigen in Abhängigkeit des verwendeten Klimamodells eine mehr oder weniger starke Veränderung. Für das moderate Szenario ALADIN ergeben sich nur sehr geringe Effekte auf die Ertragsdynamik für die Periode 2036 bis 2065. Im Wesentlichen bleibt die räumliche Verteilung der aktuellen Grünlanderträge auch in Zukunft unverändert. Beim extremen Szenario CMIP5 fällt die Veränderung aufgrund des stärkeren Klimasignals für die zukünftige Periode 2036 bis 2065 wesentlich deutlicher aus. Neben massiven Ertragseinbußen im Flachland kommt es im Berggebiet zu einer deutlichen Ertragssteigerung, die hauptsächlich durch höhere Temperaturen bei ausreichender Wasserversorgung verursacht wird.

Für den Vorschlag der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen wurden all jene Böden ausgewählt, deren Acker- bzw. Grünlandzahl größer bzw. gleich der regionalen Bodenklimazahl (Summe aller Ertragsmesszahlen innerhalb eines Kleinproduktionsgebietes geteilt durch dessen Gesamtfläche) ist. Dadurch wurden die hochproduktiven Gebiete Österreichs erfasst und dargestellt. Die Untersuchung der klimawandelbedingten Auswirkungen auf die produktiven Flächen machte deutlich, dass diese Flächen gegenüber extremen Klimaveränderungen deutlich resilienter als andere sind. Die Identifikation ertragreicher Standorte erscheint daher für die Erhaltung der Produktivität bzw. der Ernährungssicherung von besonderer Bedeutung.

Bei der Bilanzierung von Produktion und Verbrauch wurden sowohl reale Erträge als auch modellierte Ertragspotenziale unterschiedlicher Szenarien (d.h. optimale Wasser- und Nährstoffversorgung, keine Einschränkungen durch Brachen in der Fruchtfolge etc.) herangezogen. Für den Verbrauch wurden die Verzehrmengen von pflanzlichen Produkten sowohl direkt durch die Menschen als auch die Nutztiere (basierend auf der für die aktuelle Situation erforderlichen Futtermenge, einschließlich der exportierten Fleischmenge) herangezogen. Daraus wurde die für den gesamten menschlichen Nahrungskonsum erforderliche Menge an pflanzlicher Produktion abgeschätzt. Die Bilanzen zeigen, dass es in der realen Ertragssituation negative Salden für Ölsaaten gibt. Unter der Annahme einer extremen Klimaveränderung erscheint in der Periode 2036-2065 für den Großteil der Ackerkulturen eine autarke Produktion zur Ernährungssicherung in Österreich gefährdet. Wenn auch die Autarkie in einer globalisierten Welt weder realistisch ist noch angestrebt wird, dient dieser Ansatz viel mehr dazu, einen Anhaltspunkt zu liefern, wie weit die Inanspruchnahme fruchtbaren Bodens in Österreich schon fortgeschritten ist. Noch prekärer wird die Situation, wenn die Produktion nur auf die wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen beschränkt würde, die für etwa drei Viertel der landwirtschaftlichen Produktion in Österreich verantwortlich sind. Für die im Grünland produzierten Produkte stellt sich das Bild hingegen günstiger dar, da einerseits aufgrund der Topographie vieler Gebiete Österreichs große Teile als Grünland genutzt werden und somit viel Fläche für die Produktion von Grünfutter zur Verfügung steht. Andererseits können bei verändertem Klima vor allem in höheren Lagen zum Teil sogar Ertragszunahmen erwartet werden.

Die erarbeiteten Ergebnisse untermauern die langjährige Forderung nach einer Trendumkehr des nahezu ungebremst anhaltenden Bodenverbrauchs und der Definition von Zielen mit konkreten Zahlen. Das auf Basis der Bodenqualität entwickelte Konzept der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen könnte dabei ein wichtiges Instrument für die Raumplanung sein, um auch der Ernährungssicherung mehr Gewicht einzuräumen.

Abstract

The advancing intensive use of resources in economic processes leads to an ongoing loss of soils with a high proportion of arable soils. A scientific basis for the determination of quantity and quality of soil necessary for the food supply of the Austrian population is still lacking. The goal of the project is to evaluate the productivity potentials of Austrian agricultural soils with regard to the current and predicted food consumption as well as to have a supporting argument for the protection of agricultural soils.

Fertile soils with high productivity potentials play a key role in this study. The identification of such soils was conducted by using data of the agricultural soil map and the soil taxation survey. Based on these results and by using threshold values, agricultural priority areas were suggested on a regional scale. Simultaneously, modeling of crop- and grassland yields should gather data concerning the present and future yield potential of Austrian soils. The simulation of prospective scenarios can give information about possible yields under different climatic conditions and the spatial shift of high productive agricultural areas in the future. In order to quantify the current and future potential concerning food security in Austria, a comparison between the modelled production potential and the demand was conducted.

Crop yields were calculated for both the scenario ALADIN (moderate) and CMIP5 (extreme) by using the model SIMWASER/STOTRASIM. It was shown that, as a consequence of different production conditions, the highest yield potentials occur in the main production areas (HPG) " Alpenvorland" and "Südöstliches Flach- und Hügelland", while the lowest yields are found in "Nordöstliches Flach- und Hügelland". Within the HPG, the crop yield potentials differences mainly depend on soil properties. The simulation results show that, if assuming a moderate climate change, the yield potentials are slightly decreasing. In "Südöstliches Flach and Hügelland" as well as in "Kärntner Becken" there are areas where the potentials remain constant or even slightly increase. At a scenario of extreme climate change (CMIP5), yield potentials decrease in all production areas. A distinct reduction occurs in HPG "Nordöstliches Flach- und Hügelland", both for soils with low and high water capacity.

Based on the applied climate model, grassland yields show a varying change. Basically, for the moderate scenario ALADIN, only small effects on the dynamic of yields for the period 2036-2065 with spatial yield patterns similar to the current situation could be shown. By applying the extreme scenario CMIP5, climate impacts for the future period seem to be more significant due to the pronounced changes. While massive losses of yields will occur in the lowlands, considerable yield increases are to be expected in mountainous regions as a consequence of higher temperatures in combination with a proper water supply.

For the proposition of agricultural priority areas, all soils with a performance figure equal or higher than the regional threshold value have been selected, encompassing all highly productive areas of Austria. Assuming an extreme climate scenario, priority areas proved to be more resilient than areas beyond. Thus the identification of important production areas seems to be of high interest with respect to the maintenance of agricultural production and food security.

For the comparison between production and consumption, real yields as well as yield potentials calculated according to different scenarios (meaning sufficient water and nutrients supply, no restrictions due to fallow periods during one crop rotation cycle etc.) were used. In order to calculate the demand, data regarding the direct human consumption of crops was used on the one hand. On the other hand, the total uptake of crop products by livestock was determined by multiplying forage rations with current animal populations. Hence, this sum of products represents the total demand of agricultural crop production necessary to feed all Austrians (including the portion of meat – mainly beef – which is exported). The balance for the actual crop yields shows that there is a negative proportion primarily for oilseeds and soya bean. Proportions in the balances for the calculated crop yield potentials for the reference time period are in some cases more advantageous since modelling results include total potentials (e.g. assumed optimal management of crops or without any restriction like a period of fallow land in crop rotation). In case of extreme climate conditions in the period 2036-2065, results show that for the majority of crops a self-sufficient production to assure the Austrian food security seems to be endangered. The situation is even more tenuous if solely the production within the agricultural priority areas is considered, although these areas account for about three quarters of the total agricultural production in Austria. Regarding grassland products, the balances are more even due to widespread use of land for meadows and pasture in the alpine regions, where sufficient forage can be produced for livestock breeding. In addition, models have shown even increased yields driven by changing climatic conditions especially in higher elevated areas.

The results of this project underpin the long lasting claim for a trend reversal concerning soil consumption with ascertained facts and figures. The evolved approach for the development of agricultural priority areas could become a useful instrument for land use planning to strengthen the importance of food security. In the last section of this report possibilities for the practical implementation of priority areas are presented.

Inhalt

1 Einleitung 8

2 Grundsätzliche Herangehensweise und Methodik 8

2.1 Projektziele und Ergebnisse 9

3 Material und Methoden 9

3.1 Grundlagendaten 9

3.1.1 Finanzbodenschätzung 9

3.1.2 Österreichische Bodenkartierung 10

3.1.3 Klimaszenarien 11

3.2 Methode zur Identifizierung der Ertragspotentiale der österreichischen Böden anhand der Finanzbodenschätzung 15

3.3 Methode zur Identifizierung der Ertragspotentiale der österreichischen Böden anhand der Bodenkartierung 17

3.4 Methode zur Modellierung der Ertragspotentiale im Ackerland 19

3.4.1 Flächenabgrenzung 19

3.4.2 Bodendaten 20

3.4.3 Klimadaten 21

3.4.4 Kulturen und Standortfestlegungen 22

3.4.5 Das numerische Modellierungssystem SIMWASER/STOTRASIM 22

3.4.6 N-Pools im modellmäßigen Bodenprofil 25

3.4.7 Stickstoffeinträge 28

3.4.8 Stickstoffausträge 30

3.4.9 Bodeninterner Umsatz zwischen den N-Pools 31

3.4.10 NO_3-N-Transport im Boden 36

3.4.11 Prozesssteuernde Elemente 36

3.4.12 Übersicht Inputdaten für STOTRASIM 37

3.4.13 Umrechnungsfaktoren 38

3.4.14 Modellverifizierung 38

3.5 Methode zur Ertragsmodellierung im Grünland 39

3.5.1 Klimadaten 40

3.5.2 Bodendaten 40

3.5.3 Berechnung des Beginns der Vegetationsperiode 41

3.5.4 Berechnung der Schnittfrequenz und Schnittzeitpunkte 42

3.5.5 Geschätzte Erträge und deren Veränderungen aufgrund klimatischer Bedingungen .. 47
3.5.6 Schätzung der Grünlanderträge auf Basis der BEAT-Klimamodelldaten 48
3.6 Ermittlung von wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen auf der Ebene von Kleinproduktionsgebieten – auf Basis der Ertragspotentiale der Böden 50
3.6.1 Relevante Grundlagen der Bodenschätzungsdaten 51
3.6.2 Nominierung wertvoller landwirtschaftlicher Produktionsflächen 52
3.6.3 Bereinigung der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen unter Berücksichtigung der Baulandnutzung 53
3.7 Abschätzung der zukünftigen, klimawandelbedingten Veränderungen der Ertragspotentiale der Böden 55
3.7.1 Bodenklimakurven 56
3.7.2 Ermittlung der Bodenart 56
3.7.3 Ergebnisse der Texturkarte 56
3.7.4 Änderung der Ertragsverhältnisse - Bodenklimakurven 58
3.8 Zusammenstellung der Daten zu den Nahrungsmittel-Verzehrmengen 59
3.8.1 Allgemeine Bemerkungen zu empfohlenen Verzehrmengen 60
3.8.2 Pflanzliche Nahrungsmittel 60
3.8.3 Tierische Nahrungsmittel 61
3.9 Gegenüberstellung der Zahlen für Produktion und Verbrauch – Bilanzen 63
4 Ergebnisse 63
4.1 Ermittelte Ertragspotentiale der österreichischen Böden anhand der Finanzbodenschätzung 63
4.1.1 Ist-Zustand 63
4.1.2 Zukünftige Situation (2036-2065), Modell CMIP5 65
4.2 Auf Basis der Bodenkartierung ermittelte Ertragspotentiale der österreichischen Böden .. 66
4.3 Ertragspotenzialmodellierung im Ackerland 67
4.3.1 Modell ALADIN 67
4.3.2 Modell CMIP5 68
4.4 Ertragsmodellierung im Grünland 69
4.4.1 Schätzung der Grünlanderträge mit dem Modell SpatialGRAM 69
4.4.2 Auswertung von Grünlandqualitätserträgen für Kleinproduktionsgebiete 76
4.4.3 Schlussfolgerungen zur Ertragsschätzung im Grünland 77
4.5 Wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen auf Basis der Ertragspotentiale der Böden: Kleinproduktionsgebiete 79

4.5.1 Identifizierung der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen im Ist-Zustand. 79
4.5.2 Identifizierung wertvoller landwirtschaftlicher Produktionsflächen basierend auf dem Modell CMIP5 (2036-2065) 81
4.6 Zukünftige, klimawandelbedingte Veränderungen der Ertragspotentiale der Böden..... 82
4.6.1 Modell ALADIN (2036-2065)..... 82
4.6.2 Modell CMIP5 (2035-2065) 84
4.6.3 Durchschnittsergebnis aus den Modellen CMIP5 und ALADIN (Periode 2036-2065)... 86
4.6.4 Statistische Auswertung und Vergleich der Referenz (1981-2010) - und der zukünftigen Periode (2036-2065) (Modell CMIP5) 87
4.7 Vergleich zwischen gesamter aktueller Nahrungsmittelproduktion und dem realen Bedarf 92
4.7.1 Validierung der Modellierung des Ertragspotentials 92
4.7.2 Bilanzierung 94
4.8 Vergleich zwischen zukünftigem Produktionspotenzial und dem prognostizierten Bedarf . 99
4.9 Vergleich der für den Referenzzeitraum (1980 – 2010) kalkulierten Produktionspotenzialen innerhalb der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen mit dem realen Bedarf 101
4.10 Vergleich der für den zukünftigen Zeitraum (2036 - 2065) kalkulierten Produktionspotenzialen innerhalb der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen und dem prognostizierten Bedarf 104
4.11 Ausblick 105
4.11.1 Methodischer Ansatz zur Umsetzung des Schutzes wertvoller landwirtschaftlicher Flächen 106
4.11.2 Aspekte in Bezug zur Agrarpolitik..... 106
4.11.3 Möglichkeit eines Funktionsausgleichs 108
4.11.4 Mögliche weiterführende Untersuchungen..... 108
5 Literatur..... 110
6 Anhang 115

1 Einleitung

Der Bedarf an Ressourcen für wirtschaftliche Prozesse führt v.a. in einer auf Wachstum ausgerichteten Wirtschaft zu einer steten Inanspruchnahme von Flächen, die der Nahrungsmittelproduktion dienen können. Zunehmend konkurrieren unterschiedliche Nutzungen (Bau- und Rohstoffwirtschaft, Landwirtschaft etc.) um diese Ressource. Die tägliche Flächeninanspruchnahme für Bau- und Verkehrstätigkeit beträgt derzeit rund sieben Hektar. Die Gesamtflächeninanspruchnahme (inkl. Sportflächen, Abbauflächen etc.) liegt im jährlichen Durchschnitt (2012-2015) bei etwa 16 Hektar pro Tag (UMWELTBUNDESAMT 2016a). Das bedeutet, dass pro Jahr eine Fläche für die landwirtschaftliche Nutzung verloren geht, die in etwa der Größe der Stadt Salzburg entspricht. Umgerechnet bedeutet dies einen Verlust der Produktionskapazität für 130.000 kg Brot täglich. Diese Daten unterstreichen die langjährige Forderung nach Instrumentarien zum nachhaltigen quantitativen Schutz von Böden, vor allem jener, die landwirtschaftlich genutzt werden. Die im Handel befindlichen Produkte stammen sowohl aus Österreich als auch aus EU- und Drittstaaten. Da somit grundsätzlich alle Lebensmittel in ausreichender Menge und zu jeder Zeit verfügbar sind, ist oftmals das Bewusstsein über die Auswirkungen des Verlusts landwirtschaftlicher Flächen bzw. die tatsächliche Versorgungssituation mit heimischen Produkten kaum vorhanden. Dies trägt dazu bei, dass dem landwirtschaftlich genutzten Boden und seiner Bedeutung für die Ernährungssicherung bei Fragen der Raumplanung nicht oder nur in ungenügender Weise Beachtung geschenkt wurde. Derzeit bestehen keine gesicherten Aussagen darüber, in welcher Qualität und Quantität Boden zur Verfügung stehen muss, um eine autarke Versorgung der österreichischen Bevölkerung auch bei veränderten Rahmenbedingungen zu gewährleisten.

Nach wie vor fehlt eine wissenschaftliche Grundlage, mit der beurteilt werden kann, wie viel an Boden in Österreich für die landwirtschaftliche Produktion zu sichern ist, um die Versorgung der österreichischen Bevölkerung mit Lebensmitteln theoretisch garantieren zu können. Das Ziel dieses Projektes ist es, eine solche wissenschaftliche Basis zu erarbeiten, die für die Raumordnung ein zusätzliches Lenkungs- und Argumentationsinstrument bietet und es ermöglicht, landwirtschaftlich genutzte Böden effizienter zu schützen und die Konsequenzen aus deren Verbrauch (z.B. im Rahmen von UVP-Verfahren) fundiert zu bewerten. Ein weiteres Ziel ist die Identifizierung der fruchtbarsten Böden Österreichs, deren Vorkommen räumlich dargestellt wird. Deren Erhalt spielt für die Ernährungssicherung eine wesentliche Rolle. Lediglich Fachleute verfügen derzeit über das Wissen hinsichtlich der Verbreitung der höchstwertigen Böden, wenn auch meist nur im regionalen Kontext. Die gesamtösterreichische Situation ist für den Einzelnen derzeit nicht erfassbar. Aktuell fehlt eine gesamtösterreichische Darstellung des Vorkommens dieser im hohen Maße erhaltenswerten Böden.

2 Grundsätzliche Herangehensweise und Methodik

In diesem Kapitel wird zunächst ein kurzer Überblick über die Herangehensweise für den gesamten Projektablauf gegeben, bevor im nächsten Abschnitt (siehe Kapitel 3) detaillierter auf die durchgeführten Arbeitsschritte eingegangen wird.

In diesem Projekt wurden in einem ersten Schritt die erforderlichen Grundlagendaten zusammengestellt und für eine weitere Bearbeitung aufbereitet. Dafür wurden Parameter ausgewählt, anhand derer die fruchtbarsten Böden Österreichs (dargestellt auf der Ebene der Kleinproduktionsgebiete) identifiziert werden konnten. Dies erfolgte sowohl auf Basis der

Bodendatenbestände der Österreichischen Bodenkartierung (eBOD) als auch der Finanzbodenschätzung, den beiden wichtigsten Bodendatenbeständen, die die landwirtschaftlich genutzte Fläche Österreichs weitestgehend erfassen. Ein zweiter Weg zur Identifizierung der bundesweit ertragreichsten Böden erfolgte über eine Modellierung des Ertragspotentials im Acker- und Grünland, die darüber hinaus auch zukünftige Ertragspotentialszenarien vor dem Hintergrund eines sich verändernden Klimas darstellt. Dies ermöglichte auch die Ermittlung von Produktionsgebieten mit zukünftig wachsender Bedeutung durch die Verschiebung von klimatischen Standortbedingungen. Mit Hilfe von Geoinformationssystemen (GIS) wurden schließlich die Ergebnisse beider Herangehensweisen räumlich dargestellt.

Diese Informationen sollen die Bedeutung des Schutzes der landwirtschaftlichen Böden in Österreich zeigen. Vor allem die hochwertigen landwirtschaftlichen Produktionsflächen sind für die Ernährungssicherung der Bewohner Österreichs von großer Bedeutung. Für die künftige Sicherstellung der Versorgung mit Lebensmitteln ist das Vorhandensein von landwirtschaftlich nutzbaren Böden in ausreichend großem Ausmaß und mit möglichst hoher Qualität essentiell.

Durch das über die Modellierungen abgeschätzte Produktionspotential der fruchtbarsten Böden und die Gegenüberstellung von aktuellen bzw. prognostizierten Verzehrmengen von Lebensmitteln war es erstmals möglich, Mindestflächengrößen und -qualitäten für deren Produktion zu definieren. Sowohl für die Raumplanung als auch für die Landwirtschaft wurden dadurch regionalisierte Richtwerte für Bundesländer bzw. landwirtschaftliche Produktionsgebiete hinsichtlich der Größe wertvoller landwirtschaftlicher Produktionsflächen erarbeitet, die als Lenkungs- und Argumentationsinstrument für den Schutz der Böden unter Berücksichtigung der Flächennutzung und Bevölkerungsentwicklung dienen können.

2.1 Projektziele und Ergebnisse

Zusammenfassend werden nachfolgend nochmals die Projektziele aufgelistet:

- Identifizierung der fruchtbarsten Böden Österreichs
- Identifizierung von landwirtschaftlichen Produktionsgebieten mit zukünftig wachsender Bedeutung
- Erarbeitung von regionalisierten Richtwerten hinsichtlich der Größe der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen als Lenkungs- und Argumentationsinstrument für die Raumordnung und die Landwirtschaft
- Erarbeitung von Handlungsempfehlungen
- Erarbeitung von Projektvorschlägen hinsichtlich der länderübergreifenden Sicherung von Böden als Produktionsgrundlage

3 Material und Methoden

3.1 Grundlagendaten

3.1.1 Finanzbodenschätzung

Die Finanzbodenschätzungsdaten geben nach einem standardisierten Verfahren ermittelte Boden- und Ertragsverhältnisse wieder. Die kleinste Betrachtungseinheit ist die Klassenfläche

(zusammenhängende Bodenflächen einheitlicher Ertragsfähigkeit). Jede Klassenfläche enthält eine Klassenbezeichnung, die sich je nach Kulturart aus folgenden Informationen zusammensetzt:

Acker:

- Bodenart
- Zustandsstufe (Ausdruck für die Gesamtbeschaffenheit des Bodens in sieben Stufen)
- Entstehungsart (Alluvium, Diluvium, Löss, Verwitterung etc.)
- Wertzahl (Bodenzahl/Ackerzahl; Spektrum zwischen 7 und 100)

Grünland:

- Bodenart
- Zustandsstufe (Ausdruck für die Gesamtbeschaffenheit des Bodens in vier Stufen)
- Klimastufe (Wärmeverhältnisse in fünf Stufen)
- Wasserstufe (Wasserverhältnisse in fünf Stufen)
- Wertzahl (Grünlandgrundzahl/Grünlandzahl; Spektrum zwischen 5 und 85)

Die Bodentiefe ist in diesem Konzept grundsätzlich mit einem Meter anzunehmen. Die Bodenzahl bzw. Grünlandgrundzahl ist immer auf eine durchschnittliche Bodenart lt. Schätzungsrahmen hin bewertet und zugeordnet.

Die Bodenarten sind aufgrund der Zusammensetzung aus den Korngrößenanteilen Ton/Schluff/Sand mittels Texturdreieck der Bodenschätzung definiert.

3.1.2 Österreichische Bodenkartierung

3.1.2.1 Aufgabe der Bodenkartierung

Die Bodenkartierung, die im Auftrag des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus erfolgt, hat die Aufgabe, die landwirtschaftlich genutzte Fläche Österreichs bodenkundlich zu untersuchen und die Ergebnisse der Feld- und Laboruntersuchungen in Form von Bodenkarten im Maßstab 1:25.000 darzustellen, wobei besonders die Belange der Landwirtschaft zu berücksichtigen sind.

Die Bodenkarten sollen das Verständnis für den Boden vertiefen, der eine wesentliche Komponente unseres Lebensraumes ist und die Basis für die landwirtschaftliche Produktion und somit der Ernährung der Menschen bildet. Sie sollen dazu beitragen, die Erhaltung des Bodens im notwendigen Ausmaß zu sichern und Wege zur optimalen Nutzung zu finden.

Im Einzelnen dienen derartige Übersichtsbodenkarten unter anderem als Grundlage für Arbeiten der Raumordnung und der Landesplanung, für Aufgaben der landwirtschaftlichen Produktionslenkung, der Strukturverbesserung und der Beratung, für die Versuchsflächenauswahl, für Zwecke der Bodenbearbeitung und Düngung, für wasserwirtschaftliche Pläne (Entwässerung und Bewässerung), für den Erosionsschutz und für den Straßen- und Wegebau, aber auch für die bodenkundliche Grundlagenforschung (Genese und Systematik), für die Quartärforschung und für die Klimatologie (Bodenklima, Geländeklima).

3.1.2.2 System der Bodenkartierung

Die Bodenkarten beruhen auf der Darstellung von Kartierungseinheiten, wobei zwei Arten der Darstellung verwendet werden: Bodenformen und Bodenformenkomplexe.

Eine **Bodenform** ist eine auf der Karte abgegrenzte Fläche, die innerhalb ihrer Grenzen den gleichen Bodentyp und einen weitgehend gleichen Standortscharakter aufweist. Obwohl ihre bodenkundlichen Eigenschaften meist eine gewisse Schwankungsbreite zeigen, ist sie unter Berücksichtigung des Maßstabes 1:25.000 als Einheit aufzufassen.

Bodenformen können groß- oder kleinflächig auftreten. Oft ist in der Natur ein Wechsel von Bodenformen auf kleinstem Raum festzustellen, so dass auf der Karte aus Maßstabsgründen eine getrennte Darstellung nicht möglich ist. In diesem Fall liegt ein **Bodenformenkomplex** vor. Er wird auf der Karte wie eine Bodenform dargestellt.

3.1.2.3 Verfahren der Bodenkartierung

Die Grundlage für die Abgrenzung von Bodenformen bildet die Beurteilung zahlreicher Bohrproben, die mit Hilfe eines Schlagbohrers von einem Meter Länge aus dem Boden entnommen wurden, und das Ergebnis der Untersuchung an "Profilgruben", also an Aufgrabungen von einem bis eineinhalb Meter Tiefe. Besonders die an den senkrechten Wänden der Profile erkennbaren Bodenschichten (Horizonte) werden genau geprüft. Aus den einzelnen Horizonten werden Proben entnommen, die einer weiteren Untersuchung im Laboratorium unterzogen werden.

Aus den Ergebnissen aller Untersuchungen wird auf den Typ des Bodens geschlossen, welcher in Wechselwirkung mit der Gestalt der Bodenoberfläche, dem Gestein, dem Klima, den Wasserverhältnissen, dem dauernden Pflanzenbestand und der landwirtschaftlichen Nutzung steht und mit ihnen den Standortscharakter ergibt.

Bisher ist durch die Österreichische Bodenkartierung eine Fläche von 2.862.979 ha erfasst. Die noch nicht abschließend kartierten Kartierungsbereiche Mank, Wien West und Klosterneuburg werden in diesem Projekt durch Daten der Finanzbodenschätzung ergänzt.

3.1.3 Klimaszenarien

Für die Modellierung der zukünftigen Klimaentwicklung wurden zwei unterschiedliche Modelle verwendet, die in der Folge beschrieben werden.

3.1.3.1 ALADIN CNRM-RM4.5

Für das gegenständliche Projekt wurde das Modell ALADIN CNRM-RM4.5, eines der regionalen Klimamodelle des EU-Forschungsprojektes ENSEMBLES, verwendet. Dieses Modell, in der Folge stets lediglich als ALADIN bezeichnet, wird angetrieben durch das globale Klimamodell (GCM) ARPEGE. Eine detaillierte Beschreibung der ENSEMBLE Modelle geben CHRISTENSEN et al. (2010). Der Modell-Output, ursprünglich in Form eines Rasters mit einer Auflösung von 25 km x 25 km und Zeitschritten von einem Tag von 1951 bis 2100, wurde unter Verwendung der „Quantile Mapping Technique“, (DÉQUÉ 2007) auf Basis des gerasterten Datensatzes der ETHZ (FREI et al. 1998) für den Niederschlag sowie des E-OBS Datensatzes (HAYLOCK et al. 2008) für die Temperatur, korrigiert. In einem zweiten Schritt wurden die Daten für das Untersuchungsgebiet mithilfe des österreichischen INCA

Datensatzes (HAIDEN et al. 2011) räumlich verfeinert (Raster mit einer Auflösung von 1 km x 1 km). Da der INCA Datensatz erst seit 2003 verfügbar ist, kann er nicht direkt für die vorhin beschriebene Korrektur verwendet werden. Seine Heranziehung ist jedoch für eine Abschätzung der räumlichen Variabilität, etwa jener der Temperatur und des Niederschlags auf einer monatlichen Basis, sowie die Inkludierung der enthaltenen Information in die verfeinerten RCM-Szenario-Daten möglich. Dieser Verfeinerungsansatz für die Temperatur hebt darüber hinaus die Einschränkungen des E-OBS-Temperatur-Datensatzes innerhalb der alpinen Region auf.

Die zeitliche Auflösung der Klimaszenario-Daten wurde erhöht, indem die Zeitschritte von einem Tag auf 15 Minuten reduziert wurden. Die Temperatur wurde ausgehend von Tagesmaximum und Tagesminimum in drei Bereiche disaggregiert – Mitternacht bis Sonnenaufgang, Sonnenaufgang bis zum Zeitpunkt der Maximaltemperatur, Zeitpunkt der Maximaltemperatur bis Mitternacht. Dabei wurde angenommen, dass die Minimumtemperatur zum lokalen Sonnenaufgang auftritt und die Maximaltemperatur um 15.00 Uhr lokaler Zeit. Eine Ausnahme wurde dann gemacht, wenn die Minimumtemperatur des darauffolgenden Tages größer war als das Maximum des betreffenden Tages. In diesem Fall wurden der Zeitpunkt des Temperaturmaximums des betreffenden Tages und das Temperaturminimum des darauffolgenden Tages auf die dazwischenliegende Mitternacht gesetzt.

Der Niederschlag wurde mithilfe stochastischer Funktionen aufgelöst, deren Verteilungen auf 10-minütigen Niederschlagsstatistiken von Stationen nahe dem Zielgebiet basieren (KOUTSOYIANNIS 2003, GOLER & FORMAYER 2012). Zuerst wurde die Zahl von Regenperioden eines Tages stichprobenweise aus Messstatistiken ausgewählt. Dann wurde für jede Regenperiode (kontinuierliche 15-Minuten-Intervalle mit einer Regenmenge ungleich null) ein zufälliger Anteil des täglichen Niederschlages bestimmt. Der Zeitpunkt des Beginns und die Dauer der Regenperiode wurden stochastisch aus den Messstatistiken ausgewählt. Anschließend wurde die Niederschlagsmenge über die Regenperiode verteilt, wobei es erforderlich war, diese Summe der ursprünglich festgelegten Menge der Regenperiode gleichzusetzen. Physikalisch unrealistische Niederschlagsintensitäten wurden durch das Auferlegen von temperaturabhängigen Obergrenzen vermieden, welche aus Stationsaufzeichnungen der monatlichen Temperatur und Niederschlagsintensität festgelegt wurden. Aufgrund der stochastischen Natur dieser Auflösungsmethode konnte dies nur für einen Rasterpunkt innerhalb des Einzugsgebietes angewendet werden. Der Niederschlag für die restlichen Rasterpunkte wurde auf Basis der erstellten 15-Minuten-Zeitreihen errechnet und anschließend durch einen Faktor skaliert, der aus den Gesamttagesniederschlagsmengen des originalen Klimaszenarios abgeleitet wurde. Diese Vorgehensweise garantierte eine räumliche Konsistenz mit der Zeitwahl des Regenereignisses über dem Einzugsgebiet.

Alle drei Modelle zeigen, verglichen mit einer Auswahl von 32 unterschiedlichen regionalen und globalen Klimaszenarien für die alpine Region, eine moderate Erwärmung, angetrieben durch vier Emissionsszenarien (A1B, RCP4.5, RCP6, RCP8.5). Bezüglich des Sommer-Niederschlags weisen zwei Modelle keine signifikante Reduktion des Niederschlags auf und nur das CNRM-RM4.5 zeigt einen Niederschlagsrückgang, der besonders zwischen 2060 und 2080 ausgeprägt ist.

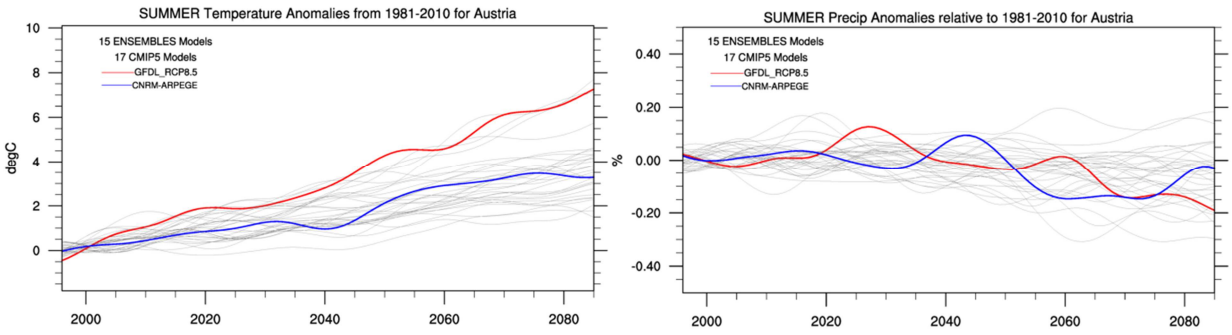


Abbildung 1: Klimawandelszenarien aus einer Auswahl von 32 unterschiedlichen Klimamodellen für die Sommer-Temperatur (links) und den Sommer-Niederschlag (rechts) der alpinen Region. Die Modelle, die in der gegenständlichen Studie verwendet werden, sind farblich hervorgehoben. Die Daten wurden mit einem Gaußschen-Filter geglättet (bearbeitet nach Formayer et al. 2015)

3.1.3.2 CMIP5 GFDL-CM3 WRF

Im Rahmen des fünften „Climate Modelling Intercomparison Project“ CMIP 5 wurden die neuesten globalen Klimamodellläufe koordiniert. Mit der Anwendung der neuesten Generation an globalen Klimamodellen (GCMs) wurden auch neue Emissionsszenarien eingeführt. Diese sogenannten „Representative Concentration Pathways” (RCPs) stellen nun Entwicklungspfade für den Strahlungsantrieb am Unterrand der Atmosphäre dar. Für dieses Projekt wurde, mittels eines regionalen Klimamodells, ein hochaufgelöstes regionales Szenario basierend auf einem Globalmodell der neuesten Generation im Alpenraum produziert.

Motivation für die Regionalisierung der Klimaszenarien mittels eines dynamischen regionalen Modells war die bessere räumliche Auflösung und damit eine deutlich bessere Repräsentation der Gebirge und ihre wetterbeeinflussenden Faktoren.

Das wichtigste Kriterium für die Auswahl des treibenden Globalen Klimamodells war der Wunsch ein Szenario zu regionalisieren, das als plausibles „worst case“ Szenario verwendet werden kann. Damit kamen natürlich nur Modellläufe getrieben mit dem RCP 8.5 Szenario in Frage. Für die Auswahl sollte nun ein Modell herangezogen werden, das für Europa und speziell für den Alpenraum einen besonders starken Temperaturanstieg im 21. Jahrhundert zeigen, andererseits bei der globalen Entwicklung nicht aus der Reihe fallen sollte. Hierfür wurde das Klimamodell GFDL-CM3 ausgewählt. Dieses zeigt eine starke Erwärmung im Alpenraum, die besonders im Sommer außergewöhnlich stark ist. Global zählt das GFDL-CM3 zwar zu den wärmsten, ist aber kein Ausreiser und erfüllt damit die Auswahlkriterien sehr gut. Ein weiterer Vorteil beim GFDL-CM3 besteht darin, dass dieses Globalmodel nicht im Rahmen von EURO-CORDEX regionalisiert wurde. Es stellt daher eine Erweiterung des durch EURO-CORDEX zur Verfügung gestellten Regionalensemble dar. GFDL-CM3 wird von den Geophysical Fluid Dynamics Laboratory der NOAA (National Ocean and Atmosphere Administration) (www.gfdl.noaa.gov) in den USA betrieben. Diese Forschungseinrichtung ist eine der Pioniere in der Klimamodellierung. Dies bestärkt die Vertrauenswürdigkeit dieses Klimamodells.

Für die Regionalisierung wurde das Regionalmodell WRF (MICHALAKES et al., 2001) ausgewählt. Das Institut für Meteorologie der BOKU verwendet dieses Modell bereits seit einigen Jahren für diverse hochaufgelöste Modellierungen im Alpenraum (ARNOLD et al., 2012a, ARNOLD et al., 2012b) und hat damit gute Erfahrungen gemacht.

Für die Anwendung als Klimamodell wurden umfassende Sensitivitätsstudien durchgeführt und folgende Konfiguration des WRF Modelles ausgewählt:

- NOAH Landoberflächenmodell
- Dudhia + RRTM Strahlungsmodell
- Kain Fritsch Kumulusparametrisierung
- Lin et al Mikrophysik
- YSO+ Monin-Obukhov Planetares Grenzschichtmodell

Die Regionalisierung erfolgte in zwei Schritten. In einem ersten Schritt wurden die Globalmodellergebnisse auf Europa mit einer räumlichen Auflösung von 30 km regionalisiert und in einem zweiten Schritt für den Alpenraum auf 10 km.

Die hochaufgelösten Reanalyseläufe dienten einerseits zur Bestimmung der regionalmodell-spezifischen Fehler. Zusätzlich waren die hochaufgelösten regionalen Reanalyseläufe eine wertvolle Verfeinerung der Reanalyse im Untersuchungsgebiet. Zum Beispiel beträgt die räumliche Auflösung der feinsten Reanalysedaten ERA-INTERIM 0,7 Grad. Ein Gitterpunkt entspricht somit in etwa 3500 km², in der regionalen Reanalyse jedoch nur 100 km². Diese hochaufgelösten Informationen sind besonders wertvoll bei der Untersuchung vertikaler Strukturen im Alpenraum wie etwa Labilitätsindikatoren für Gewitter oder die Grenzschichthöhe zur Bestimmung von Inversionshöhen in alpinen Becken.

In Summe kann gesagt werden, dass dieses Klimaszenario durchaus als plausibles „worst case“ Szenario betrachtet werden kann. Der Temperaturanstieg bis zur Mitte des 21. Jahrhundert erreicht mit rund 3.5 Grad im Sommer und etwa 2.5 Grad im Winter verglichen mit dem Referenzzeitraum 1981-2010 eine Größenordnung, wie wir sie bei den bisherigen regionalen Klimaszenarien erst am Ende des 21. Jahrhunderts gesehen haben. Bei der weiteren Entwicklung muss man in dieser Realisierung mit einem Anstieg der Jahresmitteltemperatur im Alpenraum von knapp 8 Grad ausgehen, wobei im Sommer sogar 10 Grad erreicht werden. Gleichzeitig zeigt dieser Lauf eine sukzessive Abnahme des Jahresniederschlags bis zu etwa 20 %.

Eine klimatische Entwicklung wie es dieses Klimaszenario darstellt würde sicherlich eine komplette Umstellung der Ökosysteme im Alpenraum, aber auch der Lebensbedingungen für die Menschen bedeuten. Natürlich handelt es sich hier nicht um eine wahrscheinliche Entwicklung, jedoch um ein plausibles „worst case“ Szenario bei kontinuierlicher Klimaentwicklung (kein Eintreten von tipping points). Aus unserer Sicht ist es äußerst wichtig auch derartige Klimaentwicklungen in der Klimafolgenforschung zu berücksichtigen.

Diese Fülle an Ergebnissen ist natürlich für die Klimafolgenforschung nicht notwendig. Daher wurden aus dieser Datenmenge brauchbare Variablen extrahiert und berechnet (z. B. Tagessummen, -mittelwerte, -minima und -maxima). Die Auswahl der Variablen orientierte sich an der Auswahl in den ACRP Projekten reclip:century I und II, wobei für die Klimafolgenforschung nur die Variablen an der Erdoberfläche relevant sind und nicht die vertikalen Schichten.

3.2 Methode zur Identifizierung der Ertragspotentiale der österreichischen Böden anhand der Finanzbodenschätzung

Alle in der Finanzbodenschätzung erfassten Klassenflächen wurden evaluiert und deren Ertragspotential in drei Klassen (hoch/mittel/gering) eingeteilt. Moorböden wurden in einer vierten Klasse zusammengefasst (naturschutzfachlich wertvoller Boden). Die Abschätzung des Ertragspotentials erfolgte anhand der Bodenschätzungsparameter Entstehungsart, Bodenart, Zustandsstufen und Bodenzahl für Ackerböden sowie Zustands- und Wasserstufe, Bodenart und Grünlandgrundzahl für Grünlandböden (siehe Tabelle 1 und Tabelle 2). Hinsichtlich der Grünlandgrundzahl ist anzumerken, dass, im Gegensatz zur Bodenzahl im Acker, die Klimaverhältnisse als Klimastufe in die Wertzahl Eingang finden. Die Böden mit dem höchsten Ertragspotential weisen folgende Eigenschaften auf:

<u>Ackerflächen</u>

- Böden auf Alluvien, Löss und Diluvium; keine Schichtprofile mit Bodenzahl > 50
- Böden mit der Zustandsstufe 1, 2 und 3
- Böden mit der Zustandsstufe 4, wenn Bodenzahl > 55
- Schwere Böden (LT und T), die keine Schichtprofile sind und deren Bodenzahl > 55 ist
- Alle Böden mit Bodenzahl > 60

<u>Grünlandflächen</u>

- Kulturart Grünland und Grünland-Acker
- Böden mit Zustandsstufen I und II (und fallweise III)
- Böden mit Wasserstufen 1 und 2
- Böden mit Grünlandgrundzahl > 45

Die Zuordnung in die einzelnen Bodenpotentialstufen erfolgt nach den in den beiden nachfolgenden Tabellen beschriebenen Kriterien.

Tabelle 1: Kriterien zur Klassifizierung des Ertragspotentials von Ackerböden der Finanzbodenschätzung (A…Acker, Gr…Grünland, T…Ton, LT…lehmiger Ton, Scho…Schotter, Schu…Schutt, Al…Alluvialböden, Lö…Lössböden, D…Diluvialböden, Index g…hoher Grobanteil in der Krume)

Kriterium	Ackerland			
	1 = hoch	2 = mittel	3 = gering	4 = Moore
Kulturart	A, Gr	A, Gr	A, Gr	A, Gr
Zustandsstufe	1/2/3/(4 wenn Bodenzahl > 55)	1/2/3/4/5	5/6/7	alle
Bodenart	LT oder T mit Bodenzahl > 55; alle mit Bodenzahl > 60	nicht T, LT ab Zustandsstufe 5; nicht Scho oder Schu ab Zustandsstufe 5	alle; T, LT bei Bodenzahl < 40, Scho, Schu, Gz (Gesteinszersatz) bei Bodenzahl < 35	Mo in der Bodenart enthalten
Entstehungsart	Al, Lö, D bei Bodenzahl > 50, alle ab Bodenzahl > 60	alle, bei Dg, Alg, Vg nicht ab Zustandsstufe 5	Dg, Alg, Vg ab Zustandsstufe 5 und Bodenzahl < 35	alle
Wasserstufe				alle
Bodenzahl	> 60	60 - 25	< 25	alle

Die Kriterien für die Zuordnung zu den Ertragspotentialklassen insbesondere in der Klasse 1 wurden breiter ausgelegt, das heißt, dass Böden mit einer Bodenzahl größer 60 grundsätzlich der Klasse 1 angehören. Tonböden und Böden mit Grobanteil in der Krume werden ab der Zustandsstufe 4 und einer Bodenzahl größer als 35 in die Klasse 2 eingestuft.

Tabelle 2: Kriterien zur Klassifizierung des Ertragspotentials von Grünlandböden der Finanzbodenschätzung (A…Acker, Gr…Grünland, W…Wiese, Hu…Hutweide, Str…Streu, Bgm…Bergmahd, Scho…Schotter, Schu…Schutt, Gz…Gesteinszersatz, T…Ton, Mo…Moor)

Kriterium	Grünland			
	1 = hoch	2 = mittel	3 = gering	4 = Moore
Kulturart	Gr, GrA	Gr, GrA, GrW	Gr, GrA, GrW, GrHu, GrStr, GrBgm	Gr, GrA, GrW, GrHu, GrStr, GrBgm
Zustandsstufe	I/II/III wenn kein T oder Scho, Schu, Gz	I/II/III/IV	IV, III bei Bodenart T und Wasserstufe ab 4-	alle
Bodenart	alle	alle	alle	Mo in der Bodenart enthalten
Entstehungsart				alle
Wasserstufe	1/2	1/2/3/3-/3+-/3-+	3/3-/3+-/3-+/4/4-/4+-/4-+/5/5-/5+-/5-+	alle
Grünlandgrundzahl	> 45	45 - 20	< 20	alle

Tonböden der Zustandsstufe III werden bis zur Wasserstufe 3 (3, 3+-, 3-+) der Klasse 2 zugeordnet.

Für die österreichweite Auswertung wurde der vorliegende Datensatz der Bodenschätzungsdaten des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV) herangezogen. Die Daten wurden als dBase-

Datenbanken bereitgestellt und bearbeitet. Die Auswertung (Erstellung von Abfragekriterien (SQL) und Ausbau von Funktionen zur Auswertung der einzelnen Datensatzinhalte) erfolgte mit der Microsoft-Software „MS-Access“.

Als Test zur Synchronisierung der Ergebnisse mit jenen der Österreichischen Bodenkartierung wurde die Methode zunächst auf die politischen Bezirke Waidhofen/Ybbs und Amstetten angewandt. Diese Auswertung zeigte nach einigen Anpassungen, dass im Wesentlichen eine gute Übereinstimmung der auf Basis der Bodenkartierung und der Bodenschätzung erreichten Ergebnisse.

Da es um die Frage ging, wie sich die Böden und deren Ertragsfähigkeit künftig entwickeln werden, wurden als Vergleich zur Referenzklimaperiode (1981-2010) die Bodenverhältnisse und Ertragspotentiale unter den Klimaverhältnissen des Klimaprognosemodells CMIP5 (2036-2065) ermittelt.

Das System der Bodenschätzung wertet zwar entsprechend der Kulturart mit unterschiedlichen Kriterien ein, aber die Definition der Bodenarten ist aufgrund des Texturdreiecks der Bodenschätzung einheitlich. Daher kann anhand von Klimakurven und bei bekannter Bodenart, unabhängig von der Kulturart, der Einfluss der Klimaverhältnisse (Temperatur, Wärmesumme und Niederschläge) auf die natürlichen Ertragsbedingungen in Prozentsätzen ermittelt werden. Das bedeutet, dass aus der Differenz der Klimazu- und -abschläge lt. Bodenklimakurven für die beiden Klimamodelle (Referenzklimaperiode (1981-2010) und CMIP5 (2036-2065)) die Klimaveränderungen bestimmt werden können. Durch die Rückrechnung in den Schätzungsrahmen über die Eingangsgrößen Bodenart und Bodenzahl bzw. Grünlandgrundzahl wurden die Änderungen bei den Zustands- und Wasserstufen ermittelt. Klimastufe und Entstehungsart wurden nicht geändert, da die Klimastufe bereits durch die Berechnung mit den Bodenklimakurven berücksichtigt wird und die Entstehungsart lagebedingt sowie durch die Geologie vorgegeben ist. Die Zielsetzung war es, festzustellen, wie sich die Änderung der klimatischen Verhältnisse für jede einzelne Klassenfläche im Vergleich zu allen anderen auswirkt und wie sich die Ertragspotentiale verändern.

3.3 Methode zur Identifizierung der Ertragspotentiale der österreichischen Böden anhand der Bodenkartierung

Ziel dieses Arbeitsschrittes war es, auf Grundlage der Österreichischen Bodenkartierung (eBOD) eine Bodenkarte zu entwickeln, die das österreichweite Ertragspotential von Acker- und Grünland darstellt. Diese sollte die Potentiale grundsätzlich in drei Kategorien (hoch/mittel/gering) klassifizieren sowie eine zusätzliche Kategorie aufweisen, die Böden mit einer naturschutzfachlichen Bedeutung beinhaltet.

Für die Abschätzung der Ertragspotentiale wurden folgende Kriterien der Bodenkartierung herangezogen:

- Bodentyp
- Bodenart
- Natürlicher Bodenwert (In diese Beurteilung des Kartierers fließen viele wichtige Faktoren ein. Dies sind vor allem folgende Parameter: Bodentyp, Bodenart, Grobanteil, Humus, Struktur, Gefüge, Gründigkeit, Wasserverhältnisse, Vergleyung, Durchwurzelung, Bearbeitbarkeit, Erosion, Geländeform und Neigungsverhältnissen)

Böden mit **geringem** Ertragspotential wurden über mehrere Verfahren ermittelt:

1. Bodentyp: Diese Flächen beinhalten Bodentypen, bei denen eine Bearbeitung nur unter schweren Bedingungen stattfinden kann: Extremer Gley, Extremer Pseudogley, Stagnogley, Haldenboden, Planieboden, und „Hutweide“ (Fläche mit extensiver Viehhaltung).

   Über eine SQL-Abfrage in der Datenbank wurden alle Böden, welche die Kennungen „EG“ (extremer Gley), „EP“ (Extremer Pseudogley), „SP“ (Stagnogley), „PU“ (Planieboden) und „HU“ (Haldenboden und Hutweide) aufweisen, in diese Gruppe gestellt.
2. Bodenart: Diese Flächen sind gekennzeichnet durch Böden, bei denen mindestens 40% Ton im Oberboden anzutreffen ist.

   Über eine SQL-Abfrage in der Datenbank wurden alle Böden, welche im Oberboden die Kennungen „lT“ (lehmiger Ton) oder „T“ (Ton) aufweisen, in diese Gruppe gestellt.
3. Natürlicher Bodenwert: Diese Flächen beinhalten Bodentypen, bei denen der natürliche Bodenwert als geringwertiges bis mittelwertiges Grünland, geringwertiges Ackerland oder geringwertiges Grünland beschrieben wurde.

   Über eine SQL-Abfrage in der Datenbank wurden alle Grünlandböden, welche die Kennungen „1“ (geringwertig) oder „2“ (gering- bis mittelwertig) aufweisen, sowie alle Ackerböden mit der Kennung „1“ (geringwertig), in diese Gruppe gestellt.

Böden mit mittlerem und hohem Ertragspotential wurden über den natürlichen Bodenwert definiert.

Böden mit **mittlerem** Ertragspotential:

Über eine SQL-Abfrage in der Datenbank wurden alle Grünlandböden, welche die Kennung „3“ (mittelwertig) aufweisen, sowie alle Ackerböden mit der Kennung „2“ (gering- bis mittelwertig) oder „3“ (mittelwertig), in diese Gruppe gestellt.

- mittelwertiges Ackerland
- mittelwertiges Grünland
- geringwertiges bis mittelwertiges Ackerland

Böden mit **hohem** Ertragspotential:

Über eine SQL-Abfrage in der Datenbank wurden alle Grünlandböden, welche die Kennungen „4“ (mittel – bis hochwertig) oder „5“ (hochwertig) aufweisen, sowie alle Ackerböden mit der Kennung „4“ (mittel- bis hochwertig) oder „5“ (hochwertig), in diese Gruppe gestellt.

- hochwertiges Ackerland
- hochwertiges Grünland
- mittelwertiges bis hochwertiges Ackerland
- mittelwertiges bis hochwertiges Grünland

Naturschutzfachlich wertvolle Böden sollten von der Bewertung ausgenommen werden. Über eine SQL-Abfrage in der Datenbank wurden alle Böden, welche die Kennungen „M“ (Moore), „N“ (Anmoore) und „Z“ (Salzböden) aufweisen, in diese Gruppe gestellt.

In diese Gruppe wurden somit Flächen mit folgenden Bodentypen aufgenommen: Moore (Hochmoor, Übergangsmoor, Niedermoor), Anmoore und Salzböden (Solontschak, Solontschak – Solonetz, Solonetz).

Bei den nicht kartierten Flächen handelt es sich um Ansiedelungen, Wald, Gewässer, Gebirge und Regionen, die sich Großteils über einer Höhe von 1.600 m befinden und der Almwirtschaft dienen.

Die Verschneidung aller bodenkundlich zuzuordnenden Polygone (Bodenformen) in ganz Österreich bedeutet einen enormen Rechenaufwand (SQL – Abfrage in der Datenbank). Um den Rechenaufwand möglichst klein zu halten und trotzdem eine Aussage darüber zu erhalten, welche Parameter für unsere Fragestellung geeignet sind, wurde die Berechnungen für ein Testgebiet durchgeführt. Beim ersten räumlichen Ansatz wurde der Kartierungsbereich 1 (Schwechat) als Testgebiet 1 gewählt. Da sich dieser Ansatz für unsere Fragestellung nicht optimal eignete, wurde die Fläche von zwei aneinander grenzenden Kartierungsbereichen als Testgebiet 2 festgelegt, nämlich Kartierungsbereich 153 (Amstetten) und Kartierungsbereich 218 (Waidhofen an der Ybbs) (siehe Kap. 3.2). Einerseits sind auf dieser Fläche verschiedenste geologische Einheiten anzutreffen, andererseits verläuft dort der Übergang von alpinen Bereichen in nicht alpine Bereiche. Da sich zur Findung der geeigneten Parameter das Testgebiet 2 als besonders geeignet herausstellte (Übereinstimmung mit den Daten der Finanzbodenschätzung), wurde der gesamte dort verwendete methodische Ansatz (siehe oben) auf ganz Österreich übertragen.

3.4 Methode zur Modellierung der Ertragspotentiale im Ackerland

3.4.1 Flächenabgrenzung

Die Abgrenzung der Ackerflächen von den Grünlandflächen erfolgte über die digitalen Karten der Österreichischen Bodenschätzung. Alle Flächen mit der Nutzungsbezeichnung „A“ und „AGr“ (A für Ackerland, AGr für Acker-Grünland) wurden als Ackerflächen festgelegt (siehe Abbildung 2).

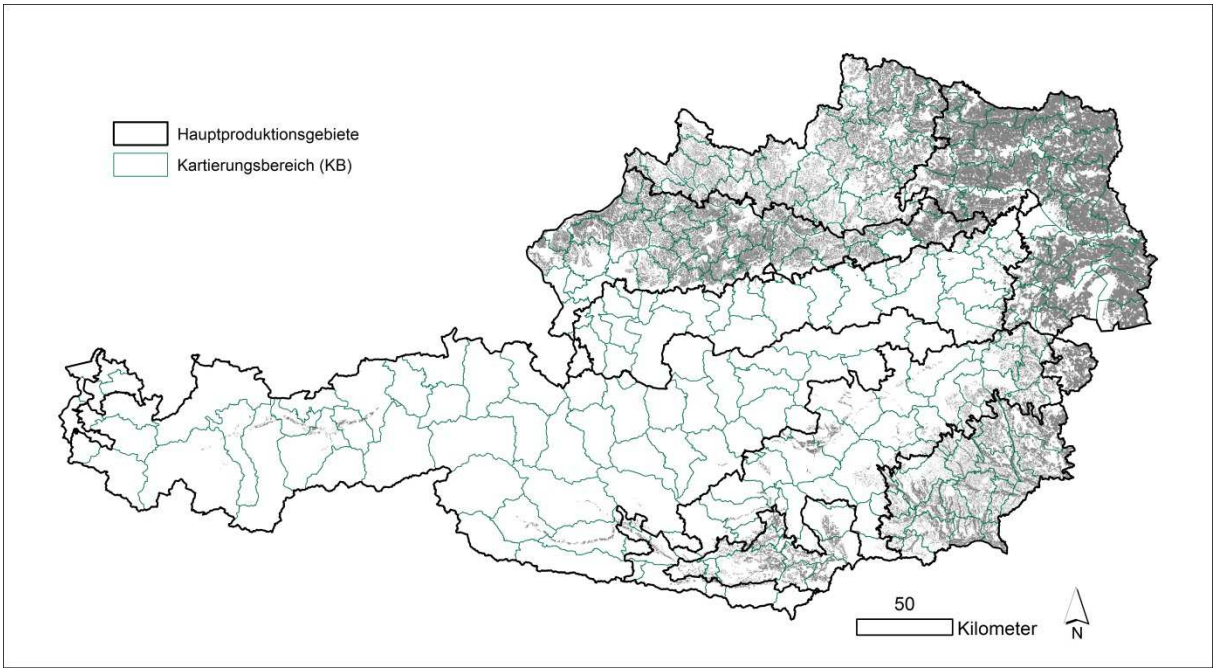


Abbildung 2: Ackerflächen in Österreich nach der Bodenschätzung

3.4.2 Bodendaten

Für die Modellrechnung wurden die Daten der Österreichischen Bodenkartierung verwendet. Die Kartierung erfolgte laufend nach sogenannten Kartierungsbereichen (KB), deren Abgrenzungen in etwa denen der Gerichtsbezirke entsprechen. Österreich ist in 214 KB unterteilt (siehe Abbildung 2). Die kleinste dargestellte Flächeneinheit der Bodenkartierung ist die Bodenform. Die einzelnen Bodenformen wurden im jeweiligen KB unabhängig voneinander mit einer laufenden Nummer versehen. Es gibt keinen Zusammenhang zwischen der laufenden Nummerierung und den Bodeneigenschaften der KBs. Für die Modellrechnung werden bodenphysikalische Kennwerte (pF- und Ku-Beziehung) jedes Horizontes im „ein Meter“ Profil benötigt. Die Parametrisierung in bodenphysikalische Kennwerte und vor allem auch deren Kontrolle erfordern einen immens hohen Zeitaufwand. Deshalb wurden die einzelnen Bodenformen jedes KBs zu Klassen gleicher nutzbarer Feldkapazität zusammengefasst. Mit dem Kennwert der nutzbaren Feldkapazität werden am besten die Standortsunterschiede für die Ertragsfähigkeit hinsichtlich des Wasserhaushalts charakterisiert. Die Klassifizierung erfolgte nach dem Klassenwert der AD-HOC-AG BODEN (1994), siehe Tabelle 3. Jene Bodenform, deren nFK-Wert dem jeweiligen Klassenwert der nFK-Klasse des KBs am nächsten ist, repräsentiert die nFK-Klasse“ des jeweiligen KBs. Alle Bodenprofile wurden bis maximal einen Meter Tiefe berücksichtigt und als grundwasserferne Standorte behandelt. Die Klassifizierung der nFK erfolgte in 5 Klassen, wobei die Klasse 5 (sehr hoch) nicht auftritt, da die Informationen zu den Bodenprofilen nur bis zu einem Meter Tiefe gesichert vorliegen. Die Parametrisierung der Inhalte der Bodenkartierung (eBOD, 2009; www.bodenkarte.at) als Modell-Input für SIMWASER/STOTRASIM erfolgte nach MURER (1998). Für den Bereich der Pflugsohle wurden auch die Kennwerte aus dem Projekt MURER (2011) berücksichtigt.

Tabelle 3: Klassifizierung der nFK nach AD-HOC-AG BODEN (1994) und des verwendeten Klassenwertes

Klasse	Bezeichnung	nFK Bereich [mm]	Klassenwert der nFK [mm]
1	sehr gering	< 60	59
2	gering	60 - 140	100
3	mittel	140 - 220	180
4	hoch	220 - 300	260
5	sehr hoch	> 300	340

3.4.3 Klimadaten

Für die Modellrechnung wurden die Wetterdaten beider Klimamodelle verwendet. Zur Validierung der Modellrechnung wurde sowohl eine 30-jährigen Referenzperiode aus der Vergangenheit (1981-2011) als auch eine zukünftige 30-jährige Periode (2036-2065) verwendet (siehe auch Kapitel 3.5.1). Für die Modellierung wird für jeden Kartierungsbereich nur eine Wetterdatei verwendet. Die im Schwerpunkt der Ackerflächen des KB (siehe Abbildung 3) liegende 1-km-Raster Zelle des Wetterrasters wird als repräsentative Wetterdatei des Kartierungsbereiches festgelegt. In den KB, in denen der Schwerpunkt außerhalb der Ackerfläche liegt (z.B. KB mit Gebirgstälern), wird eine repräsentative Rasterzelle verwendet, die sich innerhalb des Talbodens befindet. Es werden nur KB mit Ackerflächen größer 10 ha berechnet. In der Modellrechnung gehen die täglichen Daten der Tageslänge, maximale und minimale Temperatur, mittlere relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Niederschlag und Globalstrahlung ein.

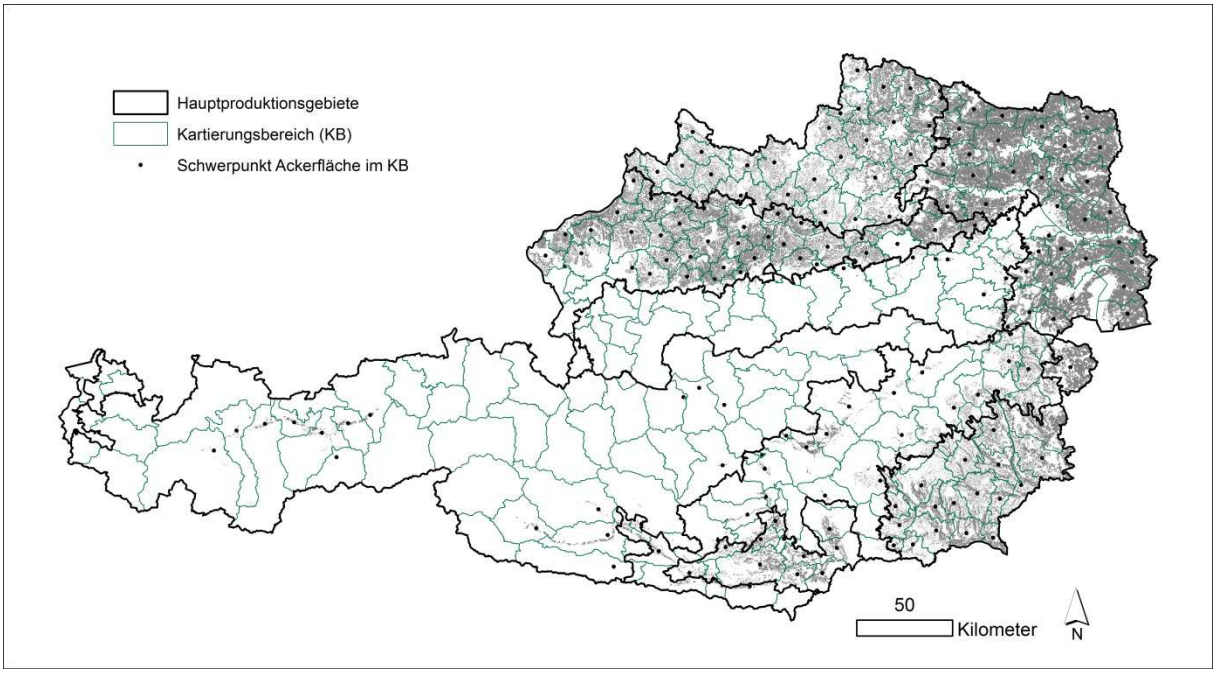


Abbildung 3: Schwerpunkte der Ackerflächen in den einzelnen Kartierungsbereichen

3.4.4 Kulturen und Standortfestlegungen

Für alle Kleinproduktionsgebiete (KPG) erfolgte die Modellierung des Produktionspotenzials für die wichtigsten Feldfrüchte. Anhand der INVEKOS-Daten, welche die realen Größen der Anbauflächen aller Kulturarten für jede Gemeinde beinhalten, konnte auf Ebene der Klein- bzw. Hauptproduktionsgebiete (HPG) die tatsächliche Produktionsfläche der landwirtschaftlichen Kulturarten ermittelt werden. Zunächst wurde aus den einzelnen KPG-Ertragspotentialen für jedes HPG ein arithmetisches Mittel errechnet, um sie dann mit den realen Kulturarten-Anbauflächen zu multiplizieren. In einem nächsten Schritt wurden dann die Produktionspotentiale der HPG gemäß den Anteilen der einzelnen Feldfrüchte an der aktuellen, realen Fruchtfolge kalkuliert (siehe Tabelle 4).

Für die Modellierung wurden folgende Annahmen getroffen:

- Die Stickstoffdüngung entspricht der für eine hohe Ertragslage (Düngemenge für mittlere Ertragslage plus 20%; Berücksichtigung im Modell siehe Kapitel 3.4.6).
- Die Kulturen werden nicht bewässert.
- Auf allen Standorten ist kein Grundwasseranschluss gegeben.

Tabelle 4: Modellierte Kulturen und Flächenanteile an der gesamten österreichischen Produktionsfläche, basierend auf der Fruchtfolgeverteilung 2013

Kultur	Anteil an der Produktionsfläche (%)
Weizen	27,2
Roggen	4,0
Triticale	5,4
Wintergerste	9,0
Sommergerste	6,6
Silomais	8,4
Körnermais	18,8
Zuckerrübe	4,7
Sonnenblume	2,0
Raps	3,8
Sojabohne	5,8
Kartoffel	1,0
Ölkürbis	3,3

Als kleinste Modelleinheit wurde der sogenannte Pedotop-Acker festgelegt. Jedem Pedotop ist eine Wetterdatei, Kultur und Bodenform in jedem Kartierungsbereich mit > 10 ha Ackerfläche zugeordnet.

3.4.5 Das numerische Modellierungssystem SIMWASER/STOTRASIM

Das Modell SIMWASER/STOTRASIM beschreibt die Wasserflüsse und die Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone (Bereich zwischen Geländeoberfläche und Grundwasserspiegel) von landwirtschaftlich genutzten Flächen. Dabei werden die Wasserflüsse und die Vegetationsentwicklung mit dem Modell SIMWASER (STENITZER, 1988) kalkuliert und STOTRASIM (FEICHTINGER, 1998) ist die entsprechende Erweiterung zur Beschreibung der Stickstoffdynamik; die Flüsse werden in eindimensionaler, vertikaler Richtung bewertet.

SIMWASER berechnet die Wasserbilanz und das Pflanzenwachstum für eine beliebig lange Fruchtfolge einer Agrarfläche auf Tagesbasis. Das Grundkonzept ist in Abbildung 4 skizziert. An der Bodenoberfläche werden Niederschlag und Beregnung als Eintrag und die Evapotranspiration als Wasserentzug in Rechnung gestellt. Interzeption wird berücksichtigt. Die Kalkulation der Wasserbewegung im Boden folgt dem Darcy-Gesetz. Die Untergrenze des Bodenprofils ist durch die Grundwasseroberfläche festgelegt oder wird bei einem grundwasserfernen Standort in einer Tiefe angesetzt, in der kein Einfluss durch Wurzelentzug gegeben ist. Der Wasserfluss an der Profiluntergrenze ergibt die Tiefensickerung oder Grundwasserneubildung bzw. kapillaren Aufstieg. Die Beschreibung der Prozesse, welche im Modell SIMWASER berücksichtigt werden, ist in neuerer Literatur (STENITZER & MURER 2003, STENITZER et al. 2007a, STENITZER et al. 2007b) auszugsweise und in allen Details in STENITZER (1988) vorgenommen.

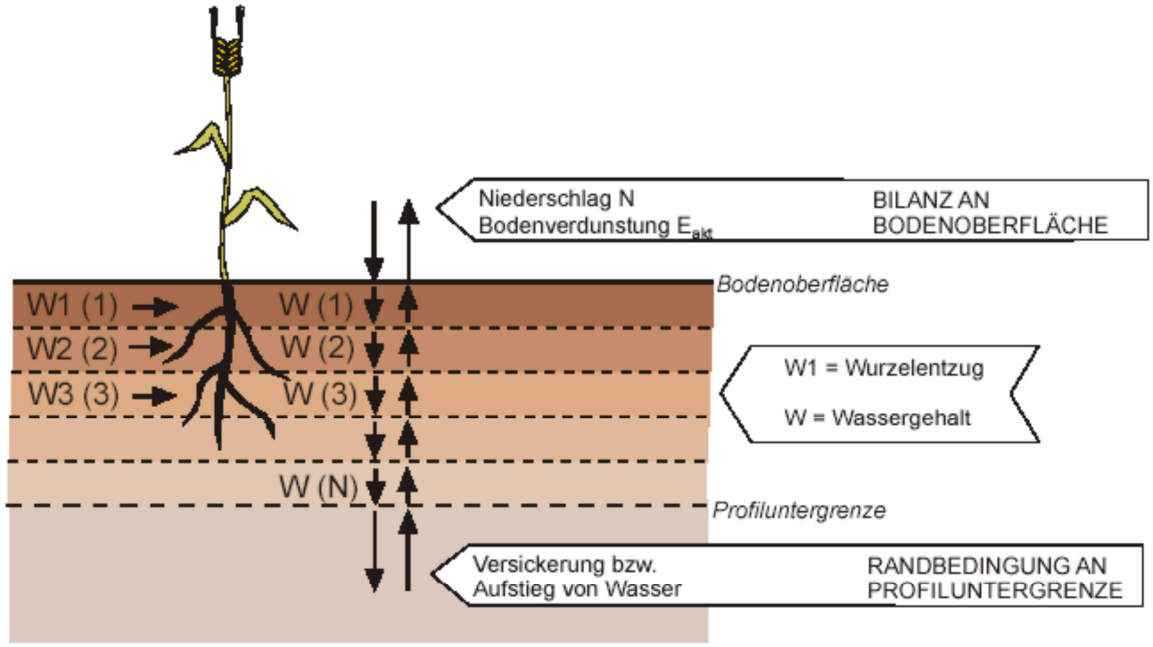


Abbildung 4: Schematische Darstellung der in SIMWASER berücksichtigten Wasserflüsse

Im Modellteil STOTRASIM werden die Stickstoff- und partiell die Kohlenstoffdynamik eines landwirtschaftlich genutzten Bodens in eindimensionaler vertikaler Richtung beschrieben, wobei das Hauptaugenmerk auf der Quantifizierung der Nitratauswaschung in den Untergrund liegt. Das Modell errechnet für das jeweilige Bodenprofil Tagesbilanzen des Stickstoffhaushaltes unter folgenden Annahmen:

- Der Stickstofftransport im Boden ist zur Gänze an die Wasserbewegung gebunden (Konvektion + Diffusion/Dispersion).
- Stellvertretend für alle löslichen Stickstoffverbindungen ist ausschließlich Nitrat im Bodenwasser gelöst, dies jedoch vollständig und daher müssen alle anderen Stickstoffkomponenten (NH_4-N, N_{org}) zuerst in Nitrat umgewandelt werden, um im Boden Mobilität zu erlangen.

- Im Gegenzug wird jedoch jeglicher Stickstoffbedarf (Vegetationsentzug, Immobilisation) durch NO_3-N abgedeckt.
- Eingeschränktes Pflanzenwachstum wird bei Wasser- oder Stickstoffmangel in Rechnung gestellt; Pflanzenkrankheiten oder das Fehlen sonstiger Pflanzennährstoffe werden nicht ertragswirksam.
- Makroporenfluss oder Interflow bleiben unberücksichtigt

Die in STOTRASIM berücksichtigten Pools und Flüsse sind schematisch in Abbildung 5 skizziert. Dabei werden folgende Stickstoffeinträge an der Bodenoberfläche berücksichtigt:

- Stickstoffdüngung (Mineraldünger bzw. Wirtschaftsdünger)
- Niederschlag (nasse N-Deposition)
- Beregnung
- Rückfuhr von Pflanzenmasse
- Bindung von Luftstickstoff durch Leguminosen
- Kapillarer Aufstieg

In STOTRASIM berücksichtigte Stickstoffausträge sind:

- Pflanzenaufnahme bzw. Abfuhr über das Erntegut
- Denitrifikation
- Nitratauswaschung

Der in STOTRASIM berücksichtigte Stickstofftransport erfolgt infolge:

- Wasserbewegung (Konvektion, Diffusion/Dispersion)
- Evaporation

Der Stickstoffumsatz in STOTRASIM zwischen den verschiedenen N-Pools berücksichtigt:

- Mineralisation
- Nitrifikation
- Immobilisation

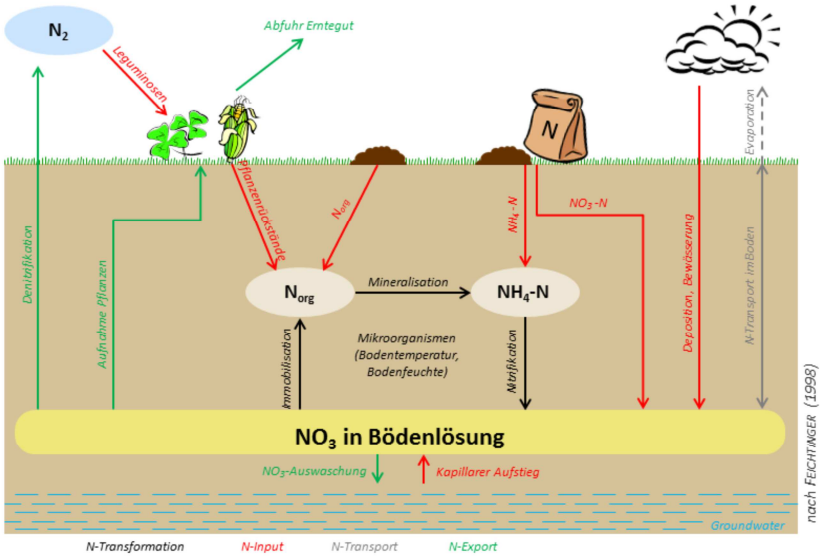


Abbildung 5: Schema des in STOTRASIM berücksichtigten Stickstoffkreislaufes

3.4.6 N-Pools im modellmäßigen Bodenprofil

Über die Eingabedaten ist das modellmäßige Bodenprofil in Kompartimente zu unterteilen, wobei für jedes Kompartiment folgende Informationen beizustellen sind:

- Schichtstärke
- Bodenart und Porenvolumen für die Festlegung von
  - Wasserspeicherfähigkeit
  - Wasserleitfähigkeit
  - Transportparameter von Diffusion/Dispersion
- Humusgehalt
- C/N-Verhältnis des Humus
- Gehalt an frischer organischer Substanz (FOS)
- Pflanzenrückstände, Wirtschaftsdünger, Kompost
- C/N-Verhältnis von FOS
- Ausgangswerte der NO_3-N- und NH_4-N-Konzentration.

Weiters wird modellintern die Schichtstärke des obersten Kompartiments an der Geländeoberfläche mit 5 cm festgelegt. Die Berechnung der Stickstoffdynamik erfolgt modellintern mit einer Kompartimentstärke von 2,5 cm, was in Kombination mit dem Zeitschritt in der Modellrechnung ein wesentlicher Beitrag zur numerischen Stabilität des Rechenlaufes ist. Die Kompartimentinformationen werden diesen räumlichen Subeinheiten gemäß den Eingabedaten entsprechend der räumlichen Diskretisierung zugeteilt. Des Weiteren werden im Bodenprofil für jedes Kompartiment folgende N-Pools (siehe auch Abbildung 6) berücksichtigt:

- Mineralische Stickstoffvorräte:
- **NO_3-N:** Nitratstickstoff befindet sich vollkommen in Lösung
- **NH_4-N:** Ammoniumstickstoff wird als vollständig an die Bodenpartikel gebunden betrachtet

- Organisch gebundene Stickstoffvorräte:
- **IOS:** stellt eine praktisch inerte bodenbürtige N_{org}-Fraktion dar, deren Mineralisierung mehrere Jahrhunderte bis Jahrtausende erfordert
- **SOS:** stellt eine langsam abbaubare N_{org}-Fraktion dar, die vielfach als Dauerhumus bezeichnet wird und deren Mineralisierungszeit bei mehreren Dekaden von Jahren liegt. Zu dieser Fraktion sind deren Trockenmasse (g/kg trockener Boden), die darin gebundene Kohlenstoffmenge (angenommener Kohlenstoffgehalt: 42,5%) und die gebundene Stickstoffmenge (Eingabe des C/N-Verhältnisses) bekannt
- **AOS:** stellt eine rasch abbaubare bodenbürtige N_{org}-Fraktion dar, deren Mineralisierungszeit wenige Jahre beträgt und die vor allem die Bodenlebewesen beinhaltet
- **FOS:** stellt eine rasch abbaubare N_{org}-Fraktion dar, beinhaltet die organischen Importe in den Boden (Pflanzenrückstände, Wirtschaftsdünger, Komposte) und wird zu einer bodenbürtigen abbaubaren N_{org}-Fraktion (SOS oder AOS) durch Abbau und Einbau. Diese Fraktion wird in einen metabolischen und strukturellen Anteil unterteilt, wobei die Aufteilung vom C/N-Verhältnis abhängt und auch die Mineralisierungszeit bestimmt. Die Mengen zu dieser Fraktion sind ebenfalls über die Trockensubstanz, einen Kohlenstoffgehalt von 42,5 % und das C/N-Verhältnis festgelegt.

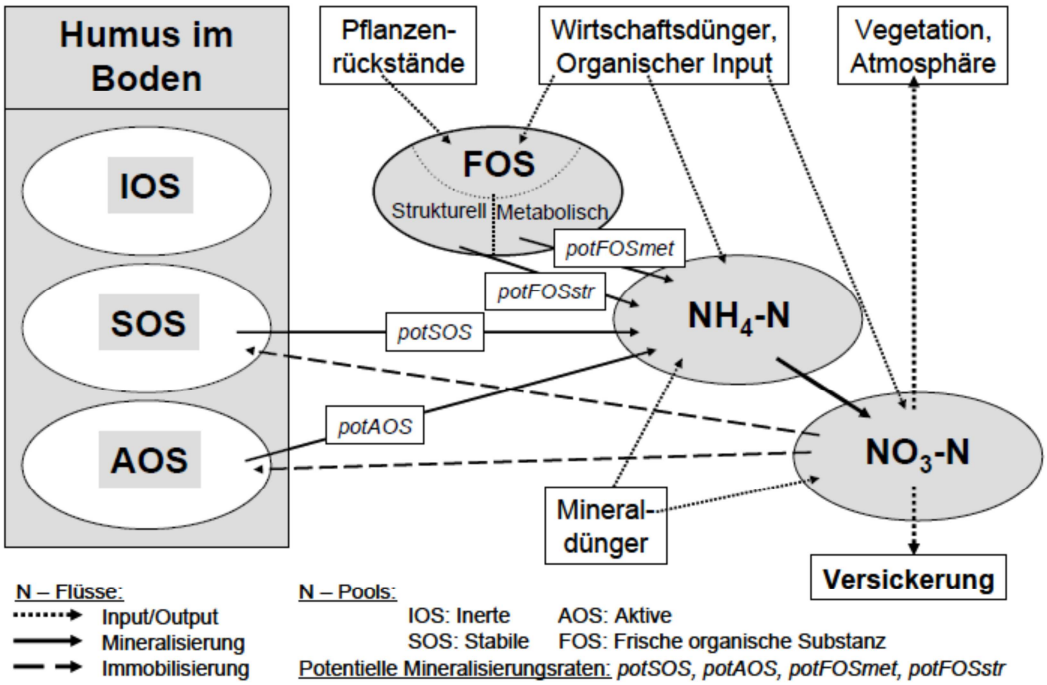


Abbildung 6: Schematische Darstellung der in STOTRASIM berücksichtigten N-Pools und zugehörigen Reaktionsmechanismen

Die organischen N-Pools werden auf Basis von Eingabedaten durch Bewertung der entsprechenden C-Vorräte und zugehöriger C/N-Verhältnisse folgendermaßen initialisiert:

- Anhand des Humusgehalts eines Kompartiments, der als der gesamte organische Vorrat angesehen wird und auf Messungen oder Drittangaben (z.B.: ÖBK) fußt, wird der Gesamt-C-Vorrat berechnet (C_{ges}=Humusgehalt/1,72).

- Im nächsten Schritt wird die C-Menge von IOS ermittelt. Dies erfolgt in Anlehnung an RÜHLMANN (1999) bzw. RÜHLMANN et al. (2001). Dabei wird C-IOS in Abhängigkeit der Textur mit Bezug zur Bodenstruktur festgelegt, wobei die Einschränkung vorgenommen ist, dass C-IOS <= 0,7*C_{ges} ist.
- C-IOS ist von den bodeninternen Umsetzungsprozessen (Mineralisation etc.) ausgeschlossen, wird jedoch von C_{ges} subtrahiert, um so den bodenbürtigen, abbaubaren Teil (SOS und AOS) zu quantifizieren.
- Die Initialisierung des „aktiven organischen Boden-Pools", AOS erfolgt nach dem Ansatz aus RÜHLMANN et al. (2001), wo der mikrobiellen Biomasse-C dem Mittelporenvolumen des Bodens gegenübergestellt wurde und woraus eine klare Abhängigkeit ersichtlich ist.
- Die FOS an der Bodenoberfläche wird unmittelbar nach Anfall in die oberste Bodenschicht (0-2,5 cm) integriert und ist somit Bestandteil von FOS im Boden. Dies erfolgt sowohl für die durch die Input-Daten festgelegten Initialwerte, als auch für an der Oberfläche importierte Organika (Wirtschaftsdünger, Kompost, etc.) wie für die Rückfuhr von Pflanzenresten (Nichterntegut, Wurzelmasse), wobei die Wurzelmasse jeweils über das Bodenprofil entsprechend der berechneten Wurzelentwicklung eingebracht wird. Die Aufteilung der organischen Primärsubstanz (FOS) in metabolischen und strukturellen Anteil folgt denen wie sie in den Modellen ROTHC (COLEMAN & JENKINS, 1999), CENTURY (2001) und EPIC verwendet werden, und zwar als Funktion des Lignin-Stickstoff-Verhältnisses und in so auch dem C/N-Verhältnis von FOS. Der metabolische Anteil von FOS wird demnach durch die lineare Funktion zum C/N-Verhältnis von FOS folgendermaßen beschrieben (0<C/N<3: metabolischer Anteil von FOS ist 100%, 3<C/N<19: metabolischer Anteil von FOS nimmt linear von 100 auf 0% ab, 19<C/N: metabolischer Anteil von FOS ist 0% -> struktureller Anteil ist 100%):

  *metabolischer Anteil von FOS = (-6.25*C/N+118.75)/100*

  Diese Annahme basiert wesentlich auf dem Vergleich von gemessenen und berechneten N_{min}-Zeitreihen an der Messstelle „Lysimeter Lobau", wo Kompost – also organisches Material – in unterschiedlichen Frachten importiert wurde und eine einigermaßen brauchbare Übereinstimmung der N_{min}-Dynamik erst durch diese Veränderung erzielt wurden.
  Ergänzend wird festgehalten: nachdem die bisherigen Modellformulierung einen C-Gehalt von 42,5% der organischen Materialien verrechnen, wird für die Beibehaltung dieser Größe beim Import von Organika mit davon abweichendem C-Gehalt eine Anpassung der Trockenmasse auf einen 42,5% C-Gehalt bei gleicher C- und N-Fracht vorgenommen. Die C/N-Verhältnisse der beiden Fraktionen werden in der Relation C/N_{met}:C/N_{struk}=1:12,5 angesetzt.
- Zur Initialisierung der C/N-Verhältnisse der übrigen Pools wird primär den Ausführungen in Modell CENTURY (2001) gefolgt. Im Abschnitt „Model Parameterization", S. 64 sind die Bandbreiten AOS: 8-12, SOS: 15-20 und IOS: 7-10 zu den C/N-Verhältnissen angegeben. Das Kapitel „Nitrogen Submodel", S. 34 führt dazu aus AOS: 3-15, SOS: 12-20 und IOS: 7-10. Das heißt AOS und IOS sind im mittleren C/N etwa gleich und SOS ist etwa 1,8-fach höher.

3.4.7 Stickstoffeinträge

3.4.7.1 Niederschlag, Beregnung

Sowohl beim Niederschlag als auch bei einer Beregnung wird die gesamte mitgeführte Stickstofffracht in Form von NO_3-N importiert und im Boden dem NO_3-N-Pool zugezählt. Zum N-Eintrag mit dem Niederschlag (= nasse N-Deposition) wird die tägliche Regenmenge (aus der Wetterdatei eingelesen) und eine Stickstoffkonzentration von 1.05 mg NO_3-N/l angesetzt. Bewässerungen wurden in der vorliegenden Modellanwendung nicht berücksichtigt, da sie für das Modellgebiet nicht typisch sind.

3.4.7.2 Stickstoffdüngung

Die Definition der Stickstoffdüngergaben ist über die Eingabedaten der Bewirtschaftungsdatei festgelegt. Dabei wird zwischen Mineraldüngung und Wirtschaftsdünger unterschieden. Für Mineraldüngergaben sind neben dem Datum die Menge an NO_3-N und NH_4-N anzugeben. Eine Applikation von Wirtschaftsdünger erfordert neben dem Datum die NO_3-N- und NH_4-N-Menge, das Trockensubstanzgewicht je Hektar, den Kohlenstoffgehalt der organischen Fraktion und deren C/N-Verhältnis.

Die applizierten N-Mengen werden nach den folgenden Grundsätzen in den Boden eingebunden:

- Die organische Fraktion von Wirtschaftsdünger wird vorerst in metabolischen und strukturellen Anteil unterteilt und am Tag der Applikation in die FOS-Fraktion des obersten Kompartiments eingebunden.
- Die NH_4-N-Fraktion von Wirtschaftsdünger wird zu 90% bodenwirksam, wenn am Tag der Applikation eine Bodenbearbeitung erfolgt. Geschieht dies nicht, gehen 10% (obiger Basisverlust) + 35 % der importierten NH_4-N-Fracht (AMBERGER, 1989) gasförmig in die Atmosphäre.
- Die NO_3-N- und NH_4-N-Frachten werden am Tag der Applikation einem Depot an der Bodenoberfläche, welches bei Wasserimport an der Bodenoberfläche (Niederschlag oder Bewässerung) geleert wird und die N-Frachten der Bodenlösung bzw. dem Bodenvorrat zugezählt werden; d.h., findet am Tag der Düngerausbringung eine Bewässerung oder ein Regenereignis statt, werden die mineralischen N-Fraktionen sofort dem Boden zugezählt, andernfalls liegen sie bis zum nächsten Regen-/Bewässerungsereignis unangetastet an der Oberfläche auf Depot. Die importierte NH_4-N-Menge wird gleichmäßig verteilt dem NH_4-N-Vorrat der obersten 10 cm des Bodenprofils zugezählt. Die importierte NO_3-N-Menge ist mitbestimmend für die Konzentration im Fluss an der Bodenoberfläche.
- Die NO_3-N-Frachten werden in die Bodenlösung eingebunden und gehorchen den Transportmechanismen für Stofftransport.

3.4.7.3 Rückfuhr von Pflanzenresten (Stroh, Wurzeln)

Die Einbindung von Pflanzenmasse und deren organisch gebundenen Stickstoff in den N-Pool FOS im Boden geschieht zu jedem Fruchtfolgewechsel, wobei ein Fruchtfolgewechsel über die Bewirtschaftungsdatei vorgegeben ist oder im Falle des Abfrostens einer Kultur vom Rechenprogramm selbst festgelegt wird.

Organisch gebundener Stickstoff in der Pflanzenmasse ist immer dann gegeben, sobald Trockenmassebildung und einhergehende Stickstoffaufnahme berechnet wurde. Ein Fruchtfolgeende ohne organisch gebundenen Stickstoff in der Pflanzenmasse (Schwarzbrache oder vor Aufgang einer Kultur) setzt die organisch gebundene N-Menge auf null.

Jedenfalls wird am Ende eines Fruchtfolgegliedes eine Differenzierung zwischen oberirdischer Pflanzenmasse und Wurzelmasse vorgenommen, was anhand der berechneten Trockenmasse beider Pflanzenteile (im Programmteil SIMWASER abgebildet) und der berechneten Gesamtstickstoffaufnahme erfolgt. Zuerst wird die in der Wurzelmasse gespeicherte Stickstoffmenge über die Wurzeltrockenmasse mit einem Kohlenstoffgehalt von 42,5 % und einem pflanzenspezifischen C/N-Verhältnis der Wurzelmasse ermittelt. Beträgt diese in den Wurzeln gespeicherte N-Menge mehr als ein Viertel der Stickstoffgesamtaufnahme, wird die N-Menge in der Wurzelmasse dem Viertel der N-Gesamtaufnahme gleichgesetzt und das C/N-Verhältnis entsprechend angepasst; dieser Vorgangsweise liegt die Annahme zugrunde, dass nicht mehr als ein Viertel der pflanzengebundenen Stickstoffmenge unterirdisch festgelegt ist. Durch Abzug der unterirdisch gebundenen N-Menge von der gesamt aufgenommenen N-Menge resultiert die in der oberirdischen Pflanzenmasse gebundene N-Menge. Die nun tatsächlich mit oberirdischer Pflanzenmasse dem Boden rückgeführte Stickstofffracht wird folgendermaßen berechnet:

- Im Falle des Abfrostens oder des Umbruchs wird das C/N-Verhältnis der oberirdischen Pflanzenmasse berechnet. Dies erfolgt anhand der bis dahin berechneten oberirdischen Trockenmasse, der darin gebundenen N-Menge und einem angenommenen Kohlenstoffgehalt von 42,5 %.
- Im Falle eines Fruchtfolgewechsels zur Ernte wird vorerst mittels des pflanzenspezifischen Harvest-Indexes und einem Pflanzenkennwert, der die Relation der N-Konzentration von Erntegut (Korn) zu Nichterntegut (Stroh) festlegt, die Trockenmasse und die darin gebundene Stickstoffmenge für das Erntegut und das Nichterntegut berechnet. Weiters wird mit einer fruchtfolgebezogenen Eingabegröße, die angibt wie viel Prozent des Nichterntegutes am Feld verbleiben (z.B. Strohabfuhr: Ja/Nein), die tatsächlich dem Boden rückgeführte Trockenmasse, Kohlenstoff- und Stickstoffmenge berechnet.

Die Rückfuhr von ober- und unterirdischer Pflanzenmasse in den Boden erfolgt schlussendlich nach den folgenden Grundsätzen:

- Die Rückfuhr von Pflanzenmasse wird dem N-Pool FOS im Boden zugezählt, wobei zuerst in metabolischen und strukturellen Anteil unterteilt wird, worauf die Einbindung in die beiden Fraktionen erfolgt.
- Im Falle des Abfrostens von Dauerkulturen (Grünland, Kleegras, u.ä.) bleibt die Wurzelmasse mit dem darin gebundenen Stickstoff als lebende Substanz erhalten, wird nicht in den Bodenvorrat übergeführt und allfälliges Wachstum wird nahtlos fortgesetzt; die oberirdische Masse stirbt jedoch ab.
- Frosten andere Kulturen ab (z.B. Senf) stirbt auch das Wurzelsystem ab.
- Abgestorbene Wurzeln werden entsprechend der tiefenspezifischen Masseverteilung (in SIMWASER berechnet) den einzelnen Kompartimenten des Bodenprofils hinsichtlich Trockenmasse, Kohlenstoffgehalt und Stickstoffgehalt zugezählt.

- Die oberirdische Pflanzenmasse wird in Trockenmasse, Kohlenstoffgehalt und Stickstoffgehalt dem obersten Kompartiment des Bodenprofils zugezählt; erst eine Bodenbearbeitung erwirkt eine tieferreichende Durchmischung.

3.4.7.4 Kapillarer Aufstieg

Ein Stickstoffeintrag in das Bodenprofil infolge kapillaren Aufstieges erfolgt dann, wenn in der Bilanzierungsebene die Summe der Stickstoffverlagerung infolge Konvektion und Diffusion/Dispersion einen nach oben gerichteten Stickstoffstrom ergibt.

3.4.8 Stickstoffausträge

3.4.8.1 N-Aufnahme durch Pflanzen

Die Stickstoffaufnahme der Pflanzen wird durch Multiplikation des Transpirationsstromes, der NO_3-N-Konzentration der Bodenlösung und eines pflanzenspezifischen Selektionsbeiwertes beschrieben. Der Selektionsbeiwert fasst die diffusive Stickstoffaufnahme und eine selektive Aktivität der Wurzeln bei der Nährstoffaufnahme zusammen (NYE & TINKER, 1977) und stellt einen Pflanzenkennwert dar. Die Wurzellängendichte, die die Stickstoffaufnahme ebenfalls beeinflusst, wird bereits in SIMWASER bei der Berechnung der Transpirationsmenge berücksichtigt.

STOTRASIM ist prinzipiell in der Lage, die Aufnahme von atmosphärischem Stickstoff durch Leguminosen abzubilden. Diese Funktion ist für das vorliegende Projekt nicht von Relevanz und wird daher auch nicht weiter erläutert.

Parallel zur Stickstoffaufnahme durch die Vegetation wird im Tagesschritt der aktuelle Stickstoffbedarf berechnet. Dazu wird eine durchschnittliche N-Konzentration in der Trockenmasse durch Division von akkumulierter Stickstoffaufnahme durch akkumulierte Trockenmassebildung errechnet und dieser Wert einem entwicklungsabhängigen Soll-Wert gegenübergestellt; das Entwicklungsstadium nach HANWAY und die Trockenmassebildung werden dabei von SIMWASER übernommen. Zur Festlegung der Soll-Konzentration wurde folgendermaßen vorgegangen:

- Literaturdaten und eigene Messwerte zur N-Konzentration in der oberirdischen Pflanzenmasse unterschiedlicher Kulturen zu verschiedenen Entwicklungsstadien wurden für Nicht-Leguminosen und Leguminosen zusammengefasst und mit einer oberen (OG = Obergrenze) und unteren (UG = Untergrenze) Umhüllenden versehen (Abbildung 7). Der Bereich zwischen OG und UG wird als maximale Bandbreite der entwicklungsspezifischen N-Konzentration in der oberirdischen Pflanzenmasse angesehen.
- Weiters wird davon ausgegangen, dass eine durchschnittliche Normalversorgung in einem Bereich um den Mittelwert von OG und UG liegt und außerhalb dieses Bereiches ein N-Überangebot bzw. eine Unterversorgung vorliegt. Der Bereich der Normalversorgung um den Mittelwert (OG + UG)/2 ist mit +/- 12,5 % der Spanne OG-UG festgelegt, was der grauen Unterlegung in Abbildung 7 entspricht. Dies wird als Toleranzbereich der Pflanzen angesehen, wo keine Auswirkung auf die aktive N-Aufnahme der Pflanzen gegeben ist.
- Außerhalb dieses Toleranzbereiches erfolgt eine Anpassung des Selektionsbeiwertes, welcher außerhalb des Graubereiches in Richtung OG linear auf 1,0 abgemindert (Reduktion auf konvektive N-Aufnahme) und hin zu UG linear auf einen Maximalwert erhöht wird.

- Eine Ertragsminderung infolge Stickstoffmangel wird in Rechnung gestellt, sofern die N-Konzentration in der oberirdischen Pflanzenmasse die Untergrenze UG unterschreitet. Diese ertragsmindernde Funktion wird in starker Anlehnung an GODWIN & JONES (1991) beschrieben, wobei modellintern dann das Minimum aus N-bedingtem Stressfaktor und wasserbedingtem Stressfaktor (in SIMWASER berechnet) in die Kalkulation der Wachstumsrate der Pflanze eingeht.

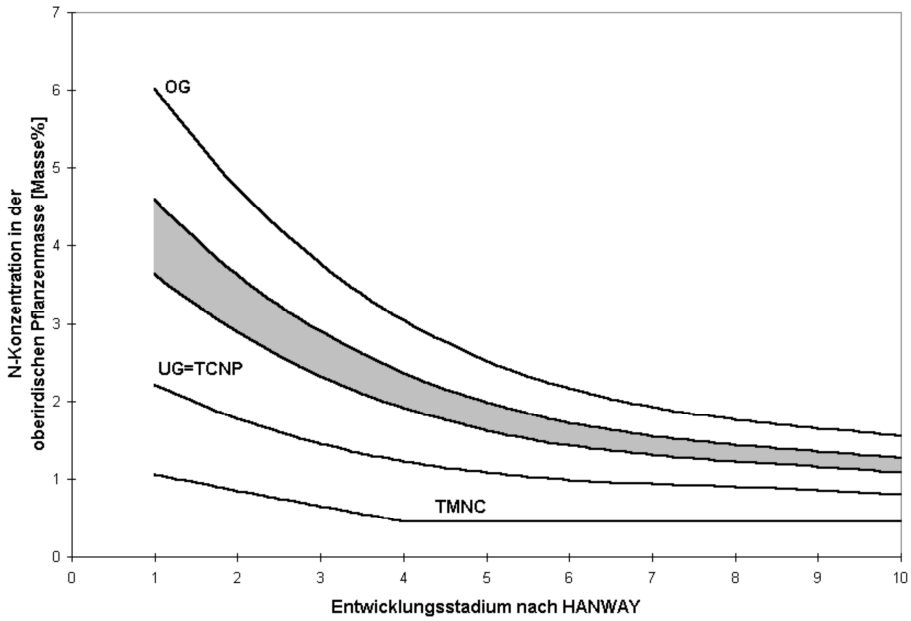


Abbildung 7: Bereiche und Grenzen zur entwicklungsabhängigen N-Konzentration in der oberirdischen Pflanzenmasse von Nichtleguminosen (OG…Obergrenze, UG…Untergrenze = TCNP…kritische N-Konzentration, TMNC…minimale N-Konzentration in der Pflanze)

3.4.8.2 N-Auswaschung

Die N-Auswaschung in den Untergrund ist jene umweltrelevante Komponente, worauf bei der Modellanwendung von STOTRASIM das Hauptaugenmerk gelegt wird und daher auch vorrangiger Maßstab bei der Modellkalibrierung ist. N-Auswaschung in den Untergrund erfolgt dann, wenn in der Bilanzierungsebene die Summe der Stickstoffverlagerung infolge Konvektion und Diffusion/Dispersion einen nach unten gerichteten Stickstoffstrom ergibt.

3.4.9 Bodeninterner Umsatz zwischen den N-Pools

Die am bodeninternen Stickstoffumsatz beteiligten N-Pools sind in Abbildung 6 bereits abgebildet. Die Umwandlungsprozesse zwischen den verschiedenen N-Pools werden fast ausschließlich von den Bodenlebewesen bewerkstelligt und sind daher von deren Aktivität gesteuert. Mineralisation, Nitrifikation, Immobilisation und Denitrifikation werden diesen mikrobiologisch induzierten Vorgängen zugezählt. Dabei werden nicht nur die Stickstoffflüsse sondern auch Teile des Kohlenstoffkreislaufes betrachtet, da Kohlenstoff als Energieträger für die Biomasse Voraussetzung für deren Aktivität ist. Eine Kohlenstoff- und Stickstofffreisetzung (Mineralisation) erfolgt aus den Pools SOS, AOS, $FOS_{strukturell}$ und $FOS_{metabolisch}$. Dabei wird die mineralisierte Kohlenstoffmenge MC jeweils nach der folgenden Gleichung berechnet, wobei die Texturfunktion *Mf(TON)* lediglich bei $FOS_{metabolisch}$ und AOS in die Berechnung eingeht.

MC=PM*CP*Mf(T)*Mf(DS)*MPP*DYN*Mf(TON)

MC…Mineralisierte Kohlenstoffmenge; PM…Organische Masse des Pools; CP…Kohlenstoffgehalt des Pools; MPP…Mineralisationspotential eines Pools; DYN…Dynamisierung infolge Bodenbearbeitung (Abbildung 13); Mf(T)…Aktivität in Abhängigkeit der Bodentemperatur (Abbildung 8); Mf(DS)…Aktivität in Abhängigkeit der Bodenfeuchte (Abbildung 9); Mf(TON)…Aktivität in Abhängigkeit vom Tongehalt (Abbildung 10)

Die begleitende mineralisierte Stickstoffmenge resultiert aus der Division der mineralisierten Kohlenstoffmenge MC mit dem C/N-Verhältnis des betroffenen Pools.

Die funktionalen Abhängigkeiten der mikrobiologischen Aktivität von der Bodentemperatur *Mf(T)* und von der Bodenfeuchte *Mf(DS)* sind in Anlehnung an CLAY et al. (1985) in modifizierter Form in Abbildung 8 und Abbildung 9 festgehalten. Die Bodenfeuchte ist ausgedrückt durch den Grad der Wassersättigung der Bodenporen. Die Bodentemperatur wird anhand eines statistischen Ansatzes berechnet.

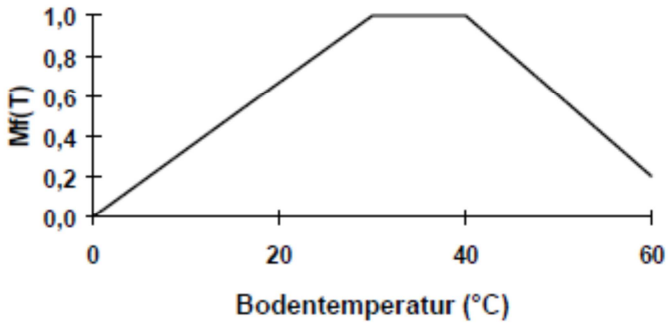


Abbildung 8: Abhängigkeit der mikrobiologischen Aktivität von der Bodentemperatur für Mineralisation, Nitrifikation und Denitrifikation

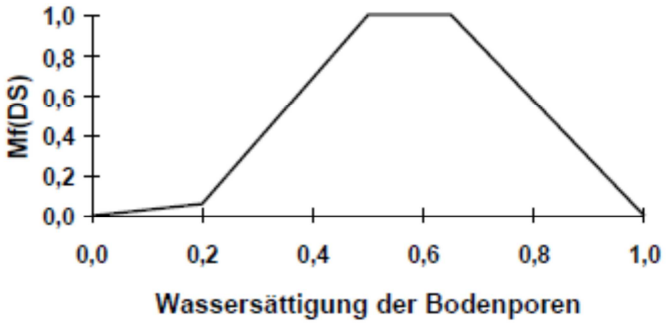


Abbildung 9: Abhängigkeit der mikrobiologischen Aktivität von der Bodenfeuchte für Mineralisation und Nitrifikation

In einer Arbeit zur Umsetzungsdynamik von Pflanzenresten und Wirtschaftsdünger (BUDOI et al., 1998) ist eine funktionale Abhängigkeit der Umsetzungsdynamik vom Tongehalt des Bodens beschrieben. In Anlehnung an diese Publikation wird die funktionale Abhängigkeit der mikrobiologischen Aktivität vom Tongehalt *Mf(TON)* gemäß Abbildung 10 beschrieben.

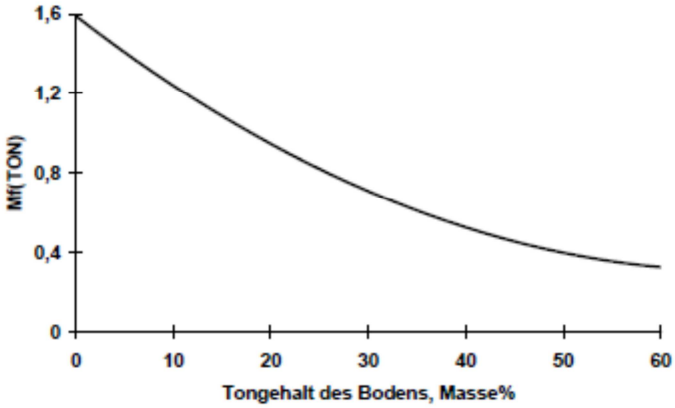


Abbildung 10: Abhängigkeit der mikrobiologischen Aktivität vom Tongehalt des Bodens

Die jedem N-Pool spezifischen Mineralisierungspotentiale sind folgendermaßen formuliert: Sie sind als potentielle Umsatzraten pro Tag anzusehen, sind daher ein Multiplikator für den Vorrat (C bzw. N) eines Pools auf Tagesbasis und haben somit auch die Dimension d-1. Die Initialwerte sind

- $FOS_{metabolisch}$: 0,0333 d-1
- $FOS_{strukturell}$: 0,0015 d-1
- AOS: 0,0033 d-1
- SOS: aus den bisherigen Arbeiten war bekannt, dass eine standörtliche Adaptierung meist erforderlich war, um mit den Modellergebnissen Messwerte einigermaßen zu erreichen. Aus der Zielsetzung einer allgemeinen, flächendeckenden Anwendung des Rechenmodells erwuchs das Bemühen eine möglichst allgemein gültige Formulierung zum Mineralisierungspotential-SOS zu finden. Zu diesem Zweck wurden für eine Reihe von Lysimeterstandorten bzw. von bodenhydrologischen Messplätzen die standörtlichen Mineralisierungspotentiale in Gegenüberstellung von Mess- und Rechenergebnissen optimiert und diese Optima in multiregressiven Analysen mit verschiedenen Standortscharakteristika in Beziehung gebracht. Daraus erwuchs eine multiregressive Beschreibung des Mineralisierungspotentials von SOS als Funktion von Wasserspeicherfähigkeit, von C- bzw. N-Ausstattung des Bodenprofils und von der mittleren Lufttemperatur am Standort, wobei der Wert mit < 0,003 und > 0,00015 begrenzt ist.

Zu den Mineralisierungspotentialen ist für die bereits angesprochene standörtliche Anpassung ein weiterer Faktor (potfak) eingeführt, der alle vier Mineralisierungspotentiale betrifft, indem die Initialwerte durch Multiplikation gleichgerichtet verändert werden. Die Vorgangsweise zur Findung einer multiregressiven Funktionalität war ident zur oben beschriebenen Vorgangsweise. Die Formulierung dieses Multiplikators erfolgt anhand der Wasserspeicherfähigkeit und C- bzw. N-Ausstattung des Bodenprofils in den Grenzen < 1,8 und > 0,1.

Zusätzlich sind die Mineralisierungspotentiale einer Tiefenfunktion unterworfen, welche in Abbildung 11 abgebildet ist. Dieser definierten Funktion folgend ist zu erkennen, dass die höchste potentielle Umsetzungsdynamik an der Bodenoberfläche gegeben ist und bis 100 cm unter Gelände auf 0 abnimmt.

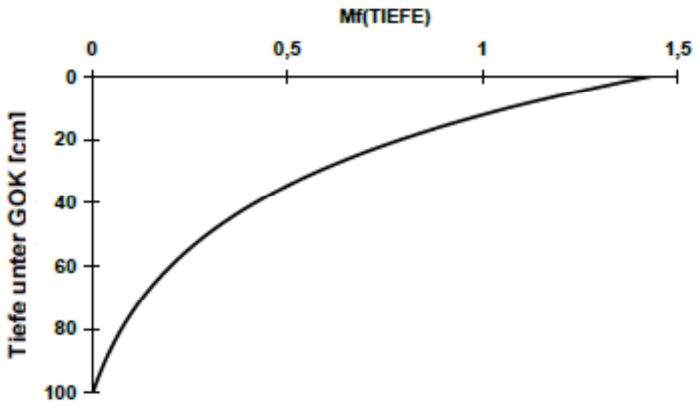


Abbildung 11: Tiefenfunktion zum Mineralisierungspotential

Wie die Ausführungen zum Mineralisierungspotential-SOS und zu „potfak“ bereits verdeutlichen, steckt in diesen Steuergrößen das deutliche Bemühen eine möglichst allgemeine Formulierung für eine flächendeckende Anwendung zu finden. Um einer übermäßigen N-Akkumulation bzw. übermäßigem N-Abbau im Boden vorzubeugen, wird – wenn zur Programmsteuerung so definiert – in einem Unterprogramm von STOTRASIM „potfak“ periodisch nachjustiert, sodass die Summe der N-Vorräte in FOS, AOS und SOS eine gewisse Bandbreite nicht verlässt. Dieser Einschränkung ist die Annahme unterstellt, dass sich das System annähernd im Gleichgewicht befindet und die Austräge von Input/Output-Relationen geprägt sind.

Entsprechend den bisherigen Erfahrungen zu ackerbaulich genutzten Flächen in Österreich wird zur Nitrifikation (NH_4-N → NO_3-N) davon ausgegangen, dass die aus den organischen Vorräten mineralisierten Stickstoffmengen unmittelbar in Nitrat übergehen – also die Nitrifikanten keinen limitierenden Faktor darstellen, so dass die mineralisierten N-Mengen unmittelbar dem Nitrat zugezählt werden. Für die durch Düngemittel zugeführten Ammoniummengen wird die Nitrifikation nach der folgenden Gleichung berechnet.

$$\mathbf{MNO_3 = MNH_4 * Mf(T) * Mf(DS) * DYN}$$

MNO3…nitrifizierte Stickstoffmenge; MNH4…Ammoniummenge im Boden; DYN…Dynamisierung infolge Bodenbearbeitung (Abbildung 13); Mf(T)…Aktivität in Abhängigkeit von der Bodentemperatur (Abbildung 8); Aktivität in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte (Abbildung 9)

Die Immobilisierung von Kohlenstoff und Stickstoff in den einzelnen Pools wird parallel zu den Mineralisierungsberechnungen bewertet. Demnach wird ein Teil der mineralisierten Kohlenstoffmenge (Syntheserate) immobilisiert und die begleitende Stickstoffmenge erwächst aus der Division dieser Kohlenstoffmenge durch das angestrebte C/N-Verhältnis. Netto-N-Mineralisation bzw. -Immobilisation erwächst aus der Differenz von Summe der Mineralisationsmengen aller Pools und Summe der Immobilisationsmengen aller Pools.

Bei der Umsetzung von $FOS_{metabolisch}$ werden die immobilisierten Mengen in den Pool AOS eingebunden, wobei die Syntheserate mit 0,425 festgelegt ist und das angestrebte C/N-Verhältnis in Abhängigkeit vom Stickstoffvorrat in der Bodenlösung zwischen 3 und 15 liegt. Bei der Umsetzung von $FOS_{strukturell}$ wird der immobilisierte Teil in den Pool SOS eingebunden. Die Syntheserate mit 0,6 und das angestrebte C/N-Verhältnis liegen in Abhängigkeit vom Stickstoffvorrat in der Bodenlösung

zwischen 8 und 12. Die Umsetzung von AOS ist von einer Immobilisation in den Pool SOS begleitet; die Syntheserate wird als Funktion des Sand- und Grobstoffgehalts berechnet und liegt zwischen 0,1 und 0,7. Das angestrebte C/N-Verhältnis liegt in Abhängigkeit vom Stickstoffvorrat in der Bodenlösung zwischen 8 und 12. Bei der Umsetzung von SOS wird der immobilisierte Teil in den Pool AOS eingebunden; dies bei einer Syntheserate mit 0,45 und einem angestrebten C/N-Verhältnis in Abhängigkeit vom Stickstoffvorrat in der Bodenlösung zwischen 3 und 15 liegt. Reicht der NO_3-N-Vorrat im Boden nicht aus, um den Stickstoffbedarf abzudecken, der sich aus der Immobilisation ergibt, wird die Umsetzungsdynamik entsprechend abgemindert.

Denitrifikation ist zwar nicht unmittelbar in den geschlossenen Kreislauf der bodenbürtigen N-Pools integriert, ist jedoch sehr eng an die mikrobiologische Aktivität gebunden und wird daher an dieser Stelle als Verlustglied in die Atmosphäre behandelt. OTTOW (1992) bezeichnet die Denitrifikation als einen aeroben Prozess unter anaeroben Bedingungen. Kohlenstoff als Energiequelle und Nitrat als Sauerstoffquelle für den aeroben Prozess sind daher Voraussetzung für Denitrifikation. Unter der Annahme, dass eine enge Beziehung zwischen gelöstem Kohlenstoff und der im Humus (OM) gebundenen Kohlenstoffmenge besteht (HEYDER, 1993) und dass der Sauerstoffgehalt im Boden und die Bodentemperatur die Denitrifikation im Wesentlichen steuern, ist diese nach nachfolgender Gleichung formuliert. Dabei steht der luftgefüllte Porenraum für den Sauerstoffgehalt im Boden, welcher supplementär zum Gesamtporenvolumen durch den Grad der Wassersättigung der Bodenporen beschrieben wird.

DEN = CNO3 * COM * Df(T) * Df(DS) * DEPO

DEN…Denitrifizierende Stickstoffmenge; CNO3…Nitratkonzentration in der Bodenlösung; COM…Kohlenstoffgehalt des Humus (OM); DEPO…Denitrifikationspotential; Df(T)…Aktivität in Abhängigkeit der Bodentemperatur (Abbildung 8); Df(DS)…Aktivität in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte (Abbildung 9)

Die Funktion *Df(T)* ist jener für Mineralisation und Nitrifikation gleichgesetzt (Abbildung 8). Die Funktion *Df (DS)* ist zusätzlich von der Bodentemperatur beeinflusst, da ein Sauerstoffdefizit umso eher auftritt, je höher der Sauerstoffbedarf infolge höherer mikrobiologischer Aktivität ist, was in Abbildung 12 abgebildet ist.

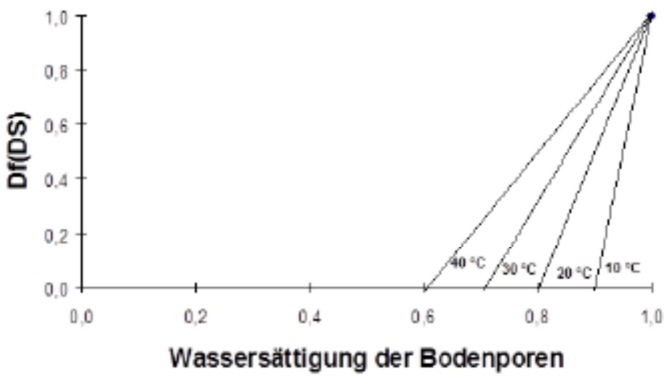


Abbildung 12: Abhängigkeit der Aktivität von der Bodenfeuchte zur Denitrifikation

3.4.10 NO_3-N-Transport im Boden

Die vertikale Nitratverlagerung im Boden infolge Massenfluss (Konvektion) und Diffusion/Dispersion wird durch die partielle Differentialgleichung (siehe unten) beschrieben, welche für den stationären und instationären Transport von gelösten Stoffen, die nicht sorbierbar sind, im ungesättigten Boden gilt (DUYNISVELD, 1983). Der Koeffizient D in nachfolgender Gleichung ist aus dem molekularen Diffusionskoeffizienten und den longitudinalen Dispersionskoeffizienten zusammengesetzt.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} * \left(\theta D \frac{\partial c}{\partial z}\right) - \frac{\partial qc}{\partial z}$$

θ…*Volumetrischer Wasseranteil; C…Konzentration in der Bodenlösung; D…scheinbarer Diffusionskoeffizient; q…vertikaler Wasserfluss im Boden; t…Zeitkoordinate bzw. Zeitschritt; z…vertikale Koordinate bzw. Kompartimentstärke*

Der vertikale Wasserfluss im Boden und die daraus resultierenden Wassergehaltsänderungen werden von SIMWASER übernommen. Zur Lösung von obiger Gleichung und deren numerische Behandlung in Form einer Finite-Differenzengleichung samt den zugehörigen Randbedingungen wurde in STOTRASIM den Ausführungen von DUYNISVELD (1983) gefolgt, worauf bezüglich Details verwiesen wird.

Evaporation wird in STOTRASIM in der Form berücksichtigt, dass an der Bodenoberfläche eine Wasserabgabe an die Atmosphäre jedoch keine NO_3-N-Abgabe erfolgt. Dies führt in den Kompartimenten nahe der Bodenoberfläche zu einer Konzentrationserhöhung entsprechend der Verminderung des Lösungsmittels. Die Evaporationsmenge wird von SIMWASER übernommen.

3.4.11 Prozesssteuernde Elemente

3.4.11.1 Bodentemperatur

Bodentemperaturen, die bei den bodeninternen Umsetzungsvorgängen Prozess steuernd sind, werden in STOTRASIM täglich in Abhängigkeit von der Tiefe berechnet. Dieser Kalkulation liegt einstatistischer Ansatz zugrunde (MÜLLER & DÖRING, 1989), der von einem jahreszeitlichen Verlauf der tiefenspezifischen Bodentemperatur ausgeht und die mittlere Lufttemperatur des aktuellen Tages und der beiden Vortage berücksichtigt. Die Justierung der simulierten Bodentemperatur in STOTRASIM wurde mit Hilfe von Messwerten aus Obersiebenbrunn (Marchfeld, Niederösterreich), aus Baldramsdorf (Spittaler Feld, Kärnten) und aus Wagna (Leibnitzer Feld, Steiermark) durchgeführt.

3.4.11.2 Bodenbearbeitung

Bodenbearbeitungsmaßnahmen sind im STOTRASIM über die Bewirtschaftungsdatei einzugeben, wobei der Zeitpunkt, die Art der Bodenbearbeitung und die Bearbeitungstiefe festzulegen sind. Eine Bodenbearbeitung hat zur Folge, dass in der Simulationsrechnung einerseits eine Homogenisierung einzelner N-Pools über die Bearbeitungstiefe erfolgt, andererseits die mikrobiologische Aktivität in der Bearbeitungstiefe durch bessere Durchlüftung angekurbelt wird, was in den Gleichungen (1) und (2) durch den Dynamisierungsfaktor DYN bereits angesprochen wurde. Eine Bodenbearbeitung bewirkt eine völlige Durchmischung des bodenbürtigen N-Pools FOS für die Bearbeitungstiefe und somit einen einheitlichen durchschnittlichen FOS-Gehalt in dieser. Der Dynamisierungsfaktor DYN wird für den Bereich der Bearbeitungstiefe und zum Bearbeitungszeitpunkt auf 4 gesetzt und

reduziert sich im Laufe der nächsten 30 Tage linear auf 1, was Abbildung 13 veranschaulicht. Die Art der Bodenbearbeitung findet vorläufig in der Modellrechnung keinen Niederschlag.

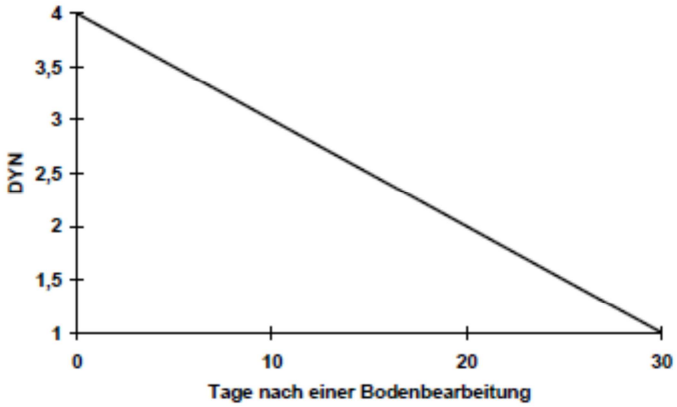


Abbildung 13: Zeitabhängigkeit des Faktors für die Dynamisierung der Umsetzungsvorgänge nach einer Bodenbearbeitung

3.4.12 Übersicht Inputdaten für STOTRASIM

In der Tabelle 5 sind die für STOTRASIM erforderlichen Input-Daten zusammengefasst, wobei eine Unterteilung in Input-File, Informationsebene und erforderliche Parameter vorgenommen ist.

Tabelle 5: Datenbedarf zur Simulation mit STOTRASIM

File	*Informationsebene*	*Parameter*
Wetter	Tägliche Klimawerte	Niederschlagsmenge [mm/d] Lufttemperatur (7.00, 14.00, 19.00 Uhr, Max., Min.) [°C] relative Luftfeuchtigkeit (7.00, 14.00, 19.00 Uhr) [%] mittlere Windgeschwindigkeit [m/s] Globalstrahlungssumme [J/cm²/d]
Standort	Bodenprofil Bodenschicht	Abfolge der Bodenschichten Mächtigkeit der Bodenschichten Angabe der Bilanzierungsebene Charakteristik der Wasserspeicherfähigkeit Charakteristik der Wasserleitfähigkeit Diffusions-/Dispersionskoeffizient Ausgangswerte zu: Humusgehalt (OM) C/N-Verhältnis von OM Gehalt an frischer organischer Substanz (FOS) C/N-Verhältnis von FOS NH4-N-Gehalt NO3-N-Konzentration
Bewirtschaftung	Fruchtfolge Bewässerung Mineraldüngung organische Düngung Bodenbearbeitung	Kulturart Anbaudatum Erntedatum Anteil der am Feld verbleibenden Pflanzenreste Datum der Bewässerung Bewässerungsmenge NO3-N-Konzentration im Bewässerungswasser Datum der Düngung Düngermenge an NH4-N und NO3-N Datum der Düngung

	Trockenmasse Kohlenstoffgehalt der Trockenmasse C/N-Verhältnis der Trockenmasse NH4-N- und NO3-N-Menge in der Trockenmasse Datum der Bodenbearbeitung Art der Bodenbearbeitung Bearbeitungstiefe

3.4.13 Umrechnungsfaktoren

Die Umrechnung von der modellierten oberirdischen Trockenmasse in Kornertrag-Trockenmasse der einzelnen Kulturen für die mittlere Ertragslage (Tabelle 6) erfolgt mit den Faktoren nach IOCC (2006). Die Faktoren für die Zuckerrübe basieren auf Angaben der AGRANA (mündliche Mitteilung von DI Herbert Eigner, AGRANA Research & Innovations Center GmbH, Tulln).

Tabelle 6: Faktoren zur Berechnung des TM-Anteils der Körner aus der oberirdischen Trockenmasse für die einzelnen Kulturen (*…mündliche Mitteilungen)

Kultur	Faktor für mittlere Ertragslage
Mais	0,500
Weizen	0,556
Gerste	0,557
Triticale	0,526
Sojabohne	0,500
Kartoffel	0,833
Zuckerrübe	0,740*
Körnerraps	0,370
Sonnenblume	0,330
Ölkürbis	0,260

3.4.14 Modellverifizierung

Es stehen neun verschiedene Standorte in unterschiedlichen Regionen (Niederschlagsbandbreite von 534 bis 1030 mm) für den Vergleich von gemessenen Erträgen mit modellierten Erträgen (oberirdische Trockenmasse) zur Verfügung (siehe Tabelle 7). Das Bestimmtheitsmaß des linearen Zusammenhanges liegt im Bereich zwischen 0,49 und 0,95. Die besten Zusammenhänge (0,92-0,95) wurden mit Messwerten auf Versuchsparzellen gefunden.

Tabelle 7: Ertragsvergleich in Trockenmasse (TM) der Versuchsparzellen gegenüber der Modellrechnung

Standort	Produktionsgebiet, Nummer	Niederschlag [mm]	Temperatur [°C]	Oberirdische TM R^2
Lobau 3 Lysimeter 6 Parzellen	Nö. Flach- und Hügelland, 808	534	11,0	0,49 – 0,87
Pettenbach 3 Lysimeter	Alpenvorland, 608	1.030	8,4	0,66
Eberstalzell 1 Lysimeter	Alpenvorland, 608	1.006	8,4	0,71
Pucking 4 Lysimeter	Alpenvorland, 608	753	8,6	0,52
Wagna GPV 2 Parzellen 18 konv/14 bio	Sö. Flach- und Hügelland, 703	921	8,8	0,52 – 0,70 (TM Kornertrag)
Standort	Produktionsgebiet, Nummer	Niederschlag [mm]	Temperatur [°C]	Oberirdische TM R^2
Güssing 4 Parzellen	Sö. Flach- und Hügelland, 707	777	10,0	0,94
Thalheim 4 Parzellen	Alpenvorland, 609	756	8,6	0,94
Hasendorf 4 Parzellen	Sö. Flach- und Hügelland, 703	880	8,8	0,92
Pölla 4 Parzellen	Wald- und Mühlviertel, 405	1.078	8,3	0,92

3.5 Methode zur Ertragsmodellierung im Grünland

Für die Bearbeitung des gegenständlichen Projektes wurde das im Projekt GT Hartberg (Projekt Nr. 100082) entwickelte Grünlandertragsmodell SpatialGRAM an die Anforderung von BEAT angepasst und mit den Klimamodelldaten (siehe 3.1.3) ausgeführt. Es wurde jeweils eine 30-jährige Referenzperiode von 1981 bis 2010 sowie zusätzlich eine weitere Referenzperiode desselben Zeitraums auf Basis gemessener Wetterdaten (ZAMG-Stationen) berechnet. Damit können die relativen Veränderungen zwischen den beiden Zeiträumen zusammen mit einer Fehlerkorrektur der Modelldaten auf der Grundlage von Messdaten ermittelt werden. Die Ergebnisse liegen im Rasterdatenformat mit einer räumlichen Auflösung von einem Kilometer vor, die auch auf Kleinproduktionsgebietsebene aggregiert wurden. Im vorliegenden Bericht werden die wichtigsten methodischen Ansätze von SpatialGRAM mit den dafür notwendigen Datenaufbereitungsschritten beschrieben. Eine detaillierte Darstellung der Methodik mit einer entsprechenden wissenschaftlichen Auswertung und Evaluierung findet sich in SCHAUMBERGER (2011).

3.5.1 Klimadaten

Aus den täglichen Wetterparametern Globalstrahlung, Minium und Maxium der Lufttemperatur, Niederschlag, relative Luftfeuchte sowie Wind wurde nach ALLEN et al. (1998) die Referenz-Evapotranspiration nach Penman-Monteith berechnet und zusammen mit der ebenfalls errechneten Tagesmitteltemperatur, der Tagesminimumtemperatur, der Globalstrahlung sowie dem Niederschlag in eine ArcGIS-Datentabelle innerhalb einer File Geodatabase gespeichert. Diese Tabellen wurden mit den räumlichen Bezugsrasterzellen verbunden und in ArcGIS Rasterdaten umgewandelt. Auf diese Weise entstanden für jeden Parameter und jeden Tag Österreichkarten in 1-Kilometer-Auflösung. Allein die Konvertierung der Wetterdaten aus dem Textformat in ArcGIS Rasterdaten nahm mehrere Wochen Rechenzeit in Anspruch. Diese Wetterrasteroberflächen bildeten zusammen mit den Bodendaten die Basis für die Verwendung in SpatialGRAM.

3.5.2 Bodendaten

Vom Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt des Bundesamts für Wasserwirtschaft wurde die für die vorliegende Modellierung benötigte nutzbare Feldkapazität des Bodens als Maß für die Wasserspeicherfähigkeit aus der digitalen Bodenkarte des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrums für Wald (BFW) abgeleitet (MURER et al. 2004; MURER 2009). Der Parameter wurde über Pedotransferfunktionen aus der Korngrößenverteilung, dem Humus- und Kalkgehalt sowie dem pH-Wert berechnet.

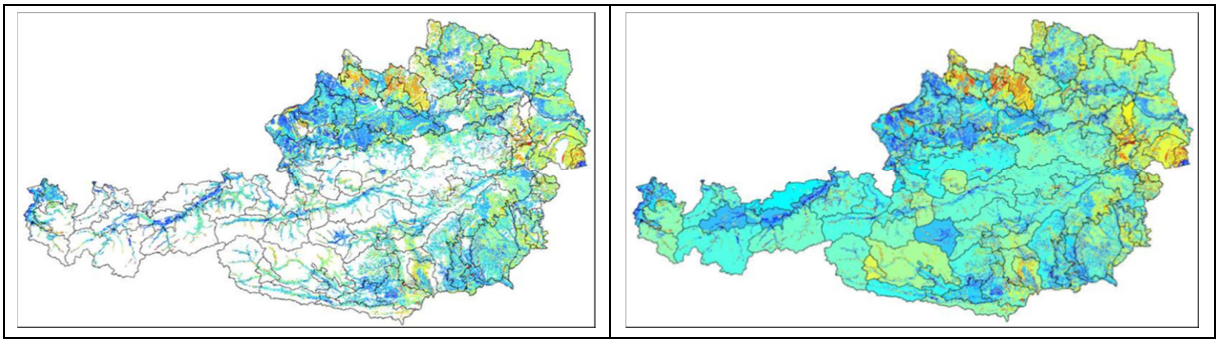


Abbildung 14: Nutzbare Feldkapazität der landwirtschaftlichen Nutzfläche (links) und flächendeckende Information der nutzbaren Feldkapazität auf Basis einer räumlichen Schätzung (rechts)

Die nutzbare Feldkapazität ist ausschließlich für die landwirtschaftliche Nutzfläche Österreichs verfügbar. In Abbildung 14 (links) ist die räumliche Verteilung dieses Parameters am Beispiel des Bodenhorizontes 0 – 20 cm dargestellt. Die eingezeichneten Grenzen entsprechen den Kleinproduktionsgebieten (WAGNER 1990a, 1990b). Die weißen Flächen in Abbildung 14 (links) sind „Null"-Werte, d.h. sämtliche Operationen mit diesen Rasterzellen führen zu keiner vollständigen Aussage. Das Ergebnis der Ertragsrechnung ist somit sehr „lückig". Um flächendeckende Ergebnisse generieren zu können, wurde folgende Ergänzung vorgenommen: Der Durchschnitt der nutzbaren Feldkapazität aller besetzten Rasterzellen innerhalb eines Kleinproduktionsgebietes wurde berechnet und mit den tatsächlich verfügbaren Daten kombiniert (siehe Abbildung 14, rechts).

Im Zuge eines Resamplings (Median) der ursprünglichen 250-Meter-Auflösung auf die Zielauflösung von einem Kilometer erfuhr der Datensatz eine Glättung der Grenzen zwischen den ursprünglich besetzten Rasterzellen und den Kleinproduktionsdurchschnittszellen.

Diese Daten konnten nun zusammen mit den Klimadaten als Grundlage für die Berechnung der Bodenwasserbilanz verwenden werden und dienten somit zur Ermittlung von Wasserstress und in weiterer Folge des Grünlandertrages und seiner klimabedingten Variabilität. Der Vorteil besteht darin, dass mit diesen modifizierten Bodendaten flächendeckende Ergebnisse gerechnet werden können, die sonst nur auf die aus der ursprünglichen Karte besetzten Zellen beschränkt bleiben würden. Möchte man diese geschätzten Flächen in einer Ergebnisanalyse ausklammern, könnte im Nachhinein noch immer mit den originalbesetzten Zellen maskiert werden.

3.5.3 Berechnung des Beginns 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. Damit wird die eng mit dem Ertrag zusammenhängende Aufwuchsdauer wesentlich von diesem Termin bestimmt.

Mit dem Auftauen des Bodens im Frühjahr und bei Temperaturen um 3 bis 5 °C beginnt das Wachstum; die Wiesen und Weiden ergrünen. Ein weiterer Temperaturanstieg beschleunigt die Entwicklung in Abhängigkeit der jeweiligen Art (Chmielewski 2007). Die Pflanzen eines Mischbestandes reagieren auf thermische Reize unterschiedlich und die einzelnen Entwicklungsphasen verlaufen deshalb auch nicht einheitlich. Die Bestimmung eines diskreten Datums für den Vegetationsbeginn stellt in Hinblick auf die Heterogenität des Grünlandpflanzenbestandes eine gewisse Abstraktion der realen Verhältnisse dar. In der vorliegenden Arbeit wurde für die Berechnung der Grünlanderträge der Vegetationsbeginn mit einer Kombination mehrerer Temperaturschwellenwerte (Multicriterial Thermal Definition (MTD)) errechnet.

Ausgehend von der Grundüberlegung, dass bei einem durchgehenden Zeitraum von einigen Tagen mit ausreichend hohen Temperaturen das Pflanzenwachstum einsetzt, wird bei MTD das Zeitfenster gegenüber dem vielfach verwendeten Standardkriterium von 5 Tagen auf 10 Tage erweitert und hinsichtlich des Auftretens von Frostereignissen untersucht. Innerhalb dieses Zeitraums muss das einfache 5 °C-Kriterium für fünf aufeinanderfolgende Tage erfüllt werden. Darüber hinaus muss die Durchschnittstemperatur des 10-tägigen Zeitraums 6 °C überschreiten. In Abbildung 15 ist das Schema der Kombination verschiedener Schwellenwerte grafisch dargestellt.

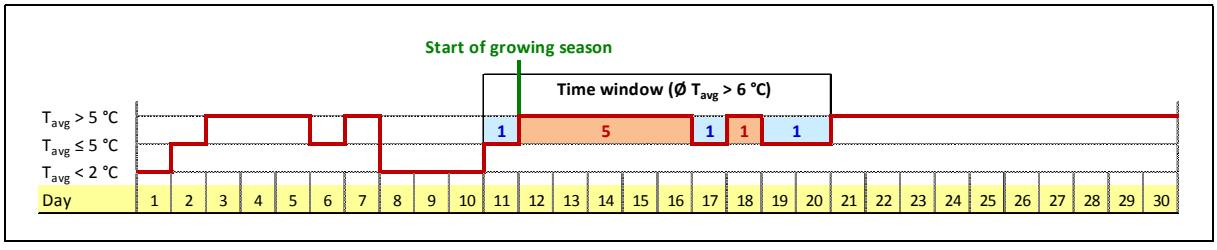


Abbildung 15: Schematische Darstellung des Vegetationsbeginns nach MTD

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 abgewichen, 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. Die Ergebnisse in Abbildung 16 zeigen, dass die Festsetzung des Vegetationsbeginns einer plausiblen und realistischen räumlichen Verteilung entspricht. In den Karten dieser Abbildung sind die Ergebnisse im Mittel der beiden Klimaperioden für das Modell ALADIN und CMIP5 dargestellt.

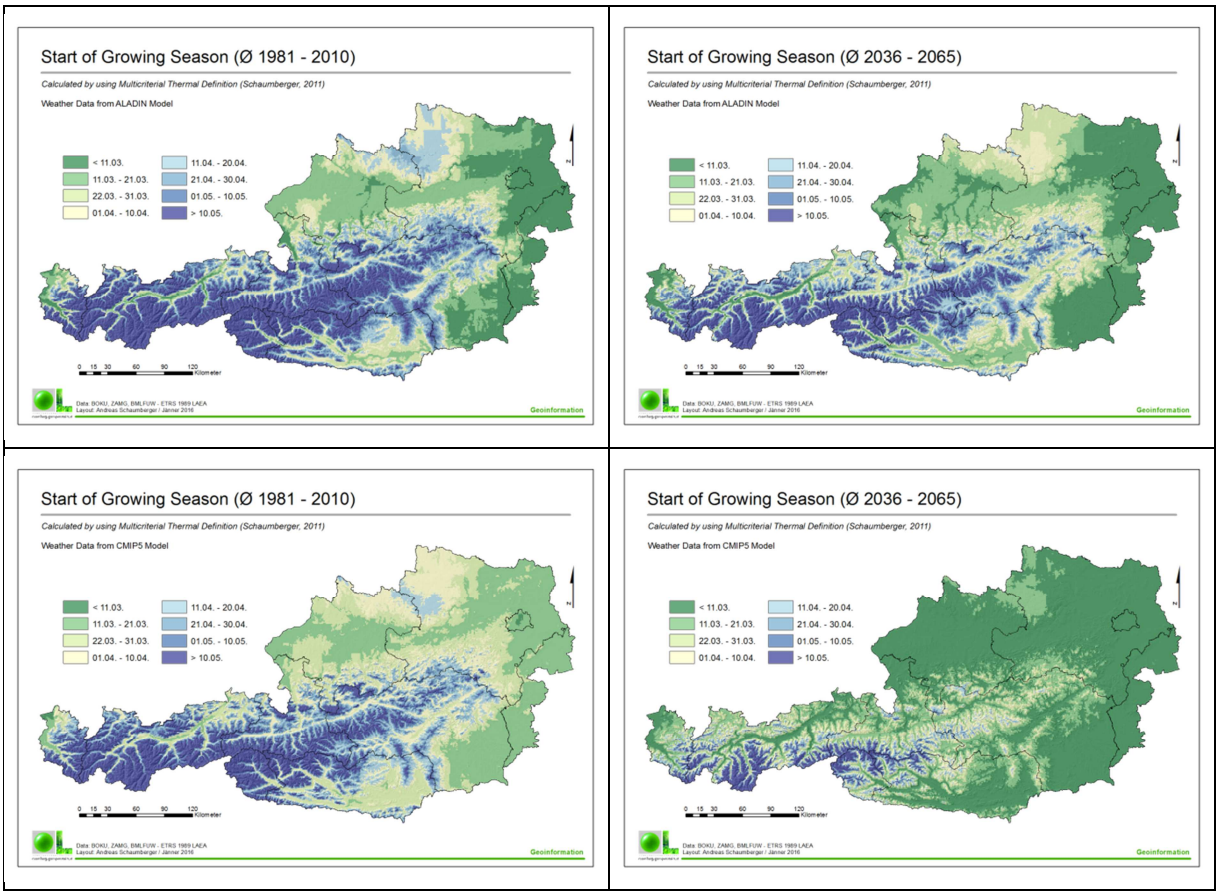


Abbildung 16: Mittlerer Beginn der Vegetationsperiode nach MTD für die beiden Klimaszenarien

3.5.4 Berechnung der 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 eine häufigere. 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, wurden langjährige Beobachtungen ausgewertet. Dazu standen Temperaturdaten an ZAMG-Messstationen und die Erntezeitpunkte zahlreicher Versuche der HBLFA 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 musste 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 9.364 Beobachtungen wurden nur jene verwendet, welche den hier abzubildenden Nutzungssystemen entsprechen und über eine vollständige Reihe von Aufwüchsen verfügen. Die verbleibenden 3.243 Datensätze mit den erhobenen Ernteterminen wurden 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, wurden über die Dauer eines Aufwuchses, also vom Start- bis zum Erntetermin, akkumuliert. Bei einer Basistemperatur von 0 °C fanden für die Bildung der Temperatursumme nur die über dieser Schwelle liegenden Temperaturen Berücksichtigung (Degree days).

(3) An den Versuchsstandorten wurden 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 wurden 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 musste, erforderte dies eine Vielzahl an Iterationen in Verbindung mit temporären und persistenten Speicherstrukturen. Neben dem Median wurden für eine statistische Beschreibung des Datenbestandes an jeder Versuchsstation

auch das arithmetische Mittel, das Minimum und Maximum berechnet. Die Klassifizierung von Ausreißern bezieht sich auf Werte, die außerhalb der dreifachen Standardabweichung liegen.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 17 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 dem 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 aus der Temperatursumme ermittelten 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 17 dargestellten Nutzungszeitpunkten bilden die Basis für das hier implementierte Schnittnutzungs-modell.

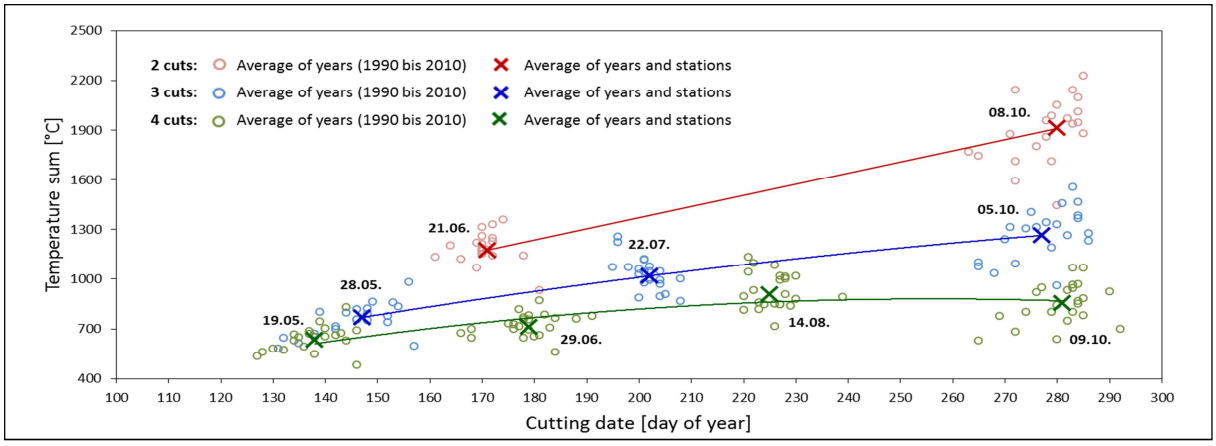


Abbildung 17: Beziehung zwischen aufwuchsbezogenen Temperatursummen und Ernteterminen unterschiedlicher Schnittsysteme auf Basis langjähriger Mittelwerte

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 wurde jedoch nicht der funktionale Zusammenhang zwischen Temperatursumme und Erntetermin ausgewertet, da dies extreme Verschiebungen ergeben würde, welche nicht der landwirtschaftlichen Praxis entsprächen. Es wurden hingegen die relativen Änderungen der jährlichen Temperatursummen für die Berechnung von Abweichungen der in Abbildung 17 dargestellten Zentralwerte verwendet. Damit wurde erreicht, dass Verschiebungen des Erntezeitpunktes weniger sensibel auf Schwankungen der Temperatursumme reagieren und den beträchtlichen Einfluss vieler unbekannter Faktoren nicht verzerren. In Abbildung 18 wird die Übertragung der jährlichen Temperatursummenanomalien auf die Schwankungsbreite der Erntezeitpunkte in einem vereinfachten Schema dargestellt.

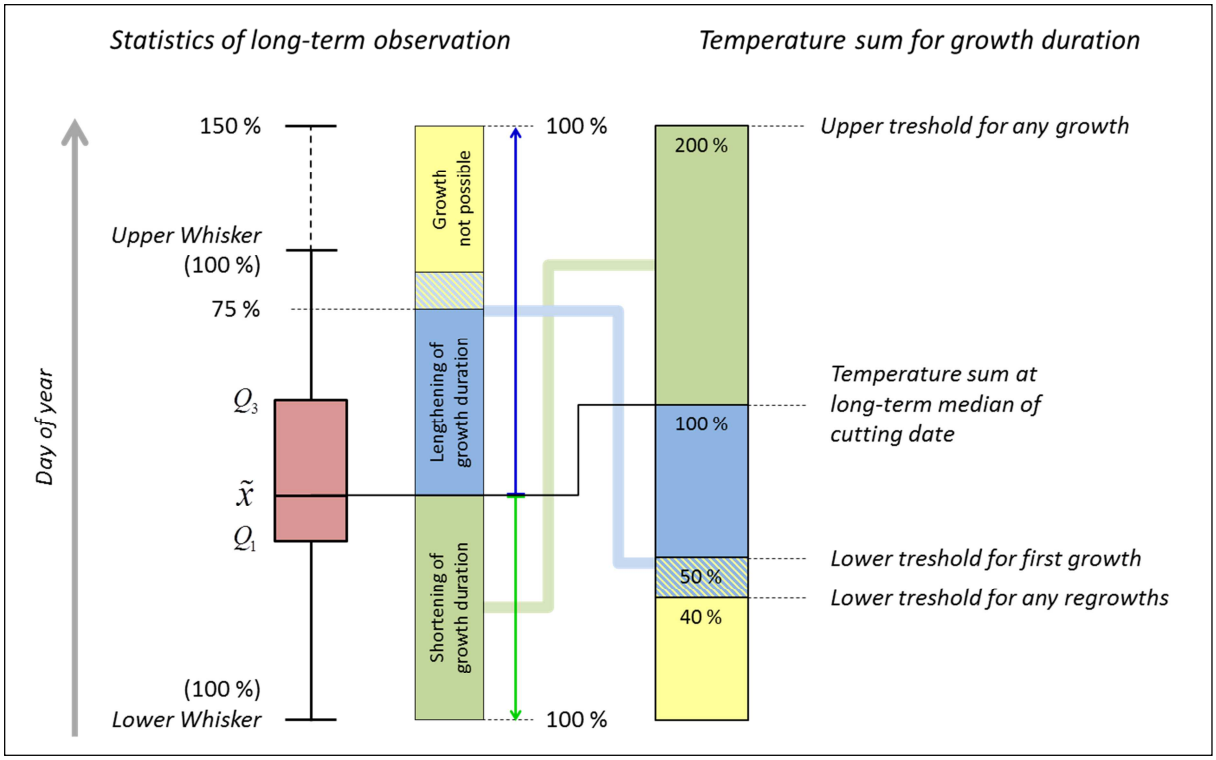


Abbildung 18: Schematische Darstellung der Ermittlungen des Erntezeitpunktes aus Temperatursummen

Die Variabilität der Temperatursumme wurde mithilfe dieses Ansatzes als relative Änderung der Nutzungszeitpunkte auf der Grundlage von langjährigen Grünlandexperimenten (vgl. Abbildung 16) abgebildet. Die rechte Säule in Abbildung 18 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 17 ist diese Basis für jeden Aufwuchs der verschiedenen Nutzungssysteme abgebildet. Die für den mittleren Erntezeitpunkt berechnete Temperatursumme des aktuellen Jahres wird dem Basiswert gegenübergestellt und als relative Abweichung festgehalten.

Als obere Grenze ist eine Verdoppelung der Temperatursumme (200 %) vorgesehen. Darüberhinausgehende 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 engen Zusammenhangs zwischen der Temperatur und der Seehöhe wird durch diese Restriktion die Ausweisung eines Schnittsystems in einer dafür nicht geeigneten Höhenlage vermieden. Da bei den Folgeaufwüchsen die Variabilität der Nutzungszeitpunkte zunimmt (vgl. Abbildung 17), wird der untere Schwellenwert etwas herabgesetzt und mit 40 % angenommen.

Im linken Bereich der Abbildung 18 sind die statistischen Parameter des Aufwuchs bezogenen 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 oberen *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 erfolgten aufgrund umfangreicher Testläufe für die Untersuchungsjahre.

Für jede Zelle der Rasteroberfläche wurde 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 wurden in Ergebniskarten gespeichert und für weitere Analysen bereitgestellt. Eine detaillierte Beschreibung für die Erstellung von Schnitthäufigkeitskarten findet sich in SCHAUMBERGER (2011, 205ff).

3.5.5 Geschätzte 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.

Die Bodenwasserbilanz und eine damit mögliche Beurteilung der Wasserverfügbarkeit ist die Voraussetzung für eine Auswertung der Beziehung von Wetter und Ertrag. Eine negative Bilanz führt bei anhaltend trockenen Bedingungen zu Wasserstress und damit zu Ertragsminderungen. Ausgehend vom Niederschlag und der Referenz-Evapotranspiration wurde ein einfaches Modell der FAO (ALLEN et al., 1998) implementiert. Zunächst 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 nutzbare Feldkapazität ergab in Kombination mit angepasster Grünland-Evapotranspiration, Niederschlag, Tiefenversickerung und Bodenwasserabsenkung die aktuelle Evapotranspiration als Resultat der Bilanz. Die räumliche 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 beiden Wetterinformationen angewandt. 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 dessen 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 effektive 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 einem RMSE (Root Mean Square Error) von 6,69 dt TM ha^{-1} $Aufwuchs^{-1}$ ergab sich 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 diese im Jahresertrag deutlich und spiegelt sich in den Ergebnisoberflächen wider. 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.

3.5.6 Schätzung der Grünlanderträge auf Basis der BEAT-Klimamodelldaten

Für die Schätzung der Energiegehalte der Grünlanderträge wurde die Biomasse im Gegensatz zu dem in 3.4 beschriebenen Ansatz nicht mittels Modellrechnung (SpatialGRAM) unter Einbeziehung von Standort- und Klimafaktoren berechnet, sondern auf Basis von durchschnittlichen Ertragspotenzialen. Unter Einbeziehung von INVEKOS-Schlagnutzungsdaten wurden mittlere Ertragsniveaus je Grünlandart festgelegt und diese mittels Kennwerte für die grünlandartspezifische Energiedichte zur Berechnung des Energieertrags umgelegt. Dieser wurde anschließend für die Grünlandfläche innerhalb der Kleinproduktionsgebiete aufsummiert.

Bei den Kennwerten für Energiedichte und für die durchschnittlichen Trockenmasseerträge handelt es sich um Schätzwerte für die jeweiligen Grünlandarten, deren Flächenausmaß den Mehrfachantragsdaten (INVEKOS) des Jahres 2010 in Abstimmung mit der Referenzperiode 1981 bis 2010 entnommen wurden.

Die verwendeten Trockenmasseertragspotenziale und Energiedichtezahlen sowie die Flächen der jeweiligen Grünlandart sind der Tabelle 8 zu entnehmen. Bei der Interpretation der Ergebnisse, die in den folgenden Abbildungen dargestellt sind, muss berücksichtigt werden, dass sowohl die Trockenmasseerträge als auch die Energiedichte innerhalb einer Grünlandart stark variieren können und sowohl von den Standort- als auch von den Bewirtschaftungsfaktoren abhängt (vgl. Tabelle 8). Zudem wird in der flächenmäßig bedeutendsten Grünlandklasse 717 nicht zwischen Drei-, Vier- und Mehrschnittsystem unterschieden. Gerade in dieser Klasse hängt der Ertrag sehr stark von der

jeweiligen Nutzungsfrequenz ab, muss aufgrund der Datenverfügbarkeit jedoch mit einem einheitlichen Trockenmasse- und Energiekennwert qualifiziert werden.

Tabelle 8: Durchschnittliche Erträge und Flächensumme der Grünlandarten (INVEKOS, 2010) (TM…Trockenmasse; NEL…Netto-Energie-Laktation)

Code	Name	kg TM/ha	MJ NEL/kg TM	Flächen [ha]
701	EINMÄHDIGE WIESE	3000	4,3	25.030
704	STREUWIESE	4500	3,2	4.492
707	HUTWEIDE	3000	5,0	64.696
708	BERGMÄHDER	2000	5,0	4.553
710	SONSTIGE GRÜNLANDFLÄCHEN	4000	5,0	2.697
715	DAUERWEIDE	7000	6,0	64.828
716	MÄHWIESE/-WEIDE ZWEI NUTZUNGEN	5500	5,3	264.739
717	MÄHWIESE/-WEIDE DREI UND MEHR NUTZUNGEN	8500	5,8	492.876

Die Festlegung der Kennwerte in Tabelle 8 basiert auf den Arbeiten von BUCHGRABER (2000), BUCHGRABER und GINDL (2004) sowie PÖTSCH und RESCH (2005).

Wie stark die Erträge innerhalb einer Grünlandart variieren können, zeigt die Auswertung von Pötsch in Abbildung 19. Ertragsberechnungen auf Basis von Durchschnittswerten stellen aus diesem Grund nur eine Annäherung an die reale Situation dar. Dies gilt vor allem bei der Berechnung des Energieertrages, welcher das Ergebnis von zwei aufeinanderfolgenden Vereinfachungen ist, nämlich der Schätzung der Trockenmasseerträge mit Durchschnittswerten sowie deren Transformation in Energieerträge mittels durchschnittlicher Energiedichtekennzahlen.

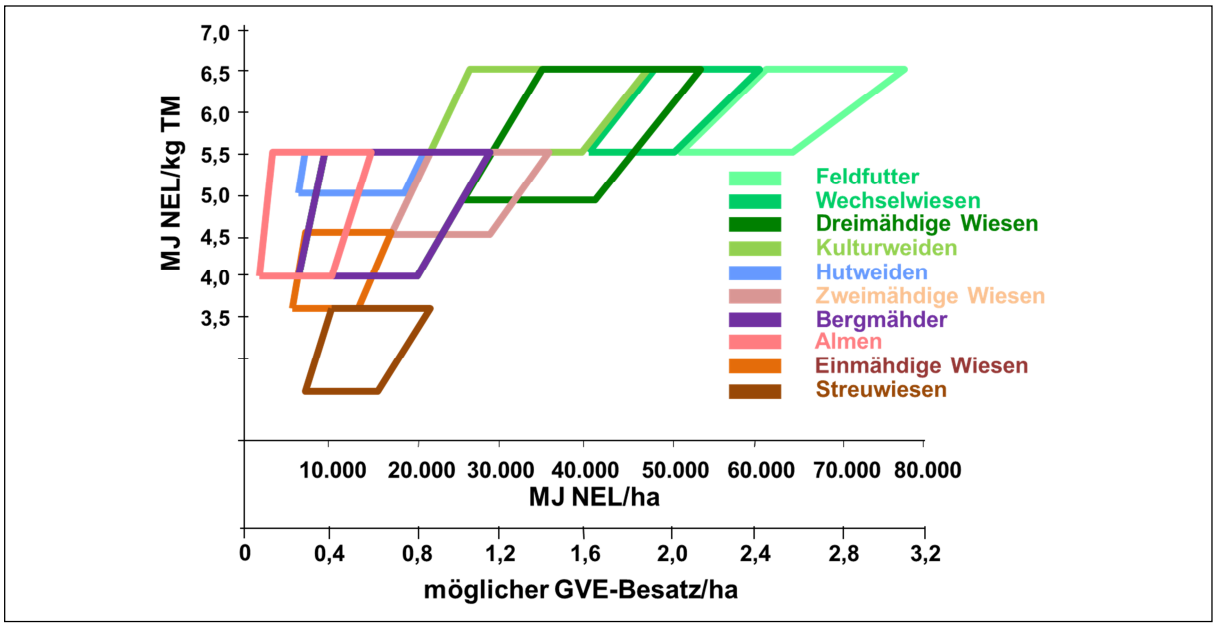


Abbildung 19: Ertrag und Futterqualität im österreichischen Grünland (Pötsch, 1997; Buchgraber 1998)

3.6 Ermittlung von wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen auf der Ebene von Kleinproduktionsgebieten – auf Basis der Ertragspotentiale der Böden

Zusätzlich zur bundesweiten Darstellung der Ertragspotentiale (siehe Abbildungen in den Kapiteln 4.1 und 4.2) sollten auch regionale produktive Flächen für die Landwirtschaft auf der Ebene der Kleinproduktionsgebiete (KPG) ermittelt werden. Aufgrund der klimatischen und geologischen Heterogenität innerhalb Österreichs orientierten wir uns an der Gliederung der landwirtschaftlichen Produktionsgebietskulisse, die das Bundesgebiet aufgrund der gegebenen Produktionsbedingungen in 87 unterschiedliche Kleinproduktionsgebiete unterteilt (WAGNER 1990a; WAGNER 1990b). Um die großen regionalen Unterschiede der österreichischen Ertragsbedingungen zu berücksichtigen, wurden nun die wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen für jedes Kleinproduktionsgebiet separat ermittelt. Die dabei angewandte Methode wird in diesem Kapitel erläutert.

Für die Auswertung und Darstellung der Ertragspotentiale von Österreichs Böden wurden vorwiegend die Daten der Bodenkartierung, für nicht kartierte Gebiete jene der Bodenschätzung herangezogen, womit eine vollständige Erfassung der landwirtschaftlichen Flächen Österreichs und deren Evaluierung möglich wurde (siehe Kapitel 3.3). Die Stärke der Bodenkartierungsdaten liegt in der detaillierten Bodenbeschreibung, die insbesondere über das ökologisch/naturschutzfachliche Potential eine umfangreichere Aussagekraft besitzt.

Für die Ermittlung der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen auf regionaler Ebene der Kleinproduktionsgebiete wurden hingegen die Bodenschätzungsdaten verwendet, da diese neben der parzellenscharfen Abgrenzung eine Quantifizierung und somit auch eine Vergleichbarkeit der natürlichen Ertragsfähigkeit erlauben. Für die Selektion der naturschutzfachlich wertvollen Flächen (z.B. Salzböden) wurden die aussagekräftigeren Bodenkartierungsdaten herangezogen.

3.6.1 Relevante Grundlagen der Bodenschätzungsdaten

3.6.1.1 Boden- und Grünlandgrundzahl sowie Acker- und Grünlandzahl

Die Bewertung der Böden bei der Bodenschätzung basiert auf einem vergleichenden Bewertungssystem mit Bundes- und Landesmusterstücken als Bezugsbasis. Das sind österreichweit mehr als 460 Bewertungsstützpunkte, die bei der Beurteilung der natürlichen Ertragsbedingungen jedes Bodens innerhalb eines Punkterahmens von 1 bis 100 heranzuziehen sind. Damit wird eine österreichweit einheitliche, standardisierte und vergleichbare Bewertung aller Böden erreicht.

Für jede Bodeneinheit wird so im Zuge des Schätzverfahrens eine Wertzahl – immer im Vergleich zur Bewertung eines relevanten Musterstücks – zwischen 1 (=geringste Ertragsfähigkeit) und 100 (=höchste Ertragsfähigkeit) vergeben, die im Falle von Ackerböden als Bodenzahl, im Falle von Grünlandböden als Grünlandgrundzahl bezeichnet wird.

Neben der Bodenqualität sind für die landwirtschaftliche Nutzung auch weitere Standortbedingungen, insbesondere Geländeneigung und Klima sowie andere wesentliche Faktoren, die den Bewirtschaftungserfolg beeinflussen (z.B. Nassstellen, Böschungen, Frostlagen, Waldschatten usw.), zu berücksichtigen.

Diese Besonderheiten und deren Auswirkung auf die Bewirtschaftung jeder Klassenfläche werden durch prozentuale Zu- bzw. Abschläge zur/von der Boden- bzw. Grünlandgrundzahl (1 bis 100) berücksichtigt. Die daraus resultierenden Wertzahlen sind dann die Acker- bzw. Grünlandzahlen (1 bis 100).

3.6.1.2 Ertragsmesszahl und Bodenklimazahl

Die *Ertragsmesszahl* wird grundsätzlich auf Basis der rechtskräftigen Bodenschätzungsergebnisse für jedes landwirtschaftlich genutzte Grundstück von den Vermessungsämtern errechnet und im Grundstücksverzeichnis als Teil des Katasters ausgewiesen. Sie ist das Produkt aus der Fläche bzw. Teilflächen eines Grundstücks [Ar] und festgestellter Wertzahl [Acker- bzw. Grünlandzahl] bzw. jeweils festgestellten Wertzahlen. Die Bodenklimazahl eines Grundstückes wird ermittelt, indem die Ertragsmesszahl durch seine Fläche [Ar] dividiert wird. Das Ergebnis, der Quotient, nimmt einen Wert zwischen 1 und 100 an. Aus der Bodenklimazahl kann daher für jede zur Fragestellung anstehende Flächeneinheit, unabhängig vom Flächenausmaß und der dort vorherrschenden Bodenverhältnisse, eine mittlere Ertragsfähigkeit ermittelt, aber auch ein Vergleich zwischen zwei Flächen – auch bei unterschiedlichem Flächenausmaß – hinsichtlich der Bonität (=Bodenklimazahl) gezogen werden.

Für die Ermittlung der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen wurde eine Maßzahl entwickelt, die als Schwellenwert dienen sollte. Dafür wurde die „regionale Bodenklimazahl“ herangezogen, die als das gewogene Mittel aus der Summe aller Ertragsmesszahlen eines KPG über die Gesamtfläche des KPG errechnet wurde. Diese Maßzahl gibt die durchschnittliche Bonität für die zu beurteilende Flächeneinheit wieder.

$$regionale\ Bodenklimazahl = \frac{\sum aller\ Ertragsmesszahlen\ innerhalb\ des\ KPG}{Gesamtfläche\ des\ KPG\ [Ar]}$$

Da die Bodenklimazahl ein flächengewogener Mittelwert ist, repräsentiert der Wert nicht nur das mittlere Ertragspotential eines KPG, sondern die Summe aller Flächen, deren Bodenklimazahl größer

oder gleich der regionalen Bodenklimazahl ist. Somit umfassen die Flächen 50% der Gesamtertragsleistung bzw. Fläche einer zu beurteilenden Region oder eines KPG.

Die Bodenklimazahl stellt deshalb ein geeignetes Maß für die Einschätzung der Bodenflächen hinsichtlich der Selektion für die Nominierung der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen dar, da mit ihr mindestens 50% der Ertragsfähigkeit der zu beurteilenden Region – immer unter Berücksichtigung der jeweiligen lokal vorliegenden Ertragsverhältnisse – abgegrenzt werden können. Eine Verschiebung der Wertschwelle (Bodenklimazahl) nach unten bedeutet einen entsprechend höheren, nach oben einen geringeren Anteil des Ertragspotentials.

3.6.2 Nominierung wertvoller landwirtschaftlicher Produktionsflächen

Für die Abgrenzung der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen wurden drei Varianten in die engere Wahl gezogen, die unterschiedlich hohe Selektionsgrade aufweisen:

- Variante 1: alle jene Böden, deren Acker- bzw. Grünlandzahl ≥ der regionalen Bodenklimazahl + (Bodenklimazahl x 0,2) ist, werden als wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen ausgewiesen.
- Variante 2: alle Böden, deren Acker- bzw. Grünlandzahl ≥ der regionalen Bodenklimazahl ist, werden als wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen ausgewiesen.
- Variante 3: alle Böden, deren Acker- bzw. Grünlandzahl ≥ der regionalen Bodenklimazahl – (Bodenklimazahl x 0,32) ist, werden als wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen ausgewiesen. In Fällen, in denen die daraus resultierende Maßzahl < 20 ist, wird für die Nominierung die Bodenklimazahl herangezogen.

Die stichprobenartige Visualisierung der Ergebnisse der drei Varianten zur Prüfung der räumlichen Verteilung zeigte folgendes Ergebnis:

Variante 1 wies eine sehr kleinflächig fragmentierte Verteilung der landwirtschaftlichen Hochertragsböden aus.

Variante 2 ergab größere zusammenhängende Flächen, die abgrenzbare, für eine landwirtschaftliche Bewirtschaftung sinnvolle Flächenausweisung ermöglichen würde. Darin sind sowohl die besten als auch die mäßig ertragreichen Böden enthalten.

Variante 3 zeigte einen sehr hohen Deckungsgrad, da um die Zielsetzung von rund zwei Drittel der Ertragsfähigkeit einer Region zu erreichen, viel Fläche miteinzubeziehen war. Somit wurden auch unterdurchschnittliche Böden erfasst (wesentlich mehr Fläche für dieselbe Ertragsleistung).

Die Evaluierung der Ergebnisse der Flächenabgrenzungen durch das Projektkonsortium führte daher zu der Entscheidung, die Variante 2 für die Nominierung heranzuziehen. Somit wurden alle Böden, deren Acker- bzw. Grünlandzahl größer oder gleich der regionalen Bodenklimazahl ist, als wertvolle landwirtschaftliche Produktionsfläche ausgewiesen.

Zusätzlich wurden alle Bodenflächen, die bei der Ertragspotentialauswertung als Flächen mit höchsten Ertragsverhältnissen bewertet wurden (siehe Tabelle 1 und Tabelle 2), immer als wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen ausgewiesen, um die besten Böden Österreichs unabhängig von den regionalen Ertragsverhältnissen in jedem Fall zu berücksichtigen.

Außerdem wurden alle naturschutzfachlich wertvollen Flächen basierend auf den Ergebnissen der Bodenkartierung ebenfalls als wertvolle Flächen ausgewiesen (siehe Kap. 3.3).

3.6.3 Bereinigung der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen unter Berücksichtigung der Baulandnutzung

Die wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen wurden hinsichtlich ihrer aktuellen Verfügbarkeit überprüft. Dafür wurden folgende Daten verwendet:

- INVEKOS-2015: GIS-Datensatz der landwirtschaftlichen Flächen nach Feldstücknutzungsarten mit ca. 1.665.000 Einträgen
- FW Bauland-2015: Aktuelle Flächenwidmungen der Bundesländer mit ca. 400.000 Einträgen. GIS-Daten aus dem ÖROK Projekt: Gewidmetes, nicht bebautes Bauland, Erstellung von Auswertungen für Österreich, Technischer Bericht, Umweltbundesamt, Jänner 2016.
- Betriebsflächen-2012: GIS-Datensatz aus der digitalen Katastermappe (DKM) mit ca. 250.000 Einträgen
- Gebäude-2012: GIS-Datensatz aus der DKM mit ca. 3.822.000 Einträgen
- Grundstücke-2012: GIS-Datensatz aus der DKM mit ca. 10.267.000 Einträgen
- Kleinproduktionsgebiete-2015: GIS-Datensatz mit 87 Einträgen

Grundsätzliches Ziel war es, die vorliegenden landwirtschaftlichen Daten (INVEKOS) soweit zu bereinigen, dass ein möglichst aktueller Flächendatensatz für Österreich entsteht. Dies wurde durch mehrere Schritte im GIS abgearbeitet. Aufgrund des Umfanges der zu verschneidenden Datenmengen wurden lediglich die wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen und nicht die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche Österreichs bereinigt. Im Detail wurden folgende Schritte gesetzt:

- Verringern des INVEKOS-Datensatzes durch eine Zusammenführung der Feldstücknutzungsarten
- Bereinigung der INVEKOS-Flächen durch den Gebäude-Layer aus der DKM
- Anschließende Bereinigung durch die Betriebsflächen aus der DKM
- Bereinigung der INVEKOS-Flächen durch die aktuellen Baulandwidmungen 2015 aus dem Projekt: Gewidmetes, nicht bebautes Bauland, Erstellung von Auswertungen für Österreich, Technischer Bericht, Umweltbundesamt, Jänner 2016). Durch diesen Schritt wurden die INVEKOS Flächen durch die aktuellen Flächenwidmungen der Bundesländer um ca. 40.000 ha verringert.
- Um Lücken im INVEKOS-Datensatz (nicht alle landwirtschaftlichen Betriebe sind enthalten, da sie keine Direktzahlungen aus der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) erhalten) zu füllen, wurden LW-Flächen aus der DKM mit Hilfe von aktuellen Luftbildern in den INVEKOS Datensatz integriert. Diese Ergänzung blieb auf die westlichen Bundesländer beschränkt, da hier eine flächenmäßig kleinere Betriebsstruktur gegeben ist und es daher wahrscheinlich ist, dass einige Betriebe keine Direktförderung erhalten und nicht in INVEKOS enthalten sind. Zum INVEKOS Datensatz ist anzumerken, dass die Genauigkeiten bei den Agrarflächen bei ca. 98% und bei den Grünlandflächen bei ca. 95% liegen.

- Durch die Verschneidungen im GIS wurde eine Reihe von Splitterpolygonen erzeugt. Diese landwirtschaftlichen Flächen bis zu einer Größe von 500 m² wurden aus dem Datensatz gelöscht.
- Zuletzt erfolgte die Verschneidung mit den wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen für die aktuelle klimatische Situation (Referenz 1980-2010). Der Datensatz beinhaltete nach dem Verschneiden knapp über 2 Mio. Einträge mit einer Fläche von 1,33 Mio ha.
- Die neuerliche Verschneidung der landwirtschaftlichen Flächen mit den wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen nach den für 2036-2065 prognostizierten Klimawerten (Klimamodell CMIP5) ergab einen Rückgang der Flächenanzahl und beinhaltet nun ca. 1,85 Mio. Einträge bei einer Gesamtfläche von 1,24 Mio. ha. Der Rückgang ist v.a. durch den Wegfall von ertragreichen Ackerflächen begründet, insbesondere im Norden und Osten des Landes. Der zukünftig zu erwartende Wegfall durch Verbauung wurde nicht berücksichtigt.

3.6.4 Quantitative Veränderung produktiver Böden durch Siedlungsentwicklung

Bei der Erarbeitung regionalisierter Richtwerte hinsichtlich der Größe der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen muss auch der Verlust landwirtschaftlicher Flächen durch die Siedlungsentwicklung berücksichtigt werden. Dieser Verlust wurde bereits im Rahmen der Modellierung der Emission von Treibhausgasen abgeschätzt. Die für das BEAT Modell relevanten Daten werden in diesem Kapitel vorgestellt.

Österreich unterliegt der EU Berichtspflicht, Treibhausgase jährlich zu bilanzieren (Istzustand) und zukünftige Emissionen zu modellieren.[1] Die Veränderung der Bodennutzung ist in der Treibhausgasbilanzierung von hoher Bedeutung, da Böden wichtige CO_2-Speicher sind. Der Humusgehalt von Böden steht in direkter Abhängigkeit zur CO_2-Bindung. Die größten Kohlenstoffspeicher in Böden finden sich in Wäldern, Mooren und im Grünland.[2] Siedlungsflächen verfügen auf Grund ihres hohen Versiegelungsgrades (im Durchschnitt rund 40%) und des Vorhandenseins von überwiegend humusarmen Grünflächen über ein sehr geringes Potential CO_2 zu speichern. Der Humusgehalt von Ackerböden hängt von zahlreichen Faktoren ab und kann durch bodenschonende Bewirtschaftungsformen erhalten und sogar erhöht werden.

Um Boden als CO_2 Speicher zu erhalten, zählen neben der bodenschonenden Ackerbewirtschaftung die Erhaltung von Dauergrünland, im speziellen von extensivem Grünland und der Schutz von Böden mit hohem C- Vorrat, aber auch eine Raumordnung bzw. Flächennutzung mit dem Ziel einer Reduktion der Bodenversiegelung[4] zu den wichtigsten Maßnahmen.

[1] Regulation (EU) No 525/2013 of the European Parliament and of the Council of 21 May 2013 on a mechanism for monitoring and reporting greenhouse gas emissions and for reporting other information at national and Union level relevant to climate change and repealing Decision No 280/2004/EC

[2] BMLFUW (2015): Boden und Klimaeinflussfaktoren, Daten, Maßnahmen und Anpassungsmöglichkeiten, p 67 https://www.bmlfuw.gv.at/service/publikationen/land/bodenklima.html

Die Beobachtung von Landnutzungsveränderungen ist ein wichtiger Bestandteil der Treibhausgasbilanzierung im Rahmen des Kyoto Protokolls und erfolgt als LULUCF Monitoring (Land Use, Land-Use Change and Forestry Monitoring).

Im Rahmen der offiziellen Berichtspflichten wurden die Landnutzungsänderungen für den Zeitraum 2010 bis 2050 wie folgt projiziert[3] („with existing measures“):

- Es wird davon ausgegangen, dass die negativen Auswirkungen auf den Boden rund dreimal so hoch sein werden wie die positiven. In anderen Worten bedeutet dies einen Verlust von rund 200.000 Hektar Fläche, welche nicht mehr zur CO_2-Speicherung zur Verfügung steht.
- Der Verlust an landwirtschaftlichen Produktionsflächen wird bis zum Jahr 2050 rund 365.000 Hektar ausmachen. Davon gehen etwa ein Drittel zu Gunsten der Waldwirtschaft und zwei Drittel zu Gunsten der Siedlungsentwicklung.

Tabelle 9: Projizierte Veränderung der Landnutzung für den Zeitraum 2010 bis 2050 (Quelle: Umweltbundesamt 2016)

	Bestand	Bestand	Veränderung 2010 -		mittlere
	[ha]	[ha]	[ha]	[%]	[ha]
Forstfläche	4 002 000	4 168 110	166 110	4.15%	4 153
Ackerfläche	1 439 800	1 260 230	-179	-12.47%	-4 489
Grünland	1 509 270	1 324 140	-185	-12.27%	-4 628
Feuchtgebi	146 120	176 150	30 030	20.55%	751
Siedlungsflä	529 190	751 210	222 020	41.95%	5 551
sonstige	760 620	707 170	-53 450	-7.03%	-1 336

Die sogenannten LULUCF Projektionen bis zum Jahr 2050 beziehen sich auf das gesamte Bundesgebiet und wurden nicht regionalisiert. Die Berechnungen wurden auf Basis von Modellierungen und Expertenschätzungen mehrerer Institutionen durchgeführt.

3.7 Abschätzung der zukünftigen, klimawandelbedingten Veränderungen der Ertragspotentiale der Böden

Für die Abschätzung der Ertragsfähigkeit und deren Veränderung an einem Standort sind insbesondere folgende Faktoren wesentlich:

- Bodenart des auf der Fläche vorliegenden Bodenprofils bzw. durchschnittliche Profiltextur
- Niederschlag
- Temperaturverhältnisse

[3] Umweltbundesamt (2016): GHG projections of land use, land use change and forestry for non-forest land in Austria. http://cdr.eionet.europa.eu/at/eu/mmr/art04-13-14_lcds_pams_projections/envvqnfkg/MMR_Projections_LULUCF_28-01-2016.pdf

Während die lokalen Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse durch Verschneidung der Klimamodelle mittels GIS ermittelt werden konnten, war für die Erhebung der Bodenart eine selektive Auswertung der Bodenschätzungsdaten notwendig.

3.7.1 Bodenklimakurven

Die Bodenfruchtbarkeit hängt ursächlich mit den Klimaverhältnissen und den am Standort vorherrschenden Bodenarten zusammen.

Unter anderem begünstigen leichte Böden (z.B. lehmige Sandböden) bei kühlem Klima und hohen Niederschlägen das Pflanzenwachstum („warme Böden“), während schwere Böden bei warmem und trockenem Klima gegenüber leichten Böden im Vorteil sind.

Zu diesem Zweck wurden von HARLFINGER (1999) für jede der sieben mineralischen Bodenarten des Ackerschätzungsrahmens (S, Sl, lS, SL, sL, L, lT, T) Bodenklimakurven entwickelt, die die Auswirkungen des Klimas (Niederschlag und Temperaturverhältnisse) auf die Ertragsfähigkeit der Böden als Prozent-Zu- bzw. -Abschlag zur Bodenzahl berücksichtigen.

3.7.2 Ermittlung der Bodenart

Bei der Bewertung der Klassenflächen durch die Bodenschätzung wird die Bodenart des Feinbodens je Bodenhorizont mithilfe feldbodenkundlicher Methoden (anhand der Faktoren Plastizität und Klebrigkeit) festgestellt. Ebenso wird der in den Bodenhorizonten vorgefundene Grobanteil in die Bodenartbeurteilung mit einbezogen (d.h. mit zunehmendem Grobanteil wird die Bodenart als leichter beurteilt) und daraus folgend eine Zuordnung zu einer der Bodenartenklassen laut Texturdreieck der Bodenschätzung getroffen.

- Bei homogenen Texturverhältnissen wird die für die Bewertung maßgebende Bodenart in der Klasse (z.B. SL=stark sandiger Lehm) eindeutig ausgewiesen.
- Bei wechselnden Bodenverhältnissen und/oder höheren Grobanteilen im Bodenprofil werden die in einem Bodenprofil vorgefundenen wesentlichen Bodenarten je nach Lage als Schichtprofil ("/") (z.B. sL/T) oder Mischprofil (",") (z.B. sL, Scho), aber auch in Kombinationen (z.B. (L/Scho, lS) dargestellt und weisen damit auf eine Durchschnittsbodenart hin.

Die durchschnittliche maßgebliche Bodenart lässt sich daher für jedes Bodenprofil, das wechselnde Bodenverhältnisse und /oder Grobanteile aufweist, aus dem Schätzungsrahmen zurückrechnen. Je nach der Nutzung werden folgender Kriterien verwendet:

- Ackerland: aus Bodenzahl, Zustandsstufe und Entstehungsart
- Grünland: aus Grünlandgrundzahl, Zustands-, Klima- und Wasserstufe

3.7.3 Ergebnisse der Texturkarte

Zur Auswertung und Interpretation wurden die Bodenart des Oberbodens und die durchschnittliche Bodenart für alle durch die Finanzbodenschätzung erfassten Klassenflächen ermittelt.

Die Ergebnisse der beiden Texturkarten spiegeln sowohl die pedogenen als auch geologischen Verhältnisse sehr gut wider:

Im Norden Österreichs weisen die Böden der Böhmischen Masse ein Texturklassenspektrum von Sand bis maximal stark lehmiger Sand auf. Die überwiegend sandigen Lehme der Flyschzone, erstrecken sich südlich bzw. westlich der Böhmischen Masse und reichen bis in den Bodenseeraum.

Die Böden der Molassezone zeichnen sich durch schwerere Bodenarten aus. Findet man im Oberboden oft sandigen Lehm bzw. Lehm, überwiegen im Unterboden die schweren Texturklassen (Ton). Auch viele Gesamtprofile weisen die Bodenart lehmiger Ton bzw. Ton auf.

Die Rendsinen und Braunlehme der Kalkalpen, die oft einen lehmigen Oberboden aufweisen, werden hinsichtlich der Bodenart meist als lS oder sogar S angesprochen (die leichtere durchschnittliche Bodenart ergibt sich aufgrund des Grobanteils im Unterboden).

In den kristallinen Bereichen der Alpen, deren Gesteine zu grobkörnigem Material verwittern, überwiegen die Bodenarten lS und S.

Die Alluvien entlang der Flüsse (z.B. Murtal unterhalb von Graz) sind im Oberboden meist ein bis zwei Bodenartenklassen schwerer als die Texturbeurteilung des Gesamtprofils ausweist. Auch hier liegt der Grund im vorhandenen hohen Grobanteil.

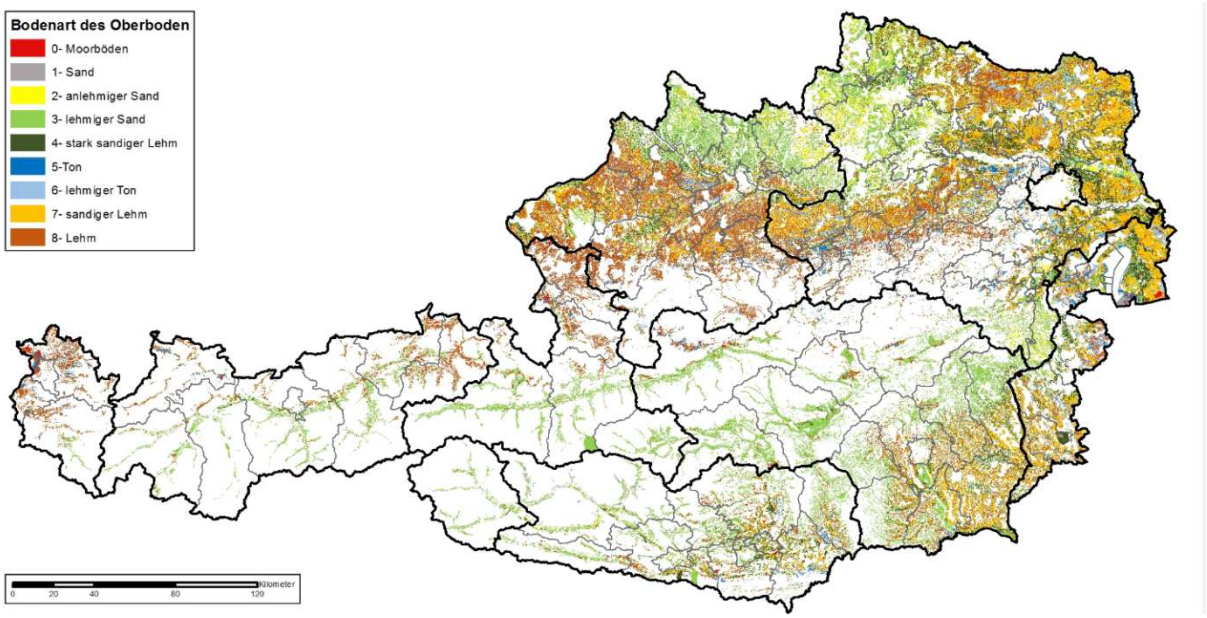


Abbildung 20: Die Verteilung der Textur der oberen Bodenhorizonte in Österreich (nach dem Texturdreieck der Bodenschätzung)

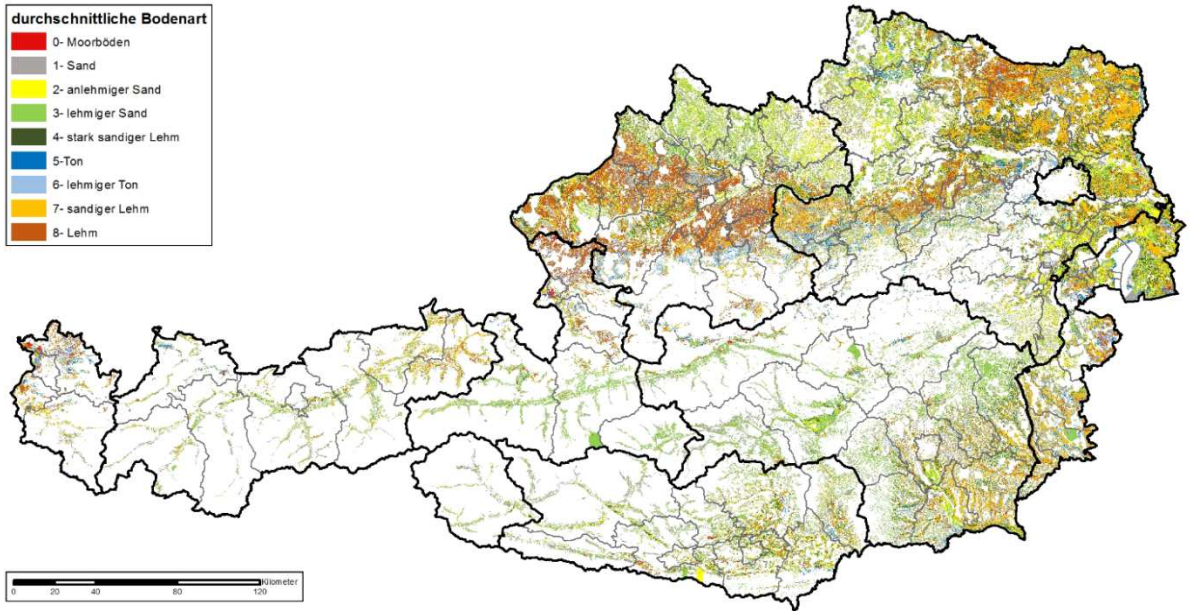


Abbildung 21: Die Verteilung der durchschnittlichen Texturverhältnisse in Österreich (nach dem Texturdreieck der Finanzbodenschätzung)

3.7.4 Änderung der Ertragsverhältnisse - Bodenklimakurven

Die Bodenklimakurven dienen der Ermittlung des Einflusses der Klimaverhältnisse (Jahresniederschlag und Temperatur (Maximaltemperatur in der Vegetationszeit bzw. Wärmesumme)) auf die Fruchtbarkeit eines Bodens je nach dessen Texturverhältnisse. Die aus den Kurven ermittelten, prozentuellen Zu- bzw. Abschlagswerte sind Korrekturwerte für die Bodenzahl und fließen in die Ermittlung der Ackerzahl ein.

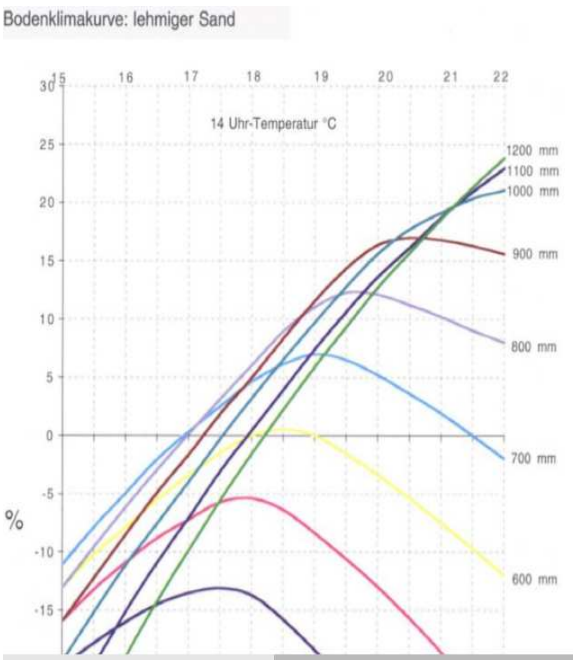


Abbildung 22: Auszug aus den Bodenklimakurven für die Texturklasse lehmiger Sand

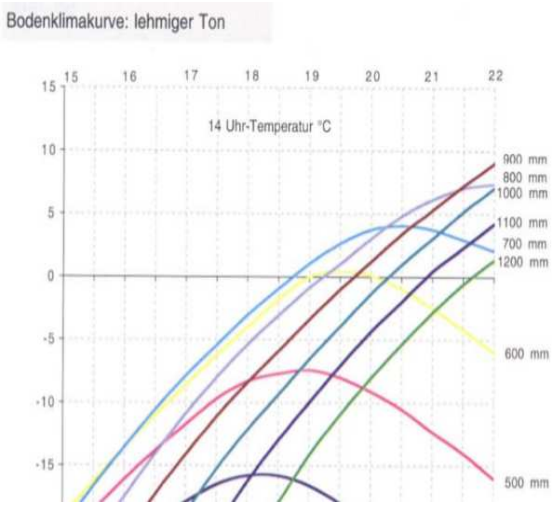


Abbildung 23: Auszug aus den Bodenklimakurven für die Texturklasse lehmiger Ton

Ausgehend von einem Nullpunkt ist in Abhängigkeit von der Bodenart bei einer konkreten Temperatur- und Niederschlagskonstellation am Standort meist eine klimabedingte Abweichung der Ertragsfähigkeit von der Bewertung des Bodenprofiles (Bodenart, Zustandsstufe, ...) gegeben.

Die Änderung der Ertragsverhältnisse kann somit aus den Zu-/Abschlagswerten der Vergleichsklimaperiode (1981-2010) mit den Werten der beiden Klimaszenarien CMIP5 und ALADIN für die Zeitspanne 2036 bis 2065 als Differenz ermittelt werden.

Auf Basis der aus den Bodenklimakurven ermittelten Ergebnisse wurde für alle Klassenflächen die Verteilung der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen (gem. Kap. 3.6.2) noch einmal neu gerechnet, um eine Aussage hinsichtlich deren Veränderung zu erhalten. Die Ergebnisse der auf dem CMIP5 Szenario basierenden Berechnungen wurden dann für die Bilanzierung der zukünftigen Mengen von Produktion und Verbrauch herangezogen (siehe Kap. 4.6.1 und 4.6.2). Um bereits verbaute Gebiete auszuschließen, erfolgte eine die in Kap. 3.6.3 beschriebene Bereinigung des Datensatzes der landwirtschaftlichen Flächennutzung.

3.8 Zusammenstellung der Daten zu den Nahrungsmittel-Verzehrmengen

Bei der Betrachtung der Ernährungssicherung dienen die Verzehrmengen als Basis für den Bedarf, welcher der Produktion gegenübergestellt wird. Während pflanzliche Produkte dem direkten menschlichen Verzehr zugeführt werden, sind die Grundlage für den Bedarf an tierischen Produkten die pflanzlichen Futtermittelrohstoffe.

Eine wesentliche Informationsquelle rund um den Verbrauch von landwirtschaftlich erzeugten Nahrungsmitteln stellen die Versorgungsbilanzen für pflanzliche und tierische Produkte der Statistik Austria dar. Die Verbrauchszahlen der pflanzlichen Produkte wurden der Versorgungsbilanz 2014/15 (Zeitraum: 1. Juli bis 30. Juni) entnommen, die Angaben zu 12 Hauptgruppen mit 90 Detailbilanzen enthält. Für die tierischen Produkte wurde die Versorgungsbilanz 2014 (Zeitraum: 1. Jänner bis 31. Dezember) herangezogen, welche 6 Hauptgruppen und 27 Detailbilanzen umfasst. Der darin erfasste Verbrauch umfasst sämtliche Nahrungsmittelmengen, die der Bevölkerung im Lauf des Bezugszeitraums zur Verfügung stehen.

3.8.1 Allgemeine Bemerkungen zu empfohlenen Verzehrmengen

Legt man der Berechnung der Energieaufnahme pro Kopf die Mengenangaben der Versorgungsbilanzen der Statistik Austria zugrunde und multipliziert dies mit den entsprechenden Werten der Nährwerttabelle des Bundeslebensmittelschlüssels (BLS), ergibt sich ein Nahrungsverbrauch in der Höhe von insgesamt rund 3.500 kcal/Kopf/Tag. Da jedoch ein gewisser Anteil nicht tatsächlich konsumiert wird (ein Teil der Lebensmittel wird nicht verzehrt oder an Haustiere verfüttert etc.) sind die Verbrauchsdaten mit Faktoren zu korrigieren (Österreichischer Ernährungsbericht 1998). Nach Anwendung dieser Korrekturfaktoren ergibt sich für die tägliche Energiezufuhr pro Kopf ein Wert von 2.555 kcal.

Als Richtwert für die tägliche Energiezufuhr wird ein Wert von 2.250 kcal/Person angenommen. Dabei handelt es sich um einen gewichteten Wert basierend auf der Österreichischen Bevölkerungsstruktur 2016 unter Heranziehung der für Österreich gültigen D-A-CH-Referenzwerte 2015 für die Nährstoffzufuhr bei mittlerer körperlicher Aktivität. Die Weltgesundheitsorganisation empfiehlt einen Wert von 2.180 kcal (bei einer mittleren täglichen Temperatur von 20°C), der bei Abweichungen von der Referenztemperatur um Zu- bzw. Abschläge zu korrigieren ist (bei einer mittleren täglichen Temperatur von 10°C erfolgt ein Zuschlag von 200 kcal/d).

Gemäß den D-A-CH-Referenzwerten für die Nährstoffzufuhr (2015) sollte der Energiebedarf zu über 50% durch Kohlenhydrate, maximal zu 30% durch Fett sowie zu 15% durch Protein gedeckt werden.

Diese Bemerkungen dienen einem ergänzenden Verständnis des Themas der Ernährungssicherung. Für die Projektbearbeitung wurde jedoch die Konvention getroffen, mit den unkorrigierten Nahrungsverbrauchszahlen zu rechnen, da diese das gesamte Potential sämtlicher Nahrungsmittelmengen umfasst, die der Bevölkerung zum Verbrauch zur Verfügung stehen. Würde in Zukunft eine Verringerung der nicht verbrauchten Lebensmittel erreicht, könnte dieses Potential noch besser ausgeschöpft werden, wodurch sich der Druck auf die landwirtschaftliche Produktion und damit auf den Bodenbedarf etwas verringern würde.

3.8.2 Pflanzliche Nahrungsmittel

Hinsichtlich der pflanzlichen Nahrungsmittel wurden die Zahlen der Versorgungsbilanz 2014/15 direkt verwendet. Die Mengen des Nahrungsmittelverbrauches für die Feldfrüchte, die in den von uns verwendeten Fruchtfolgen enthalten sind und für die im Zuge der Ertragsmodellierung Erträge ermittelt wurden, sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 10: Verbrauch pflanzlicher Produkte (STATISTIK AUSTRIA) als Nahrungs- und Futtermittel (1…als Futtermittel; 2…für die Verarbeitung)

Feldfrucht	Verbrauch [t]
(Weich-)Weizen	606.496
Roggen	103.745
Gerste	5.516
Körnermais	184.188
Triticale	266.309[1]
Raps	350.065[2]
Sonnenblumen	6.000
Sojabohnen	19.000
Kartoffeln	440.831

3.8.3 Tierische Nahrungsmittel

Mengenangaben für tierische Nahrungsmittel sind ebenfalls in der Versorgungsbilanz enthalten. Für die Ernährungssicherung sind allerdings die zur Produktion der tierischen Produkte notwendigen pflanzlichen Futtermittelrohstoffe von Bedeutung. Der Bedarf an tierischen Nahrungsmitteln für den menschlichen Verzehr wurde vom aktuellen Tierbestand abgeleitet, der die österreichische Selbstversorgung und den Export umfasst. Bei der Berechnung des Futtermittelbedarfs auf Basis der aktuellen Bestandszahlen wird also die derzeit erforderliche Menge an zu produzierenden Futtermitteln ermittelt, die um den Anteil des Exportes reduziert und somit auf die tatsächlich zur Ernährungssicherung notwendige Menge korrigiert werden kann. Um die Bandbreite verschiedener Tiergruppen (Schweine, Rinder, Geflügel) sowie das große Spektrum unterschiedlicher Fütterungssysteme in Österreich umfassend zu berücksichtigen, ist es nicht ausreichend, die Verzehrmengen tierischer Produkte mit dem Bedarf an Futtermittel pro Einheit erzeugtem Produkt (Fleisch, Eier, Milch) hochzurechnen. Hier wurde eine Herangehensweise gewählt, die sich auf tatsächliche Fütterungsrationen (Zusammensetzung und Menge) und Viehbestandszahlen stützt. Dazu war die Expertise von Fütterungsexperten der Landwirtschaftskammern erforderlich, die im Zuge vieler direkter Konsultationen eingeholt wurde.

Schweine

Für die Ermittlung des Futterverbrauchs der Schweine wurde der Futterbedarf für ein erzeugtes Mastschwein errechnet. Dazu wurden für sechs Entwicklungsstadien eines Mastschweins bis zu dessen Schlachtreife (ein pränatales Stadium (*Zuchtsau tragend*); ein Stadium, in dem keine Aufnahme von Futtermittel durch das noch saugende Ferkel erfolgt (*Zuchtsau säugend*); *Ferkel 8-12 kg*; *Ferkel 12-30 kg*; *Mastschein 30-70 kg*; *Mastschwein 70-120 kg*) je eine Rationszusammensetzung erarbeitet und für die gesamte Lebensspanne aufsummiert. Multipliziert mit einer Gesamtbestandszahl von 5.050.000 Mastschweinen pro Jahr (Angaben gem. VLV - Verband landwirtschaftlicher Veredelungsproduzenten) ergab dies den Bedarf an pflanzlichen Futtermittelprodukten für die jährliche Schweineproduktion in Österreich. Der Futtermittelbedarf für nicht gedeckte Sauen und Zuchteber blieb unberücksichtigt. Da die Bestandszahlen dieser beiden Gruppen jedoch verhältnismäßig gering sind, ist eine solche Vernachlässigung vertretbar und nicht ergebnisrelevant.

Rinder

Wesentlich komplexer – und damit mit größeren Unsicherheiten verbunden – stellte sich die Berechnung des Futtermittelbedarfs bei den Rindern dar, da aufgrund topographischer und klimatischer Unterschiede innerhalb Österreichs auch unterschiedliche Fütterungssysteme existieren.

Grundsätzlich wurden vier Gruppen von Rinderhaltungssystemen unterschieden, die wiederum in unterschiedliche Fütterungssysteme unterteilt wurden:

- Milchviehhaltung
  - Grassilage und Heu
  - Grassilage, Maissilage und Heu
  - Kleegrassilage, Maissilage und Heu
- Mastviehhaltung
  - Maissilage
  - Maissilage und Grassilage
- Mutterkuhhaltung
  - Grassilage und Heu Muttertiere
  - Grassilage und Heu Jungtiere
- Jungviehhaltung
  - Grassilage Kälber und Kalbinnen im 1. Jahr
  - Grassilage Kalbinnen im 2. Jahr

Für jedes dieser Fütterungssysteme erfolgte die Erarbeitung je einer Futterration aus Grund- und Kraftfutter. Die Zahlen zum österreichischen Rinderbestand wurden der entsprechenden Aufstellung vom 1. Juni 2016 der Statistik Austria entnommen. Die anteilsmäßige Zuweisung der Tiere zu den einzelnen Fütterungssystemen konnte, in Ermangelung an verfügbaren Daten, nur über eine Einschätzung der erfahrenen Fütterungsberater der Kammern in den einzelnen Bundesländern abgefragt werden. Eine Multiplikation der Viehzahlen mit den Rationsmengen führte schließlich zu einer Gesamteinschätzung des Futtermittelbedarfes für das gesamte Bundesgebiet.

Geflügel

Beim Geflügel wurden eigene Rationen für folgende Gruppen herangezogen:

- Legehennen
- Masthühner
- Junghühner
- Elterntieraufzucht
- Elterntierhaltung
- Truthühner
- Gänse

Bei den Rationen von Junghühnern und Elterntieren wurde darüber hinaus zwischen männlichen und weiblichen Tieren unterschieden. Die Bestandszahlen wurden von der LWK OÖ zur Verfügung gestellt.

3.9 Gegenüberstellung der Zahlen für Produktion und Verbrauch – Bilanzen

Die im Zuge der Modellierungen des Ertragspotenzials errechneten Mengen aus der Produktion von Acker- und Grünland (siehe Kap. 4.3 und 4.4) wurden am Ende den ermittelten Verbrauchszahlen für pflanzliche und tierische Produkte (siehe Kap. 3.8) gegenübergestellt. Diese Bilanzierung soll das Ausmaß der potentiell möglichen Ernährungssicherung Österreichs aufzeigen.

Hinsichtlich der Verzehrmengen wurden die Angaben aus den Versorgungsbilanzen 2014 bzw. 2014/15, für eine Einwohnerzahl von 8.584.000 angenommen. Für die zukünftigen Verzehrmengen wurden diese Angaben, linear für eine zukünftige Einwohnerzahl im Jahr 2060 von 9.700.200 fortgeschrieben.

Die Bilanzierung erfolgte nicht nur für die Gesamtösterreichische Produktionskapazität (gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche), sondern für das Ackerland auch innerhalb der definierten wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen.

4 Ergebnisse

4.1 Ermittelte Ertragspotentiale der österreichischen Böden anhand der Finanzbodenschätzung

4.1.1 Ist-Zustand

Die GIS-Auswertung der Daten zeigt, dass sich die Vorkommen der ertragsstärksten Ackerböden im nordöstlichen Niederösterreich befinden bzw. in Oberösterreich sich entlang von Donau, Enns und Traun erstrecken (Abbildung 24).

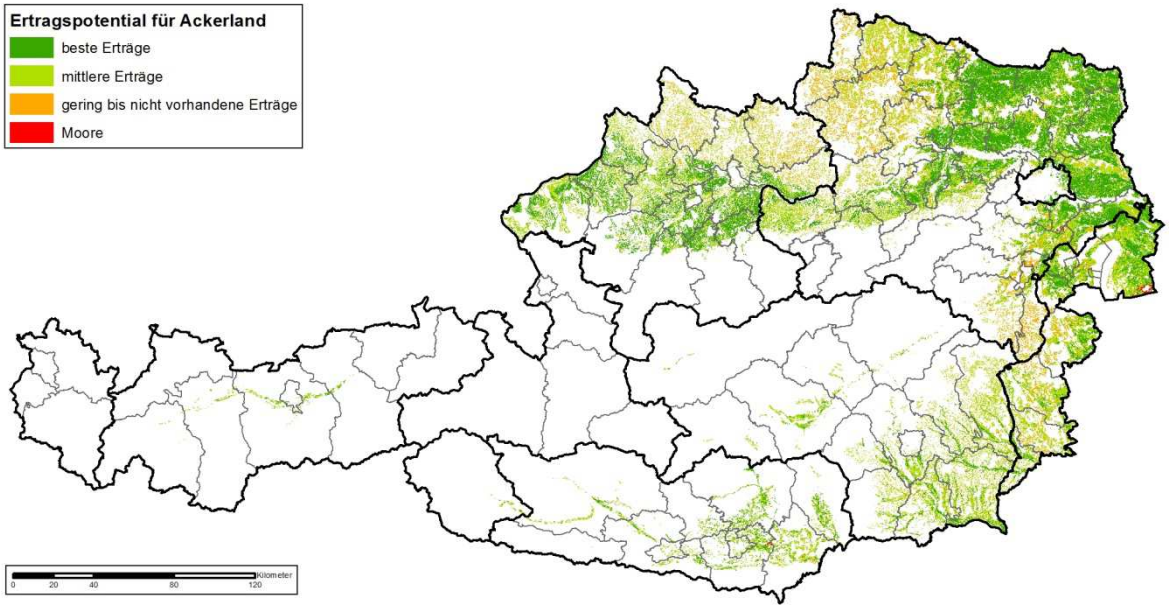


Abbildung 24: Darstellung der Ertragspotentiale der Böden des österreichischen Ackerlandes ermittelt aus den Daten der Finanzbodenschätzung

Die höchstwertigen Grünlandstandorte befinden sich in den nördlichen Landesteilen des Bundeslandes Salzburg. Sie erstrecken sich vom Rand der Landeshauptstadt nach Norden bzw. Nordosten bis in das angrenzende oberösterreichische Innviertel (Abbildung 25).

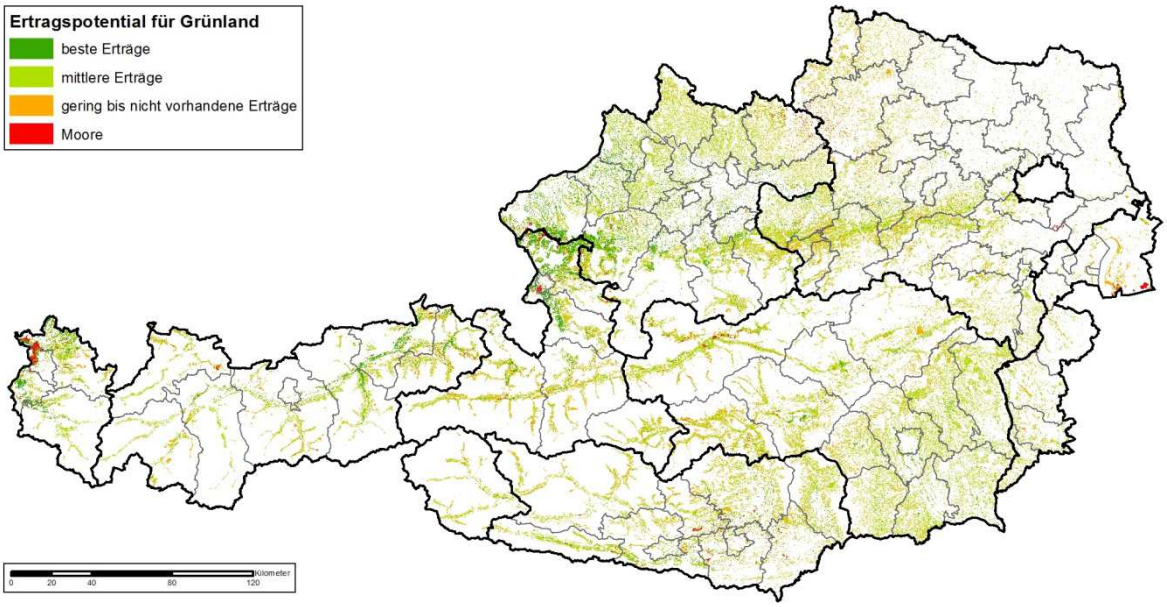


Abbildung 25: Darstellung der Ertragspotentiale der Böden des österreichischen Grünlandes ermittelt aus den Daten der Finanzbodenschätzung

In der Zusammenschau der Ertragspotentiale erstrecken sich die ertragreichsten Böden von Ost nach West, vom Salzburger Flachgau und Innviertel, entlang der Donau bis ins Marchfeld und von dort nach Süden um den Neusiedler See bis in den Mattersburger Raum. Verstreut flächenmäßig maßgebliche hochwertige Standorte finden sich auch im Südburgenland zur Ungarischen Tiefebene hin, um Bad Radkersburg, im Leibnitzer Feld und ganz im Westen (Bodenseeraum) (Abbildung 26).

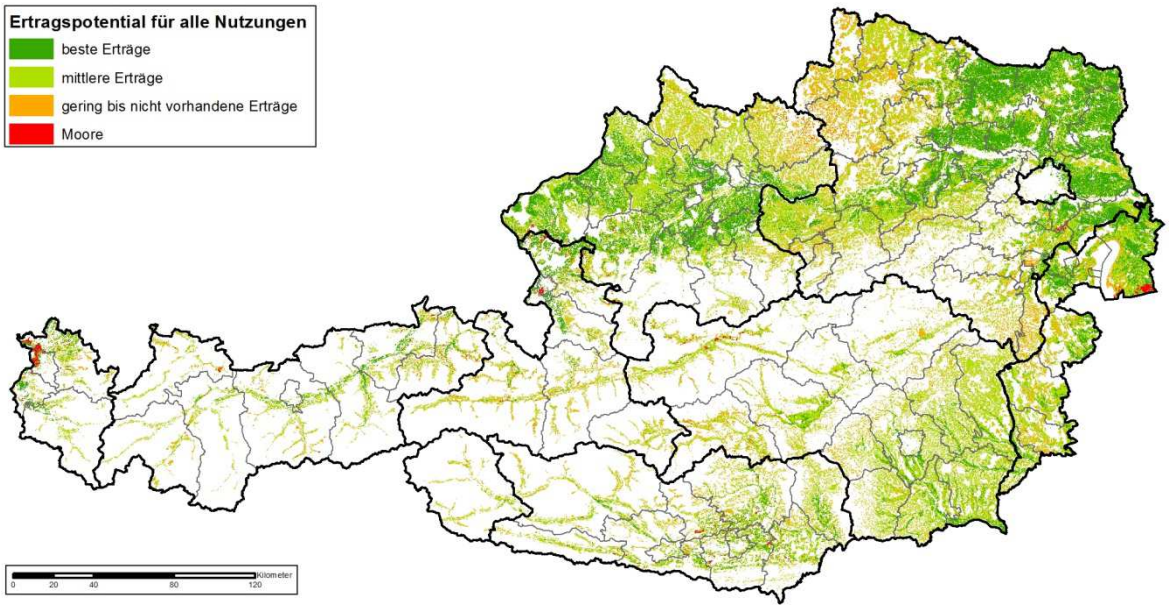


Abbildung 26: Darstellung der Ertragspotentiale der Böden des österreichischen Acker- und Grünlandes ermittelt aus den Daten der Finanzbodenschätzung

4.1.2 Zukünftige Situation (2036-2065), Modell CMIP5

Durch die Änderung der klimatischen Verhältnisse ist auch eine Änderung der Ertragspotentiale zu erwarten. Das Ertragspotential des Bodens ist nicht isoliert, sondern immer im Zusammenwirken mit dem Klima zu sehen. Um diese Auswirkungen abzuschätzen, wurden die Ertragspotentiale der Referenzperiode (1981-2010) den Ertragspotentialen, wie sie unter den Klimaverhältnissen des Klimamodells CMIP5 im Zeitraum 2036-2065 zu erwarten sind, gegenübergestellt (Abbildung 27).

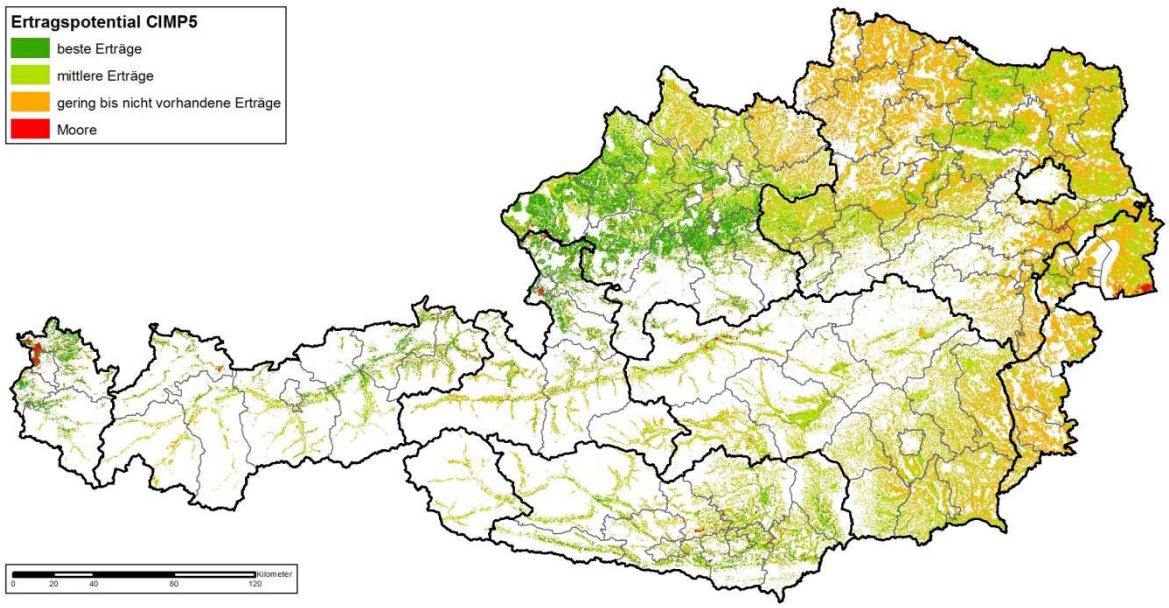


Abbildung 27: Zukünftige Ertragspotentiale nach CMIP5

Die Visualisierung der Ergebnisse zeigt, dass es zu einer Schwerpunktverschiebung der ertragreichsten Böden Österreichs in den Westen – v.a. in die Bundesländer Oberösterreich und Salzburg – kommen wird. In den aktuellen Kerngebieten der derzeit ertragreichsten Böden würde es zu einer massiven Verminderung der Ertragspotentiale kommen. Solche Rückgänge würden auch inneralpin und im Norden Österreichs eintreten. Ein relativer Vergleich der aktuellen Situation mit den prognostizierten Szenarien ALADIN und CMIP ist im Kapitel 4.6 angeführt.

4.2 Auf Basis der Bodenkartierung ermittelte Ertragspotentiale der österreichischen Böden

Die Auswertungen ergaben, dass sich die naturschutzfachlich wertvollen Flächen (Salzböden und Moore) vor allem in den Bereichen Neusiedlersee/Seewinkel sowie östlich des Rheins und entlang des Bodensees befinden. Wertvolle Moore und Anmoore gibt es allerdings punktuell in ganz Österreich. Die bevorzugten Gebiete in Hinblick auf die landwirtschaftliche Produktion liegen vor allem im Weinviertel, Marchfeld, Mostviertel und entlang der großen Flüsse (Donau, Traun, Mur Salzach, Inn, Drau). Die bezüglich des Ertrags benachteiligten Gebiete befinden sich im Waldviertel, in gebirgigen Regionen und weiten Bereichen des ost- und weststeirischen Hügellandes, aber oft auch in den Seitentälern der großen Flüsse.

Die nachfolgend abgebildete Darstellung der bundesweiten Verteilung der Ertragspotentiale (Abbildung 28) ist eine Übersicht. Entsprechend der Genauigkeit der Datengrundlagen können aber auch auf großmaßstäbiger Skalierungsebene Aussagen getroffen werden. Dies gilt sowohl für die Bodenkartierung (M 1:25.000) als auch für die Bodenschätzung (M 1:2.500).

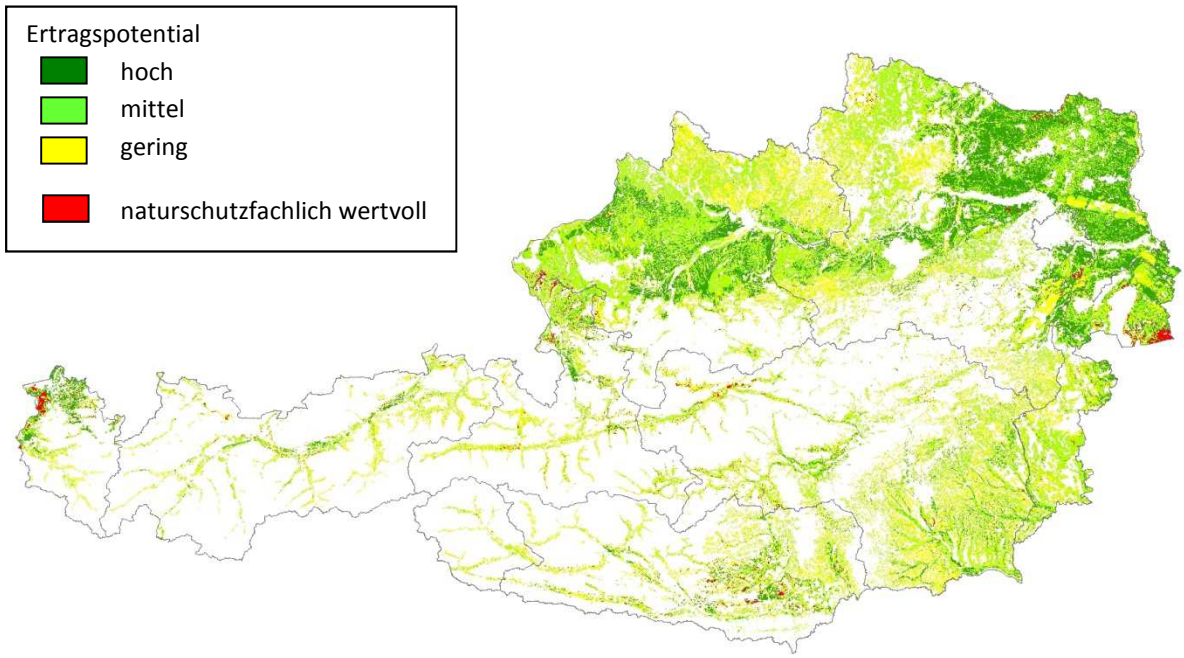


Abbildung 28: Darstellung der Ertragspotentiale der Böden des österreichischen Acker- und Grünlandes ermittelt aus den Daten der Bodenkartierung

4.3 Ertragspotenzialmodellierung im Ackerland

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus den Modellrechnungen für die beiden Klimamodelle für die einzelnen Hauptproduktionsgebiete dargestellt. Die nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 29 bis Abbildung 32) zeigen die berechneten Ertragspotenziale der mittleren Korn-Trockenmasse (TM) für die beiden Klimawandelszenarien aus ALADIN (moderat) und CMIP5 (extrem) der Ackerflächen. Ein Vergleich kann aufgrund der unterschiedlichen Daten in der Referenzperiode nur innerhalb des jeweiligen Klimawandelszenarios erfolgen.

4.3.1 Modell ALADIN

Die höchsten TM-Kornerträge werden in den HPG Alpenvorland und Südöstliches Flach- und Hügelland erzielt, während im Nordöstlichen Flach- und Hügelland die geringsten Erträge zu beobachten sind. Innerhalb der HPG unterscheiden sich die Ertragspotentiale vor allem aufgrund der unterschiedlichen Böden. Die Unterschiede der TM Erträge zwischen der Referenzperiode (1981 – 2010) und der zukünftigen Periode (2036 – 2065) sind durch eine geringe Abnahme in allen HPG geprägt. Auf den guten Böden der Tallagen im HPG Alpenostrand und Kärntner Becken gibt es eine geringe Zunahme. Eine deutlichere Abnahme ist im Osten Österreichs, im HPG Nordöstliches Flach- und Hügelland, vorwiegend auf Standorten mit geringer Wasserspeicherfähigkeit gegeben (siehe Abbildung 29 und Abbildung 30).

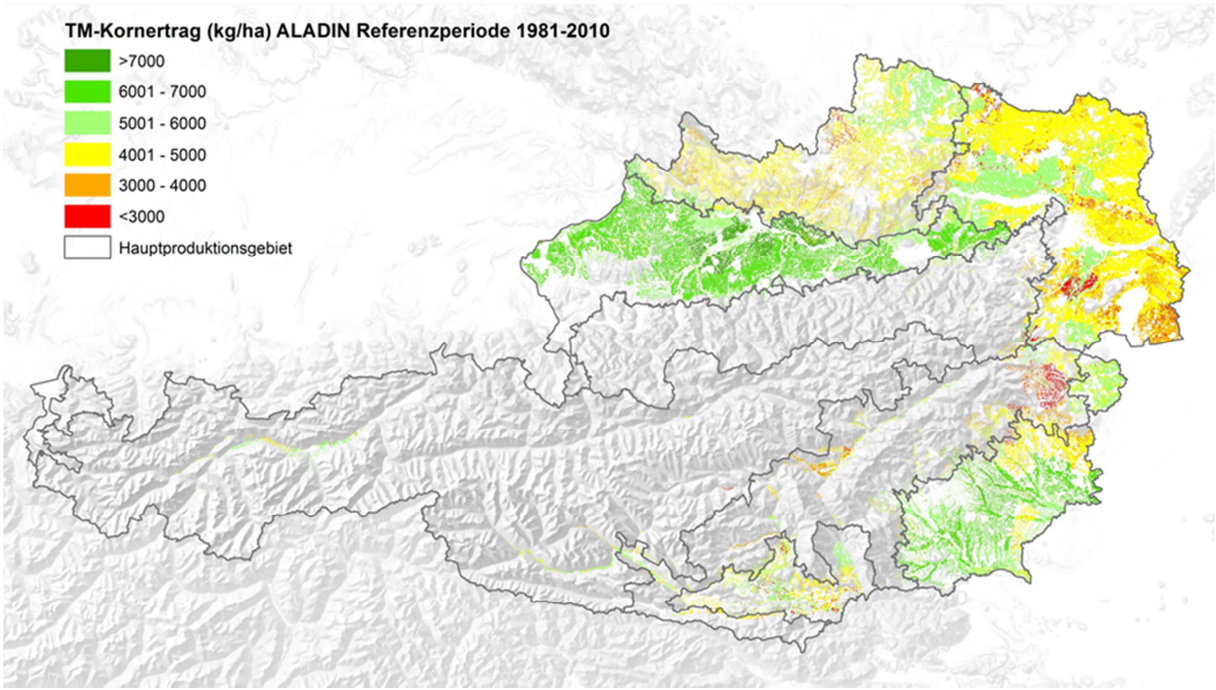


Abbildung 29: Berechnete Ertragspotentiale (mittlere Korn-Trockenmasse) für das moderate Klimawandelszenario ALADIN (Referenzperiode 1981-2010) der Ackerflächen

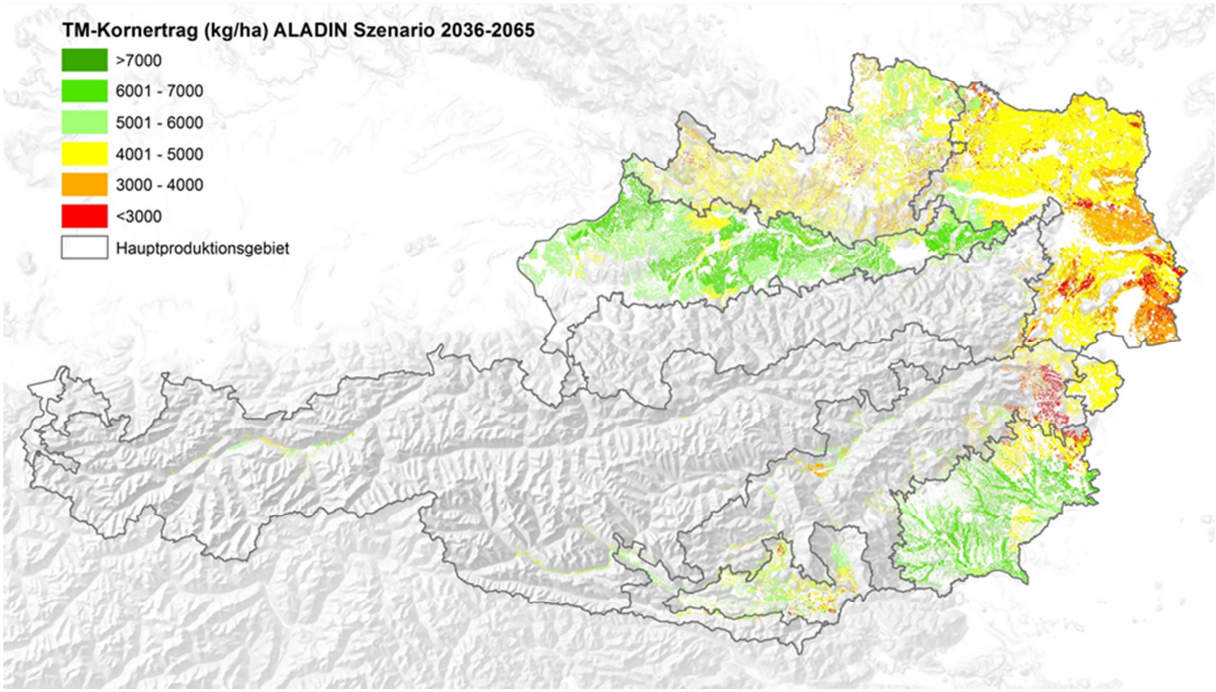


Abbildung 30: Berechnete Ertragspotentiale (mittlere Korn-Trockenmasse) für das moderate Klimawandelszenario ALADIN (Periode 2036-2065) der Ackerflächen

4.3.2 Modell CMIP5

Die höchsten TM-Kornerträge werden so wie im Modell ALADIN auch hier in den HPG Alpenvorland und Südöstliches Flach- und Hügelland, die geringsten im Nordöstlichen Flach- und Hügelland erzielt. Auch hier ergeben sich die Ertragsunterschiede aufgrund unterschiedlicher Bodeneigenschaften. Die Unterschiede der TM Erträge zwischen der Referenzperiode und der zukünftigen Periode sind durch eine Abnahme in allen HPG geprägt, wobei eine sehr hohe Abnahme im HPG Nordöstliches Flach- und Hügelland festzustellen ist. Diese betrifft sowohl die Standorte mit geringer als auch solche hoher Wasserspeicherfähigkeit (siehe Abbildung 31 und Abbildung 32).

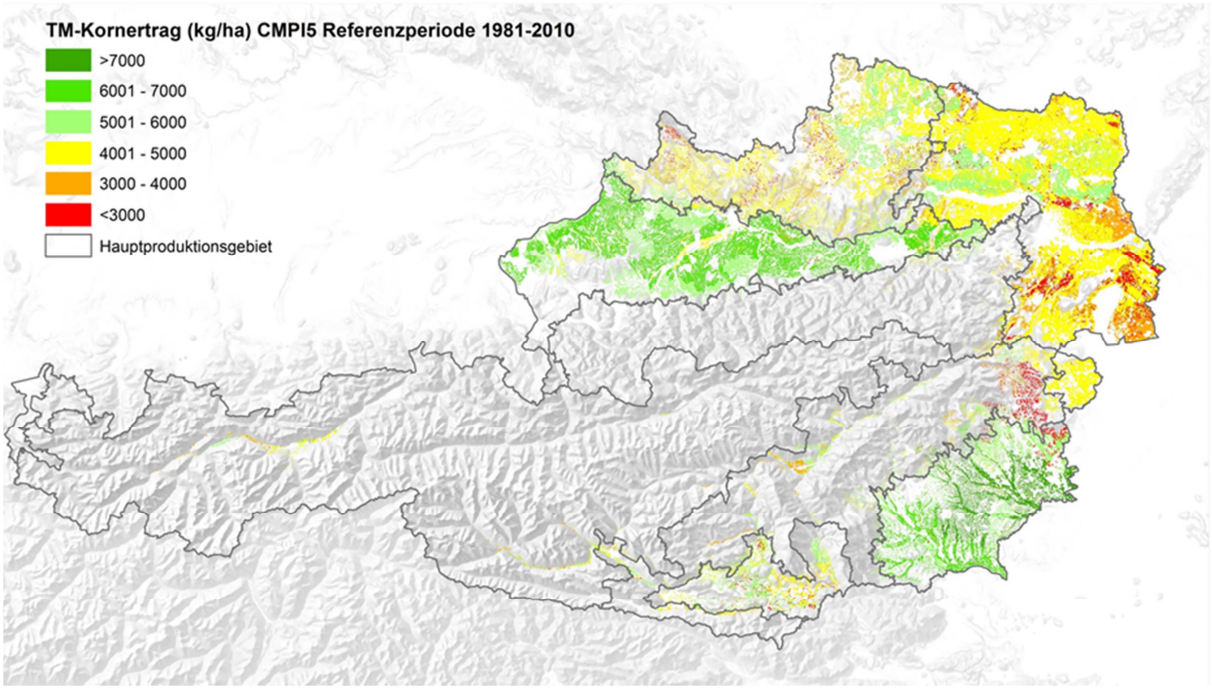


Abbildung 31: Berechnete Ertragspotentiale (mittlere Korn-Trockenmasse) für das extreme Klimawandelszenario CMIP5 (Referenzperiode 1981-2010) der Ackerflächen

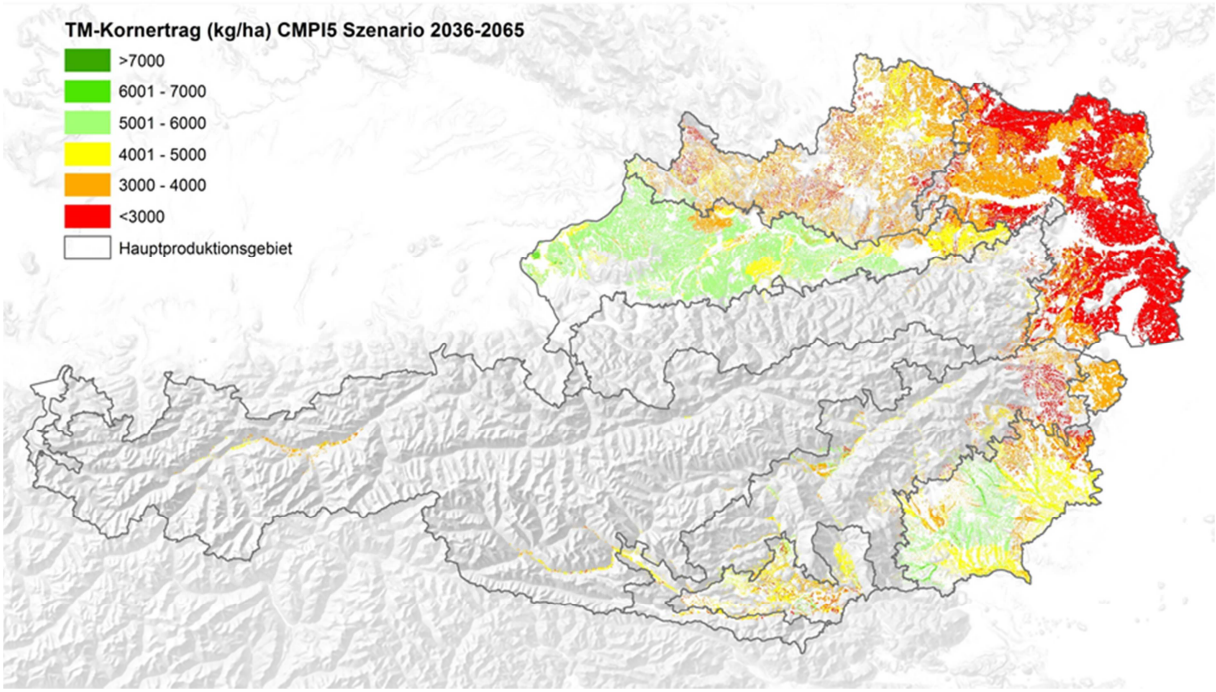


Abbildung 32: Berechnete Ertragspotentiale (mittlere Korn-Trockenmasse) für das extreme Klimawandelszenario CMIP5 (Periode 2036-2065) der Ackerflächen

4.4 Ertragsmodellierung im Grünland

4.4.1 Schätzung der Grünlanderträge mit dem Modell SpatialGRAM

Grundlage für die Schätzung der Grünlanderträge nach dem räumlich-statistischen Modell SpatialGRAM sind zahlreiche Österreichkarten mit räumlich aufbereiteten Wetterdaten, daraus

berechnete Parameter wie Referenzverdunstung, Bodenwasserbilanz oder Vegetationsbeginn. Aufgrund der Berechnung für Klimaperioden, die mindestens 30 Jahre umfassen müssen, ergibt sich ein erhebliches Datenvolumen, da die Berechnungen auf Tagesbasis durchgeführt und für jeden Tag der Perioden 1981 bis 2010 sowie 2036 bis 2065 zahlreiche Zwischenergebnisse produziert werden müssen. Der Vergleich zwischen zwei verschiedenen Modellen sowie die Einbeziehung einer Referenzperiode mit historischen Wetterdaten verdreifacht den Rechenaufwand und die dabei anfallende Datenmenge. Zur Berechnung der Grünlandjahreserträge wurden die Aufwuchs bezogenen Erträge für drei unterschiedliche Bewirtschaftungssysteme (Zwei-, Drei- und Vierschnittregime) flächendeckend gerechnet und dann gemäß den Ausführungen in SCHAUMBERGER (2011, 198ff) zu einer einzigen Ertragsoberfläche zusammengefasst. Die Berücksichtigung dreier unterschiedlicher Bewirtschaftungssysteme erfordert deshalb zusätzlich nochmal eine Verdreifachung von Rechenaufwand und Datenspeicher.

In den folgenden Abbildungen sind die Ergebnisse der Berechnungen ausschließlich als arithmetische Mittelwerte über die jeweilige 30-jährige Periode dargestellt. Damit ergibt sich ein Ertragsmittelwert, der den Einfluss der jährlich wechselnden Wetterverhältnisse aus den verwendeten Klimaszenarien auf die Grünlandbewirtschaftung repräsentiert. Jede Abbildung zeigt die Ergebnisse aus den beiden Klimamodellen ALADIN und CMIP5 im direkten Vergleich. Der Aufwuchsdauer kommt bei der Berechnung der Grünlanderträge eine herausragende Rolle zu. Ertragsentscheidend ist vor allem der erste Aufwuchs, wobei hier die möglichst realistische Festlegung des Vegetationsbeginns eine wichtige Voraussetzung ist. Dieser wurde für alle Szenarien nach der oben beschriebenen Methode MTD berechnet und zur Schätzung der Grünlanderträge in allen Perioden verwendet.

Abbildung 33 zeigt die mittleren Erträge in der Periode 1981 bis 2010 für das moderate Szenario ALADIN und das extreme Szenario CMIP5. Die räumliche Verteilung der Ertragsunterschiede zwischen den beiden Szenarien ist sehr ähnlich, allerdings unterscheidet sich das Ertragsniveau vor allem im Berggebiet deutlich. CMIP5 weist im Berggebiet tendenziell geringere Erträge auf, wobei allerdings die Fläche der berechneten Grünlanderträge deutlich größer ist – Erträge werden im Vergleich zu ALADIN auch in höheren Lagen ausgewiesen. Dies liegt daran, dass für die Referenzperiode mit CMIP5 höhere Temperaturen berücksichtigt werden.

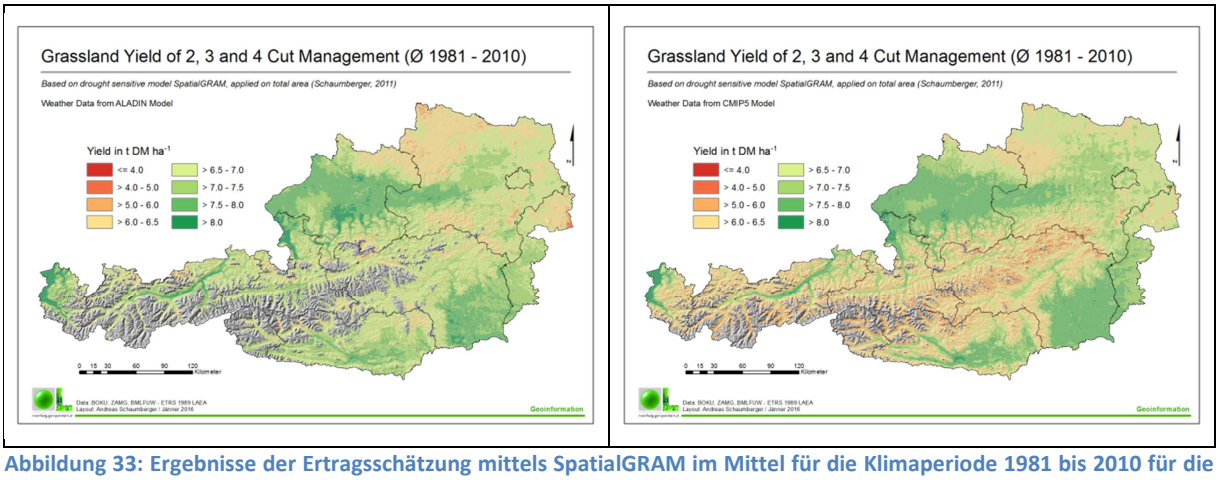


Abbildung 33: Ergebnisse der Ertragsschätzung mittels SpatialGRAM im Mittel für die Klimaperiode 1981 bis 2010 für die Klimamodelle ALADIN und CMIP5

Betrachtet man in Abbildung 34 die Variabilität der einzelnen Jahre innerhalb des 30-jährigen Zeitraums von 1981 bis 2010 zeigen sich bei ALADIN deutlich höhere Standardabweichungen im

östlichen Flachland. Die höheren Lagen in CMIP5 zeigen eine geringe Variabilität im langjährigen Verlauf. Die höheren Temperaturen in CMIP5 sind zumindest in den höheren Lagen demnach in den 30 Jahren keinen großen Schwankungen unterworfen.

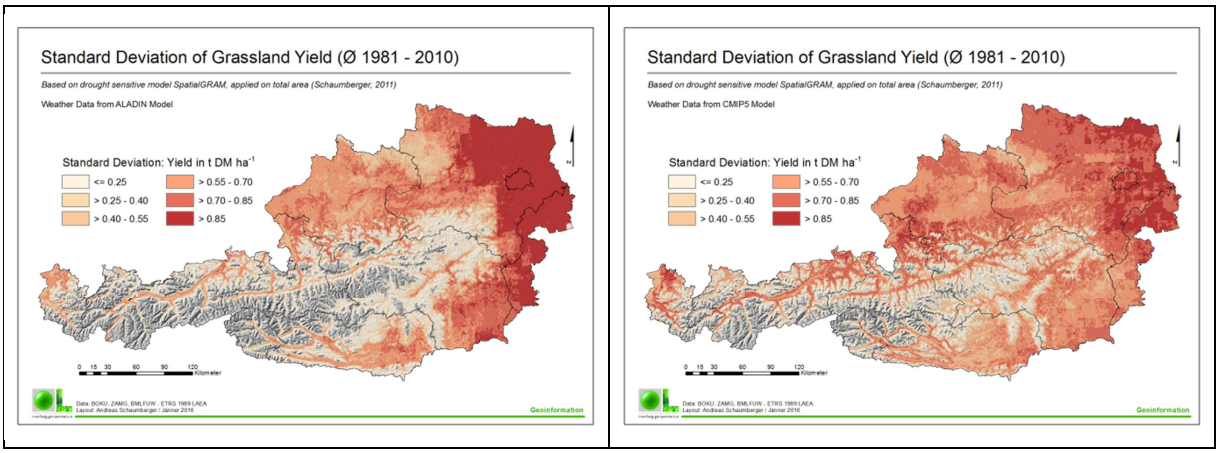


Abbildung 34: Standardabweichung der Ertragsschätzung mittels SpatialGRAM im Mittel für die Klimaperiode 1981 bis 2010 für die Klimamodelle ALADIN und CMIP5

Im Vergleich mit Grünlanderträgen auf der Grundlage von gemessenen Wetterdaten zeigen sich deutliche Abweichungen zu den beiden Modellen. Die Abbildung 35 zeigt die Ertragsschätzung sowie die Standardabweichung für die Referenzperiode 1981 bis 2010 aus den historischen Wetterdaten. Die Variabilität der realen Verhältnisse ist in viel größerem Ausmaß gegeben, als es die Modelle projizieren. Die Unterschiede zwischen Modellen und Messwerten machen deutlich, dass die Auswertung von Ertragsänderungen für zukünftige Perioden auf Basis dieser Klimamodelle nur mit einer geeigneten Fehlerkorrektur erfolgen kann.

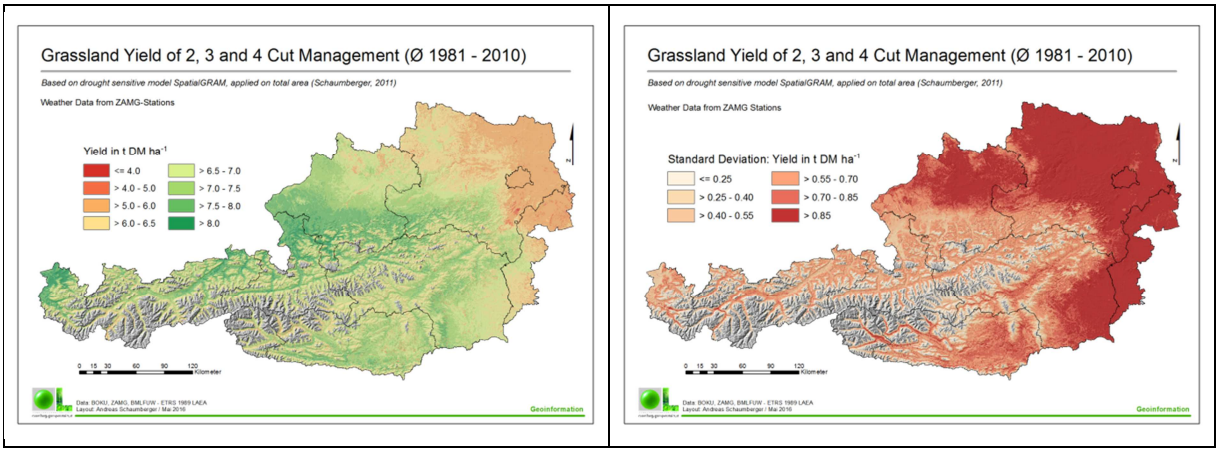


Abbildung 35: Ertragsschätzung und Standardabweichung als Ergebnisse aus dem Modell SpatialGRAM auf Basis historischer Wetterbeobachtungen an den ZAMG-Stationen im Mittel für die Periode 1981 bis 2010

Die nicht korrigierten, mittleren Erträge für die zukünftige Periode 2036 bis 2065 zeigen in Abbildung 36 zum einen sowohl bei ALADIN als auch bei CMIP5 eine Ertragszunahme, die bei CMIP5 noch deutlicher ausgeprägt ist als bei ALADIN, zum anderen eine vergleichsweise geringe räumliche Differenzierung. Tendenziell profitiert das Berggebiet hier von der höheren Temperaturzunahme. Hohe Erträge sind hier auch bis in höhere Lagen zu erwarten. Allerdings ist damit auch ein niedriges Ertragsniveau im östlichen Flachland verbunden.

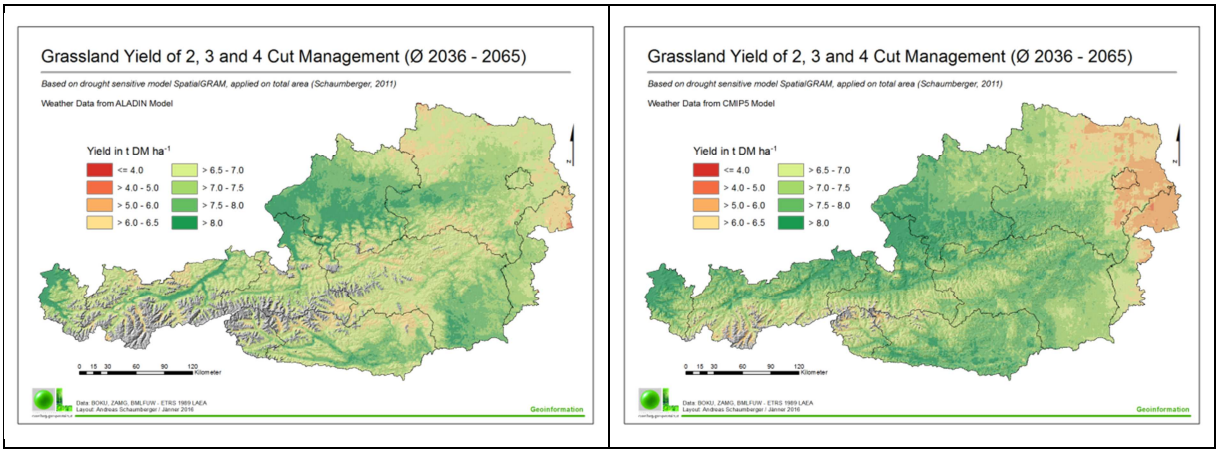


Abbildung 36: Ergebnisse der Ertragsschätzung mittels SpatialGRAM im Mittel für die Klimaperiode 2036 bis 2065 für die Klimamodelle ALADIN und CMIP5

Die Auswertung der Standardabweichung für die beiden Modelle (Abbildung 37) zeigt für die Periode 2036 bis 2065 eine deutlich höhere Variabilität als in der Referenzperiode. Das Flachland rund um den Alpenhauptkamm ist davon am stärksten betroffen. Bei CMIP5 zeigt sich allerdings auch eine hohe Ertragsvariabilität in den höheren Lagen des Alpenhauptkamms. Die Projektion höherer Temperaturen in der Zukunft sowie ungleichmäßig verteilte Niederschlagsereignisse zeigen einen viel stärkeren Einfluss auf die jährlichen Erträge in diesen Regionen. Da bei CMIP5 eine extremere Klimaveränderung als bei ALADIN zugrunde gelegt wird, ist auch die Standardabweichung generell deutlich höher.

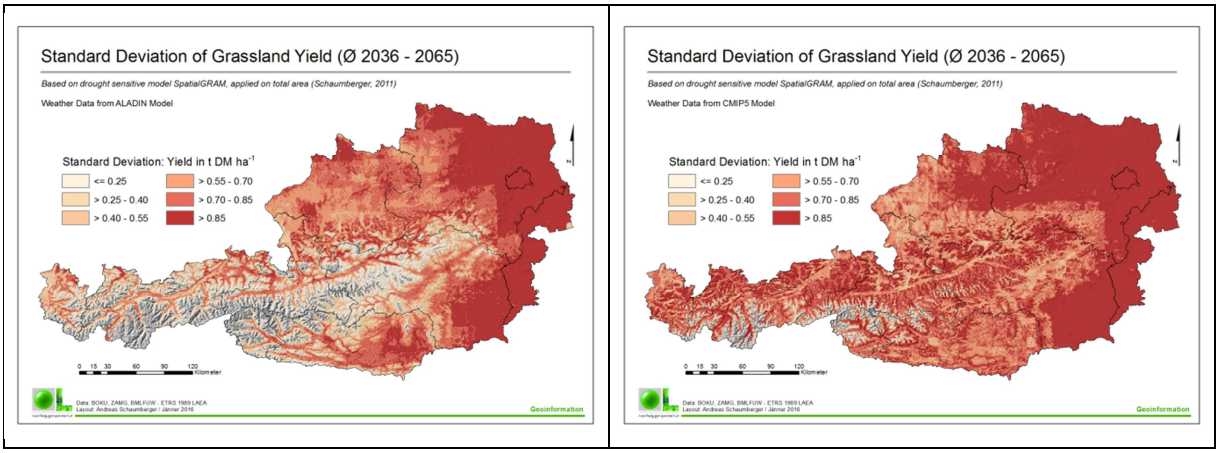


Abbildung 37: Standardabweichung der Ertragsschätzung mittels SpatialGRAM im Mittel für die Klimaperiode 2036 bis 2065 für die Klimamodelle ALADIN und CMIP5

Die Projektion des Klimas für die Periode 2036 bis 2065 auf der Basis von ALADIN und CMIP5 bedarf einer Fehlerkorrektur, wie es die Unterschiede von Abbildung 33 und Abbildung 35 sehr deutlich vor Augen führen. Die fehlerkorrigierten Erträge wurden nach folgender Formel gebildet:

$$M_c = (S_1 / M_1) \cdot M_2$$

M_c entspricht dem korrigierten Grünlandertrag für die Periode 2036 bis 2065. Gebildet wird dieser aus dem Verhältnis des Ertrages aus Wetterstationsdaten der Periode 1981 bis 2010 S_1 sowie dem Ertrag des Modells für die selbe Periode M_1, multipliziert mit dem Modellertrag der Periode 2036 bis 2065 M_2.

In Abbildung 38 sind die korrigierten Grünlanderträge für die Periode 2036 bis 2065 dargestellt. Erst durch die Fehlerkorrektur wird die charakteristische Ertragsverteilung zwischen Bergland und Flachland deutlich (vgl. Abbildung 36). Beim moderaten Szenario ALADIN sind hohe Erträge vor allem im intensiv genutzten Alpenvorland (Nordstaulagen) zu erwarten, wo die Wasserversorgung auch bei einer Zunahme der Temperaturen ausreicht. Niedrige Erträge werden sich erwartungsgemäß im östlichen Flachland einstellen. Das Modell CMIP5 differenziert zwischen Regionen mit hohen Erträgen und jenen mit niedrigen noch stärker. Das Bergland weist großflächig deutlich höhere Erträge auf, als dies noch in der Referenzperiode 1981 bis 2010 der Fall ist. Auch die Trockengebiete im Osten und Südosten sind stärker ausgeprägt.

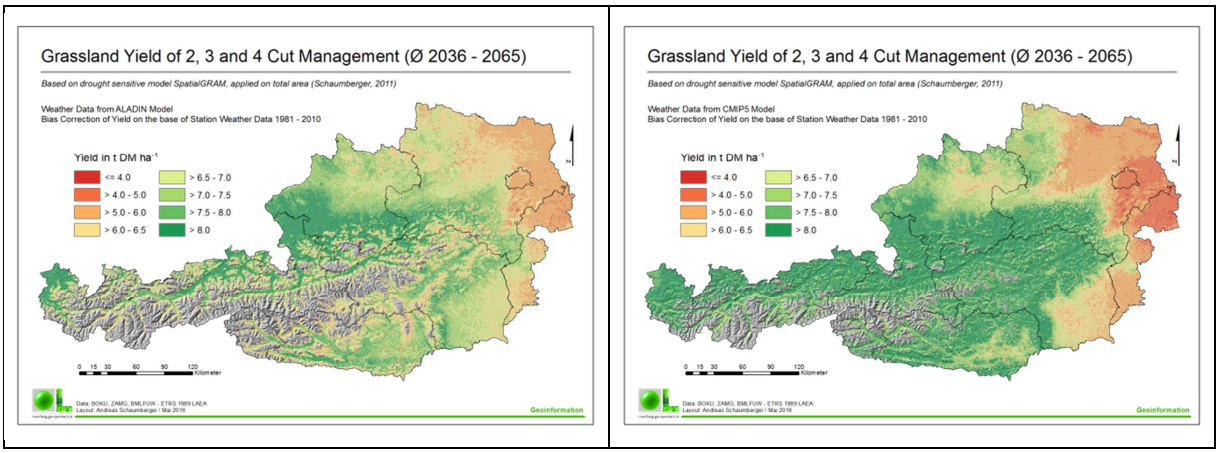


Abbildung 38: Ergebnisse der Ertragsschätzung mittels SpatialGRAM im Mittel für die Klimaperiode 2036 bis 2065 für die Klimamodelle ALADIN und CMIP5 nach einer Fehlerkorrektur auf Basis der Referenzperiode

Als Extremszenario beschreibt CMIP5 eine massive Zunahme der Temperatur und eine stärkere Variabilität bei den Niederschlägen. Die höheren Temperaturen wirken sich bei ausreichender Wasserversorgung vor allem im Berggebiet bis in hohe Lagen günstig für die Grünlandbewirtschaftung aus. Ertragseinbrüche sind in ausgedehnten Bereichen rund um den Alpenhauptkamm zu erwarten. Auch bei der CMIP5-Auswertung zeigt die Fehlerkorrektur eine deutlich realistischere Verteilung der Grünlanderträge auf, wie sie aufgrund der projizierten Klimaentwicklung zu erwarten ist und bildet damit gegenüber der nicht korrigierten Variante in Abbildung 36 eine starke Verbesserung der Interpretierbarkeit.

Das eigentliche Ergebnis aus den im vorliegenden Projekt ermittelten Grünlanderträgen bilden die relativen Ertragsveränderungen zwischen Referenz- und zukünftiger Periode. Aus methodischen Gründen, die in SCHAUMBERGER (2011) ausführlich diskutiert werden, ist SpatialGRAM in erster Linie dafür geeignet, diese relativen Unterschiede in zeitlicher und räumlicher Hinsicht herauszuarbeiten. Die oben dargestellten absoluten Ertragsschätzungen stellen lediglich Zwischenergebnisse dar und können nur unter Vorbehalt interpretiert werden. In Abbildung 39 ist demnach das Endergebnis aus den Berechnungen mit den Wetterdaten der Klimamodelle ALADIN und CMIP5 kartographisch dargestellt.

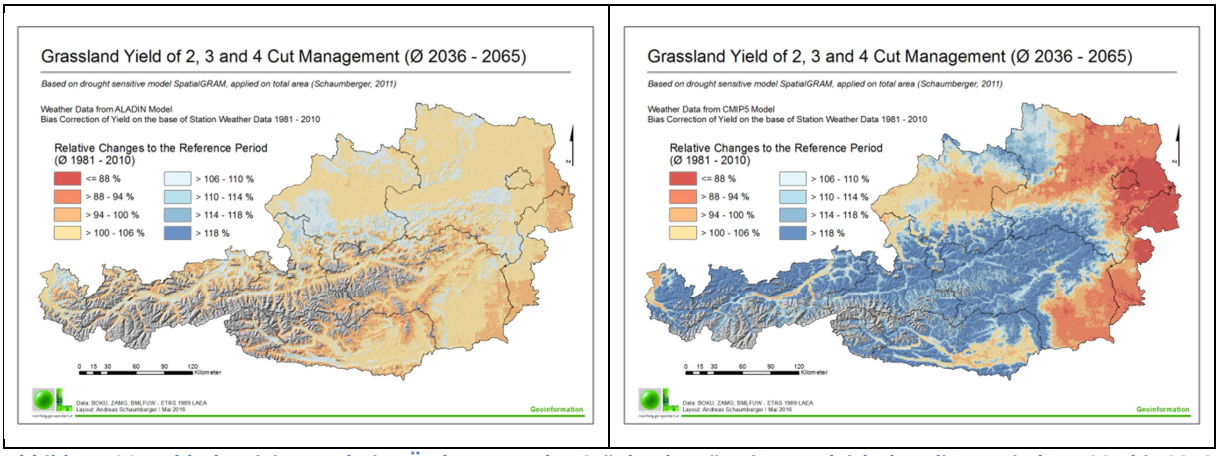


Abbildung 39: Fehlerkorrigierte relative Änderungen der Grünlanderträge im Vergleich der Klimaperioden 1981 bis 2010 und 2036 und 2065, errechnet mittels SpatialGRAM für die Klimamodelle ALADIN und CMIP5

Aus den Ergebnissen der Ertragsmodellierung und den daraus errechneten relativen Ertragsveränderungen sind mit den zur Verfügung stehenden Modelldaten folgende Erkenntnisse abzuleiten:

- Auf Basis des Klimaszenarios ALADIN gibt es kaum nennenswerte Verschiebungen der Grünlanderträge. In höheren Lagen kommt es zu einer leichten Ertragsdepression.
- CMIP5 zeigt einen sehr deutlichen Klimaeffekt auf die Grünlandbewirtschaftung. Neben massiven Ertragseinbußen im Flachland kommt es im Berggebiet zu einer deutlichen Ertragssteigerung, die hauptsächlich durch höhere Temperaturen bei ausreichender Wasserversorgung verursacht werden.

Die bislang gezeigten Ergebnisse beziehen sich auf Rasteroberflächen mit möglichst vollständiger Flächenabdeckung. Um mit anderen BEAT-Projektergebnissen kompatibel zu sein, wurden sämtliche Rasterergebnisse auf Kleinproduktionsgebiete umgelegt. Dafür wurde die ArcGIS-Funktion *Zonal Statistics* verwendet, welche sämtliche Rasterzellen innerhalb einer Kleinproduktionsgebietsgrenze statistisch auswertet. Die räumlichen Mittelwerte wurden anschließend mittels *Join* mit der Gebietskulisse der Kleinproduktionsgebiete verlinkt und dann kartographisch aufbereitet. Die nachfolgenden Abbildungen entsprechen den Rasterergebnissen, lediglich die Darstellung ist hier aufgrund der Zuordnung zu den Kleinproduktionsvektoren anders.

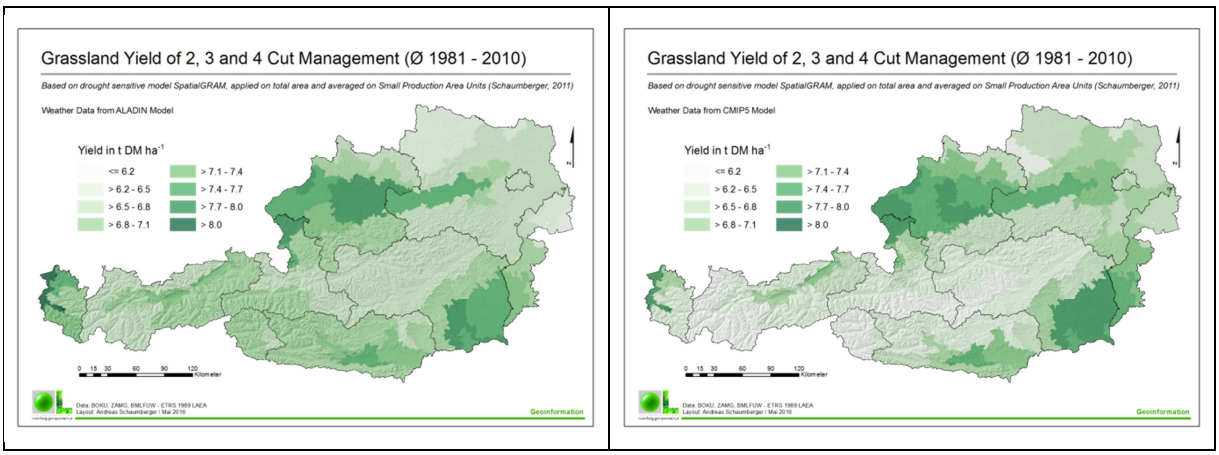


Abbildung 40: Ergebnisse der Ertragsschätzung mittels SpatialGRAM im Mittel für die Klimaperiode 1981 bis 2010 für die Klimamodelle ALADIN und CMIP5, gemittelt für Kleinproduktionsgebiete

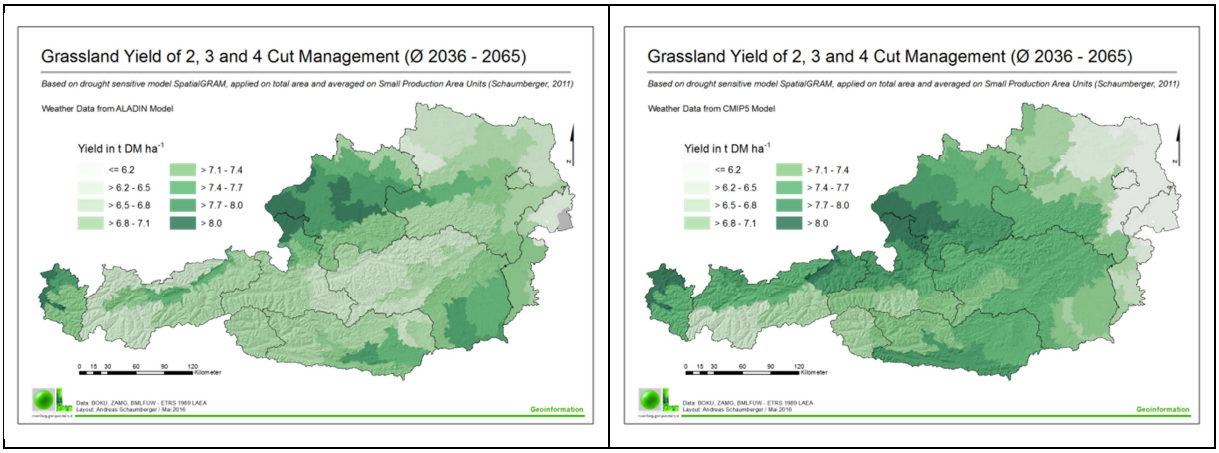


Abbildung 41: Ergebnisse der Ertragsschätzung mittels SpatialGRAM im Mittel für die Klimaperiode 2036 bis 2065 für die Klimamodelle ALADIN und CMIP5, gemittelt für Kleinproduktionsgebiete

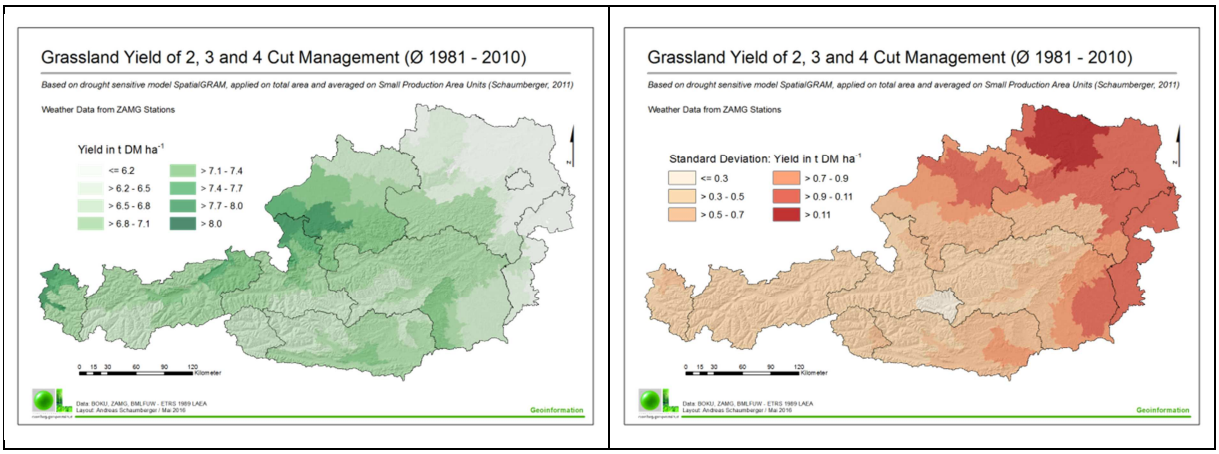


Abbildung 42: Ertragsschätzung und Standardabweichung als Ergebnisse aus dem Modell SpatialGRAM auf Basis historischer Wetterbeobachtungen an den ZAMG-Stationen im Mittel für die Periode 1981 bis 2010, gemittelt für Kleinproduktionsgebiete

Auf eine wiederholte Interpretation wird bei diesen Ergebnissen verzichtet, da sie sich lediglich in der Darstellung und Klassenbildung von den Rasterdaten unterscheiden. Auch hier zeigen die fehlerkorrigierten Auswertungen deutlich bessere Zusammenhänge zwischen Klima und den Erwartungswerten hinsichtlich einer räumlichen Verteilung der Ertragsänderungen.

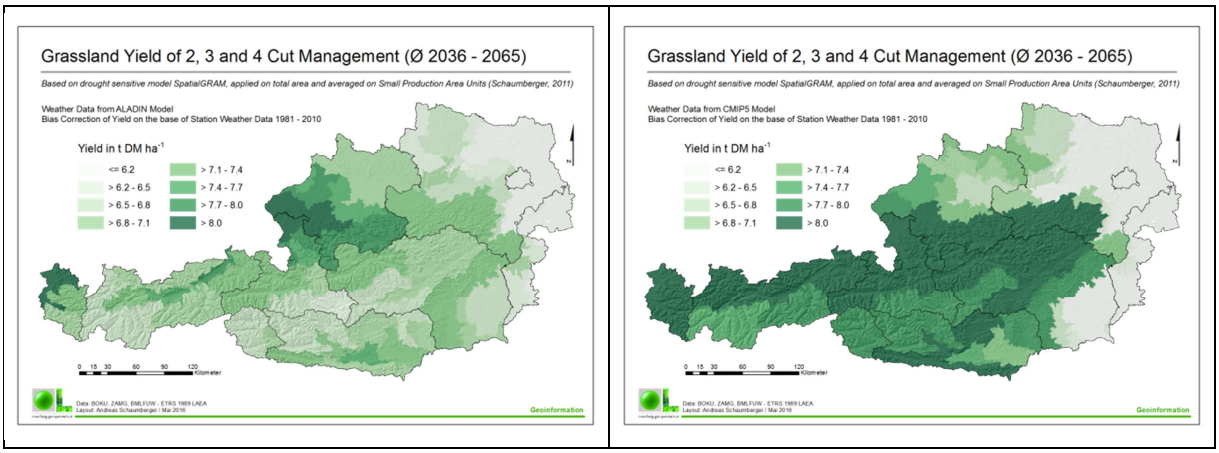


Abbildung 43: Ergebnisse der Ertragsschätzung mittels SpatialGRAM im Mittel für die Klimaperiode 2036 bis 2065 für die Klimamodelle ALADIN und CMIP5 nach einer Fehlerkorrektur auf Basis der Referenzperiode, gemittelt für Kleinproduktionsgebiete

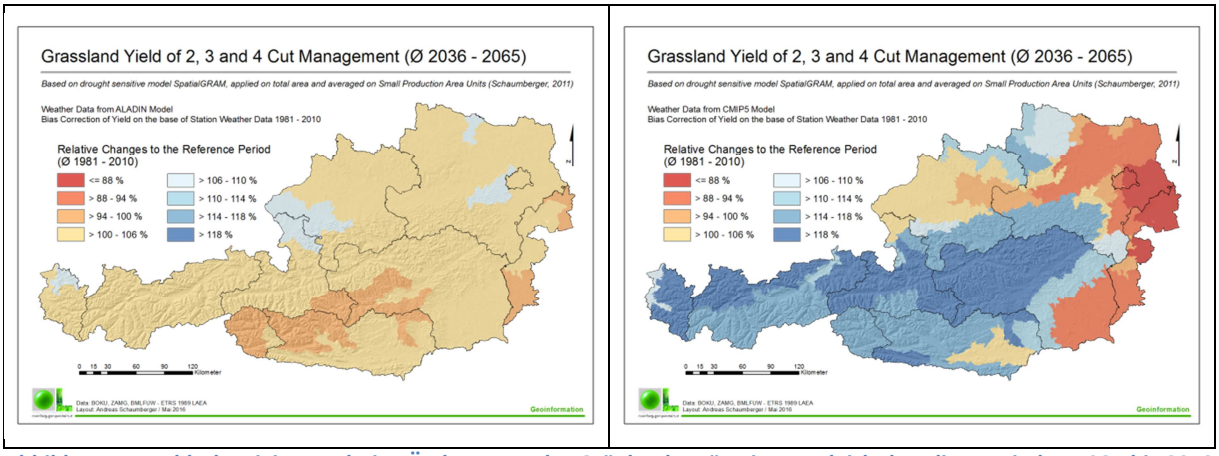


Abbildung 44: Fehlerkorrigierte relative Änderungen der Grünlanderträge im Vergleich der Klimaperioden 1981 bis 2010 und 2036 und 2065, errechnet mittels SpatialGRAM für die Klimamodelle ALADIN und CMIP5, gemittelt für Kleinproduktionsgebiete

4.4.2 Auswertung von Grünlandqualitätserträgen für Kleinproduktionsgebiete

In Abbildung 45 sind die berechneten Trockenmasse- und Energieerträge pro Flächeneinheit (ha), aggregiert auf Kleinproduktionsgebiete dargestellt. Die Karte der Trockenmasseerträge zeigt höhere Erträge in den typischen Grünlandregionen, insbesondere im intensiv genutzten Alpenvorland.

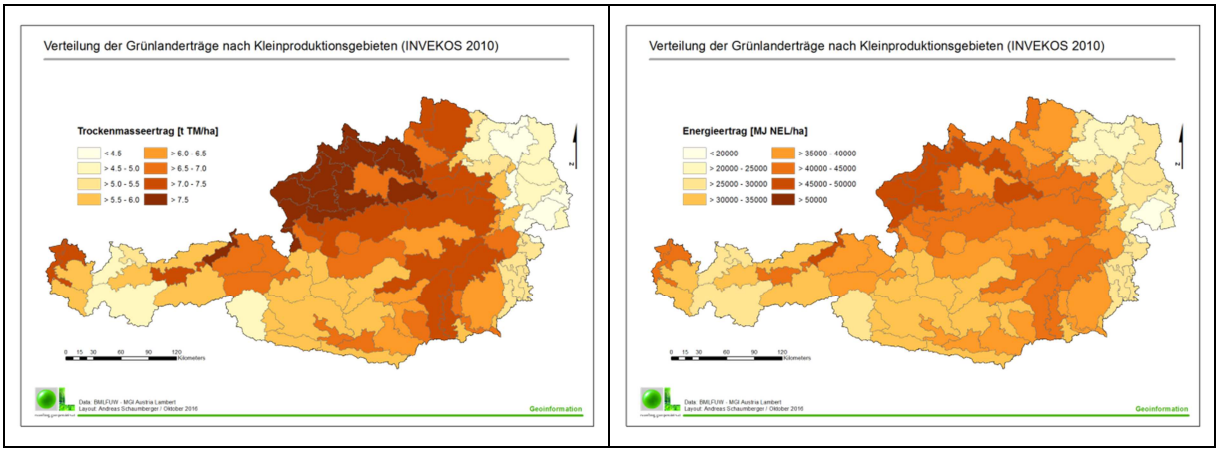


Abbildung 45: Grünlandtrockenmasse- und Energieerträge unterschiedlicher Grünlandarten pro Flächeneinheit (ha) für das in INVEKOS 2010 ausgewiesene Grünland, aggregiert auf Kleinproduktionsgebiete

Um die im Projekt BEAT angenommene Klimaänderung zu berücksichtigen, wurden die Änderungsfaktoren der beiden Klimamodelle ALADIN und CMIP5, gemittelt auf Kleinproduktionsgebiete (vgl. Abbildung 44) verwendet. Die Ausgangsituation, dargestellt als mittlere Erträge in den Kleinproduktionsgebieten gemäß INVEKOS 2010, wurde mit den jeweiligen Änderungsfaktoren multipliziert und daraus die klimainduzierte Ertragsveränderung berechnet.

In Abbildung 46 sind die Ergebnisse für die Anpassung der Erträge an die Änderungsfaktoren des Modells ALADIN dargestellt. Die Energieerträge (MJ NEL) pro Flächeneinheit (ha) zeigen im Vergleich zur Ausgangssituation (Abbildung 45) kaum Veränderungen, die Trockenmasseerträge nehmen in den intensiv genutzten Grünlandgebieten leicht zu.

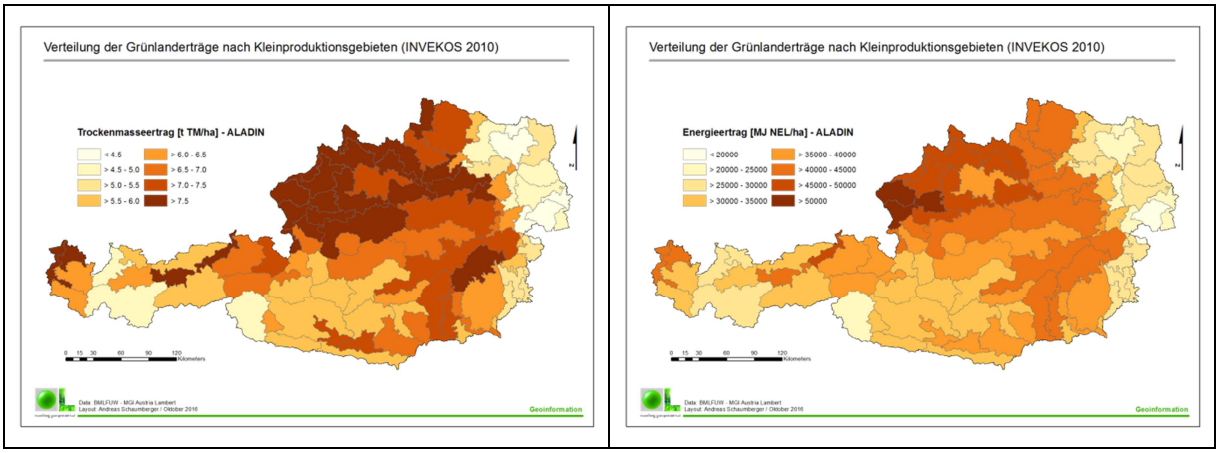


Abbildung 46: Grünlandtrockenmasse- und Energieerträge unterschiedlicher Grünlandarten pro Flächeneinheit (ha) für das in INVEKOS 2010 ausgewiesene Grünland, aggregiert auf Kleinproduktionsgebiete für ein Klimaszenario gemäß dem Modell ALADIN

Abbildung 47 mit den Ergebnissen der Klimaänderung gemäß Modell CMIP5 hingegen zeigt deutlich Veränderungen in verschiedenen Landesteilen. Zunahmen in den intensiv genutzten Gebieten rund um den Alpenhauptkamm, aber auch Zunahmen im Berggebiet. Eine Ertragsabnahme ist in den östlichen und südöstlichen Landesteilen zu beobachten. Die Veränderungen der Ausgangssituation entsprechen den relativen Änderungen der Grünlanderträge in Abhängigkeit der jeweils projizierten Klimaszenarien ALADIN und CMIP5 (vgl. Abbildung 44). Die Energieerträge pro Flächeneinheit bleiben annähernd gleich hoch.

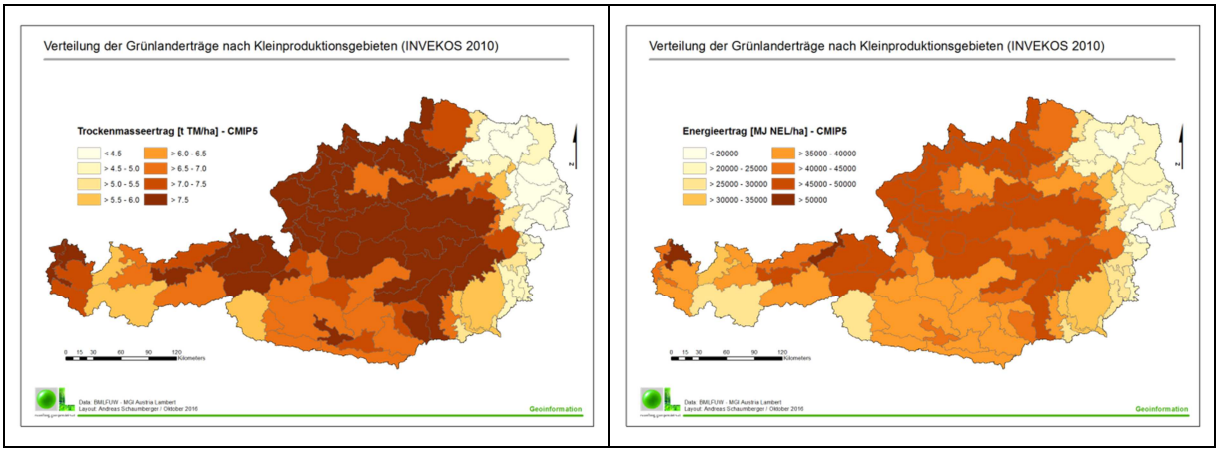


Abbildung 47: Grünlandtrockenmasse- und Energieerträge unterschiedlicher Grünlandarten pro Flächeneinheit (ha) für das in INVEKOS 2010 ausgewiesene Grünland, aggregiert auf Kleinproduktionsgebiete für ein Klimaszenario gemäß dem Modell CMIP5

4.4.3 Schlussfolgerungen zur Ertragsschätzung im Grünland

Die Grünlanderträge in Österreich zeigen in Abhängigkeit des verwendeten Klimaszenarios eine mehr oder weniger starke Veränderung in Abhängigkeit des Klimas. Das moderate Szenario ALADIN weist sehr geringe Effekte auf die Ertragsdynamik für die Periode 2036 bis 2065 auf – im Wesentlichen bleibt die räumliche Verteilung der aktuellen Grünlanderträge auch in Zukunft unverändert. Beim extremen Szenario CMIP5 fällt die Veränderung aufgrund des stärkeren Klimasignals für die zukünftige Periode 2036 bis 2065 wesentlich deutlicher aus.

Ertragszunahmen sind im Berggebiet mit höheren Temperaturen bei ausreichender Wasserversorgung erklärbar. Ist die Wasserversorgung ein limitierender Faktor, kommt es zu

Ertragseinbußen, wie sie im Flachland rund um den Alpenhauptkamm zu erwarten sind. Das aktuell hohe Ertragsniveau nördlich der Alpen in den Nordstaulagen wird sich nicht wesentlich weiter nach oben bewegen. Allerdings werden die höheren Lagen in den Tälern des Alpenhauptkamms aufgrund der günstigen Temperaturentwicklung ihre Produktivität steigern können.

Im Norden (Welser Heide), dem östlichen Flachland, der Südoststeiermark sowie im Süden Kärntens (Klagenfurter Becken) nimmt das Ertragspotenzial aufgrund der zu erwartenden Trockenperioden deutlich ab. Hier muss gesagt werden, dass in diesen Gebieten (vor allem im östlichen Ackerbaugebiet) ohnehin kaum Grünlandwirtschaft betrieben wird – es handelt sich also um eine hypothetische Ertragsdynamik. Die tatsächlich als Grünland bewirtschafteten Flächen sind bei Bedarf mit dem Grünland-Nutzungslayer nach INVEKOS oder CORINE entsprechend einzuschränken. Da es bei dieser Auswertung hauptsächlich darum geht, die Wirkung des Klimas auf den Grünlandertrag zu beschreiben, wurde diese räumliche Maskierung auf die Endergebnisse in der vorliegenden Projektarbeit nicht angewendet. Zudem wurden die auf Rasterzellenebene ermittelten Ergebnisse zusätzlich auf Kleinproduktionsgebiete umgelegt und somit von den tatsächlichen Grünlandparzellen entkoppelt.

Die Projektionen von Klimaveränderungen beschränken sich in erster Linie auf relative Unterschiede zwischen einander gegenübergestellten Klimaperioden – das Klimaänderungssignal steht im Vordergrund. Auch bei Impaktstudien wie bei der vorliegenden ist das Änderungssignal primäres Ergebnis der Auswertungen. Die hier vorgestellten absoluten Grünlandertragsschätzungen sind wegen der zugrundeliegenden Modellkonzeption (vgl. die Beschreibung von SpatialGRAM in SCHAUMBERGER (2011)) lediglich als Zwischenergebnisse zu betrachten und nur hinsichtlich ihrer räumlichen Verteilung interpretierbar. Die relativen Veränderungen der gemittelten Grünlanderträge zwischen der Referenzperiode 1981 und 2010 und der zukünftigen Periode 2036 bis 2065 bilden jenen Datenbestand ab, der für weiterführende Analysen und der Kombination mit anderen Projektergebnissen heranzuziehen ist.

4.5 Wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen auf Basis der Ertragspotentiale der Böden: Kleinproduktionsgebiete

4.5.1 Identifizierung der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen im Ist-Zustand

Basierend auf dem in Kapitel 3.6.2 beschriebenen Ansatz wurden für die Kleinproduktionsgebiete Mindestausmaße für verfügbare wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen ermittelt (siehe Tabelle 11). Österreichweit wurden insgesamt 1,125 Mio. ha wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen ausgewiesen, wobei sich ca. 825.000 ha über Ackerland und ca. 300.000 ha über Grünland erstrecken.

Tabelle 11: Aufstellung der Mindestausmaße von verfügbaren wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen [ha] (Ackerland + Grünland) nach Kleinproduktionsgebieten (KPG) (HPG: 1xx…Hochalpen, 2xx…Voralpen, 3xx…Alpenostrand, 4xx…Wald- und Mühlviertel, 5xx…Kärntner Becken, 6xx…Alpenvorland, 7xx…Südöstliches Flach- und Hügelland, 8xx…Nordöstliches Flach- und Hügelland)

KPG	Fläche [ha]	KPG	Fläche [ha]	KPG	Fläche [ha]	KPG	Fläche [ha]
101	4.035	201	8.425	501	7.040	801	1.676
102	1.844	202	4.193	502	22.387	802	52.245
103	3.589	203	5.148	503	8.097	803	12.589
104	5.703	204	8.866	601	7.047	804	23.879
105	4.411	205	17.734	602	2.402	805	51.758
106	4.405	206	32.493	603	13.466	806	18.492
107	7.042	207	8.621	604	26.708	807	57.291
108	12.880	208	3.630	605	9.421	808	36.175
109	2.319	209	3.086	606	43.042	809	30.576
110	1.742	301	5.587	607	17.596	810	4.922
111	2.257	302	4.044	608	55.946	811	7.814
112	3.895	303	11.275	609	46.100	812	10.557
113	1.689	304	7.534	610	35.450	813	12.039
114	6.956	305	8.508	611	33.437	814	20.954
115	5.007	306	18.721	701	13.256	815	14.898
116	2.959	307	13.699	702	6.289	816	12.684
117	5.456	308	6.393	703	11.222		
118	3.802	309	13.601	704	53.653		
119	3.865	310	26.546	705	9.962		
120	9.837	401	50.488	706	14.854		
121	4.215	402	35.324	707	6.320		
122	2.379	403	16.142				
123	12.960	404	13.008				
124	4.048	405	57.191				
125	9.218	406	12.156				

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen beispielhaft Ergebnisse aus der Nominierung der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen der Variante 2 (siehe Kap. 3.6.2). Die Abbildung 48 zeigt die Situation in einer landwirtschaftlichen Gunstlage im Oberösterreichischen Zentralraum. Erkennbar sind die hochproduktiven Gebiete des Eferdinger Beckens, der Hochterrassen von Traun und Enns

sowie des Machlandes (nördlich der Donau), wo große zusammenhängende wertvolle landwirtschaftlichen Produktionsflächen ausgewiesen wurden.

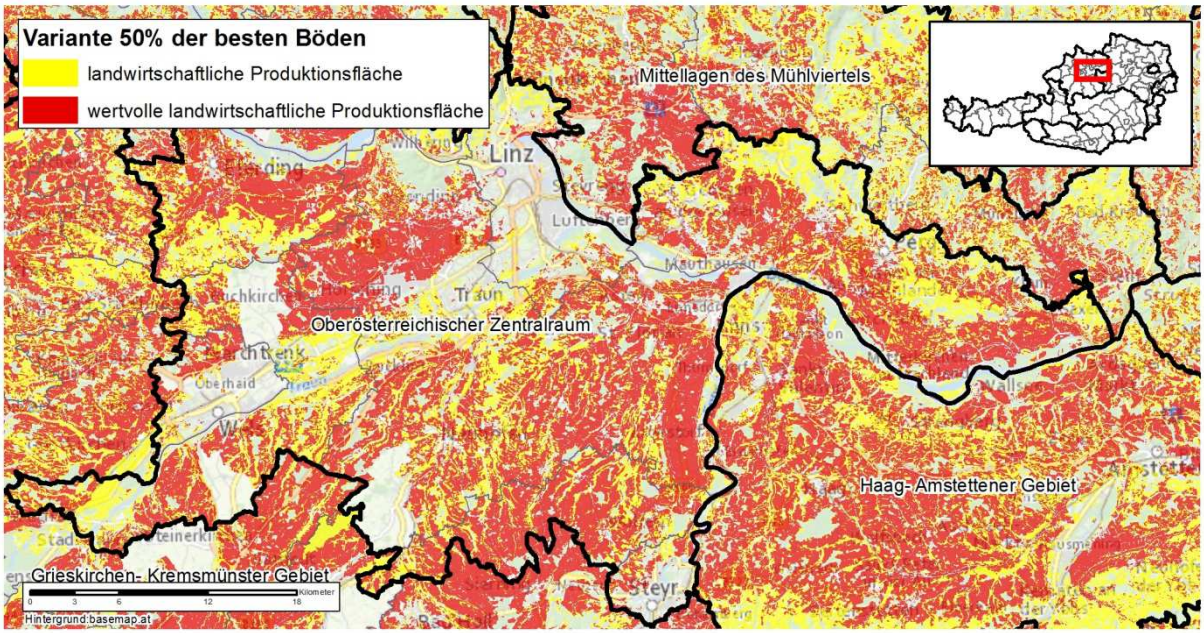


Abbildung 48: Ausgewiesene wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen in einem KPG der landwirtschaftlichen Gunstlagen (KPG Oberösterreichischer Zentralraum)

Anders stellt sich die Situation in einer alpinen Tallandschaft (z.B. Glemmtal) dar, wo nur vereinzelte Bereiche des Talbodens als wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen ausgewiesen wurden (siehe Abbildung 49).

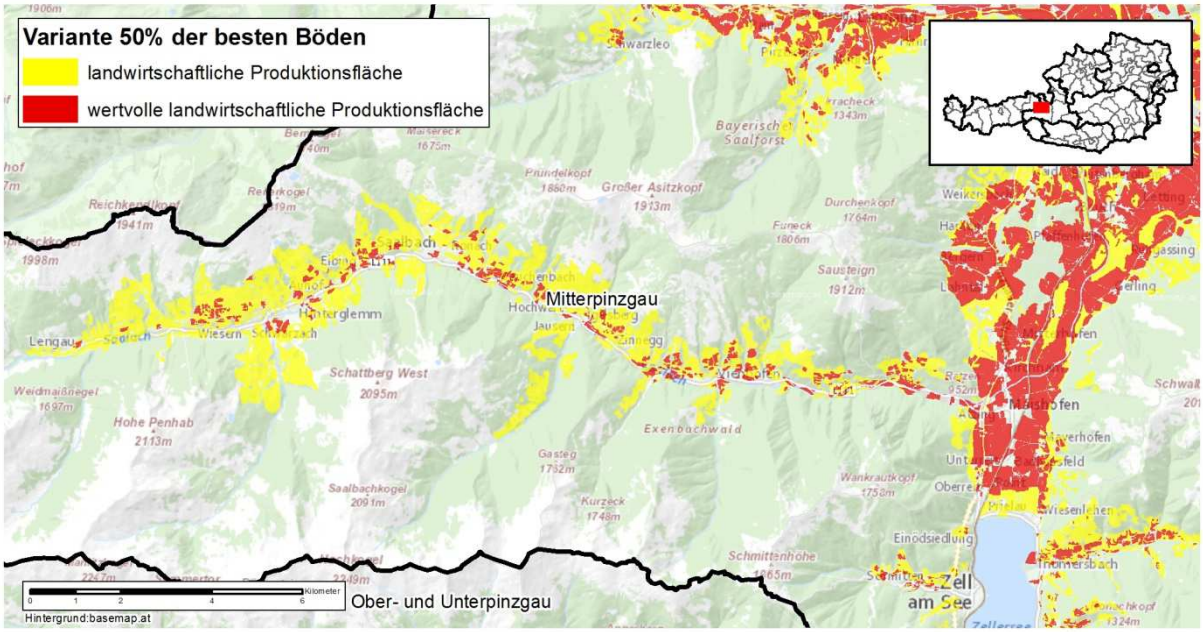


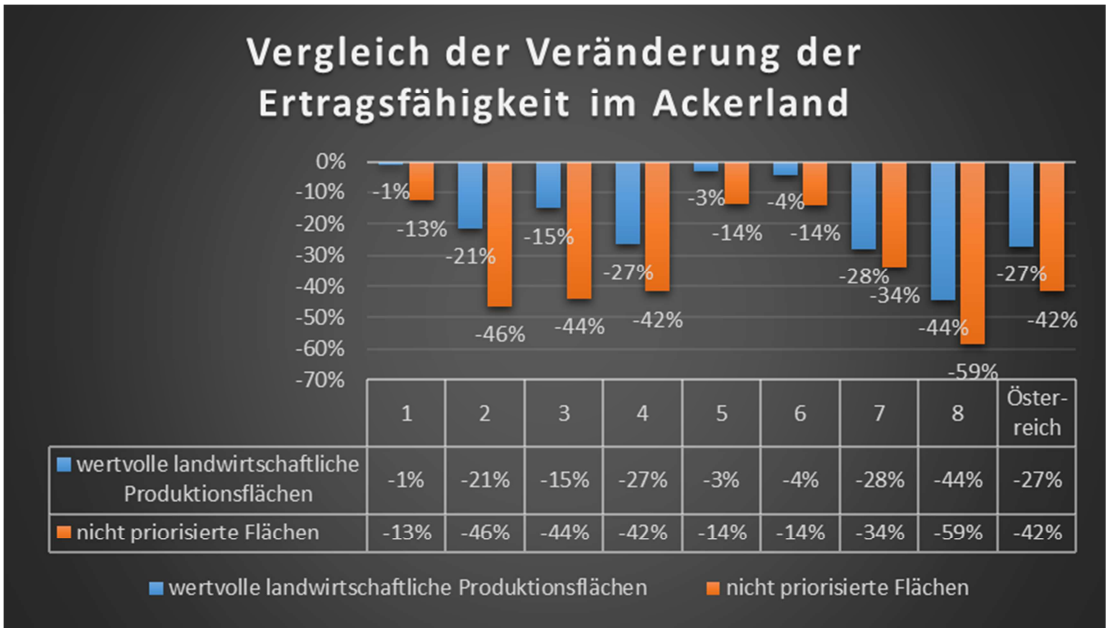
Abbildung 49: Ausgewiesene wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen in einer alpinen Tallandschaft (KPG Mitterpinzgau)

4.5.2 Identifizierung wertvoller landwirtschaftlicher Produktionsflächen basierend auf dem Modell CMIP5 (2036-2065)

Im Zuge der Veränderungen der Ertragspotentiale im angenommenen Extremszenario CMIP5 für die Zeitspanne 2036 bis 2065 ergeben sich wesentliche Änderungen bei der Identifizierung der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen. Das Flächenausmaß im angeführten Beispiel aus dem Mitterpinzgau (siehe Abbildung 49) würde sich aus folgenden Gründen verringern:

- Stärkere Differenzierung und verstärktes Bonitätsgefälle der Böden in hohe und geringe Ertragsfähigkeit
- Verminderung der regionalen Ertragsfähigkeit und regionalen Bodenklimazahl im Kleinproduktionsgebiet

Ein Vergleich zwischen dem Anteil der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen und jenem der nicht-priorisierten Flächen, also Flächen, die bei der Selektion der wertvollen landwirtschaftlichen Böden nicht ausgewählt wurden, (siehe nachfolgende Abbildungen) zeigt, dass erstere eine geringere Veränderung der Ertragsfähigkeit erfahren würden als letztere. Eine Identifizierung ertragreicher Standorte in Form von wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen ist daher für die Erhaltung der Produktivität von besonderer Bedeutung.



	1	2	3	4	5	6	7	8	Öster-reich
wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen	-1%	-21%	-15%	-27%	-3%	-4%	-28%	-44%	-27%
nicht priorisierte Flächen	-13%	-46%	-44%	-42%	-14%	-14%	-34%	-59%	-42%

Abbildung 50: Vergleich der Veränderung (Modell CMIP5) der Ertragsfähigkeit von wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen und nicht priorisierten Flächen für jedes Hauptproduktionsgebiet im Ackerland (1…Hochalpen, 2…Voralpen, 3…Alpenostrand, 4…Wald- und Mühlviertel, 5…Kärntner Becken, 6…Alpenvorland, 7…Südöstliches Flach- und Hügelland, 8…Nordöstliches Flach- und Hügelland)

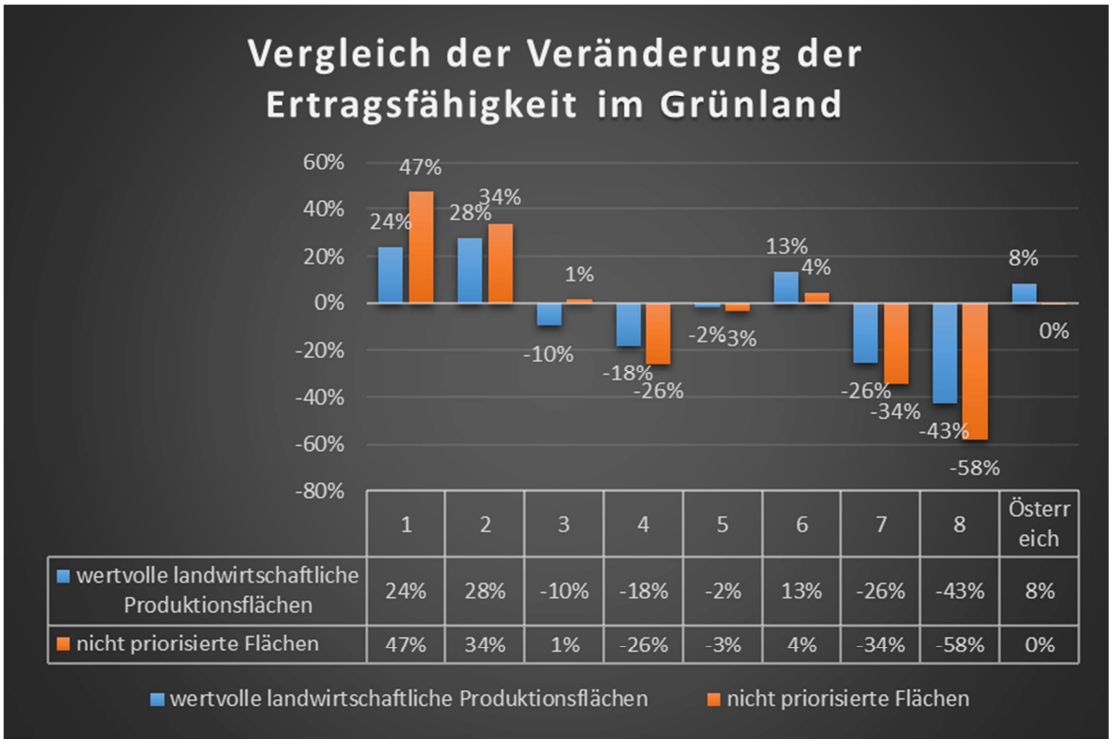


Abbildung 51: Vergleich der Veränderung (Modell CMIP5) der Ertragsfähigkeit von wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen und nicht priorisierten Flächen für jedes Hauptproduktionsgebiet im Grünland (1…Hochalpen, 2…Voralpen, 3…Alpenostrand, 4…Wald- und Mühlviertel, 5…Kärntner Becken, 6…Alpenvorland, 7…Südöstliches Flach- und Hügelland, 8…Nordöstliches Flach- und Hügelland)

4.6 Zukünftige, klimawandelbedingte Veränderungen der Ertragspotentiale der Böden

Das Ertragspotential des Bodens kann nicht isoliert von den klimatischen Verhältnissen betrachtet werden, sondern ist immer eine Symbiose aus Boden und Klima am Standort. Die Änderung der Klimaverhältnisse geht insbesondere mit Auswirkungen auf ertragsbegrenzende Faktoren des jeweiligen Standortes einher.

Mithilfe der bodenartspezifischen Bodenklimakurven wurden aufgrund der Veränderung von Temperatur (14-Uhr-Temperatur, Wärmesumme) und Niederschlag Abweichungen vom jeweiligen Nullpunkt errechnet.

Die Änderungen der Ertragsverhältnisse durch den Vergleich der Klimaverhältnisse unter den aktuellen klimatischen Bedingungen (1981-2010) und den beiden Prognosemodellen wurde als Differenz der Klima-Zu-/-Abschläge zur aktuellen Klimaperiode und den beiden Prognosemodellen für jede einzelne Klassenfläche (aufgrund deren Bodenart und den an der Bodenoberfläche vorliegenden Klimaverhältnissen) ermittelt und klassifiziert.

4.6.1 Modell ALADIN (2036-2065)

Der Vergleich der Klimawerte der Referenzperiode 1981 bis 2010 mit denen des Klimamodells ALADIN für die Zeitspanne 2036-2065 lässt Rückgänge im Ertrag insbesondere im Nordosten in Teilen des Weinviertels sowie im Marchfeld und im Nord- und Mittelburgenland erwarten. Es sind damit die

ertragreichsten Regionen Österreichs betroffen. Die Gründe liegen insbesondere im Anstieg der Temperatur bei bereits aktuell hohen Jahrestemperaturwerten und geringen Niederschlägen.

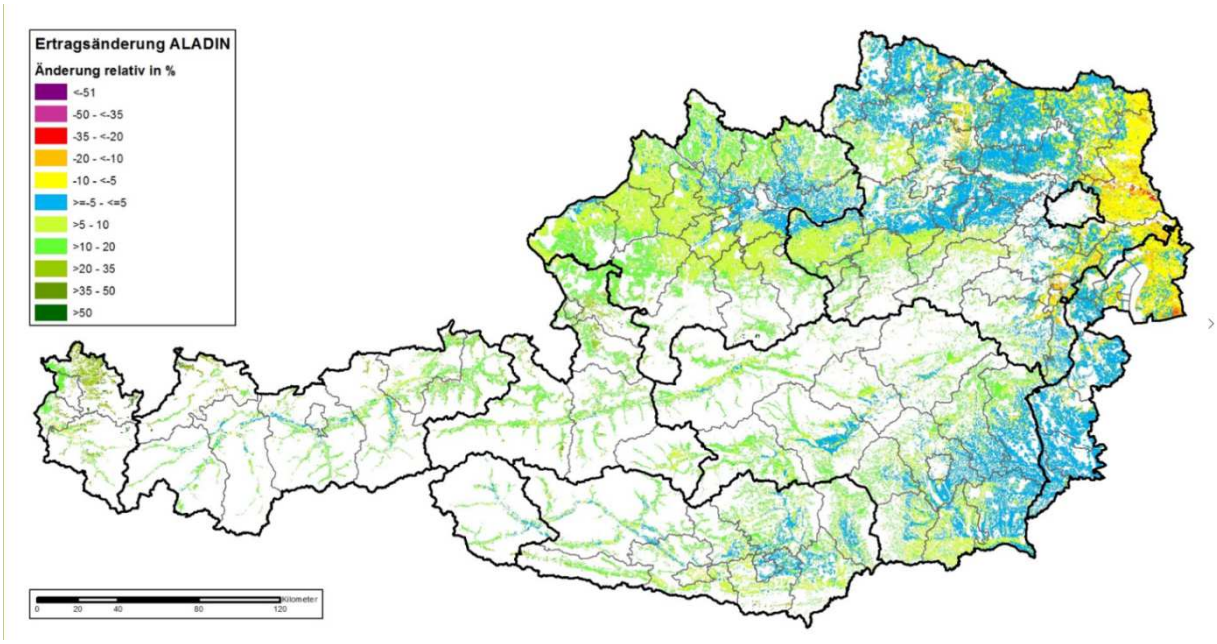


Abbildung 52: Relative Ertragsänderungen in Prozent; Vergleich der Perioden 1981-2010 und 2036-2065 nach ALADIN

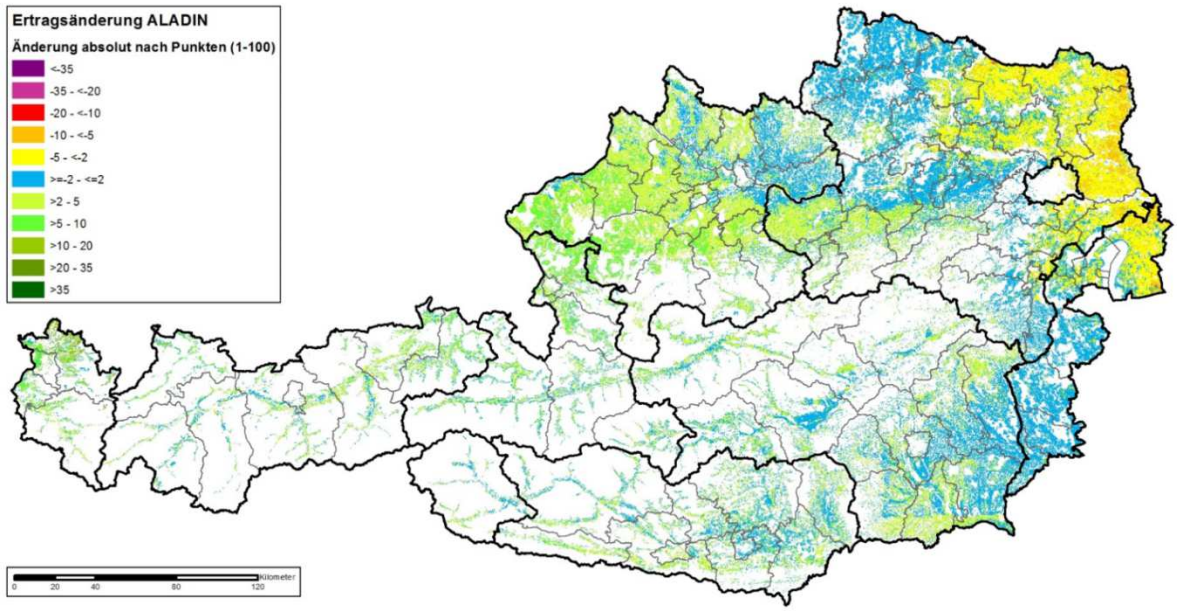


Abbildung 53: Relative Ertragsänderungen in Punkten der Acker- und Grünlandzahl; Vergleich der Perioden 1981-2010 und 2036-2065 nach ALADIN

In der Molassezone, die westlich von Wien bis nach Oberösterreich reicht, sowie im Mittelburgenland und in der Oststeiermark kompensieren die schwereren Böden, meist Lehme und lehmige Tone, die moderate Zunahme der Temperaturen und lassen daher keine Ertragsverluste erwarten.

In den größeren inneralpinen Tälern, unter anderem im Mürz-, Enns- und Lavanttal, wirken sich die Klimaänderungen ebenfalls nicht auf die Ertragsbedingungen aus.

Im Waldviertel und Innviertel hingegen ist der Grund für die gleichbleibenden Ertragsverhältnisse auf den leichten Böden in der Temperaturzunahme bei gleichzeitigem Niederschlagsanstieg zu suchen.

Ertragssteigerungen sind im Voralpenland westlich von Linz bis Salzburg, im gesamten Alpenraum sowie im Bodenseegebiet möglich. Der Grund dafür liegt in der Temperaturzunahme bei ausreichenden Niederschlagsmengen.

Grundsätzlich sind nach dem Modell ALADIN (2036-2065) bundesweit gering fallende bis gleichbleibende Ertragsverhältnisse unter Betrachtung des gesamten Bundesgebietes abschätzbar.

4.6.2 Modell CMIP5 (2035-2065)

Ausgehend von den Klimawerten, die im Zeitraum 1981-2010 vorliegen, prognostiziert das Modell CMIP5 für die Jahre 2036-2065 wesentlich rascher eintretende, gravierendere Klimaveränderungen als das Modell ALADIN. Dementsprechend ist auch die Veränderung der Ertragssituation verschärft.

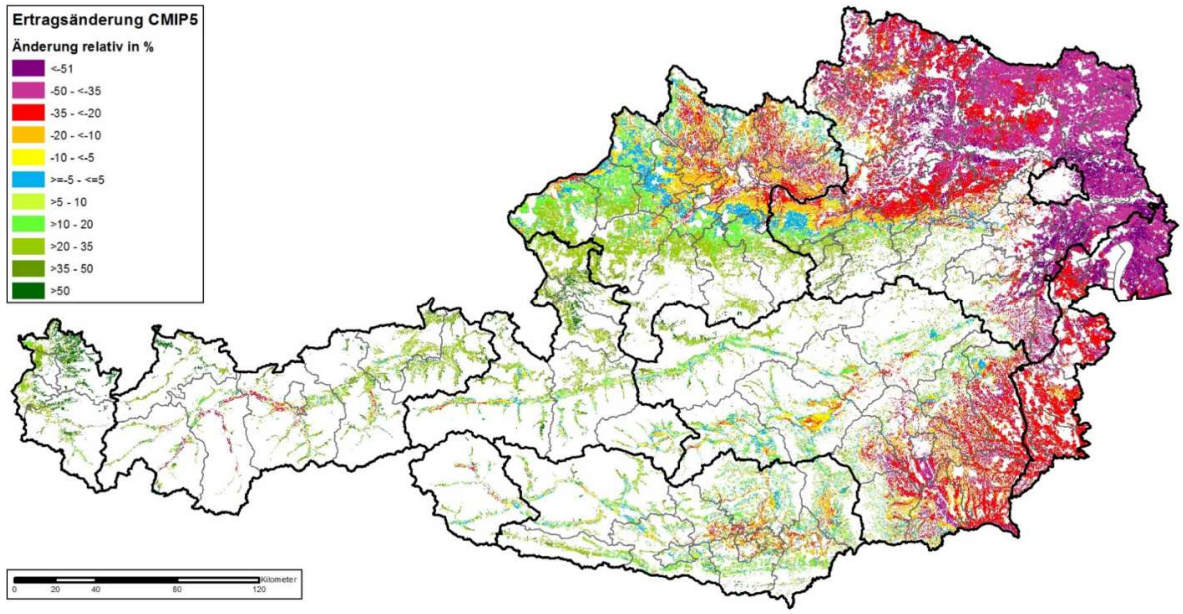


Abbildung 54: Relative Ertragsänderungen in Prozent; Vergleich der Perioden 1981-2010 und 2036-2065 nach CMIP5

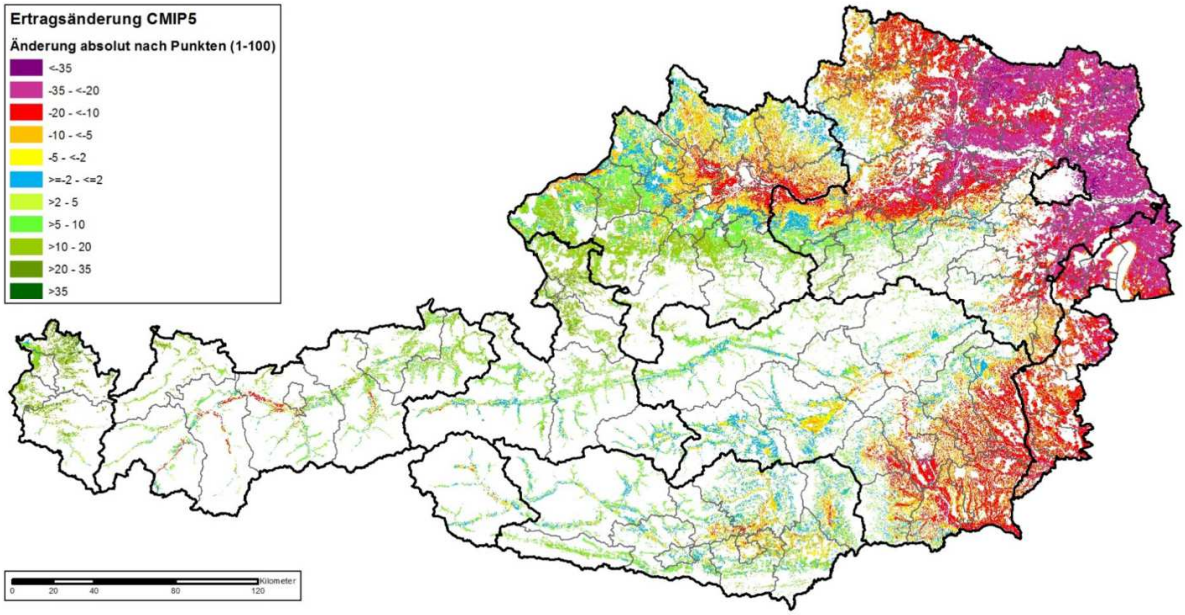


Abbildung 55: Relative Ertragsänderungen in Punkten der Acker- und Grünlandzahl; Vergleich der Perioden 1981-2010 und 2036-2065 nach CMIP5

Die Zunahme der Temperaturen bedeuten für die bereits aktuell tendenziellen Trockengebiete im Osten und Nordosten des Bundesgebietes massive Ertragsverluste. Weiters sind der Donauraum, das Wald- und Mühlviertel, das Südburgenland und nahezu die gesamte Südoststeiermark von Ertragsdepressionen betroffen. Auch im Kärntner Zentralraum und Lavanttal sind Minderungen der Ertragsfähigkeit zu erwarten. Inneralpin sind in aktuell bereits als Trockengebiete bekannten Tälern (z.B. Oberes Inntal, Metnitztal) ebenfalls Ertragsrückgänge zu erwarten. Keine Ertragsminderungen sind im Molassegebiet nördlich der Donau gegeben. Die dort dominierenden schweren LT- und T-Böden kompensieren die zu erwartenden Temperaturerhöhungen bei ausreichend hohen Niederschlägen. Im niederschlagsreichen nördlichen Voralpenraum des Salzburger Flachgaus, Innviertels, der alpinen Täler sowie im Bodenseeraum wirken sich die steigenden Temperaturen positiv auf das Ertragspotential der Böden aus.

Das Ergebnis der Auswertung des Klimamodells CMIP5 weist massive, großflächige Ertragsrückgänge für Österreich aus, wobei insbesondere die derzeit ertragreichsten Flächen im Nordosten und Osten betroffen sind. Eine Kompensation durch Ertragssteigerungen im Voralpenland, in alpinen Gebieten und im Westen ist nicht zu erwarten.

Eine Aussage zu treffen in wie weit ein Ausgleich durch Bewässerung möglich sein kann, ist aus den vorhandenen Basisdaten nicht möglich. Es ist aber zu bedenken, dass eine Zunahme der Temperaturen unter Umständen auch auf die Verfügbarkeit von Wasser zur Bewässerung einen Einfluss haben könnte.

Dies zeigt sich auch aus den Veränderungen der regionalen Bodenklimazahlen für die wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen in den einzelnen Hauptproduktionsgebieten, wie sie für das Extremszenario (CMIP5) errechnet wurden. Diese sind vor allem in den heute ertragreichen Gebieten beträchtlich (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Veränderung der regionalen Bodenklimazahlen in den wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen der einzelnen Hauptproduktionsgebiete

Hauptproduktionsgebiet	Bodenklimazahl 1981-2010	Bodenklimazahl CMIP5 2036-2065
1 Hochalpen	31,9	38,5
2 Voralpen	35,1	42,7
3 Alpenostrand	36,2	31,8
4 Wald- und Mühlviertel	34,5	26,1
5 Kärntner Becken	52,3	50,9
6 Alpenvorland	55,4	55,6
7 Südöstliches Flach- u. Hügelland	51,0	37,0
8 Nordöstliches Flach- u. Hügelland	62,4	34,7

4.6.3 Durchschnittsergebnis aus den Modellen CMIP5 und ALADIN (Periode 2036-2065)

Um eine zusätzliche Aussage auf Basis der beiden Szenarien treffen zu können, wurden arithmetische Mittelwerte der Boden- bzw. Grünlandgrundzahl ((ALADIN + CMIP5)/2) aus den Ergebnissen der beiden Klimaszenarien CMIP5 und ALADIN für den Zeitraum 2036-2065 berechnet.

Der Vergleich der Periode 1981-2010 mit den Mittelwerten aus den beiden Klimamodellen für die Jahre 2036-2065 zeigt ebenfalls, dass einerseits in den thermisch begünstigten Lagen im Nordosten, Osten bis Südosten, wo aktuell die wesentlichen Flächen für die Nahrungsmittelproduktion liegen, beträchtliche Rückgänge in den Erträgen zu erwarten wären.

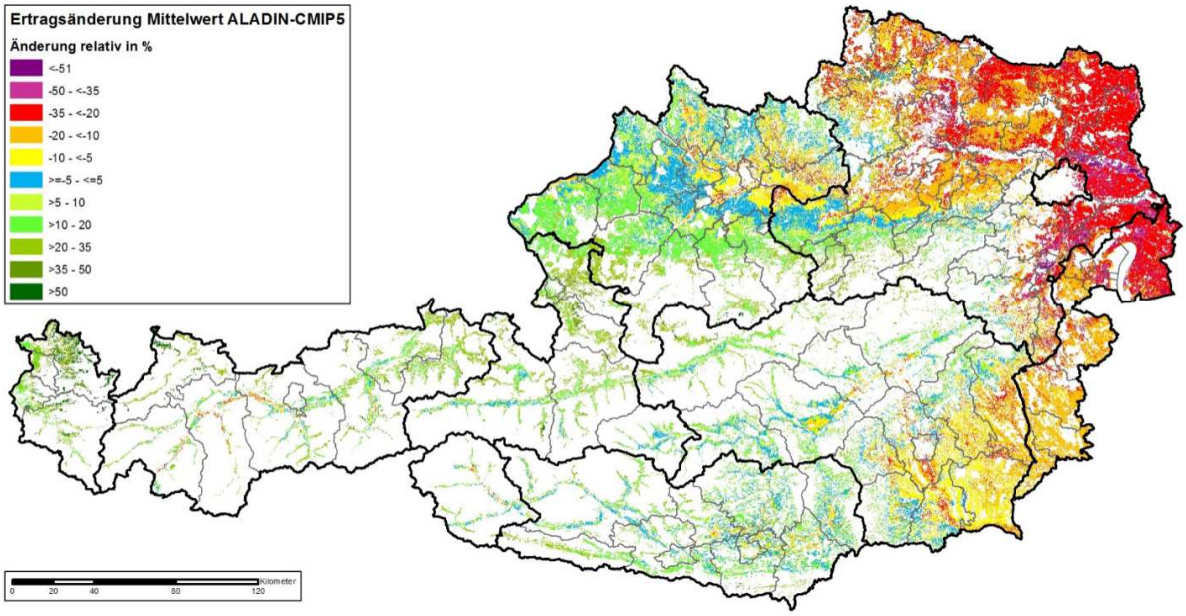


Abbildung 56: Mittlere relative Ertragsänderungen in Prozent; Vergleich der Perioden 1981-2010 und 2036-2065 nach ALADIN und CMIP5 (arithmetisches Mittel aus beiden Modellen)

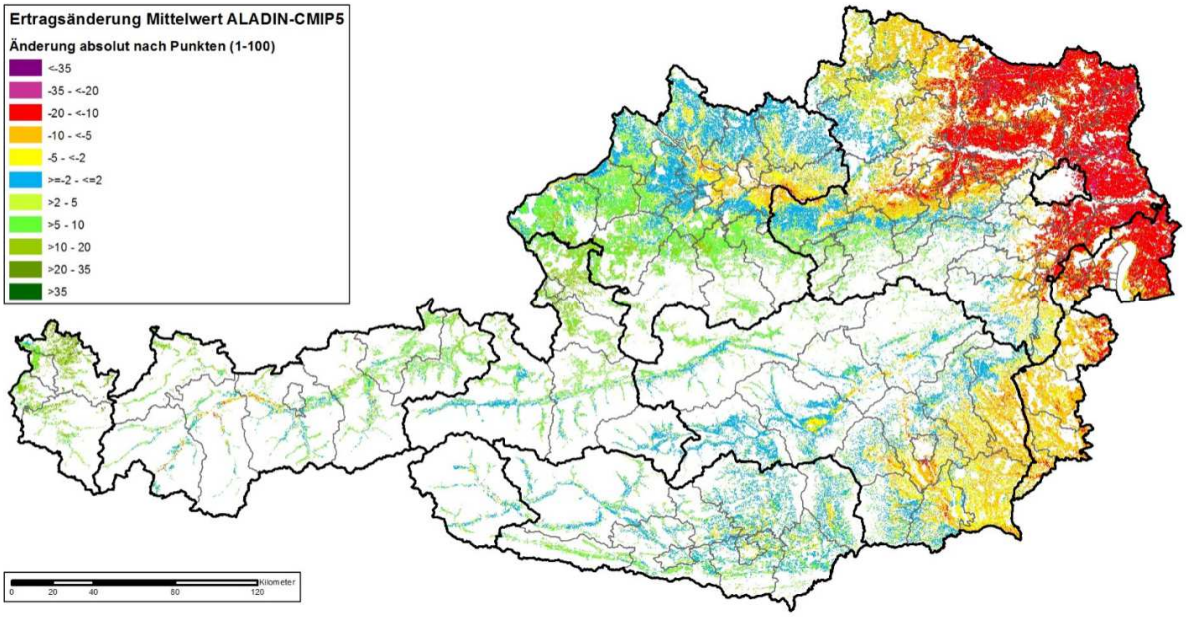


Abbildung 57: Mittlere relative Ertragsänderungen in Punkten der Acker- und Grünlandzahl; Vergleich der Perioden 1981-2010 und 2036-2065 nach ALADIN und CMIP5 (arithmetisches Mittel aus beiden Modellen)

Weiters ergeben sich großflächige Ertragsminderungen im Waldviertel sowie in den ebenen Lagen entlang der Donau, unter anderem im Eferdinger Becken. Auch im Murtal, flussabwärts von Leoben, und für das Mürztal werden Ertragsrückgänge ausgewiesen. Keine Änderungen der Ertragsverhältnisse sind für die südlichen Teile des Waldviertels, im Mostviertel und in der Region Donau - Böhmerwald angezeigt. Auch in der nördlich an das Donautal angrenzenden, westlich von Wien beginnenden Molassezone sind keine Ertragsminderungen zu erkennen. Dies gilt auch für die alpinen Lagen des Gebiets südlich der Niederen Tauern. Verbesserungen der Ertragsfähigkeit sind im Salzburger Flachgau, im Innviertel, im nordöstlichen Voralpenland und in den höheren Lagen der Alpen sowie im Bodenseeraum prognostiziert.

Das Ergebnis weist insgesamt auf einen Rückgang der landwirtschaftlichen Erträge hin. Dies ergibt sich aus dem großflächigen Ertragsrückgang in den aktuell wichtigsten Hauptproduktionsgebieten, der durch die Zunahme der Erträge in den künftig begünstigten, meist gebirgigen und kleinstrukturierten Regionen nicht ausgeglichen werden kann.

4.6.4 Statistische Auswertung und Vergleich der Referenz (1981-2010) - und der zukünftigen Periode (2036-2065) (Modell CMIP5)

Um nähere Informationen über die tendenziellen Veränderungen zu erhalten wurden für die CMIP5-Simulation die Ergebnisse statistisch ausgewertet.

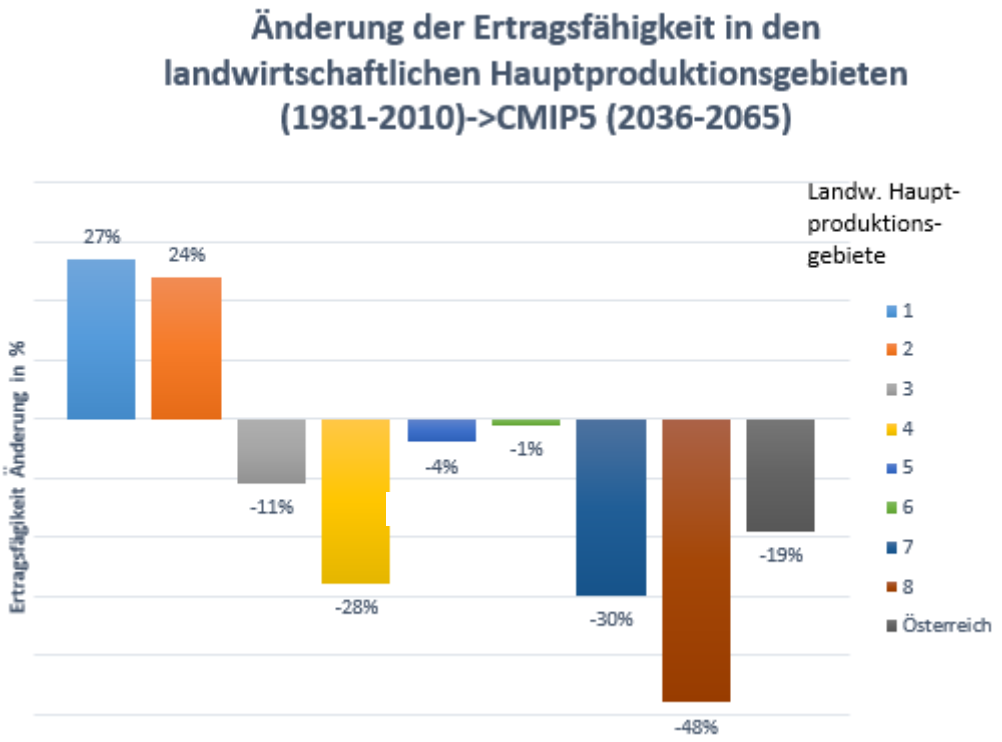


Abbildung 58: Änderung der Ertragsverhältnisse aus dem Vergleich Referenzperiode/zukünftige Periode, Modell CMIP5 (1…Hochalpen, 2…Voralpen, 3…Alpenostrand, 4…Wald- und Mühlviertel, 5…Kärntner Becken, 6…Alpenvorland, 7…Südöstliches Flach- und Hügelland, 8…Nordöstliches Flach- und Hügelland)

Die Auswertung des Gesamtdatenbestandes zeigt, dass eine Änderung der Klimaverhältnisse wie in CMIP5 angenommen einen massiven Rückgang der Ertragsfähigkeit in fast allen Produktionsgebieten Österreichs bedeuten würde. In diesem Fall ist eine Reduktion der Ertragsfähigkeit um rund 19% zu erwarten.

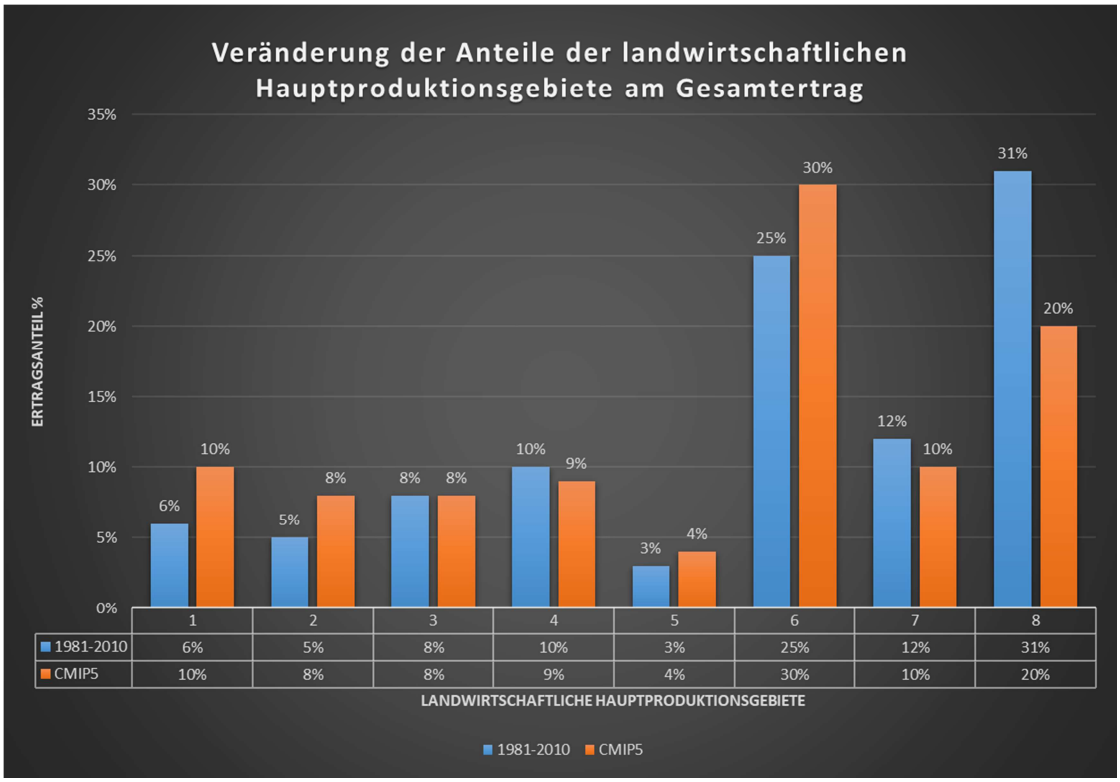


Abbildung 59: Veränderung der Anteile der landwirtschaftlichen Hauptproduktionsgebieten am Gesamtertrag; Vergleich der Verhältnisse der Perioden 1981-2010 und 2036-2065 nach CMIP5 (1…Hochalpen, 2…Voralpen, 3…Alpenostrand, 4…Wald- und Mühlviertel, 5…Kärntner Becken, 6…Alpenvorland, 7…Südöstliches Flach- und Hügelland, 8…Nordöstliches Flach- und Hügelland)

Absolut betrachtet führte der massive Rückgang der Ertragsfähigkeit in den Hauptproduktionsgebieten Südöstliches- und Nordöstliches Flach- und Hügelland im Extremszenario dazu, dass das Hauptproduktionsgebiet Alpenvorland (6) markant an Bedeutung für die Gesamtversorgung von 25% auf 30% gewinnen würde (Abbildung 60 und Abbildung 61).

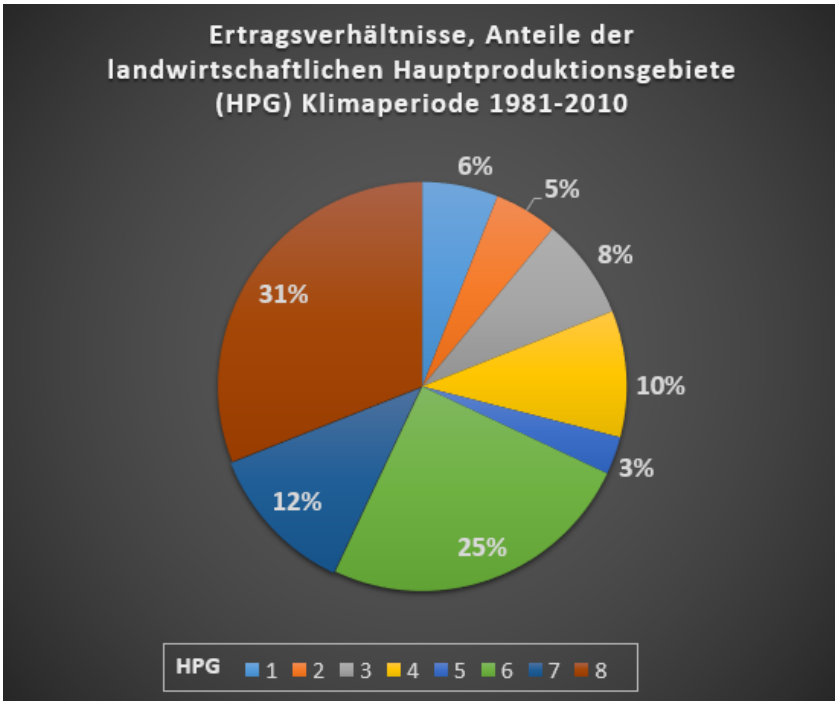


Abbildung 60: Anteile der landwirtschaftlichen Hauptproduktionsgebiete (HPG) an der Gesamtertragsfähigkeit im Referenzzeitraum 1981-2010 (1…Hochalpen, 2…Voralpen, 3…Alpenostrand, 4…Wald- und Mühlviertel, 5…Kärntner Becken, 6…Alpenvorland, 7…Südöstliches Flach- und Hügelland, 8…Nordöstliches Flach- und Hügelland)

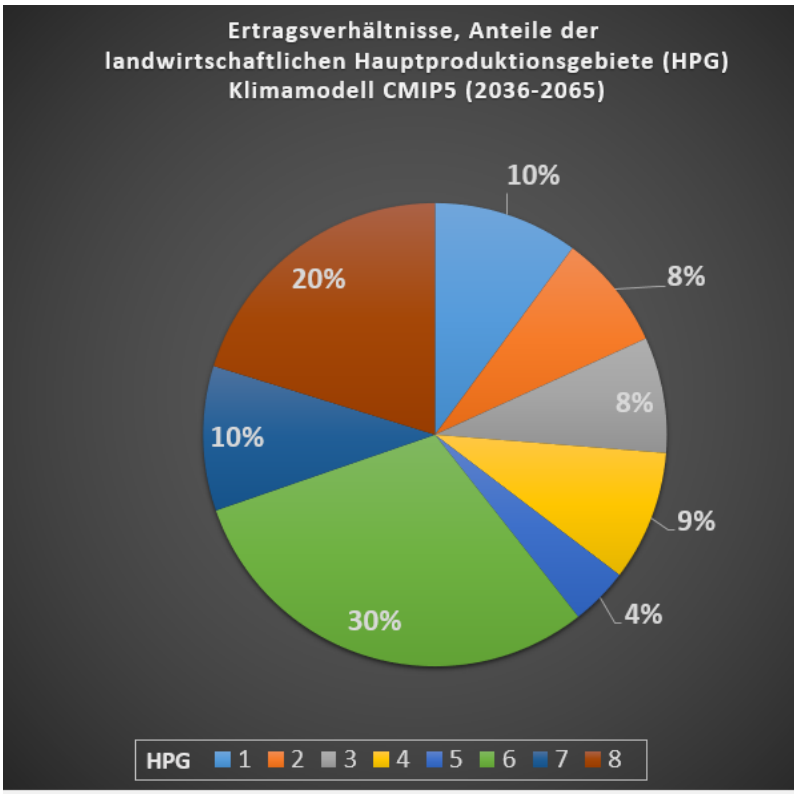


Abbildung 61: Anteil der landwirtschaftlichen Hauptproduktionsgebiete (HPG) an der Gesamtertragsfähigkeit im Zeitraum 2036-2065, Modell CMIP5 (1…Hochalpen, 2…Voralpen, 3…Alpenostrand, 4…Wald- und Mühlviertel, 5…Kärntner Becken, 6…Alpenvorland, 7…Südöstliches Flach- und Hügelland, 8…Nordöstliches Flach- und Hügelland)

Wie Abbildung 62 und Abbildung 63 zeigen, wurden für das Ackerland ein österreichweiter Rückgang der Ertragsfähigkeit von 30%, und für das Grünland eine geringfügige Zunahme von 5% ermittelt.

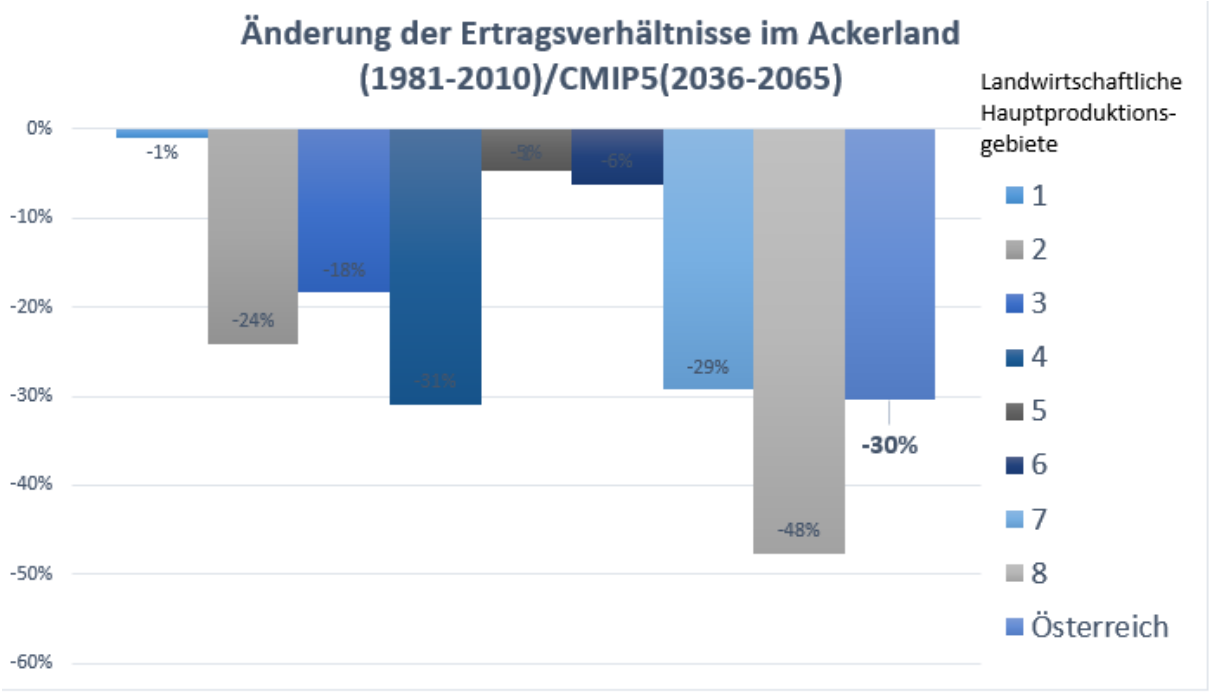


Abbildung 62: Zukünftige Änderung der Ertragsverhältnisse im Ackerland: Vergleich Ist-Situation/zukünftige Situation, Modell CMIP5 (1…Hochalpen, 2…Voralpen, 3…Alpenostrand, 4…Wald- und Mühlviertel, 5…Kärntner Becken, 6…Alpenvorland, 7…Südöstliches Flach- und Hügelland, 8…Nordöstliches Flach- und Hügelland)

Der starke Verlust an Ertragsfähigkeit in den HPG Süd- und Nordöstliches Flach- und Hügelland steht im Gegensatz zu den geringen Verlusten im HPG Alpenvorland. Daran lässt sich das Zusammenspiel der Komponenten Klima und Boden in der Form gut erkennen. Während der Niederschlag in der Referenzperiode eine untergeordnet limitierende Rolle gespielt hat, wird er in Zukunft zunehmend ertragsrelevant werden. Der Bodeneigenschaft der Wasserspeicherkapazität als Ertragsfaktor wird künftig noch wesentlich mehr Aufmerksamkeit zu schenken sein.

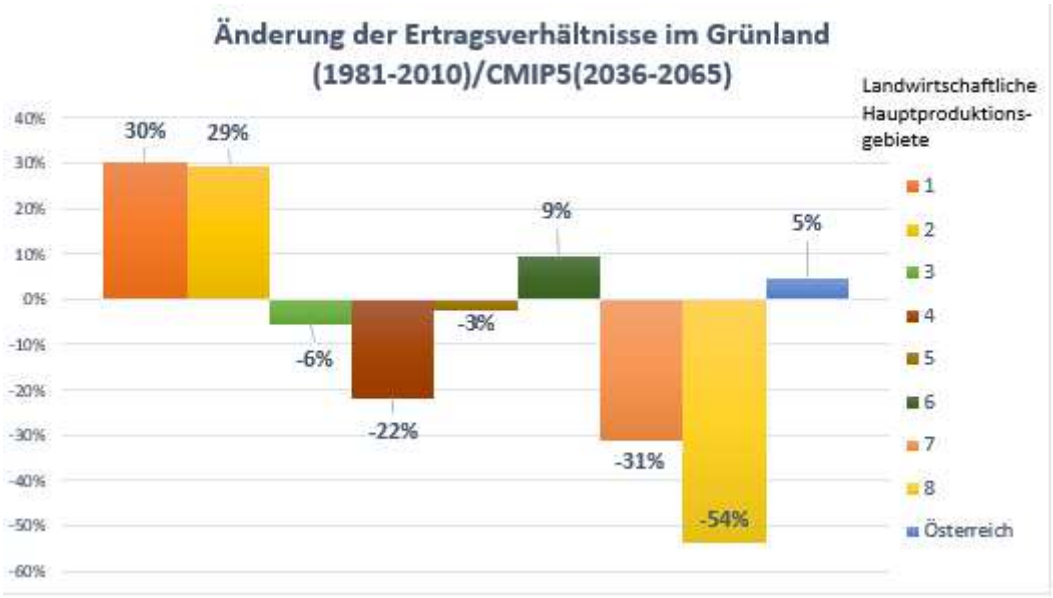


Abbildung 63: Zukünftige Änderung der Ertragsverhältnisse im Grünland: Vergleich Ist-Situation/zukünftige Situation, Modell CMIP5 (1…Hochalpen, 2…Voralpen, 3…Alpenostrand, 4…Wald- und Mühlviertel, 5…Kärntner Becken, 6…Alpenvorland, 7…Südöstliches Flach- und Hügelland, 8…Nordöstliches Flach- und Hügelland)

4.7 Vergleich zwischen gesamter aktueller Nahrungsmittelproduktion und dem realen Bedarf

4.7.1 Validierung der Modellierung des Ertragspotentials

Um die Präzision des Ertragsmodells abschätzen zu können, wurden die modellierten Ertragspotentiale aller Kleinproduktionsgebiete für die Periode zwischen 1981 und 2010 dem realen Durchschnittsertrag der Jahre 2012 – 2016 gegenübergestellt. Da sich für das Modell CMIP5 wesentlich deutlichere Veränderungen zeigten, wurde dieses Modell für die Validierung herangezogen. Beim Vergleich der Ertragspotentiale mit dem realen Ertrag sind folgende Einschränkungen zu beachten:

Der Realertrag ist nur als österreichweiter Durchschnitt verfügbar, beim Modell konnte bis auf die Ebene der Kleinproduktionsgebiete differenziert werden. Es wurde daher die modellierte Ertragsspanne aller KPG (Minimum und Maximum) mit dem Durchschnittsertrag verglichen. Darüber hinaus ist zu beachten, dass die Realerträge als Durchschnitt einer 5-jährigen Periode ermittelt wurden, während beim Ertragspotential eine 30-jährige Periode herangezogen wurde.

Bei der Modellierung wurde die gesamte Ackerfläche für die Potenzialabschätzung berücksichtigt, da keine Information über die tatsächlich verwendeten Böden für bestimmte Kulturen in den einzelnen Jahren verfügbar sind. Weiters wurden für die Modellierung auch optimale Bedingungen in Bezug auf die Nährstoffversorgung angenommen. Ein möglicher Einfluss von Schädlingen, Krankheiten oder Extremereignissen wie Hagel wurde nicht berücksichtigt. Ebenfalls unberücksichtigt blieb ein allfälliger Züchtungsfortschritt bei den einzelnen Kulturen.

Als Validierungskriterium wurde der Vergleich der modellierten Potenziale mit der realen Bandbreite aus der 5-jährigen Beobachtungsperiode herangezogen. Da das Modell für alle KPG gerechnet wurde, ergab sich je nach Bodenbonität und klimatischen Gegebenheiten eine entsprechende Spanne an

Ertragspotentialen. Am Beispiel Raps (Abbildung 64) ist ersichtlich, dass eine deutliche Heterogenität der einzelnen KPG gegeben ist

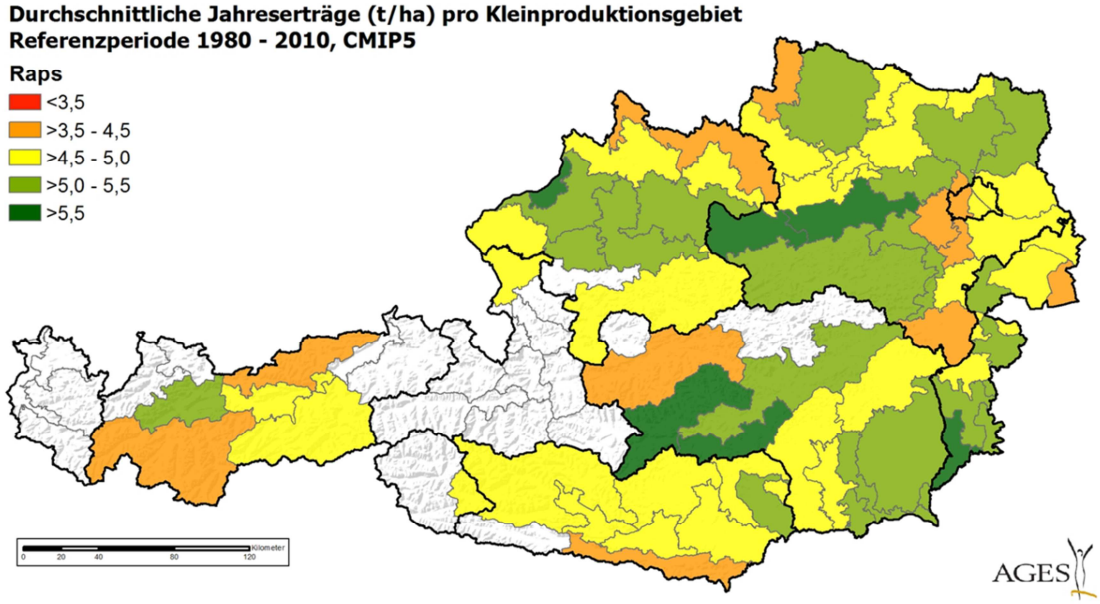


Abbildung 64: Ertragspotentiale der Kleinproduktionsgebiete am Beispiel von Raps (Basis: gesamte ackerbaulich nutzbare Fläche des jeweiligen KPG)

In Tabelle 13 sind die Ergebnisse der Validierung zusammengefasst. Es zeigte sich, dass bei den meisten Kulturen die reale Ertragsspanne der letzten 5 Jahre mit der für die Kleinproduktionsgebiete ermittelten gut übereinstimmte. Bei Triticale, Raps und beim Ölkürbis lag der Ertrag unter dem ermittelten Potential. Neben den oben erwähnten Einschränkungen der Modellierung könnte dies auch ein Hinweis darauf sein, dass diese Kulturen nicht auf den Böden angebaut werden, die das optimalste Potential haben. Wie bereits erwähnt, wurde für die Modellierung die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche der KPG herangezogen. Auch der Einfluss durch biologische Wirtschaftsweise (siehe Kapitel 4.7.2) könnte hier zu abweichenden Ergebnissen führen. Bei Wintergerste ergab sich eine Unterschätzung des tatsächlichen Ertrages, was möglicherweise darauf zurückzuführen ist, dass diese Kultur auf dafür besonders gut geeigneten Böden angebaut wird.

Tabelle 13: Validierung des Ertragsmodells durch Gegenüberstellung von realen Bandbreiten des Ertrages (Periode 2012-2016, in t TM/ha.a) und dem modellierten Ertragspotential (Spanne der Ertragspotenziale der Kleinproduktionsgebiete in t TM/ha.a) (Validierung: o…im Bereich, +…überschätzt, -…unterschätzt)

Kulturart	Ertrag [t/ha]				
	reale Bandbreite (Ö) 2012-2016		Potenzial (Modell), KPG Periode 1980-2010		Validierung
	von	bis	von	bis	
Weizen	4,2	6,7	3,7	7,1	o
Roggen	4,2	5,3	3,5	5,6	o
Triticale	5,0	5,9	5,7	8,1	+
W-Gerste	5,3	7,0	3,7	6,1	-
S-Gerste	3,4	5,4	3,6	5,9	o
Silomais	37,9	48,8	22,4	53,0	o
Körnermais	8,1	11,5	7,0	11,4	o
Zuckerrübe	62,6	83,4	48,3	82,4	o
Sonnenblume	2,0	3,3	0,9	2,7	o
Raps	2,7	3,8	3,8	6,0	+
Sojabohne	2,0	3,1	2,1	3,5	o
Kartoffel	24,1	30,9	26,0	54,5	o
Ölkürbis	0,5	0,6	0,8	1,6	+

4.7.2 Bilanzierung

In diesem Kapitel erfolgt eine Bilanzierung der im Zuge der Modellierung des Ertragspotentials ermittelten Produktionsmenge der aktuellen Situation mit den in der Versorgungsbilanz der Statistik Austria enthaltenen Verbrauchsangaben für pflanzliche Produkte plus den für die Tierernährung ermittelten Mengen an Futtermittel-Rohstoffen (siehe Kap. 3.8). Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Gegenüberstellungen und die daraus resultierenden Salden.

In diesem Zusammenhang darf nochmals auf die Einschränkungen der Modellierung hingewiesen werden:

Die Zahlen in der Spalte „Ertragspotential“ entsprechen dem Gesamtpotential der Produktivität auf Österreichs Acker- und Grünlandflächen. Im Ackerland heißt das, dass auf den Flächen eine gegebene optimale pflanzenbauliche Bestandsführung, keinerlei Schädlings-Kalamitäten oder Schäden durch Extremereignisse (z.B. Hagel) sowie keine Form von Nutzungsbeschränkungen vorausgesetzt werden. In der Realität weicht die Bestandsführung aufgrund unterschiedlicher Ursachen mehr oder weniger stark von diesem Optimum ab bzw. unterliegt ein Teil der Flächen den Förderungsrahmenbedingungen des Agrar-Umweltprogramms ÖPUL, welches im Sinne einer umweltgerechten Bewirtschaftung die Nutzungsintensität teilweise reduziert (Brachflächen, Reduktion von Düngung und anderem Betriebsmitteleinsatz etc.). Andererseits können für die Produktion entweder besonders gut geeignete, aber auch weniger optimale Böden verwendet werden. Auch dies kann zu, vom theoretischen Potential abweichenden Realerträgen führen.

Die biologische Wirtschaftsweise, die in Österreich auf 20% der Acker- und Grünlandfläche betrieben wird (BMLFUW 2016), wurde bei der Modellierung nicht berücksichtigt. Zur Reduktion des Ertrags durch biologische Bewirtschaftung gibt es eine Reihe von Veröffentlichungen (z.B. BRÜCKLER et al. (2016), FREUDENSCHUß et al. (2010), GOLLNER & STARZ (2015), SEUFERT et al. (2012)). Eine aktuelle Studie befasst sich mit einem Vergleich von konventionellen und biologisch wirtschaftenden Buchführungsbetrieben in Österreich (BRÜCKLER et al. 2016). Hier erreichen die Erträge bei biologischer Wirtschaftsweise 51-91% der Erträge von konventionell wirtschaftenden Betrieben. Eine intensive Literaturrecherche zeigte, dass bei der biologischen Wirtschaftsweise mit einem Minderertrag zwischen 13% und 27% zu rechnen ist.

Da das Grünlandertragsmodell SpatialGRAM für das Modellieren von Grünlanderträgen in Bezug auf einen Referenzzustand konzipiert wurde, führen grundsätzlich lediglich die relativen Ertragsänderungen zu abgesicherten Ergebnissen. Trotzdem wurden im vorliegenden Projekt die TM-Hektarerträge als Absolutwerte für die Ermittlung der Produktivität auf den Grünlandflächen in den Klein- und Hauptproduktionsgebieten verwendet. Der Nachteil, dass es dadurch zur Generierung von teilweise unplausiblen Ergebnissen kommen kann, wurde für die Abschätzung einer Gesamtproduktionsmenge als grober Anhaltspunkt zur Bestimmung der Versorgung der Grünfuttermenge für die Rinderhaltung in Kauf genommen. Nachdem zum jetzigen Zeitpunkt keine exaktere Methode zur Bestimmung dieser Zahlen zur Verfügung steht, schien uns diese Herangehensweise gerechtfertigt. Bei der Betrachtung der Zahlen ist dies jedoch zu berücksichtigen.

Für die Ermittlung der Produktionskapazität der österreichweit landwirtschaftlich genutzten Fläche erfolgte die Heranziehung des nach Kap. 3.6.3 unbereinigten Datensatzes. Da darin z.T. aktuell verbaute Böden noch enthalten sind, wird diese Kapazität etwas überschätzt. Für die wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen und deren Produktivitätsabschätzung wurde der bereinigte Datensatz verwendet, um nicht Flächen abzugrenzen, innerhalb denen es in der jüngeren Vergangenheit bereits zu Überbauungen des Bodens gekommen ist.

Es wird nochmals darauf hingewiesen, dass in dieser Arbeit hinsichtlich der landwirtschaftlichen Produktion lediglich eine Potenzialabschätzung durchgeführt wurde.

Um dieses abgeschätzte Potenzial zu den realen Erträgen in Beziehung setzen zu können, wurde zunächst der tatsächlich erwirtschaftete Jahresdurchschnittsertrag der Jahre 2012 - 2016 aus den „Grünen Berichten“ ermittelt (BMLFUW, 2015, 2016, 2017):

Tabelle 14: Darstellung der Durchschnittserträge ausgewählter Feldfrüchte der Periode von 2012 – 2016 (Grüne Berichte, BMLFUW, 2015, 2016, 2017) (EINHEIT: t lagerfähiges Erntegut)

Feldfrucht	Durchschnittliche Jahresproduktion (2012 – 2016) [t lagerfähiges Erntegut]
(Weich-)Weizen	1.561.550
Roggen	206.275
Triticale	270.706
Gerste	788.471
Silomais	4.050.821
Körnermais	2.028.453
Zuckerrübe	3.451.951
Sonnenblumen	52.013
Raps	159.278
Sojabohnen	118.770
Kartoffeln	664.768
Ölkürbis	16.602

Aus Tabelle 15 ist ebenso wie aus der Versorgungsbilanz 2014/15 für pflanzliche Produkte ersichtlich, dass der Selbstversorgungsgrad bei den Ölsaaten deutlich unter 100% (Versorgungsbilanz 2014/15 - Raps: 54%, Sonnenblume: 42%, Sojabohne: 70%) liegt, weshalb der Import dieser Produkte einen wesentlichen Beitrag zur Ernährungssicherung Österreichs leistet. Bei den unterschiedlichen Getreidearten liegt der Selbstversorgungsgrad lt. Statistik Austria bei etwa 100%. Die Abweichung zu den Zahlen in der Tabelle lassen sich dadurch erklären, dass andere Verwertungen der Produkte (Industrielle Verwertung, Ausfuhr etc.) in diesem Projekt unberücksichtigt blieben.

Tabelle 15: Bilanzierung der realen Erträge (Durchschnitt der Jahre 2012 – 2016) mit dem ermittelten Verbrauch [Einheit: t TM]

Reale Erträge (2012-2016) [t TM]				
Kulturart	Jahresertrag Ø 2012 - 2016	Verbrauch	Saldo	Versorgungsgrad [%]
Weizen	1.374.164	1.097.659	276.504	125
Roggen	181.522	91.296	90.226	199
Triticale	238.221	234.352	3.870	102
Gerste	693.855	469.779	224.075	148
Silomais	1.215.246	814.526	400.720	149
Körnermais	1.785.039	1.383.380	401.659	129
Zuckerrübe	759.429	472.928	286.501	161
Sonnenblume	45.771	105.663	-59.892	43
Raps	140.165	417.058	-276.893	34
Sojabohne	104.517	688.998	-584.481	15
Kartoffel	166.192	130.808	35.384	127
Ölkürbis	14.610	k.A.	-	-

Hinsichtlich der tierischen Produkten liegt der Selbstversorgungsgrad bei Rindern weit über (148%), bei Schweinen fast exakt bei (103%) und bei Geflügel (67%) deutlich unter 100% (STATISTIK AUSTRIA, 2014).

In den Tabellen dieses Kapitels sind all jene Kulturarten angeführt, die einen wesentlichen Teil der in Österreich üblichen Fruchtfolgen ausmachen. Da in der Versorgungsbilanz der Ölkürbis nicht dezidiert ausgewiesen wird, gibt es hier auch keine Verbrauchsdaten. Der Bedarf an Zuckerrübe setzt sich aus dem Bedarf für den nationalen Zuckerverbrauch (bei einem angenommenen Zuckergehalt von 16%) und für die Produktion von Trockenschnitzel zur Tierfütterung (in Rinder- und Schweinehaltung) zusammen. Beim Verbrauch von Raps, der weder direkt verzehrt oder zur Fütterung eingesetzt wird, sondern zunächst der Ölgewinnung dient, wurden die Zahlen der Kategorie „Verarbeitung" der Versorgungsbilanz, die den Großteil des Verbrauchs ausmacht, herangezogen. Ein beträchtlicher Anteil des in Österreich verbrauchten Rapses wird über Importe gedeckt. Dasselbe gilt für Sonnenblume und Sojabohne. Aufgrund der untergeordneten Bedeutung der Ackerbohne in der heutigen Anbausituation wurde sie auch nicht in die Bilanzrechnung aufgenommen, weshalb der Aspekt der einheimischen Eiweißproduktion hier nicht behandelt wurde.

Es muss auch erwähnt werden, dass in den Bilanzen Doppelnutzungen von einigen Kulturen (meist werden Reste von Ernteprodukten nach deren Verarbeitung noch verfüttert), nicht berücksichtigt wurden. Diese können jedoch wesentlich zu einer effizienten Nutzung der Ernteprodukte beitragen. So wurden z.B. die Mengen an verfütterten Trockenschnitzel aus der Zuckergewinnung ebenso wie die Mengen an Zuckerrüben direkt in die Verbrauchszahlen eingerechnet. Dadurch wird die Menge an Trockenschnitzel jedoch doppelt gerechnet, da sie tatsächlich nur ein „Abfallprodukt" der Zuckergewinnung ist und sie in Wahrheit nur eine Teilmenge der Zuckerrübenmenge zur Zuckergewinnung darstellt.

Die Bilanzierungen auf Basis der modellierten Ertragspotenziale fallen aufgrund der bereits angesprochenen Limitierung des Modells bei einigen Kulturen (Weizen, Triticale, Gerste, Raps, Soja, Ölkürbis) günstiger aus als jene für die realen Erträge. Hier gibt es im moderaten ALADIN-Szenario für den jetzigen Zeitpunkt (Referenz 1981-2010) einen negativen Saldo für die Sojabohne, für die nur ein Eigenversorgungsgrad von 23% erreicht wird (Tabelle 16)

Tabelle 16: Bilanzierung der, basierend auf dem Modell ALADIN im Referenzzeitraum (1981-2010) kalkulierten Ertragspotenziale der gesamtösterreichischen Ackerfläche mit den Verbrauchsmengen

ALADIN (1981-2010) [t TM]				
Kulturart	Ertragspotenzial	Verbrauch	Saldo	Versorgungsgrad [%]
Weizen	1.457.112	1.097.659	359.453	133
Roggen	172.809	91.296	81.514	189
Triticale	331.419	234.352	97.016	141
Gerste	730.419	469.779	260.640	155
Silomais	966.111	814.526	151.586	119
Körnermais	1.701.833	1.383.380	318.453	123
Zuckerrübe	655.996	472.928	183.068	139
Sonnenblume	38.306	105.663	-67.357	36
Raps	181.848	417.058	-235.210	44
Sojabohne	157.437	688.998	-531.562	23

ALADIN (1981-2010) [t TM]				
Kulturart	Ertragspotenzial	Verbrauch	Saldo	Versorgungsgrad [%]
Kartoffel	95.232	130.808	-35.576	73
Ölkürbis	34.693	k.A.	-	-

Negative Salden ergeben sich auch für Sonnenblume, Raps und Kartoffel. Die negativen Salden sowie deren Größenordnungen, die aus dem Ertragsmodell nach dem Szenario aus ALADIN ermittelt wurden, entsprechen jenen aus den Berechnungen mit den realen Erträgen. Eine Ausnahme stellt die Kartoffel dar, bei der das modellierte Ertragspotential geringer liegt als die reale Ertragsmenge und vom Verbrauch übertroffen wird. Dies liegt daran, dass die uns zur Verfügung stehenden gemeindespezifischen INVEKOS-Daten für die Anbaufläche dieser Kulturart eine Diskrepanz zu jener aus den Grünen Berichten aufweist (INVEKOS: ca. 12.890 ha vs. Grüner Bericht für das Jahr 2016: ca. 21.200 ha). Dieser Umstand ist bei der Betrachtung aller nachfolgenden Bilanzierungstabellen zu berücksichtigen.

Tabelle 17: Bilanzierung der, basierend auf dem Modell CMIP5 im Referenzzeitraum (1981-2010) kalkulierten Ertragspotenziale der gesamtösterreichischen Ackerfläche mit den Verbrauchsmengen

CMIP5 (1981-2010) [t TM]				
Kulturart	Ertragspotenzial	Verbrauch	Saldo	Versorgungsgrad [%]
Weizen	1.286.368	1.097.659	188.709	117
Roggen	157.724	91.296	66.428	173
Triticale	303.683	234.352	69.331	130
Gerste	679.967	469.779	210.188	145
Silomais	1.041.225	814.526	226.699	128
Körnermais	1.664.066	1.383.380	280.686	120
Zuckerrübe	566.790	472.928	93.862	120
Sonnenblume	28.069	105.663	-77.594	27
Raps	161.632	417.058	-255.426	39
Sojabohne	155.109	688.998	-533.889	23
Kartoffel	91.087	130.808	-39.721	70
Ölkürbis	30.710	k.A.	-	-

Fehler! Keine gültige Verknüpfung. Im extremen Szenario auf Basis des CMIP5 Modells ist die Verteilung der Salden für die Referenzperiode ähnlich wie für das moderate Szenario ALADIN, insgesamt sind die Zahlen der Produktion jedoch meist geringer, weshalb auch die verbrauchten Anteile etwas höher liegen.

Für die Produktion im österreichischen Grünland wurden mittels SpatialGRAM für den Referenzzeitraum (1981-2010) unterschiedliche Mengen TM-Erträge errechnet, die allerdings ähnliche Größenordnungen annehmen. Der Anteil am Verbrauch dieser Mengen beträgt zwischen 77,6 und 79,3%, diese werden für die Fütterung von Rindern eingesetzt. Ein ähnliches Ergebnis wurde über die Ertragsermittlung auf Basis von durchschnittlichen Ertragspotentialen unter Einbeziehung von INVEKOS-Schlagnutzungsdaten erzielt. Hier beträgt der verbrauchte Anteil an Grünfutter 82,6%. Da ein großer Teil des in Österreich produzierten Rind- bzw. Kalbfleisches exportiert wird (124.793 t lt. der Versorgungsbilanz der STATISTIK AUSTRIA) gibt es für die Ernährungssicherung in Österreich ein großes, noch ungenutztes Potential.

Tabelle 18: Bilanzierung der Grünfutterproduktion mit dem Verbrauch für den Zeitraum 1981-2010 (1…nach SpatialGRAM Modellierung auf Basis gemessener Wetterdaten, 2…nach SpatialGRAM Modellierung ALADIN, 3…nach SpatialGRAM Modellierung CMIP5, 4…nach INVEKOS-bezogenen Ertragspotentialen auf Basis gemessener Wetterdaten, 5…nach INVEKOS-bezogenen Ertragspotentialen auf Basis von ALADIN)

Grünland (1981-2010) [t TM]				
Kulturart	Produktion	Verbrauch	Saldo	Versorgungsgrad [%]
Grünfutter[1] (Stationen)	6.681.836	5.296.158	1.385.678	126
Grünfutter[2] (ALADIN)	6.828.667	5.296.158	1.532.509	129
Grünfutter[3] (CMIP5)	6.803.476	5.296.158	1.507.318	128
Grünfutter[4] (INVEKOS-Stationen)	6.408.596	5.296.158	1.112.438	121
Grünfutter[5] (INVEKOS-ALADIN)	6.632.174	5.296.158	1.336.016	125

4.8 Vergleich zwischen zukünftigem Produktionspotenzial und dem prognostizierten Bedarf

In diesem Kapitel erfolgt eine Bilanzierung des im Zuge der Ertragsmodellierung ermittelten gesamten Produktionspotentials der zukünftigen Situation (Zeitraum 2036-2065) mit errechneten zukünftigen Verbrauchszahlen (siehe Kap.3.8). Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Gegenüberstellungen und die daraus resultierenden Salden.

Das Produktionspotential bezieht sich auf die derzeit zur Verfügung stehende landwirtschaftliche Nutzfläche. Es ist dabei jedoch darauf zu achten, dass in Zukunft nicht nur die klimatischen Umweltbedingungen einer Veränderung unterliegen werden (durch die Modellierung berücksichtigt), sondern sich auch die landwirtschaftliche Produktionsfläche durch menschliche Tätigkeit in einem jetzt noch unbekannten Ausmaß verringern wird. Dieses Projekt soll dazu beitragen, dieses Ausmaß möglichst gering zu halten.

Darüber hinaus werden auch möglicherweise eintretende Änderungen der Ernährungsgewohnheiten der Österreicher nicht abgebildet, die jedoch eine Veränderung der Verbrauchszahlen bewirken können. So würde ein zunehmender Anteil von sich vegetarisch oder vegan ernährenden Menschen die Salden von als Futtermittelrohstoffe eingesetzten Kulturarten auf ein günstigeres Wertniveau bringen, da eine direkte menschliche Verwertung von pflanzlichen Produkten einen höheren Wirkungsgrad als der „Umweg“ über das Nutztier bewirken würde.

Aus

Tabelle 19 wird ersichtlich, dass die auf dem Modell ALADIN für die zukünftige Periode (2036-2065) prognostizierten Salden abermals für die Ölsaaten sowie die Kartoffel (Einschränkung siehe oben) im negativen Wertebereich liegen. Hinzu kommt in diesem moderaten Szenario auf Basis von ALADIN ein leicht negativer Saldo der Getreideart Triticale.

Tabelle 19: Bilanzierung der, basierend auf dem Modell ALADIN im zukünftigen Zeitraum (2036-2065) kalkulierten Ertragspotenzialen der gesamtösterreichischen Ackerfläche mit den zukünftigen Verbrauchsmengen

ALADIN (2036-2065) [t TM]				
Kulturart	Produktionspotential	Verbrauch	Saldo	Versorgungsgrad [%]
Weizen	1.291.075	1.240.355	50.720	104
Roggen	160.783	103.164	57.619	156
Triticale	226.259	264.818	-38.558	85
Gerste	697.834	530.850	166.983	131
Silomais	1.004.090	920.414	83.676	109
Körnermais	1.580.464	1.563.220	17.244	101
Zuckerrübe	627.704	534.409	93.295	117
Sonnenblume	36.658	119.399	-82.741	31
Raps	174.129	471.276	-297.146	37
Sojabohne	140.523	778.568	-638.045	18
Kartoffel	88.625	147.813	-59.188	60
Ölkürbis	28.426	k.A.	-	-

Im Szenario basierend auf dem Modell CMIP5 (Tabelle 20) ergeben sich für die Periode 2036-2065 deutlich mehr negative als positive Salden. Unter den veränderten Klimabedingungen im Extremszenario gehen die Ertragszahlen deutlich zurück, während der Verbrauch aufgrund des Bevölkerungswachstums gegenüber dem Referenzzeitraum ansteigt. Bei diesem, wenn auch nicht sehr wahrscheinlichen, jedoch trotzdem plausiblen Szenario, kann eine autarke Produktion von sieben Kulturarten nicht mehr gewährleistet werden. Obwohl die Aussagekraft für die Kartoffel nur eingeschränkt ist (siehe 4.7.2), reicht vermutlich das Produktionspotenzial für eine autarke Versorgung trotzdem nicht aus – das Kartoffel-Produktionspotenzial wurde mit knapp der halben Anbaufläche errechnet, der Verbrauch wird aber zukünftig bei etwas mehr als dem Doppelten liegen. Um diesen Tendenzen gegenzusteuern, könnten etwa Änderungen in der Fruchtfolge, Verwendung widerstandsfähiger Sorten oder eine Sicherstellung der Wasserversorgung in Trockengebieten in Betracht gezogen werden.

Tabelle 20: Bilanzierung der, basierend auf dem Modell CMIP5 im zukünftigen Zeitraum (2036-2065) kalkulierten Ertragspotenzialen der gesamtösterreichischen Ackerfläche mit den zukünftigen Verbrauchsmengen

CMIP5 (2036-2065) [t TM]				
Kulturart	Produktionspotenzial	Verbrauch	Saldo	Versorgungsgrad [%]
Weizen	789.314	1.240.355	-451.041	64
Roggen	125.577	103.164	22.413	122
Triticale	234.736	264.818	-30.082	89
Gerste	535.367	530.850	4.517	101
Silomais	995.834	920.414	75.420	108
Körnermais	1.228.503	1.563.220	-334.717	79
Zuckerrübe	566.790	534.409	32.381	106
Sonnenblume	18.982	119.399	-100.417	16
Raps	118.678	471.276	-352.598	25
Sojabohne	95.046	778.568	-683.522	12
Kartoffel	63.393	147.813	-84.420	43
Ölkürbis	17.251	k.A.	-	-

Wie schon in Kap. 4.4.1 beschrieben, wurden für die Produktion im österreichischen Grünland in den unterschiedlichen Szenarien für den Zeitraum 2036-2065 höhere TM-Erträge errechnet als für den Referenzzeitraum (siehe Tabelle 21). Bei einer angenommenen linearen Fortschreibung der Verbrauchszahlen an tierischen Produkten für die künftige Bevölkerungszahl Österreichs (siehe Kap. 3.9) steigt jedoch der Verbrauch in einem größeren Ausmaß als dies bei den Grünlanderträgen der Fall ist. Deshalb liegt auch der Versorgungsgrad etwas niedriger (116% bis 120 %).

Tabelle 21: Bilanzierung der Grünfutterproduktion mit dem Verbrauch für den Zeitraum 2036-2065 (1…nach SpatialGRAM Modellierung ALADIN, 2…nach SpatialGRAM Modellierung CMIP5, 3…nach INVEKOS-bezogenen Ertragspotentialen)

Grünland (2036-2065) [t TM]				
Kulturart	Produktion	Verbrauch	Saldo	Versorgungsgrad [%]
Grünfutter[1] (ALADIN)	6.916.786	5.984.659	932.127	116
Grünfutter[2] (CMIP5)	7.163.543	5.984.659	1.178.884	120
Grünfutter[3] (INVEKOS)	7.099.144	5.984.659	1.114.485	117

4.9 Vergleich der für den Referenzzeitraum (1980 – 2010) kalkulierten Produktionspotenzialen innerhalb der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen mit dem realen Bedarf

Um zu zeigen, wie wichtig der Erhalt der landwirtschaftlichen Nutzung in den wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen ist, wird in diesem Kapitel die Bilanzierung zwischen der Produktion innerhalb dieser Flächen und dem gesamten Verbrauch dargestellt. Die Untersuchungen zeigten, dass innerhalb der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen, die 50% der regionalen Ertragsfähigkeit ausmachen, im Mittel etwa 75% des Ertrages erwirtschaftet werden kann. Deren Erhalt ist somit von zentraler Bedeutung für die Ernährungssicherung. Andererseits zeigt dies auch, dass nicht nur die wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen für die

Ernährungssicherung von großer Bedeutung sind. Denn je nach betrachtetem Szenario reichen bei manchen Kulturen auch 75% des Ertrages nicht für eine autarke Ernährungssicherung aus. Der Bedarf, der über diese 75% hinausgeht, muss auf den übrigen Flächen erwirtschaftet werden. Somit sollte bei der Raumplanung grundsätzlich ein sorgsamer Umgang mit dem Boden angestrebt werden.

Für den Referenzzeitraum ergeben sich unter Verwendung des Modells ALADIN Produktionspotenziale innerhalb der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen, die in Tabelle 22 zusammengefasst sind. Die Verbrauchszahlen sind mit den in den vorigen Kapiteln verwendeten Angaben des Gesamtverbrauchs ident. Dabei zeigt sich, dass aktuell die potentielle Produktionsmenge innerhalb der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen bei einem Teil der Kulturarten nicht ausreicht, um eine autarke Deckung des Bedarfs zu erzielen.

Tabelle 22: Bilanzierung der, basierend auf dem Modell ALADIN im Referenzzeitraum (1980-2010) kalkulierten Produktionspotentialen der Ackerböden in den wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen mit den Verbrauchsmengen

ALADIN (1980-2010) [t TM] – wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen				
Kulturart	Produktionspotenzial	Verbrauch	Saldo	Versorgungsgrad [%]
Weizen	1.353.983	1.097.659	256.324	123
Roggen	209.111	91.296	117.815	229
Triticale	369.424	234.352	135.072	158
Gerste	715.102	469.779	245.323	152
Silomais	946.797	814.526	132.271	116
Körnermais	1.510.532	1.383.380	127.152	109
Zuckerrübe	319.440	472.928	-153.488	68
Sonnenblume	24.452	105.663	-81.211	23
Raps	180.045	417.058	-237.013	43
Sojabohne	141.415	688.998	-547.583	21
Kartoffel	89.893	130.808	-40.915	69
Ölkürbis	31.717	k.A.	-	-

Wird das Modell CMIP5 zur Kalkulation herangezogen, zeigen sich im Referenzzeitraum für die wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen ähnliche Ergebnisse wie im moderaten Szenario. Auch hier treten lediglich bei Getreide und Mais deutlich positive Salden auf.

Tabelle 23: Bilanzierung der, basierend auf dem Modell CMIP5 im Referenzzeitraum (1980-2010) kalkulierten Produktionspotentiale der Ackerböden in den wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen mit den Verbrauchsmengen

CMIP5 (1980-2010) [t TM] – wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen				
Kulturart	Produktionspotenzial	Verbrauch	Saldo	Versorgungsgrad [%]
Weizen	1.195.998	1.097.659	98.339	109
Roggen	192.007	91.296	100.711	210
Triticale	338.664	234.352	104.312	145
Gerste	665.994	469.779	196.215	142
Silomais	1.020.427	814.526	205.901	125
Körnermais	1.477.110	1.383.380	93.730	107
Zuckerrübe	342.716	472.928	-130.212	72
Sonnenblume	24.383	105.663	-81.280	23
Raps	160.013	417.058	-257.045	38
Sojabohne	138.532	688.998	-550.466	20
Kartoffel	86.389	130.808	-44.419	66
Ölkürbis	27.861	k.A.	-	-

Die wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen im Grünlandgebiet nehmen einen wesentlich geringeren Flächenanteil am Gesamtgrünland ein als die wertvollen Acker-Produktionsflächen am gesamten Ackerland. Der Anteil beträgt ca. 32 % des Gesamtgrünlands. Dies liegt daran, dass im Grünland ein starkes Gefälle des Wertespektrums der Grünlandzahlen vorliegt. Das heißt, dass neben sehr produktiven Grünlandflächen sehr viele extensive Wiesen mit Grünlandzahlen unter 10 existieren. Aufgrund der Topographie in den Grünlandgebieten gibt es – relativ gesehen – wenige mäßig ertragreiche Standorte. Die negativen Salden zeigen eine sehr deutliche Lücke zwischen Produktion und Verbrauch, mit einem Versorgungsgrad zwischen 39 und 54% (siehe Tabelle 24).

Tabelle 24: Bilanzierung der Grünfutterproduktion innerhalb der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen mit dem Verbrauch für den Zeitraum 1981-2010 (1…nach SpatialGRAM Modellierung auf Basis gemessener Wetterdaten, 2…nach SpatialGRAM Modellierung ALADIN, 3…nach SpatialGRAM Modellierung CMIP5, 4…nach INVEKOS-bezogenen Ertragspotentialen auf Basis gemessener Wetterdaten, 5…nach INVEKOS-bezogenen Ertragspotentialen auf Basis von ALADIN)

Grünland (1981-2010) – wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen [t TM]				
Kulturart	Produktion	Verbrauch	Saldo	Versorgungsgrad [%]
Grünfutter[1] (Stationen)	2.071.817	5.296.158	-3.224.341	39
Grünfutter[2] (ALADIN)	2.083.641	5.296.158	-3.212.517	39
Grünfutter[3] (CMIP5)	2.069.664	5.296.158	-3.226.494	39
Grünfutter[4] (INVEKOS-Stationen)	2.769.422	5.296.158	-2.526.736	52
Grünfutter[5] (INVEKOS-ALADIN)	2.866.039	5.296.158	-2.430.119	54

4.10 Vergleich der für den zukünftigen Zeitraum (2036 - 2065) kalkulierten Produktionspotenzialen innerhalb der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen und dem prognostizierten Bedarf

Legt man bei der Bilanzierung die veränderten Produktionsbedingungen aufgrund der im Modell ALADIN enthaltenen klimatischen Veränderungen zugrunde, so zeigen sich nach Berücksichtigung des gesteigerten Verbrauchs für den Zeitraum 2036-2065 ebenfalls negative Salden für die meisten Kulturarten. Ausnahmen sind Roggen, Triticale, Gerste und Silomais.

Tabelle 25: Bilanzierung der, basierend auf dem Modell ALADIN im zukünftigen Zeitraum (2036-2065) kalkulierten Produktionspotenzialen der Ackerböden in den wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen mit den zukünftigen Verbrauchsmengen

ALADIN (2036-2065) [t TM] – wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen				
Kulturart	Produktionspotenzial	Verbrauch	Saldo	Versorgungsgrad [%]
Weizen	1.209.819	1.240.355	-30.536	98
Roggen	193.635	103.164	90.471	188
Triticale	357.346	264.818	92.528	135
Gerste	680.250	530.850	149.400	128
Silomais	992.738	920.414	72.324	108
Körnermais	1.404.112	1.563.220	-159.108	90
Zuckerrübe	305.329	534.409	-229.205	57
Sonnenblume	23.629	119.399	-95.770	20
Raps	172.071	471.276	-299.205	37
Sojabohne	124.560	778.568	-654.008	16
Kartoffel	84.743	147.813	-63.070	57
Ölkürbis	26.022	k.A.	-	-

Durch die extremen Klimaveränderungen nach dem Modell CMIP5 zeigt sich hinsichtlich der Ernährungssicherung aus den wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen für den Zeitraum 2036-2065 eine prekäre Situation, in der lediglich für Roggen, Triticale und Silomais eine Versorgung aus eigener Produktion gewährleistet werden kann.

Tabelle 26: Bilanzierung der basierend auf dem Modell CMIP5 im zukünftigen Zeitraum (2036-2065) kalkulierten Produktionspotenziale der Ackerböden in den wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen mit den zukünftigen Verbrauchsmengen

CMIP5 (2036-2065) [t TM] – wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen				
Kulturart	Produktionspotential	Verbrauch	Saldo	Versorgungsgrad [%]
Weizen	716.927	1.240.355	-523.428	58
Roggen	150.269	103.164	47.105	146
Triticale	377.718	264.818	112.900	143
Gerste	509.674	530.850	-21.176	96
Silomais	971.599	920.414	51.185	106
Körnermais	1.071.686	1.563.220	-491.534	69
Zuckerrübe	268.537	534.409	-265.872	50
Sonnenblume	14.016	119.399	-105.383	12
Raps	114.339	471.276	-356.937	24
Sojabohne	84.544	778.568	-694.024	11
Kartoffel	59.826	147.813	-87.987	40
Ölkürbis	16.511	k.A.	-	-

Beim zukünftig zu erwartenden steigenden Verbrauch durch den im Vergleich zur Ist-Situation erhöhten Viehbestand (zugrundeliegende Annahme: Die steigende Bevölkerungszahl bei sonst angenommenen gleichbleibenden Rahmenbedingungen erfordert einen höheren Viehbestand) ergeben sich, wenn nur die Produktion der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen betrachtet wird, deutlich negative Salden. Das bedeutet, dass hinsichtlich der Ernährungssicherung der sorgsame Umgang mit Grünlandböden in Zukunft generell große Bedeutung haben wird.

Tabelle 27: Bilanzierung der Grünfutterproduktion innerhalb der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen mit dem Verbrauch für den Zeitraum 2036-2065 (1…nach SpatialGRAM Modellierung ALADIN, 2…nach SpatialGRAM Modellierung CMIP5, 3…nach INVEKOS-bezogenen Ertragspotentialen)

Grünland (2036-2065) – wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen [t TM]				
Kulturart	Produktion	Verbrauch	Saldo	Versorgungsgrad [%]
Grünfutter[1] (ALADIN)	2.153.140	5.984.659	-3.831.519	36
Grünfutter[2] (CMIP5)	2.261.049	5.984.659	-3.723.610	38
Grünfutter[3] (INVEKOS)	3.067.836	5.984.659	-2.916.823	51

4.11 Ausblick

Der Erhalt der landwirtschaftlich ertragreichsten Flächen auf regionaler Ebene ist eine wesentliche Maßnahme im Zusammenhang mit der Sicherstellung der Nahrungsmittelversorgung. Grundsätzlich erscheint für die Identifikation wertvoller landwirtschaftlicher Produktivflächen die Orientierung an der Produktivität, und damit an der „Bodenfruchtbarkeit“ als ein sinnvoller Ansatz, um auch andere wichtige Bodenfunktionen wie die Speicher- und Filterfunktion oder die Funktion im Wasserhaushalt zu bewahren.

Um landwirtschaftlich produktive Flächen zu schützen, müssen sie identifiziert und erhoben werden. Ein grundsätzlicher methodischer Ansatz wird in der vorliegenden Arbeit vorgestellt.

4.11.1 Methodischer Ansatz zur Umsetzung des Schutzes wertvoller landwirtschaftlicher Flächen

Es wurde dabei von folgender Definition ausgegangen: Eine wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen ist eine landwirtschaftlich genutzte Fläche, deren Bodenklimazahl größer oder gleich der regionalen Bodenklimazahl ist (vgl. Kapitel 3.6.2). Die Fläche grenzt an mindestens einer Seite an andere land- bzw. forstwirtschaftlich genutzte Flächen, damit größere, für die Bewirtschaftung vorteilhafte Flächeneinheiten erreicht werden.

Für eine im Zuge der Abgrenzung wertvoller landwirtschaftlicher Produktionsflächen durchgeführte Prüfung der Flächeneigenschaft bis zu drei Hektar Grundstücksfläche, kann die Ertragsmesszahl (EMZ) und die daraus berechenbare Bodenklimazahl herangezogen werden.

Folgende Kriterien sollten berücksichtigt werden:

- Die zu beurteilende Fläche ist eine landwirtschaftlich genutzte Fläche.
- Die Fläche muss im Zuge der Finanzbodenschätzung bewertet worden sein.
- Die Fläche muss im Grundstücksverzeichnis des Katasters eine Ertragsmesszahl (EMZ) besitzen.
- Wenn keine EMZ vorliegt, ist beim zuständigen Vermessungsamt rückzufragen, ob die zu betreffende Fläche einer Bodenschätzung unterzogen wurde.
- Liegen für die Fläche keine Bodenschätzungsergebnisse vor, ist beim zuständigen Finanzamt eine Nachschätzung zu beantragen.
- Bodenklimazahl = EMZ/geschätzte Fläche [Ar]
- Die regionale Bodenklimazahl muss ermittelt werden.

Zielsetzung ist die Bildung möglichst großflächiger, mehr als ein Hektar großer, zusammenhängender räumlicher Einheiten (Zonen). In kleinstrukturierten Gebieten kann die Mindestgröße von einem Hektar auch unterschritten werden. Innerhalb zusammenhängender wertvoller landwirtschaftlicher Produktionsflächen können auch nicht-priorisierte Flächen eingebunden werden, um lückenlose, gut bewirtschaftbare Flächeneinheiten zu erhalten. Dies könnte etwa solche im Nahbereich von landwirtschaftlichen Hofstellen betreffen.

Bei der Erhebung und Abgrenzung von wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen sind ortsübliche Flächenkonfigurationen z.B. Riemenparzellen, Baum- oder Strauchreihen zwischen den Grundstücken sowie geländemorphologische Gegebenheiten (z.B. Terrassierungen etc.) zu berücksichtigen und diese Merkmale bei der Flächenzusammenfassung nicht als Abgrenzungskriterien für die Vereinzelung sondern als lokaltypischen Elemente miteinzubeziehen.

4.11.2 Aspekte in Bezug zur Agrarpolitik

Der Flächenschutz von landwirtschaftlich genutzten Böden ist, wie gezeigt werden konnte, für die Sicherung der Nahrungsproduktion essentiell. Allerdings ist die flächenbezogene, quantitative Erhaltung von landwirtschaftlichen Böden kein expliziter Fördergegenstand in der aktuellen Periode der gemeinsamen Agrarpolitik.

Landwirtschaftliche Förderungen im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik (GAP, gegenwärtigen Periode 2014 bis 2020) bestehen aus Säule 1 und 2.

Die Zahlungen der Säule 1 werden noch stärker an umweltrelevante Auflagen gebunden. Diese Greening-Auflagen umfassen den Erhalt des Dauergrünlandes, Einhaltung einer Fruchtfolge und ökologische Ausgleichsflächen.

- Erhalt von Dauergrünland (Wiesen und Weiden): Das Dauergrünland muss auf Mitgliedstaatsebene unter Einhaltung einer Toleranz von maximal 5 Prozent erhalten bleiben. Der Mitgliedstaat muss ein absolutes Umbruch- und Umwandlungsverbot von Dauergrünland für bestimmte Flächen (Lebensraumtypen) in NATURA 2000 Gebieten anwenden.
- Ökologische Vorrangflächen: Betroffen davon sind Betriebe mit mehr als 15 Hektar Ackerfläche. Gemäß GAP sind 5 Prozent der Ackerflächen eines Betriebes als ökologische Vorrangflächen zu bewirtschaften. Als ökologische Vorrangflächen können in Österreich stickstoffbindende Kulturen, Zwischenfrüchte, Brachflächen, Flächen mit Niederwald im Kurzumtrieb und/oder CC-Landschaftselemente beantragt werden. Die Berücksichtigung der unterschiedlichen ökologischen Wertigkeit verschiedener Arten von Vorrangflächen erfolgt über Gewichtungsfaktoren, die von der Europäischen Kommission festgelegt wurden.
- Diversifizierung: Betriebe mit einer Ackerfläche zwischen 10 und 30 Hektar müssen jedes Jahr mindestens 2 Kulturen anbauen. Eine der Anbaukulturen darf höchstens 75 Prozent ausmachen. Betriebe mit mehr als 30 Hektar Ackerfläche müssen mindestens 3 unterschiedliche Kulturen anbauen, wobei 2 Kulturen zusammen maximal 95 Prozent der gesamten Ackerfläche ergeben dürfen. Betriebe unter 10 ha sind davon ausgenommen.

Bedeutung bei Anwendung des BEAT Modells:

Keine der genannten „Greening“ Maßnahmen steht im Widerspruch zum Schutz von wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen nach dem BEAT Modell. Gemäß GAP ist der Erhalt des Dauergrünlandes ein wichtiges Kriterium, wobei die Produktivität keine Rolle spielt. Eine wertvolle landwirtschaftliche Produktionsfläche kann auch gleichzeitig eine ökologische Vorrangfläche sein. Gemäß BEAT Modell geht es um die Erhaltung der produktivsten landwirtschaftlichen Böden, das heißt nicht, dass auf ihnen aktuell produziert werden muss. Ebenso steht die Diversifizierung nicht im Widerspruch zum Schutz von wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen. Die Umsetzung der BEAT Empfehlungen würde in keinem Widerspruch zu den Inhalten des EU Agrarprogramms für 2014 bis 2020 (GAP) stehen.

Die **2. Säule (Ländliche Entwicklung)**, besteht aus sechs Prioritäten (u.a. Wissenstransfer und Innovation; Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit, der Organisation der Nahrungsmittelkette und des Risikomanagements; Wiederherstellung, Erhaltung und Verbesserung der von der Land- und Forstwirtschaft abhängigen Ökosysteme). In der aktuellen GAP-Periode liegt der Fokus auf der Grünlanderhaltung, damit keine Umwidmung in Acker oder in Wald erfolgt. Durch die entsprechende Honorierung der landwirtschaftlichen Leistungen für Umwelt und Gesellschaft im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik wird zum Fortbestand einer flächendeckenden Landwirtschaft und damit zur Ernährungssicherung beigetragen. Ein maßgebliches Ziel des Programms für ländliche Entwicklung stellt außerdem auf die Verhinderung von Bodenerosion und die Verbesserung der Bodenbewirtschaftung ab. So setzt Österreich im Rahmen der LE zahlreiche Maßnahmen zur Sicherstellung und Verbesserung der Fruchtbarkeit landwirtschaftlicher Böden um.

Der Anreiz, die Produktivität der Böden beizubehalten oder sogar zu erhöhen, besteht an sich bereits, zahlreiche ÖPUL-Maßnahmen und die damit verbundenen Anreize durch Förderungen tragen zum Humusaufbau bei. Dies fördert die Aufrechterhaltung bzw. Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit und trägt zur langfristigen Wertschöpfung auf den jeweiligen Flächen bei, da hier die Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit verbessert wird. Landwirtschaftliche Beratungen fördern diesen Ansatz und tragen somit auch zur langfristigen Ertragssicherung für die Landwirte bei. Durch diese Maßnahmen wird ein großer Anreiz geschaffen, die jeweiligen Flächen auch langfristig in Produktion zu halten.

Die **Nährstoffverfügbarkeit** hat einen wesentlichen Einfluss auf die Produktionsleistung der Böden und damit auf die Ernährungssicherung. Um die Produktivität zu gewährleisten, aber die Umwelt vor Nährstoffverlusten bzw. Schadstoffbelastungen zu schützen, bestehen Richtlinien und Verordnungen sowie gezielte Gewässerschutzmaßnahmen im Rahmen von ÖPUL. Angepasst an die verschiedenen Produktionsniveaus sind die Richtlinien zur sachgerechten Düngung in der Landwirtschaft des Fachbeirats für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, weiters regeln die Kompost-Verordnung (BGBl. II Nr. 292/2001), die Klärschlamm- und die Müllkompost-Verordnungen der Bundesländer die Aufbringungsmengen.

Ertragsreiche Standorte werden im Eigeninteresse der Landwirte bevorzugt aufrechterhalten, in diesem Fall sollte keine Förderung notwendig sein bzw. wäre sie auch nicht argumentierbar.

Sinnvoll ist es das **Bewusstsein für den Wert des Bodens aufgrund seiner Produktionsfunktion** sowohl bei den Landwirten als auch in den Gemeinden zu stärken. Zielgruppenorientierte Weiterbildungsmaßnahmen z.B. im Bereich der Ländlichen Entwicklung (LE), als Teil der GAP) sind hier zielführend. Die laufende Beratung durch die Landwirtschaftskammern ist ein wesentlicher Baustein für die Erhaltung von landwirtschaftlich wertvollen Flächen.

4.11.3 Möglichkeit eines Funktionsausgleichs

Für den Fall, dass wertvolle landwirtschaftliche Produktionsflächen umgewidmet und verbaut werden, könnte aus Sicht des Bodenschutzes ein möglicher Funktionsausgleich durch Kompensationsflächen angedacht werden. Diese müssten ausschließlich für die landwirtschaftliche Nutzung zur Verfügung stehen und in ihrer Produktionsleistung in Summe mindestens die gleiche Ertragsmesszahl vorweisen wie die verlorengegangene Produktionsfläche.

4.11.4 Mögliche weiterführende Untersuchungen

Im Projekt wurde die maximal möglich Produktionsleistung der landwirtschaftlichen Böden unter aktuellen (1980-2010) und zukünftigen Klimabedingungen ermittelt und davon ein Vorschlag für den Schutz von wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsflächen (Böden mit hoher Produktionsleistung) abgeleitet. Dabei wurde von optimierten Rahmenbedingungen ausgegangen. Das heißt, dass sowohl Anpassungsmaßnahmen wie Bewässerung, Änderung von Sorten und Kulturarten als auch die Abnahme der Produktion aufgrund von Schadereignissen noch nicht berücksichtigt wurden. Des Weiteren wurden auch die Auswirkungen der ÖPUL-Maßnahmen und der biologischen Bewirtschaftung nicht bewertet. Mit einer weiterführenden Studie, in der dies bearbeitet wird, könnte die Aussagekraft der Ergebnisse noch verbessert werden.

5 Literatur

AD-HOC-AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Aufl., Hannover.

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.

AMA – AGRARMARKT AUSTRIA (2015): Kartoffeln – Anbaufläche 2015. Homepage der AMA. https://www.ama.at/Marktinformationen/Obst-und-Gemuse/Aktuelle-Informationen/2015/Kartoffel-Anbauflachen-2015

AMBERGER, A. (1989): NH3-Verluste aus der Anwendung organischer und anorganischer Dünger. Kongressband, VDLUFA-Schriftenreihe 30, 103-108.

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.

ARNOLD D.; SCHICKER I.; FORMAYER H.; SEIBERT P. (2012a): Towards high-resolution environmental modelling in the Alpine region. – In: STEYN, DOUW G., TRINI CASTELLI, SILVIA (Eds.), Air Pollution Modeling and its Application XXI, p. 269-272; Springer, Dordrecht. ISBN 978-94-007-1358.

ARNOLD D.; MORTON D.; SCHICKER I.; SEIBERT P.; ROTACH M.W.; HORVATH K.; DUDHIA J.; SATOMURA T.; MÜLLER M.; ZÄNGL G.; TAKEMI T.; SERAFIN S.; SCHMIDLI J.; SCHNEIDER S. (2012b): High Resolution Modelling in Complex Terrain. Report on the HiRCoT 2012 Workshop, Vienna, 21-23 February 2012. BOKU-Met Report 21 42 pp. ISSN 1994-4179 (Print), ISSN 1994-4187 (Online). Verfügbar auf http://www.boku.ac.at/met/report/BOKU-Met_Report_21_online.pdf

BMLFUW (2015): Pflanzliche Produktion. Homepage des Lebensministeriums: https://www.bmlfuw.gv.at/land/produktion-maerkte/pflanzliche-produktion.html

BMLFUW (2017): Grüner Bericht 2017. Wien, September 2017

BRÜCKLER M.; REINDL A.; RESL T. (2016): Mengenerträge aus dem Biolandbau. http://www.awi.bmlfuw.gv.at/index.php?id=fp_detail&SELECTPRO_FORSCHID=141

BUCHGRABER K. (2000): Ertragspotentiale und Artenvielfalt auf Grünlandstandorten im Berggebiet. MAB-Forschungsbericht: Landschaft und Landwirtschaft im Wandel, Wien, Akademie der Wissenschaften, 22.-23. September 2000, 181-189.

BUCHGRABER K. & GINDL G. (2004): Zeitgemäße Grünlandbewirtschaftung, 2. Auflage, Leopold Stocker Verlag, 192 S.

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.

BUDOI, G.H., DANUSO, F., GIOVANARDI, R., DAVIDESCU, V., MADJAR, R. (1998): Modelling the crop residues and organic fertilizers mineralization in soil. Aus: XXVIIIth Annual Meeting of ESNA/jointly organised with UIR working group soil-to-plant transfer, Brno (Czech Republic), August 26-29 1998, Working Group 3, Soil-Plant-Relations, Oct. 1998

CENTURY (2001): Century Soil Organic Matter Model, Version 5. User's Guide and Reference

CHMIELEWSKI F.M. (2007): Folgen des Klimawandels für Land- und Forstwirtschaft. In Endlicher und Gerstengarbe (Eds.): Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke, Humboldt-Universität zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II, Geographisches Institut, Berlin, 75-85.

CHRISTENSEN J.H.; KJELLSTRÖM E.; GIORGI F.; LENDERINK G.; RUMMUKAINEN M. (2010): Weight assignments regional climate models: exploring the concept. Clim Res 44, 179–194.

CLAY, D.E., MOLINA, J.A.E., CLAPP, D.E., LINDEN, D.R. (1985): Nitrogen-Tillage-Residue Management: II. Calibration of potential rate of nitrification by model simulation. Soil Sci. Soc. Am. J. 49, 322-325.

COLEMAN, K. & JENKINSON, D.S. (1999): RothC-26.3 - A Model for the turnover of carbon in soil: Model description and windows users guide: November 1999 issue. Lawes Agricultural Trust Harpenden. ISBN 0 951 4456 8 5

eBOD (2009): Österreichische Bodenkartierung. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), Wien.

DUYNISVELD, W.H.M. (1983): Entwicklung von Simulationsmodellen für den Transport von gelösten Stoffen in wasserungesättigten Böden und Locker-sedimenten. Umweltbundesamt Berlin, Texte 17/83.

FEICHTINGER F. (1998): STOTRASIM – Ein Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone eines Ackerstandortes. – Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasser-wirtschaft, Band 7, S. 14-41.

FEICHTINGER F., SCHEIDL A., DORNER J. (2008): Beschreibung des Modells STOTRASIM in der im Projekt Knet, WP1.1.1, „Prognosemodell Murtal-Aquifer“ angewandten Version. Unveröffentlichter Bericht des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen.

FORMAYER H.; NADEEM I.; ANDERS I. (2015): Climate Change Scenario: From Climate Model Ensemble to Local Indicators. – In: STEININGER K.; KÖNIG M.; BEDNAR-FRIEDL B.; KRANZL L.; LOIBL W.; PRETTENTHALER F. (2015): Economic Evaluation of Climate Change Impacts: Development of a Cross-Sectoral Framework and Results for Austria, Springer.

FREUDENSCHUß A.; SEDY K.; SPIEGEL H.; ZETHNER G. (2010): Arbeiten zur Evaluierung von ÖPUL-Maßnahmen hinsichtlich ihrer Klimawirksamkeit. Schwerpunkt agrarische Bewirtschaftung. Wien, 104 S.

GODWIN D.C. & JONES C.A. (1991): Nitrogen Dynamics in Soil-Plant Systems. In: Modeling Plant and Soil Systems – Agronomy Monograph no. 31. ASA-CSSA-SSSA, Madison, 287-321.

GOLER R.A. & FORMAYER H. (2012): Temporal disaggregation of daily meteorological data to 15-minute intervals for use in hydrological models. EMS Annual Meeting Abstracts, Vol. 9, EMS2012-174-1. http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2012/EMS2012-174-1.pdf.

GOLLNER G. & STARZ W. (2015): Biologisch oder konventionell – worin liegt der Unterschied? Land und Raum 1/2015, pp. 6-9.

HAIDEN T.; KANN A.; WITTMANN C.; PISTOTNIK G.; BICA B.; GRUBER C. (2011): The Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) system and its validation over the eastern Alpine region. Wea. Forecasting 26, 166–183.

HARLFINGER, O. (1999): Klimahandbuch der Österreichischen Bodenschätzung. Wagner, Wien

HAYLOCK M.R.; HOFSTRA N., KLEIN TANK A.M.G.; KLOK E.J.; JONES P.D.; NEW M. (2008): A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006. Journal of Geophysical Research 113, D20119. doi:10.1029/2008JD010201.

HEYDER D. (1993): Nitratverlagerung, Wasserhaushalt und Denitrifikationspotential in mächtigen Lößdecken und einem Tonboden bei unterschiedlicher Bewirtschaftung. Bonner Bodenkundliche Abhandlungen, Band 10, 171 S.

IPCC 2006: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and other Land Use. Chapter 11: N_2O Emissions from Managed Soils, and CO_2 Emissions from Lime and Urea Application, 11.17-11.18.

JACOB D. (2001): A note to the simulation of the annual and inter-annual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin. Meteorol Atmos Phys 77, 61-73. doi: 10.1007/s00703017001.

KOUTSOYIANNIS D. (2003): Rainfall disaggregation methods: Theory and applications, Proceedings, Workshop on Statistical and Mathematical Methods for Hydrological Analysis, Rome 1-23, Universita degli Studi di Roma *La Sapienza*.

MICHALAKES J.; CHEN S.; DUDHIA J.; HART L.; KLEMP J.; MIDDLECOFF J.; SKAMAROCK W. (2001): Development of a Next Generation Regional Weather Research and Forecast Model. Developments in Teracomputing: Proceedings of the Ninth ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology. Eds. Walter Zwieflhofer & Norbert Kreitz. World Scientific, Singapore pp. 269-276.

MÜLLER G. & DÖRING J. (1989): Zur Berechnung der Bodentemperatur in unbewachsenem Boden und unter Kulturpflanzenbeständen – Bedeutung und Methodik. Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkd., Berlin 7, 379-383.

MURER E. (1998): Die Ableitung der Parameter eines Bodenwasserhaushalts- und Stoff-transportmodells aus den Ergebnissen der Bodenkartierung. – Modelle für die gesättigte und Bodenzone. – Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, 7, S. 89-103.

MURER E.; Wagenhofer, J.; Aigner F. und Pfeffer M. (2004): Die nutzbare Feldkapazität der mineralischen Böden der landwirtschaftlichen Nutzfläche Österreichs. – In: Bundesamt für

Wasserwirtschaft (Ed.): Schriftenreihe BAW, 20, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen, 72-78.

MURER E. (2009): Überprüfung und Verbesserung der Pedotransferfunktion zur Ermittlung der Wasserspeicherfähigkeit im Boden. Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen, 54 S.

MURER E. (2011): Bericht über die ÖPUL-Evaluierung - Wirksamkeit von ÖPUL-Maßnahmen zur Vermeidung von Bodenverdichtung. Projektbericht des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Petzenkirchen.

NYE P.H. & TINKER P.B. (1977): Solute movement in the soil-root system. Studies in Ecology Volume 4. Blackwell Scientific Publications. Oxford London Edinburgh Melbourne, 342 pp.

OTTOW J.C.G. (1992): Denitrifikation, eine kalkulierbare Größe in der Stickstoffbilanz von Böden? Wasser und Boden, 44, 578-581.

PAL J.S.; GIORGI F.; BI X.; ELGUINDI N.; SOLMON F.; GAO X.; FRANCISCO R.; ZAKEY A.; WINTER J.; ASHFAQ M.; SYED F.; BELL J.; DIFFENBAUGH N.; KARMACHARYA J.; KONARE A.; MARTINEZ-CASTRO D.; PORFIRIO DA ROCHA R.; SLOAN L.; STEINER A. (2007): Regional climate modeling for the developing world: The ICTP RegCM3 and RegCNET. Bulletin of the American Meteorological Society 88, 1395-1409.

POSPICHAL B.; FORMAYER H.; HAAS P.; NADEEM I. (2010): Bias correction and localization of regional climate scenarios over mountainous area on a 1x1km grid. Oral presentation. EMS Annual Meeting, Zürich, Switzerland 13-17 September 2010.

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.

RADU R.; DÉQUÉ M.; SOMOT S. (2008): Spectral nudging in a spectral regional climate model. Tellus Ser A Dyn Meterol Oceanogr 60, 898–910.

RÜHLMANN J. (1999): A new approach to estimating the pool stable organic matter in soil using data from long-term experiments; Plant and Soil 213, 149-160.

RÜHLMANN J., KUKA K., FRANKO U., BAURIEGEL E. (2001): Modellierung des Kohlenstoffhaushaltes in Ackerböden auf der Grundlage bodenstrukturabhängiger Umsatzprozesse. Bodenkundlicher Kongress der Deutschen und der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft, Wien, 1.-9.9.2001. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 96/1, Eigenverlag, Oldenburg, S. 269-270

SCHAUMBERGER A. (2011): Räumliche Modelle zur Vegetations- und Ertragsdynamik im Wirtschaftsgrünland. Dissertation, Technische Universität Graz, Institut für Geoinformation, 264 S.

SEUFERT V.; RAMANKUTTY N.; J.A. FOLEY (2012): Comparing the yield of organic and conventional agriculture. Nature 485, 229-233.

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.

STENITZER E. (1988): SIMWASER – Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standorts. – Mitt. der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Nr. 31, A-3252 Petzenkirchen.

STENITZER E., MURER E. (2003): Impact of soil compaction upon soil water balance and maize yield estimated by the SIMWASER model. Soil Till. Res. 73. 43-56.

STENITZER E. & HÖSCH J. (2004): Die Auswirkungen der Klimaänderung auf den Bodenwasserhaushalt und die Erträge im Marchfeld – eine Simulationsstudie. Bericht der ALVA Jahrestagung 2004. „Klimawandel - Auswirkungen auf Umwelt- und Agrarproduktion“. ALVA Jahrestagung Wien, 17.-19. Mai 2004, 37-40.

STENITZER E. & HÖSCH J. (2005): Grundwasserneubildung im Marchfeld – Lysimetermessungen und Modellrechnungen, Bericht über die 11. Lysimetertagung, Gumpenstein 2005, 41-44.

STENITZER E. DIESTEL H., ZENKER T., SCHWARTENGRÄBER R. (2007a): Assessment of Capillary Rise from Shallow Groundwater by the Simulation Model SIMWASER Using Either Estimated Pedotransfer Functions of Measured Hydraulic Parameters. Water Resour Manage, 21, 1567-1584.

STENITZER E., DIESTEL H., FRANKO U., SCHWARTENGRÄBER R., ZENKER T. (2007b): Performance of the model SIMWASER in two contrasting case studies on soil water movement. In: Kersebaum, K. Ch., J.-M. Hecker, W. Mirschel, M. Wegehenkel (eds.): Modelling Water and Nutrient Dynamics in Soil-Crop Systems. Springer.

UMWELTBUNDESAMT (2016): GHG projections of land use, land use change and forestry for non-forest land in Austria. http://cdr.eionet.europa.eu./at/eu/mmr/art04-13-14_lcds_pams_projections/envvqnfkg/MMR_Projectionss_LULUCF_28-01-2016.pdf

UMWELTBUNDESAMT (2016a): Elfter Umweltkontrollbericht – Kapitel Bodenschutz und Flächenmanagement. http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltkontrolle/2016/ukb16_06_bodenschutz.pdf

WAGNER K. (1990a): Neuabgrenzung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete, Teil I (Burgenland, Niederösterreich, Wien, Steiermark und Kärnten), Schriftenreihe der Bundesanstalt für Agrarwirtschaft 61, Bundesanstalt für Agrarwirtschaft Wien.

WAGNER K. (1990b): Neuabgrenzung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete, Teil II (Oberösterreich, Salzburg, Tirol und Vorarlberg), Schriftenreihe der Bundesanstalt für Agrarwirtschaft 62, Bundesanstalt für Agrarwirtschaft Wien.

6 Anhang

Tabelle 28: Gesamtösterreichische TM-Erträge [t] auf Ackerland für die modellierten Kulturarten nach Szenarien

Szenario	W-Weizen	W-Roggen	Triticale	W-Gerste	S-Gerste
ALADIN 1981-2010	1.617.289	141.461	178.907	431.707	814.649
ALADIN 2036-2065	1.482.669	122.933	164.598	399.252	734.758
CMIP5 1981-2010	1.425.215	85.808	150.740	438.733	808.673
CMIP5 2036-2065	833.232	85.751	146.188	355.854	636.824
	Silomais	Mais	Zuckerrübe	Sonnenblume	W-Raps
ALADIN 1981-2010	912.165	1.642.336	2.448.204	177.299	303.872
ALADIN 2036-2065	758.485	1.678.119	2.295.383	157.717	278.647
CMIP5 1981-2010	899.218	1.784.874	2.371.211	176.413	252.228
CMIP5 2036-2065	663.048	1.603.269	1.856.679	104.504	255.636
	Sojabohne	Kartoffel	Kürbis		
ALADIN 1981-2010	94.496	532.226	23.496		
ALADIN 2036-2065	95.967	479.979	22.561		
CMIP5 1981-2010	105.533	516.584	25.906		
CMIP5 2036-2065	65.560	377.568	17.251		

Tabelle 29: Gesamtösterreichische TM-Erträge [t] auf Grünland für die modellierten Szenarien (1…Hochalpen, 2…Voralpen, 3…Alpenostrand, 4…Wald- und Mühlviertel, 5…Kärntner Becken, 6…Alpenvorland, 7…Südöstliches Flach- und Hügelland, 8…Nordöstliches Flach- und Hügelland)

HPG	Stationen 1981-2010	ALADIN 1981-2010	ALADIN 2036-2065	CMIP5 1981-2010	CMIP5 2036-2065	Fläche [ha]
1	191.162	189.670	189.726	173.872	227.897	282.331
2	1.299.806	1.244.757	1.367.076	1.237.469	1.470.291	180.132
3	1.494.458	1.480.108	1.524.752	1.434.148	1.711.936	216.038
4	976.169	995.752	1.022.429	1.011.997	1.053.829	149.948
5	278.289	284.980	286.733	286.669	299.395	39.700
6	1.549.559	1.617.623	1.625.281	1.622.226	1.584.684	210.845
7	676.575	763.948	680.139	778.760	625.455	101.419
8	215.819	251.829	220.650	258.335	190.057	38.003
Summe	6.681.836	6.828.667	6.916.786	6.803.476	7.163.543	1.218.416

Tabelle 30: Verbrauchszahlen aus der Versorgungsbilanz (STATISTIK AUSTRIA) (*…Menge an Zuckerrübe aus dem Zuckerverbrauch abgeleitet)

Art	Produkt	Nahrungsverbrauch	Futtermittel	Verarbeitung
Pflanzlich	Weichweizen	606.496		
	Roggen	103.745		
	Gerste	5.516	663.574	
	Hafer	15.777		
	Körnermais	184.188		
	Triticale		266.309	
	Sojabohne	19.000	60.875	
	Raps			350.065
	Sonnenblume	6.000		109.235
	Kartoffel	440.831		82.401
	Zuckerrübe*	406.511		
Tierisch	Rindfleisch	146.554		
	Schweinefleisch	475.523		
	Geflügel	180.697		
	Milch	72.488		

Tabelle 31: Verbrauchszahlen [t TM] der wichtigsten Futtermittelrohstoffe nach Tiergruppen

Produkt	Rinder	Schweine	Geflügel	Gesamt
Weizen	276.321	159.095	128.527	563.943
Gerste	146.076	315.080	3.769	464.925
Hafer	-	47.551	-	47.551
Körnermais	211.615	688.820	320.860	1.221.295
Sojabohne	49.859	391.665	230.755	672.278
Raps	101.426	7.575	-	109.001
Sonnenblume	-	-	4.256	4.256
Zuckerrübe	48.692	17.726	-	66.418
Silomais	814.526	-	-	814.526
Kleegras	351.566	-	-	351.566
Gras + Heu	5.296.158	-	-	5.296.158