

DIPLOMARBEIT

GIS-basierte räumliche Modellierung der Ernährungssicherheit in Österreich bei geringem Energieeinsatz in Land- und Transportwirtschaft

Ausgeführt am

Department für Raumplanung
Fachbereich Stadt- und Regionalforschung

und am

Department für Geodäsie und Geoinformation
Forschungsgruppe Geoinformation

der Technischen Universität Wien

unter der Anleitung von

Univ.Ass. Dipl.-Ing. Robert **Kalasek**

durch

Rafael Milos, BSc

Storkgasse 17/34
1050 Wien
Matrikelnummer: 00725032

Kurzfassung

Einige Autoren der Wissenschaftsgemeinde vertreten den Standpunkt, dass ein möglicher zukünftiger Mangel an Erdöl die landwirtschaftlichen Produktionskapazitäten wesentlich reduzieren würde. In der folgenden Arbeit werden die Aussagen und Schlussfolgerungen der Autoren als Ausgangspunkt für die Entwicklung eines GIS-Berechnungsmodells verwendet. Der Analysestandpunkt der Autoren dient als thematisches Rahmenszenario und wird inhaltlich nicht überprüft. Ein denkbare Szenario, in welchem relevante gesellschaftliche Veränderungen auftreten, stellt bereits einen interessanten Untersuchungsgegenstand dar. Auch wenn das untersuchte Szenario nicht den wahrscheinlichsten Zukunftsfall darstellt.

Mittels eines GIS-Berechnungsmodells sollen die Produktionskapazitäten der österreichischen Landwirtschaft bei stark reduziertem Energieeinsatz abgeschätzt werden. Das GIS-Berechnungsmodell kann allerdings thematisch nicht vollumfassend entwickelt werden, da eine fachlich belastbare Analyse den Rahmen dieser Diplomarbeit überschreiten würde. Der Fokus der Arbeit liegt auf Entwicklung und Implementierung eines „Basismodells“.

Den „Startpunkt“ des Modells stellen die zur Ernährung der Bevölkerung notwendigen Ernteerträge dar, wobei derjenige Ernteertrag ermittelt werden soll, welcher für die Ernährung der Bevölkerung ausreichend ist. Hierbei wird der Ernteertrag vereinfacht nur als abstrakte Größe zur Ernährung von Menschen verstanden, nicht jedoch als konkrete Mischung von Feldfrüchten oder als eine Größe mit konkretem Jahreszeitenbezug.

Den notwendigen Ernteerträgen werden die tatsächlich realisierbaren Ernteerträge gegenübergestellt. Ausgangspunkt zur Ermittlung der realisierbaren Ernteerträge sind die verfügbaren landwirtschaftlichen Flächen. Bei diesen wird zwischen Acker- und Weideflächen unterschieden, wobei angenommen wird, dass Ackerflächen ertragreicher als Weideflächen sind. Eine Unterscheidung nach landwirtschaftlichen Gunst- und Ungunsträumen wird nicht vorgenommen. Für alle Ackerflächen sowie für alle Weideflächen wird jeweils das gleiche Ertragspotential angenommen. Mögliche Neuerschließungen von landwirtschaftlichen Flächen durch Rodungen von Wäldern oder Rückbau von versiegelten Flächen werden nicht modelliert.

Ein besonderer Aspekt des (GIS-)Modells stellt die räumliche „Verteilung“ von landwirtschaftlichen Arbeitskräften sowie von Ernteerträgen dar. Zwischen den „Überschuss“-Rasterzellen sowie den „Defizit“-Rasterzellen ist eine Verteilung notwendig um ein Gleichgewicht herzustellen zu können. Mit der Verteilungsmodellierung wird auf dieses besondere Verhältnis im Gesamtmodell Rücksicht genommen.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	3
1. Einleitung.....	7
1.1. Thematisches Rahmenszenario für GIS-Modell	7
1.2. Fragestellung und Methodik	11
2. Grundlagen der GIS-Modellierung	13
2.1. Geodaten und Geoinformation.....	13
2.2. Raster- und Vektordaten.....	13
2.3. Ebenenprinzip (Layer).....	15
2.4. Rasteralgebra	15
2.5. Datenqualität.....	16
3. Aufbau des GIS-Modells	18
3.1. Grundlegender Modellansatz.....	18
3.2. Datengrundlage.....	18
3.2.1. CORINE Land Cover	19
3.2.2. Statistik Austria Hauptwohnsitze	22
3.3. Notwendige und realisierbare Ernteerträge	22
3.4. Verteilungsnotwendigkeiten	24
3.5. Arbeitsweg- und Transportkosten.....	25
3.6. Verteilungsalgorithmus	28
3.6.1. Betrachtungsblöcke.....	28
3.6.2. Aggregierung	29
3.6.3. Disaggregierung.....	32
3.6.4. Vergrößerung der Betrachtungsblöcke	33
3.7. Zusammenfassung des Modellaufbaus	34
4. Parameterermittlung.....	36
4.1. Notwendige Ernteerträge.....	36
4.1.1. Notwendige landwirtschaftliche Fläche bei ausschließlicher Versorgung durch Ackerflächen.....	36
4.1.2. Notwendige landwirtschaftliche Fläche bei ausschließlicher Versorgung durch Weideflächen	40
4.2. Landwirtschaftliche Arbeitskräfte	40
4.2.1. Verfügbare landwirtschaftliche Arbeitskräfte.....	40
4.2.2. Bewirtschaftbare Fläche je landwirtschaftlicher Arbeitskraft.....	41
4.3. Arbeitsweg- und Transportkosten.....	47

4.3.1.	Raumwiderstand	47
4.3.2.	Arbeitswegkosten von landwirtschaftlichen Arbeitskräften.....	51
4.3.3.	Transportkosten Ernteerträge.....	51
4.4.	Zusammenfassung der Parameter für Berechnungsmodell.....	53
5.	Ergebnisse	54
5.1.	Verteilung der landwirtschaftlichen Arbeitskräfte.....	54
5.2.	Verteilung der Ernteerträge	57
5.3.	Ergebnisdiskussion	59
6.	Mögliche Weiterentwicklungen	62
6.1.	Mögliche Modellerweiterungen bei der Ermittlung der notwendigen und realisierbaren Ernteerträge	62
6.1.1.	Fruchtfolge, Nährstoffgehalt und Lagerungsfähigkeit	62
6.1.2.	Bodenqualität	62
6.1.3.	Anzahl der landwirtschaftlichen Arbeitskräfte.....	62
6.1.4.	Bewirtschaftbare Fläche je landwirtschaftlicher Arbeitskraft.....	63
6.2.	Mögliche Modellverbesserungen bei der Ermittlung der Arbeitsweg- und Transportkosten 65	
6.2.1.	Richtungsausgabe der Funktion Kostenentfernung (Cost Distance).....	65
6.2.2.	Verkehrsinfrastruktur und -graph	65
6.2.3.	Verarbeitung der Rasterzellen als zweidimensionales Feld	65
6.3.	Österreichische Staatsgrenze	66
6.4.	Bevölkerungsverlagerungen.....	67
6.5.	Agentenbasierte Modellierung	68
7.	Zusammenfassung.....	69
	Karten	71
	Abbildungsverzeichnis.....	82
	Tabellenverzeichnis	85
	Literaturverzeichnis.....	87
	ArcPy Verteilungsroutine	91
	Pfade, Parameter und Hauptmodell	91
	Funktionen	97
	Verteilungsmodell	97
	Weitere Funktionen	98
	Unterfunktionen.....	98
	Zusammenfassen / Aggregieren.....	99

Zerstreuen / Disaggregieren.....	100
Weitere Unterfunktionen.....	104

1. Einleitung

Geographische Informationssysteme (GIS) eignen sich gut zur Bearbeitung von räumlichen Fragestellungen. Dabei reichen die Möglichkeiten der Datenverwertung von einfachen Visualisierungen bis hin zur Modellierung komplexer Zusammenhänge. Als GIS-Software stehen Benutzern verschiedene kommerzielle sowie Open Source Lösungen zur Verfügung. Diese Softwareprodukte bieten vorgefertigte Funktionen an und ermöglichen des Weiteren die skriptbasierte Kombination ebendieser.

In der folgenden Arbeit wird anhand eines Beispiels gezeigt, wie sich ausgehend von einer thematischen Fragestellung, methodische Fragen und Aufgaben im Bezug auf modellhafte Abbildung und Lösung der thematischen Fragestellung ergeben. Daher sind als Ausgangspunkt der Analyse ein thematisches Rahmenszenario sowie eine inhaltliche Fragestellung notwendig. Das Rahmenszenario sowie die inhaltliche Fragestellung dienen allerdings nur als Gedankenexperiment, auf welchem die methodischen Fragestellungen und technischen Implementierungen fußen. Auf eine thematisch vollumfassende und präzise Bearbeitung der Ausgangsfrage wird verzichtet, da eine fachlich belastbare Analyse den Rahmen dieser Diplomarbeit überschreiten würde. Der Fokus der Arbeit liegt auf Entwicklung und Implementierung eines „Basismodells“.

1.1. Thematisches Rahmenszenario für GIS-Modell

Im letzten Jahrhundert konnten die landwirtschaftlichen Ernteerträge durch den Einsatz landwirtschaftlicher Maschinen und erdölbasierten Düngemitteln deutlich gesteigert werden (Evans 2008). Somit ist es der modernen Landwirtschaft möglich mittels fossiler Brennstoffe Nahrung zu produzieren (Bardi, El Asmar, und Lavacchi 2012). Die Ausweitung der Agrarproduktion hin zu einer industrialisierten Landwirtschaft, ist nach Auffassung von Julia Wright und Dale Pfeiffer bei etwaiger Ölknappheit in ihrer Substanz bedroht, sodass die Nahrungsproduktion bei zu geringem Ölangebot deutlich sinken würde (Wright 2009; Pfeiffer 2006). Bis jetzt konnte beobachtet werden, dass die Preisentwicklung von landwirtschaftlichen Produkten ähnlich wie jene des Ölpreises verläuft (Hendrickson 1994).

In Abbildung 1 sind als konkrete Beispiele für die Produktionssteigerungen in der Landwirtschaft die Ertragsentwicklungen von Getreide, Mais und Reis im Zeitraum von 1961 bis 2013 dargestellt. In Abbildung 2 und Abbildung 3 ist die Bedeutung von Erdöl für die weltweite Energieversorgung dargestellt.

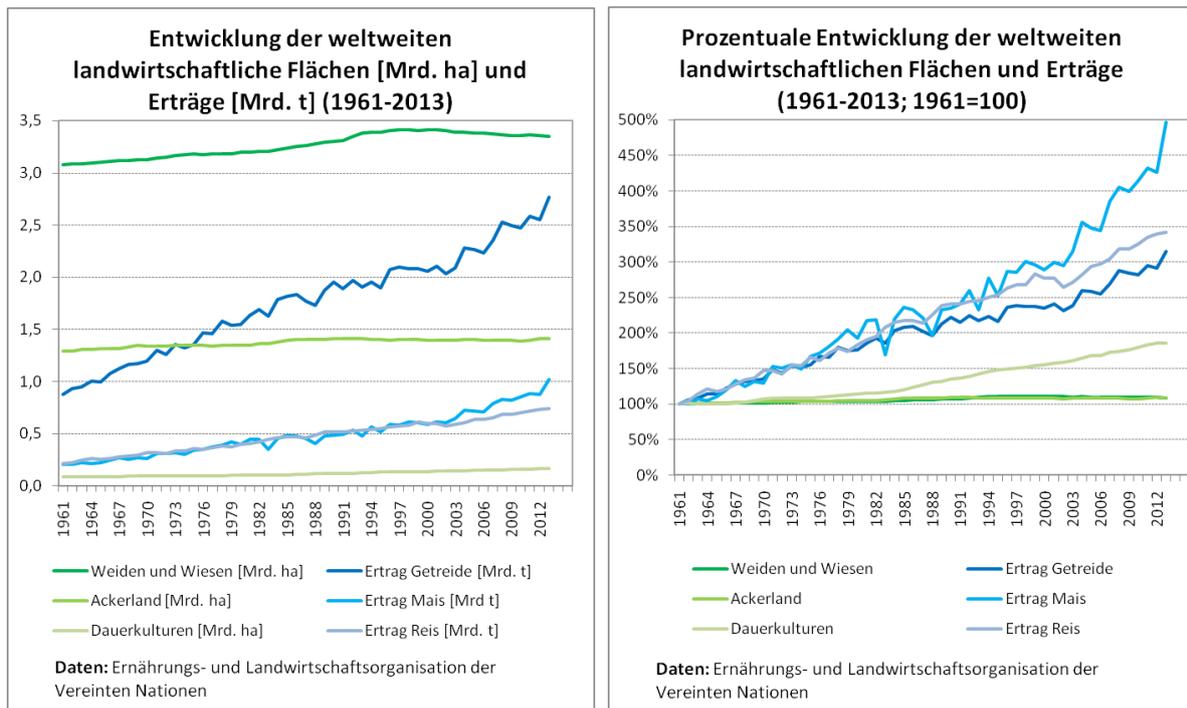


Abbildung 1: Entwicklung der weltweiten landwirtschaftlichen Flächen und Erträge von 1961 bis 2013. Trotz nur geringer Flächenveränderungen kam es zu großen Ertragssteigerungen (FAO 2016)

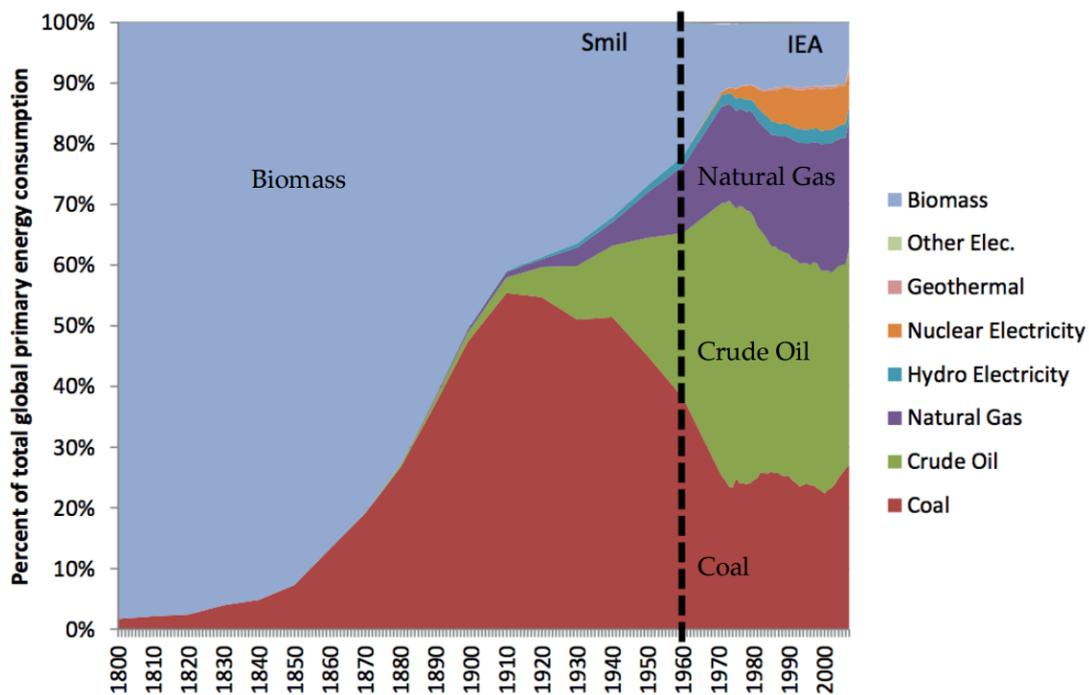


Abbildung 2 (Lambert u. a. 2012): Prozentuale Verteilung des weltweiten Primärenergieverbrauchs von 1800 bis 2007 je Energiequelle. Während im Jahr 1800 Biomasse die dominierende Energiequelle war, wurde diese im Zuge der industriellen Revolution zunächst durch die Kohle und danach durch Erdöl verdrängt.

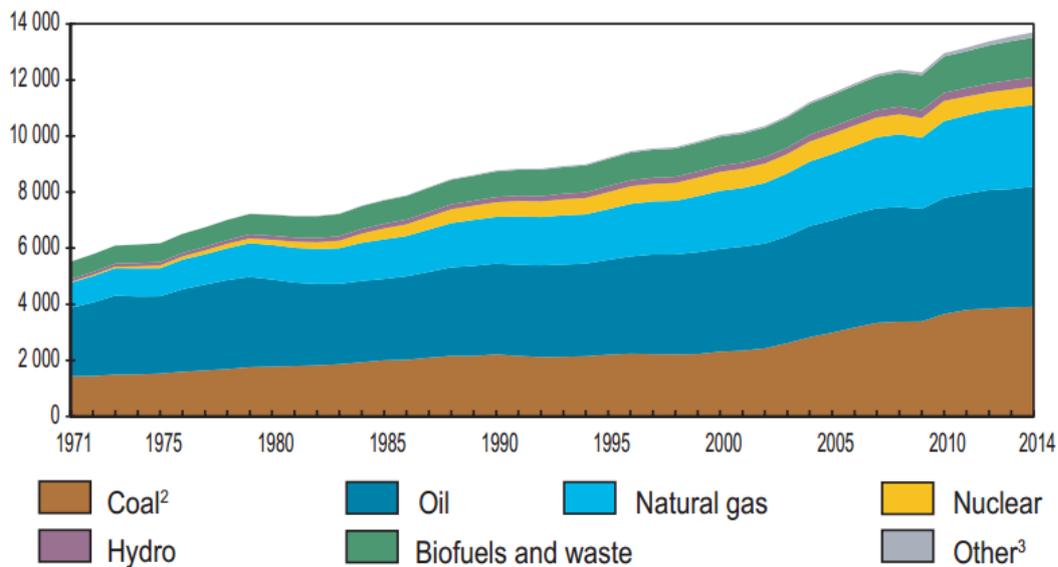


Abbildung 3 (Internationale Energieagentur (IEA) 2016): Weltweiter Primärenergieverbrauch von 1971 bis 2014 je Energiequelle in Millionen Öleinheiten (Eine Öleinheit entspricht der Energiemenge, die beim Verbrennen von einem Kilogramm Erdöl freigesetzt wird).

Inwieweit bei einem Überschreiten des globalen Erdölfördermaximums Erdöl-Alternativen zur Verfügung stehen, hängt von deren „Erntefaktor“ (englisch Energy Returned on Energy Invested, EROeI) ab. Dieser gibt bei der Ausbeutung von Energiequellen an, in welchem Verhältnis die „geerntete“ Energie zur investierten Energie steht. Laut Charles Hall und John Day ist es ungewiss, ob das aktuell durch Erdöl produzierte Energievolumen durch ähnlich effiziente Energiequellen ersetzt werden kann (Hall und Day 2009; Weißbach u. a. 2013). In Abbildung 4 ist eine Grafik abgebildet die Hall und Day zur Untermauerung ihrer Analyse verwendet haben. Somit wäre das aktuell historisch niedrige Preisniveau von Energie gefährdet und in Folge dessen das aktuelle Produktionsniveau der landwirtschaftlichen Erzeugnisse.

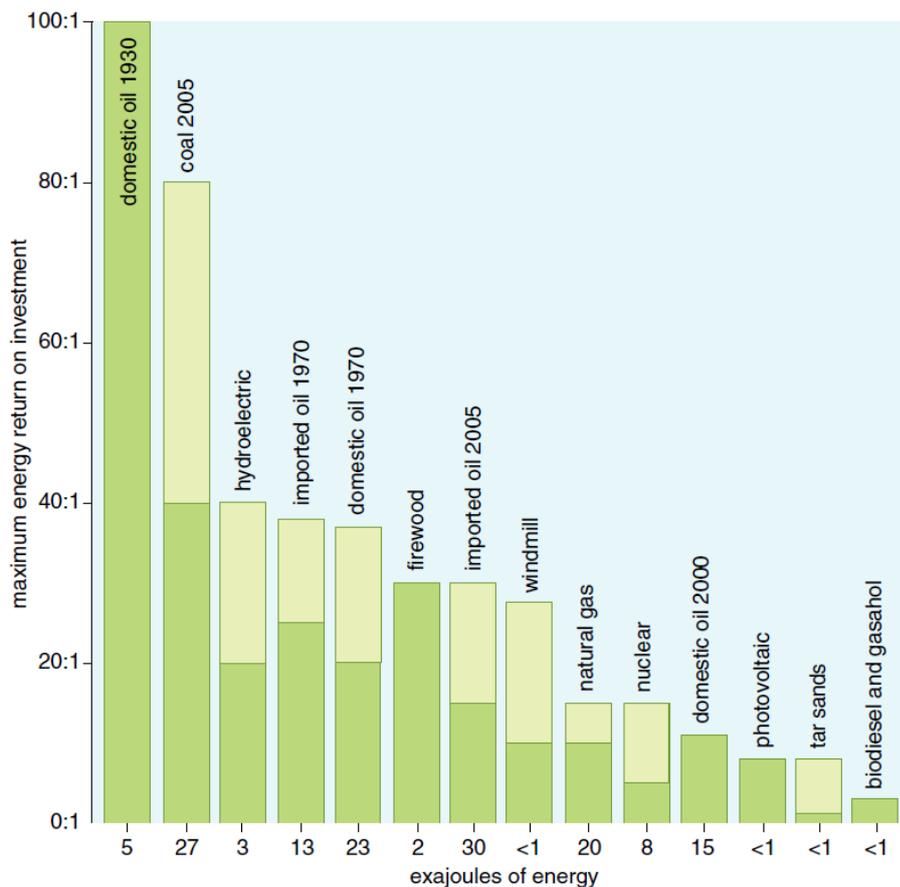


Abbildung 4 (Hall und Day 2009): Erntefaktor (beschreibt das Verhältnis der genutzten Energie zur investierten Energie) verschiedener Energiequellen (hellgrüne Diagrammbalkenbereiche geben Bandbreiten wieder). Der Erntefaktor von Öl hat sich in den letzten 80 Jahren aufgrund der schwierigeren Erschließung deutlich reduziert. Ölsand weist einen sehr geringen Erntefaktor auf.

Zudem dürfte es infolge einer Ölknappheit ohne ausreichende Alternativen zu einer starken Verteuerung und gegebenenfalls massiven Einschränkung der Transportkapazitäten des Güter- sowie Personenverkehrs kommen (Planungsamt der Bundeswehr 2012). Bei einem allgemeinen Ernterückgang und gleichzeitiger Reduktion der Möglichkeiten zur räumlichen Nahrungsverteilung besteht die Gefahr, dass es zu einer räumlich ungleichen Versorgungslage und eventuell auch zu lokaler Unterversorgung kommen würde (Pfeiffer 2006).

Als ein historisches Beispiel für die Wirkung von Erdölmangel auf die landwirtschaftliche Produktion, kann die „Sonderperiode in Friedenszeiten“ Kubas gesehen werden. Der Zerfall der Sowjetunion und die Auflösung des Rats für gegenseitige Wirtschaftshilfe hatten ab 1990 einen großen Einfluss auf die wirtschaftliche Entwicklung Kubas (Wright 2009). 1990 bezeichnete die kubanische Regierung umfassende Sparmaßnahmen als „Sonderperiode in Friedenszeiten“ (Friedrichs 2012). Wie in Abbildung 5 zu sehen ist, war die kubanische Landwirtschaft mit einem Rückgang der verfügbaren Düngemittel und Pflanzenschutzmittel von 80 %, sowie mit einem Rückgang der erdölbasierten Treibstoffe von 50 % konfrontiert (Rosset und Benjamin 1994). Infolgedessen verzeichnete die kubanische Nahrungsmittelproduktion, wie in Abbildung 6 zu sehen ist, einen starken Ertragsrückgang. Grundlegende Dienstleistungen der Nahrungsmittelverteilung wie Kühlung und Logistiknetzwerke kamen aufgrund des Öl- und Energiemangels zu einem Stillstand und Teile der Ernte verderben, bevor sie die Konsumenten in den Städten erreichen konnten (Murphy 1999).

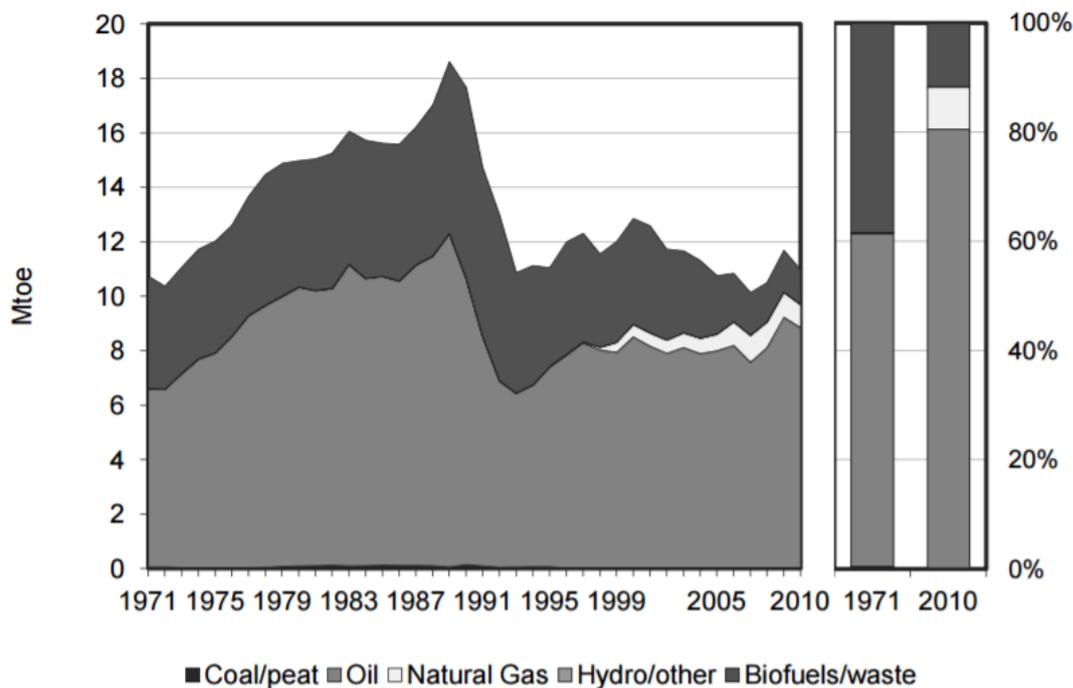


Abbildung 5 (Internationale Energieagentur (IEA) 2012): Primärenergieverbrauch in Kuba von 1971 bis 2010 je Energiequelle in Megatonnen.

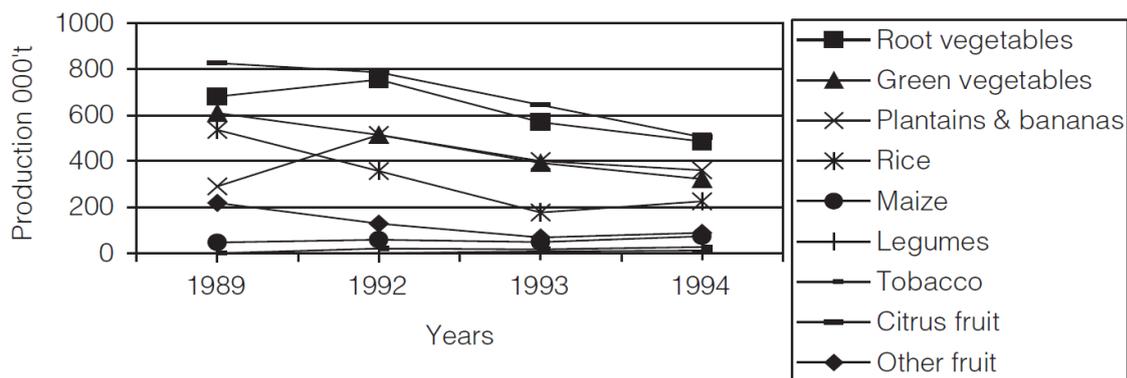


Abbildung 6 (Wright 2009): Entwicklung von landwirtschaftlichen Ernteerträgen in Kuba in den Jahren 1989 bis 1994.

Von den oben erwähnten Autoren wird größtenteils die Meinung vertreten, dass eine Substituierung von Erdöl weder in seiner Funktion als Energiequelle noch als Energieträger möglich ist. Weiters wird von den meisten Autoren der Standpunkt vertreten, dass ein Mangel von Erdöl die landwirtschaftlichen Produktionskapazitäten wesentlich reduzieren würde. Auf eine Darstellung anderer Schlussfolgerungen und Argumentationsstandpunkte innerhalb der Wissenschaftsgemeinde wird in dieser Arbeit verzichtet. Ein denkbare Szenario, in welchem relevante gesellschaftliche Veränderungen auftreten, stellt bereits einen interessanten Untersuchungsgegenstand dar. Auch wenn das untersuchte Szenario nicht den wahrscheinlichsten Zukunftsfall darstellt.

1.2. Fragestellung und Methodik

Wenn man nun den Schlussfolgerungen zur Energiegewinnung und Nahrungsproduktion der oben genannten Autoren folgt, ergibt sich die Frage, ob in diesem Szenario die flächendeckende Nahrungsversorgung in Österreich gewährleistet ist. Ausgehend von der grundlegenden Problembeschreibung der Autoren ist klar, dass eine Bearbeitung dieser Frage mit auf ganz

Österreich aggregierten Daten eine zu große inhaltliche Lücke eröffnen würde. Eine kleinräumliche Modellierung der Wirkungszusammenhänge ist notwendig. In dieser Diplomarbeit soll die folgende (Forschungs-) Frage bearbeitet werden:

- Wie kann mittels eines GIS-Modells abgeschätzt werden, ob die flächendeckende Nahrungsmittelversorgung in Österreich bei stark reduziertem Energieeinsatz in Land- und Transportwirtschaft gegeben ist?

Wie oben bereits erwähnt, dient die thematische Fragestellung nur als Gedankenexperiment, auf welchem die methodischen Fragestellungen und technischen Implementierungen fußen. Auf eine thematisch vollumfassende und präzise Bearbeitung der Ausgangsfrage wird verzichtet. Der Fokus der Arbeit liegt auf Entwicklung und Implementierung eines „Basismodells“.

Um die (Forschungs-) Frage bearbeiten zu können, ergeben sich sowohl offene thematische als auch offene methodische Punkte. Direkt aus der Forschungsfrage können folgende drei thematische Bearbeitungspunkte abgeleitet werden:

- Wie verteilt sich der Nahrungsmittelbedarf räumlich über Österreich?
- Welche Produktionskapazitäten hat eine nichtmotorisierte und ohne Mineraldünger betriebene Landwirtschaft in Österreich? Wie verteilt sich deren Ernteertrag räumlich über Österreich?
- Welche Transportkapazitäten bestehen bei niedrigem Energieeinsatz zwischen Regionen mit landwirtschaftlichem Produktionsüberschuss sowie -defizit?

Diese thematischen Bearbeitungspunkte können wie folgt umformuliert werden und stellen einfachere und somit leichter modellierbare Bearbeitungspunkte dar.

- Ermittlung der lokal verfügbaren landwirtschaftlichen Flächen.
- Ermittlung der lokal verfügbaren und notwendigen landwirtschaftlichen Arbeitskräfte.
- Transportmöglichkeiten für Arbeitskräfte und Nahrungsmittel.
- Ermittlung der lokalen Nahrungsproduktion und -konsumation.

Wenn die lokalen Gegebenheiten modelliert und ermittelt sind, sind kleinräumige und/oder großräumige Disparitäten wahrscheinlich. Eine daher stattfindende Umverteilung von sowohl landwirtschaftlichen Arbeitskräften als auch von Ernteerträgen erscheint ebenfalls als wahrscheinlich. Die Entwicklung einer (Um-)Verteilungsroutine stellt den methodischen Kern der Arbeit dar.

Somit sind zur Bearbeitung obiger Forschungsfrage die Modellierung der notwendigen Ernteerträge, der realisierbaren Ernteerträge sowie der jeweiligen Transportnotwendigkeiten und deren Ressourcenverbrauch notwendig.

Zusätzlich werden für das GIS-Berechnungsmodell verschiedene Parameter als Berechnungsgrößen erforderlich sein. Auch wenn eine genaue Abschätzung aller Parameter im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht möglich sein wird, ist die Ermittlung ungefährender Größenordnungen notwendig.

2. Grundlagen der GIS-Modellierung

Wie in der Einleitung bereits besprochen, soll für eine thematische Fragestellung mit den Mitteln der Geoinformation ein einfaches Berechnungsmodell entwickelt werden. Im folgenden Kapitel sollen wesentliche Aspekte der Geoinformation, die für das GIS-Berechnungsmodell notwendig sind, kurz beschrieben werden.

2.1. Geodaten und Geoinformation

Als Geodaten gelten Daten „die einen Raumbezug aufweisen, über den ein Lagebezug zur Erdoberfläche hergestellt werden kann. Sie beschreiben Objekte [...] durch geometrische und inhaltliche Attribute. Geodaten lassen sich mit Hilfe von raumbezogenen Informationssystemen (Geoinformationssystem) im Sinne [...] der Datenverarbeitung erfassen [...], speichern und weiterverarbeiten [...]“ (Bollmann 2001).

2.2. Raster- und Vektordaten

Geodaten können als Raster- oder als Vektordaten gespeichert werden. Beide Datenmodelle haben verschiedene Vor- und Nachteile (siehe Abbildung 9). Die Verwaltung von Daten als Rasterdaten „beruht auf der Unterteilung einer Ausgangsfläche in Elemente bestimmter Größe. Es entsteht eine Matrix [...] [aus Rasterzellen mit] bestimmte[r] Position [...] und [...] einheitliche[r] Flächenfüllung [...] [an] Farb- oder Grauwert[en] [...]. Die Rasterzellen werden als Träger der geometrischen [...] aber auch thematischen Information [...] benutzt. [...]

Da Rasterdaten für jedes Pixel einen bestimmten Wert wiedergeben, eignen sie sich im Gegensatz zu Vektordaten zur Darstellung von kontinuierlichen Daten, wie z.B. der Konzentration von Schadstoffen oder der Abhängigkeit einzelner Werte im Raum von der Entfernung einer emittierenden Quelle (Ausbreitungsberechnungen). So gehört die Modellierung von unscharfen Phänomenen zu ihren Stärken“ (Baldenhofer 2017).

„Im Vektormodell wird die Geometrie eines Geoobjektes durch Koordinaten auf der Basis eines eindeutigen räumlichen Bezugssystems angegeben [...]. Die Koordinaten kennzeichnen Einzelpunkte sowie Anfangs- und Endpunkte von gerichteten Strecken, d.h. von Vektoren. Auch die Einzelpunkte sind als Vektoren zu verstehen, deren Anfangspunkt im Ursprung des Koordinatensystems liegt [...]. Bei Darstellung von Geoobjekten in diesem sog. Vektormodell werden letztlich nur Punkte erfasst! [...] Linien- und flächenhafte Strukturen müssen aus Punkten bzw. Vektoren aufgebaut werden“ (De Lange 2013).

In Abbildung 7 und Abbildung 8 ist die Modellierung von Flächen als Rastermodell sowie als Vektormodell dargestellt.

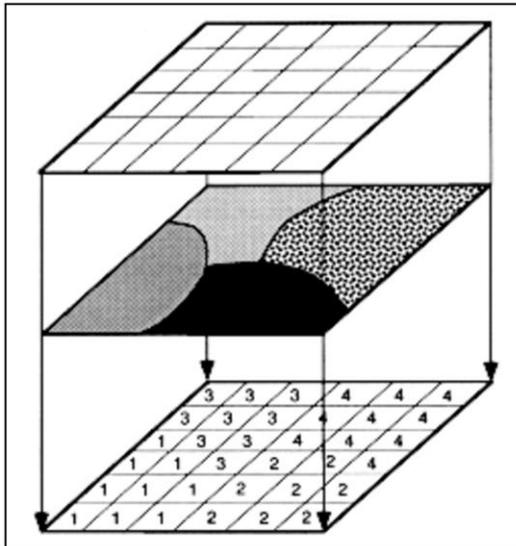


Abbildung 7 (Geologie Freiburg 2017): Repräsentation von Objekten im Rastermodell

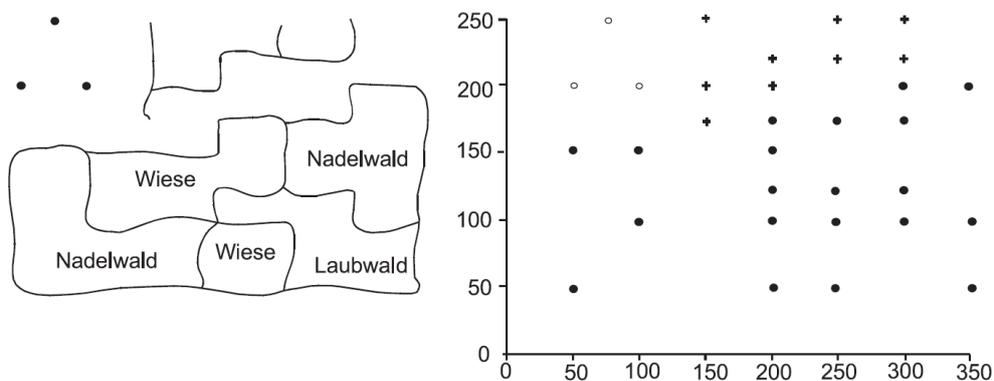


Abbildung 8 (De Lange 2013): Geometrische Modellierung im Vektormodell

„Grundsätzlich können Fragestellungen sowohl mit dem Vektor- als auch mit dem Rastermodell bearbeitet werden, wobei aber jeweils spezifische Vor- und Nachteile bestehen, die mit der Auflösung der Objekte [...] mit dem Aufwand zur Datenspeicherung oder mit dem Aufwand der Analysetechniken zusammenhängen. Herauszustellen ist, dass sich beide Modelle nicht konträr gegenüberstehen, sondern dass Vektor- und Rastermodell gleichermaßen benötigt werden“ (De Lange 2013).

Die Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile des Vektor- und Rastermodells nach De Lange ist in Abbildung 9 dargestellt.

	Vektormodell	Rastermodell
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • hohe geometrische Genauigkeit • eindeutige Objektbeschreibung • geringe Datenmengen • größere Ähnlichkeit der graphischen Präsentation mit traditionellen Karten 	<ul style="list-style-type: none"> • einfache Datenstrukturen • geringer Aufwand bei Erfassung der Geometrie und Topologie • kompatibel mit Fernerkundungs- und Scannerdaten • einfaches Überlagern und Verschneiden von Geoobjekten • einfache logische und algebraische Operationen
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • komplexere Datenstrukturen • aufwendige Erfassung von Geometrie und Topologie • aufwendige und rechenintensive logische und algebraische Operationen (u.a. Überlagerung und Verschneidung) • parallele geometrische und topologische Beschreibung der Geoobjekte 	<ul style="list-style-type: none"> • keine Form- und Lagetreue der Geoobjekte • höherer Speicheraufwand • kleine Pixelgröße mit explodierenden Datenmengen für höhere Genauigkeitsanforderungen • weniger zufriedenstellende graphische Präsentation (abhängig von der Pixelgröße) • aufwendige Koordinatentransformationen

Abbildung 9 (De Lange 2013): Vergleichende Gegenüberstellung von Vektor- und Rastermodell

2.3.Ebenenprinzip (Layer)

„Eine Ebene (Layer) ist in einem Geografischen Informationssystem eine Möglichkeit, gleiche oder zusammengehörende raumbezogene Objekte zusammenzufassen. [...]“

Historisch leitet sich das Ebenenprinzip von der Arbeitsweise bei der analogen Kartenherstellung ab. Dort werden für die verschiedenen Inhalte der Karten Folien verwendet (z.B. für Wegenetz, Gewässer, Bewuchs, Höhenlinien, Schummerung), die in beliebigen Kombinationen übereinandergelegt werden konnten. Die zuoberst liegende Folie ist jene, auf der die nächsten Arbeitsschritte durchgeführt werden“ (Wikipedia 2011b). Das Ebenenprinzip hat besonders im Bezug mit der Rasteralgebra eine praktische Bedeutung für das in Kapitel 3 beschriebene GIS-Berechnungsmodell.

2.4.Rasteralgebra

Mehrere Ebenen von Rasterdaten können mittels arithmetischen und logischen Operatoren Verknüpft werden (De Lange 2013). „Mathematisch gesehen handelt es sich dabei um Rechenoperationen auf Matrizen. Auf diese Zahlenmatrizen, die eben aus Attributwerten bestehen, werden die Operatoren ausgeführt, deren Ergebnis wieder eine Matrix ist. (DE LANGE 2006, S. 351)“ (Breier 2009).

In Abbildung 10 sind ein Beispiel für eine Translation sowie für logische Verknüpfungen dargestellt.

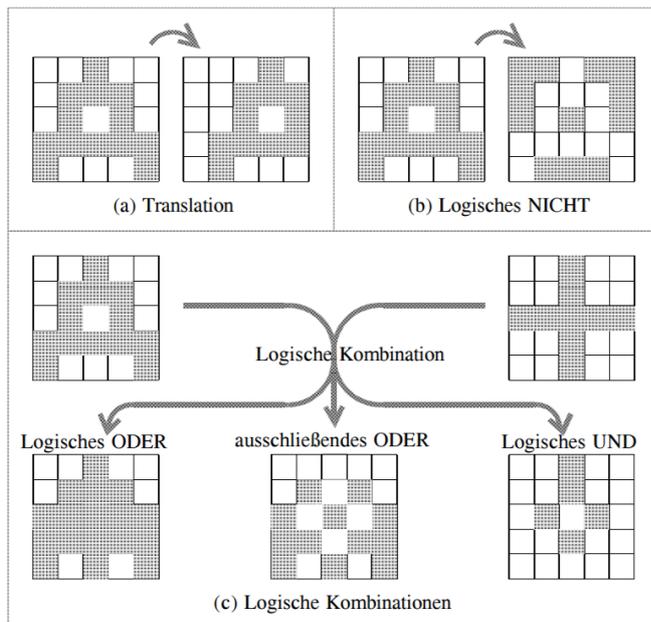


Abbildung 10 (Bartelme 2005): Beispiel für Translation und logische Verknüpfungen

2.5.Datenqualität

Ein wichtiger Faktor für die Aussagekraft von Analysen ist die Qualität der Eingangsdaten (Breier 2009). Qualität an sich ist ein relatives Konzept, da die Qualität einer Sache erst im Kontext eines bestimmten Zwecks bestimmbar ist. So ist etwa eine sehr gute Wetterkarte nur schlecht für kleinräumige Navigationszwecke geeignet. Die Qualität räumlicher Daten wird daher anhand von Eigenschaften wie der Positionsgenauigkeit oder der thematischen Belastbarkeit beschrieben (Albrecht 2007). Wie in Kapitel 3.2 (Datengrundlage) noch erläutert werden wird, gibt es auch für die Eingangsdaten des in dieser Arbeit entwickelten Berechnungsmodells relevante Limitierungen im Bezug auf die Qualität der Eingangsdaten.

Als zwei wesentliche Kategorien zur Beschreibung der Qualität von Daten gelten die Präzision und die Richtigkeit. Präzision gibt das Ausmaß der Detailtiefe von räumlichen, zeitlichen sowie thematischen Daten wieder. Diese kann als die Auflösung der Daten verstanden werden. Die Richtigkeit von Daten hingegen, gibt an inwieweit die Daten enthalten, was sie enthalten sollten (Albrecht 2007). So kann unter der Richtigkeit auch verstanden werden, „wie gut die Daten die Realität wiedergeben“ (Breier 2009). In Abbildung 11 sind die Begriffe Präzision und Richtigkeit, so wie sie zur Beurteilung von Messwerten verstanden werden, grafisch aufbereitet.

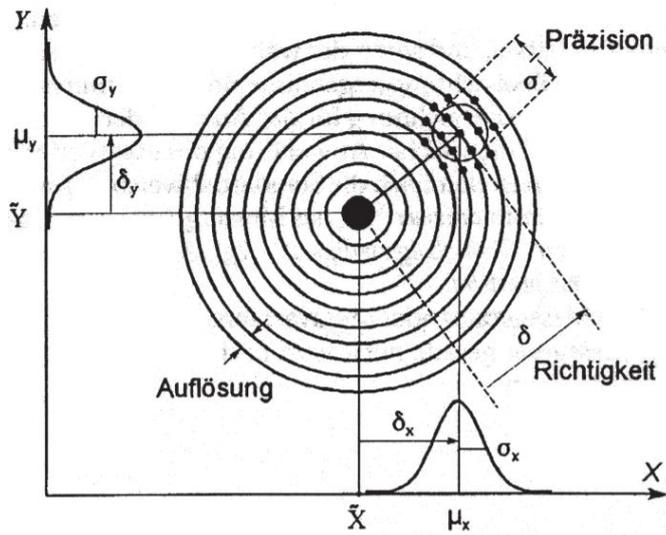


Abbildung 11 (Schmidt 1997): Präzision und Richtigkeit als Kriterien der Genauigkeit (Abbildung übernommen aus dem Skriptum Ausgleichsrechnung I (Navratil 2006))

3. Aufbau des GIS-Modells

3.1. Grundlegender Modellansatz

Zur Bearbeitung obiger Forschungsfrage sind die Modellierung der zur Ernährung der Bevölkerung notwendigen Ernteerträge, der realisierbaren Ernteerträge sowie der jeweiligen Transportnotwendigkeiten und deren Ressourcenverbrauch notwendig.

Zielführend hierfür ist eine Modellierung aufbauend auf Daten mit möglichst genauem Raumbezug, da sonst sämtliche räumliche Ungleichverteilungen unberücksichtigt gelassen würden. So könnten weder räumliche Beziehungen zwischen Angebots- und Nachfragestandorten sowie Rahmenbedingungen für die Interaktion zwischen diesen modelliert werden. Bei einer auf gesamt Österreich aggregierten Datenbasis würden diese räumlichen Muster untergehen und somit wäre eine Abbildung der räumlichen Disparitäten innerhalb der österreichischen Regionen nicht möglich.

3.2. Datengrundlage

Wie oben beschrieben, stellen die zwei wesentlichsten Berechnungsgrößen des Modells die Menge der notwendigen Ernteerträge und die Menge der realisierbaren Ernteerträge dar. Die notwendigen Ernteerträge ergeben sich aus der Anzahl der zu versorgenden Menschen. Daher kann aus einem Eingangsdatensatz zur räumlichen Verteilung der österreichischen Bevölkerung, die räumliche Verteilung der notwendigen Ernteerträge ermittelt werden. Die Menge der realisierbaren Ernteerträge ergibt sich aus der Menge der landwirtschaftlichen Nutzflächen sowie aus der Menge der landwirtschaftlichen Arbeitskräfte. Die landwirtschaftlichen Arbeitskräfte können (zumindest grob) aus der Anzahl Bewohner einer Flächeneinheit geschätzt werden. Somit ist zusätzlich noch ein Eingangsdatensatz zu den landwirtschaftlichen Flächen Österreichs notwendig.

Weiters ist, wie oben bereits erwähnt, die Abbildung einfacher Verkehrsrelationen auch ein Teil der Modellierungsaufgabe. Dazu können Algorithmen zur Wegfindung genutzt werden, welche wiederum Informationen zur Verteilung von Raumwiderständen benötigen. Ein sehr einfacher Zugang zur Generierung dieser, ist die Verwendung von Bodenbedeckungsklassen. Um kleinräumige Berechnungen durchführen zu können, sollten die Eingangsdatensätze in einer räumlichen Auflösung vorliegen, die genauer als die Gemeindeebene ist.

Dazu geeignete Eingangsdaten stellen der CORINE Land Cover Datensatz sowie Rasterdaten der Statistik Austria zu den Hauptwohnsitzen in Österreich dar. Beide Rasterdatensätze sind in einer Auflösung von 100m x 100m verfügbar und erlauben es sowohl die lokalen Ernteerträge als auch die lokale Nahrungsnachfrage abzuschätzen sowie einen Raumwiderstand zur Transportkostenabschätzung zu definieren.

Durch das Rasterdatenformat ist gewährleistet, dass die Daten in der gleichen Detaillierungsstufe über ganz Österreich verfügbar sind. Jedoch „erben“ alle aus Rasterdaten abgeleiteten Informationen auch deren grundsätzlichen Schwächen im Bezug auf die Datenqualität. So stellt jede Rasterzelle einer Bodenbedeckungsklasse immer nur die dominierende Klasse dar und trägt somit zu einer starken Unschärfe aller Folgeberechnungen bei. Bei Bevölkerungsdaten je Rasterzelle kann es bei der Erstellung der Daten zu „falschen“ Zuordnungen kommen. So sind etwa die Bewohner eines Gebäudes im Regelfall an der Adresse des Gebäudes verortet. Dies kann bei einer Auflösung von 100x100 Metern und bei größeren Wohnanlagen dazu führen, dass Menschen der Nachbarzelle (oder auch weiter entfernten Zellen) ihres eigentlichen Wohnsitzes zugeordnet werden.

3.2.1. CORINE Land Cover

„Das europaweite Projekt CORINE Land Cover [...] hat die Bereitstellung von einheitlichen und damit vergleichbaren Daten der Bodenbedeckung für Europa zum Ziel. [...] Die Kartierung der Bodenbedeckung und Landnutzung wurde europaweit auf der Basis von Satellitendaten [...] durchgeführt. Die Ersterfassung [...] erfolgte einheitlich nach 44 Landnutzungsclassen [...]“ (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) 2017). Die oben beschriebene allgemeine Unschärfe von Rasterdaten tritt bei den CORINE Land Cover Daten für Österreich noch einmal verstärkt auf, „da Objekte erst ab einer Mindestfläche von 25 Hektar erfasst werden“ (Umweltbundesamt Österreich 2017a). Das Land Information System Austria (LISA) bietet für Teile Österreichs genauere Daten (GeoVille GmbH 2017). Da jedoch das Berechnungsmodell Daten für gesamt Österreich benötigt und diese in Form des CORINE Land Cover Datensatzes vorliegen, wurde dieser als Grundlage für die weiteren Berechnungen ausgewählt.

Der CORINE Land Cover Datensatz unterscheidet die in unten stehender Tabelle abgebildeten Klassen. Eine Karte der CORINE Land Cover Bodenbedeckungsklassen (BBK) in Österreich befindet sich in Abbildung 12. Für die Ermittlung der realisierbaren Ernteerträge wurden zwei CORINE Bodenbedeckungsklassen verwendet: „Nicht bewässertes Ackerland“ und „Wiesen und Weiden“. Für die Berechnung der Raumwiderstände wurden alle in Österreich vorkommenden Bodenbedeckungsklassen verwendet.

Tabelle 1 (Umweltbundesamt Österreich 2017b): CORINE Land Cover Nomenklatur (Klassen in Grau kommen in Österreich nicht vor)

1. Bebaute Fläche	1.1. Städtisch geprägte Flächen	1.1.1. durchgängig städtische Prägung 1.1.2. nicht durchgängig städtische Prägung
	1.2. Industrie-, Gewerbe- und Verkehrsflächen	1.2.1. Industrie/Gewerbeflächen 1.2.2. Straßen/Eisenbahnnetze, funktionell zugeordnete Flächen 1.2.3. Hafengebiete 1.2.4. Flughäfen
	1.3. Abbauflächen, Deponien, Baustellen	1.3.1. Abbauflächen 1.3.2. Deponien, Abraumhalden 1.3.3. Baustellen
	1.4. Künstlich angelegte nicht landwirtschaftlich genutzte Flächen	1.4.1. Städtische Grünflächen 1.4.2. Sport/Freizeitanlagen
2. Landwirtschaft	2.1. Ackerflächen	2.1.1. Nicht bewässertes Ackerland 2.1.2. Regelmäßig bewässertes Ackerland 2.1.3. Reisfelder
	2.2. Dauerkulturen	2.2.1. Weinbauflächen 2.2.2. Obst/Beerenobstbestände 2.2.3. Olivenhaine
	2.3. Grünland	2.3.1. Wiesen und Weiden
	2.4. Heterogene landwirtschaftliche Flächen	2.4.1. Einjähr. Kulturen in Verbindung mit Dauerkulturen 2.4.2. Komplexe Parzellenstruktur 2.4.3. Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher Vegetation von signifikanter Größe 2.4.4. Land/Forstwirtschaftliche Flächen
3. Wälder und naturnahe Flächen	3.1. Wälder	3.1.1. Laubwälder 3.1.2. Nadelwälder 3.1.3. Mischwälder
	3.2. Kraut-/Strauchvegetation	3.2.1. Natürliches Grünland 3.2.2. Heiden und Moorheiden 3.2.3. Hartlaubbewuchs 3.2.4. Wald/Strauch Übergangsstadien
	3.3. Offene Flächen ohne oder mit geringer Vegetation	3.3.1. Strände, Dünen, Sandflächen 3.3.2. Felsflächen ohne Vegetation 3.3.3. Flächen mit spärlicher Vegetation 3.3.4. Brandflächen 3.3.5. Gletscher/Dauerschneegebiet
4. Feuchtflächen	4.1. Feuchtflächen im Landesinneren	4.1.1. Sümpfe 4.1.2. Torfmoore
	4.2. Feuchtflächen an der Küste	4.2.1. Salzwiesen 4.2.2. Salinen 4.2.3. In der Gezeitenzone liegende Fl.
5. Wasserflächen	5.1. Wasserflächen im Landesinneren	5.1.1. Gewässerläufe 5.1.2. Wasserflächen
	5.2. Meeressgewässer	5.2.1. Lagunen 5.2.2. Mündungsgebiete 5.2.3. Meer und Ozean

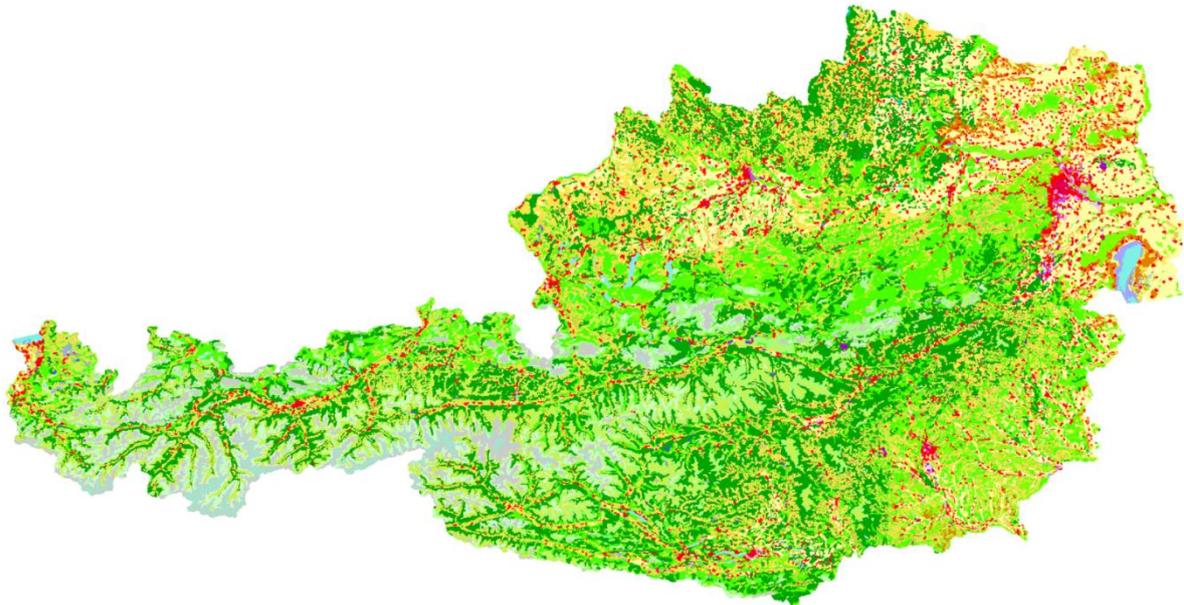
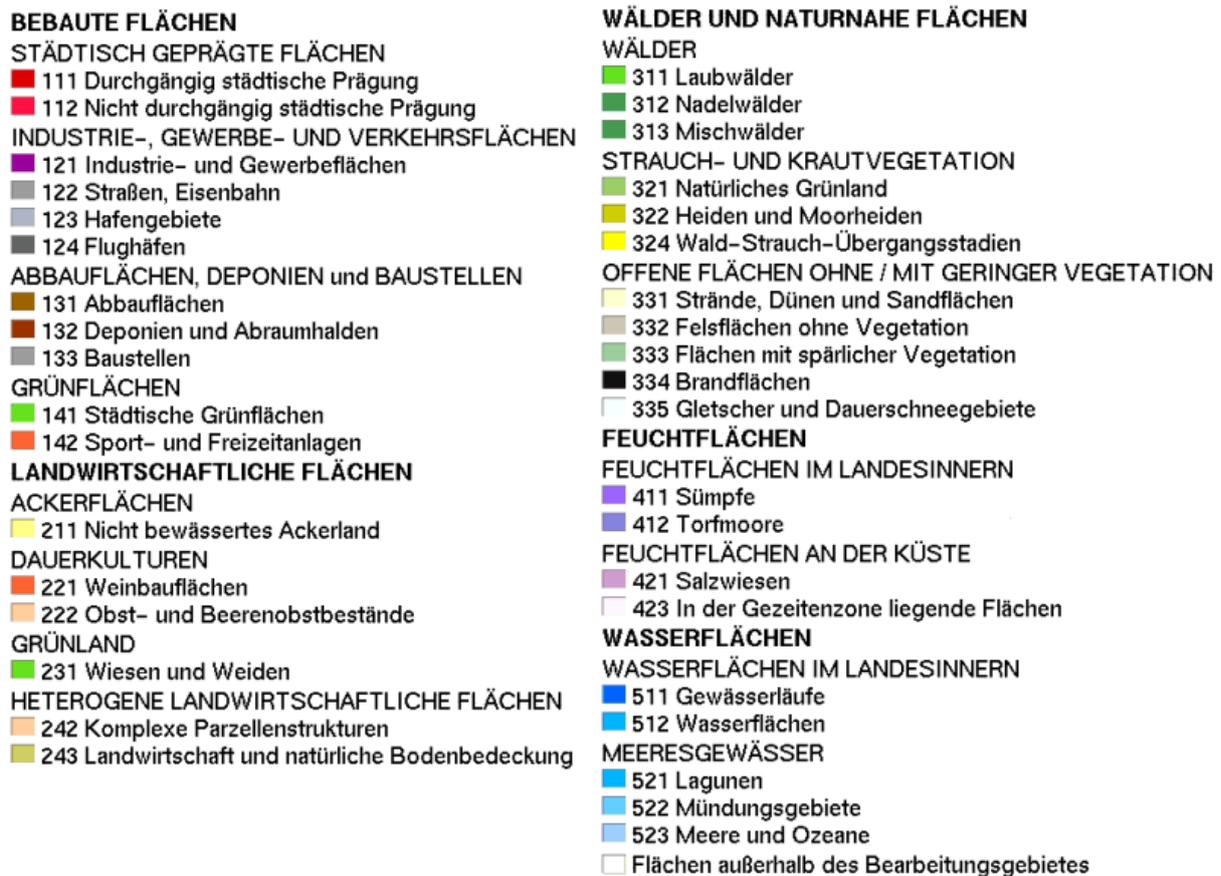


Abbildung 12: Legende (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) 2017) und Karte (Europäische Umweltagentur 2009) der CORINE Land Cover Bodenbedeckungsklassen in Österreich für das Jahr 2000

Wie in Abbildung 12 zu sehen ist, verteilen sich landwirtschaftliche sowie bebaute Flächen ungleich über Österreich. Sowohl große Teile des Ackerlands als auch der bebauten Flächen konzentrieren sich auf die drei an der Donau liegenden Bundesländer Niederösterreich, Oberösterreich und Wien. Wobei Wien, ebenso wie Tirol, nur über sehr geringe landwirtschaftliche Nutzflächen verfügt.

3.2.2. Statistik Austria Hauptwohnsitze

Die Statistik Austria erstellt flächendeckend für das gesamte österreichische Bundesgebiet regionalstatistische Rasterdaten, welche von Verwaltungsgrenzen unabhängig sind und somit räumliche Verteilungen wesentlich besser erkennbar machen (STATISTIK AUSTRIA 2016b). Die Hauptwohnsitze in Österreich sind als Rasterdaten in einer 100m x 100m Auflösung verfügbar und daher aufgrund ihrer Kompatibilität mit den Rasterdaten der Bodenbedeckungsklassen für die Bearbeitung der Forschungsfrage geeignet.

Wie bereits oben erwähnt, kann es bei der Erstellung der Daten zu „falschen“ Zuordnungen kommen. So können Hauptwohnsitze in großen Wohnanlagen, falls nicht gesondert in Stiegen unterteilt, aufgrund der Verortung an der Gebäudeadresse einer Nachbarzelle (oder auch einer weiter entfernten Zelle) zugeordnet werden. Auch kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Hauptwohnsitze die tatsächliche Wohnbevölkerung exakt abbilden. Die Rasterdaten in Abbildung 13 sind die Daten der Statistik Austria zur Dichte der Hauptwohnsitze für die Gemeinde Ebergassing (Niederösterreich) dargestellt.

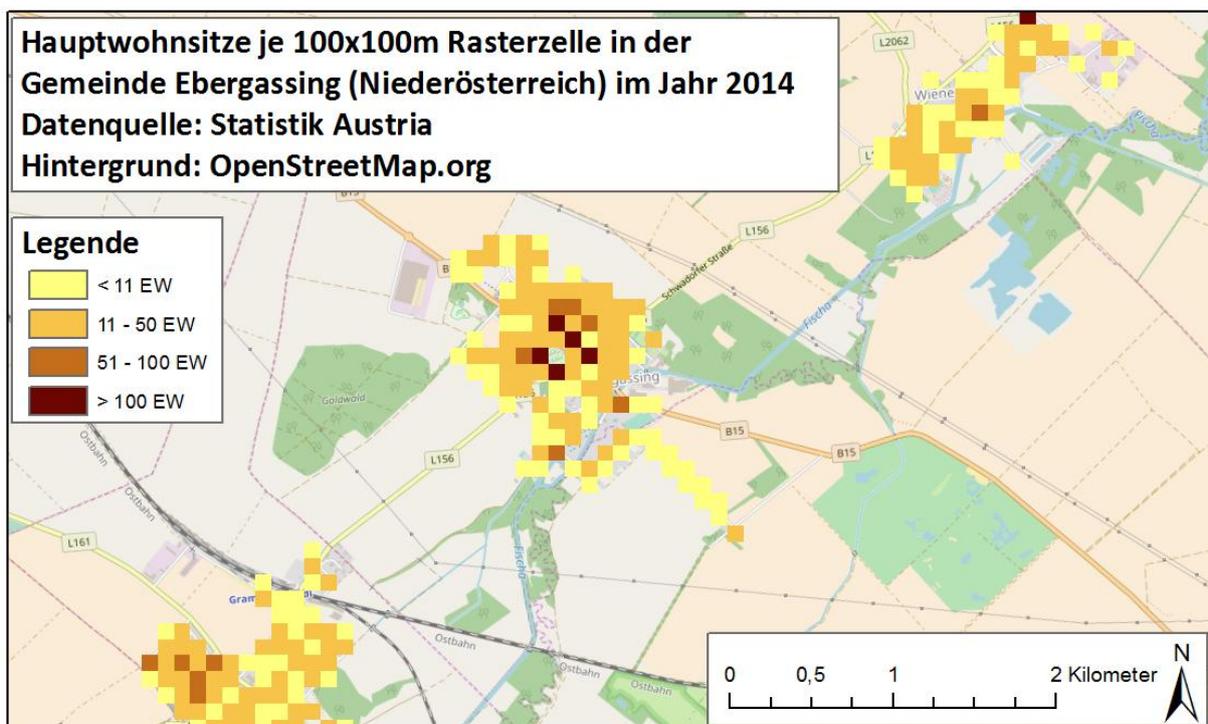


Abbildung 13: Anzahl der von der Statistik Austria erfassten Hauptwohnsitze je 100x100m Rasterzelle in der Gemeinde Ebergassing (Niederösterreich) im Jahr 2014; je dunkler die Einfärbung desto mehr Einwohner je Zelle

Aufgrund der Beschränkung der Daten auf Österreich werden die notwendigen und realisierbaren Ernteerträge nur für Österreich, nicht jedoch für die angrenzenden Staaten oder Regionen berechnet. Dadurch ergibt sich für alle Modellierungsergebnisse und besonders für alle Zellen im Nahbereich der Staatsgrenze eine grundlegende Unschärfe.

3.3. Notwendige und realisierbare Ernteerträge

Wie oben angeführt sind zur Bearbeitung der Forschungsfragen die Modellierung der notwendigen Ernteerträge, der realisierbaren Ernteerträge sowie der jeweiligen Transportnotwendigkeiten und deren Ressourcenverbrauch notwendig. Den „Startpunkt“ des Modells stellen die zur Ernährung der Bevölkerung notwendigen Ernteerträge dar, wobei derjenige Ernteertrag ermittelt werden soll, welcher für die Ernährung der Bevölkerung ausreichend ist. Hierbei wird der Ernteertrag vereinfacht

nur als abstrakte Größe zur Ernährung von Menschen verstanden, nicht jedoch als konkrete Mischung von Feldfrüchten oder als eine Größe mit konkretem Jahreszeitenbezug. Zur weiteren Vereinfachung wird für jenen Ernteertrag, mit welchem ein Mensch für die Dauer eines Jahres ernährt werden kann, eine für dessen Produktion notwendige durchschnittliche Flächengröße geschätzt (siehe Kapitel 4). So können die notwendigen Ernteerträge direkt aus den Rasterdaten der Statistik Austria für alle 100x100m Rasterzellen Österreichs abgeleitet werden.

Den notwendigen Ernteerträgen werden die tatsächlich realisierbaren Ernteerträge gegenübergestellt. Ausgangspunkt zur Ermittlung der realisierbaren Ernteerträge sind die verfügbaren landwirtschaftlichen Flächen. Bei diesen wird zwischen Acker- und Weideflächen unterschieden, wobei angenommen wird, dass Ackerflächen ertragreicher als Weideflächen sind (siehe Kapitel 4 - Tabelle 14 und Tabelle 15). Eine Unterscheidung nach landwirtschaftlichen Gunst- und Ungunsträumen wird nicht vorgenommen, da eine genauere Abschätzung des Ertragspotentials der Rasterzellen mit landwirtschaftlicher Nutzfläche, den Rahmen der Diplomarbeit überschreiten würde. Für alle Ackerflächen sowie für alle Weideflächen wird jeweils das gleiche Ertragspotential angenommen. (Möglichkeiten zur Weiterentwicklung des Berechnungsmodells werden im Kapitel 6 besprochen.) Mögliche Neuerschließungen von landwirtschaftlichen Flächen durch Rodungen von Wäldern oder Rückbau von versiegelten Flächen werden nicht modelliert. Ebenso wird der Effekt von Gemüseeigenanbau in Kleingarten- und Einfamilienhaussiedlungen sowie das Ernährungspotential der Jagd bei Waldflächen bzw. des Befischens von Wasserflächen nicht berücksichtigt.

Da bei verringertem Maschineneinsatz in der landwirtschaftlichen Produktion mehr menschliche Arbeitskraft benötigt wird, ergibt sich als wichtige Frage, ob für das Ausschöpfen des landwirtschaftlichen Produktionspotentials auch ausreichend landwirtschaftliche Arbeitskräfte (IAk) „vor Ort“ vorhanden sind. Der realisierbare Ernteertrag je Zelle ergibt sich somit aus der vorliegenden Bodenbedeckungsklasse und dem Grad der Bewirtschaftung durch IAk. Falls weniger IAk verfügbar sind, als für die jeweilige Bodenbedeckungsklasse notwendig ist, wird der realisierbare Ernteertrag im Verhältnis des Mangels an IAk reduziert.

Als verfügbare IAk werden alle Einwohner (EW) im Alter zwischen 15 und 64 angenommen (siehe Kapitel 4.2.1 Verfügbare landwirtschaftliche Arbeitskräfte), wobei hier das Verhältnis der österreichischen Gesamtbevölkerung für alle Rasterzellen übernommen wird. Eine nähere Betrachtung der IAk, die neben dem Alter auch die Arbeitskompetenz oder Ähnliches berücksichtigt, wird nicht vorgenommen. Zur Feststellung, ob ausreichend IAk in jeder Zelle vorhanden sind, können jeweils der Bedarf an IAk sowie die verfügbaren IAk aus den vorhandenen Daten geschätzt werden und danach der Überschuss bzw. das Defizit an IAk ermittelt werden. In Abbildung 14 ist erkennbar, dass Ergebniszellen zu wenige IAk zur Verfügung stehen können, diese über einen Überschuss an IAk verfügen können oder diese genau bei null liegen können.

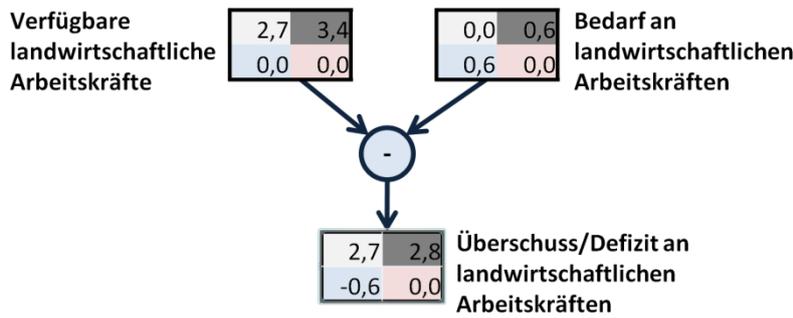


Abbildung 14: Je Zelle wird aus den verfügbaren landwirtschaftlichen Arbeitskräften (IAk) und dem Bedarf an IAk der Überschuss oder das Defizit an IAk ermittelt.

Somit kann aus den oben angeführten Eingangsdaten, wie in Abbildung 15 dargestellt, für jede 100m x 100m Rasterzelle der notwendige Ernteertrag sowie der realisierbare Ernteertrag abgeschätzt werden.

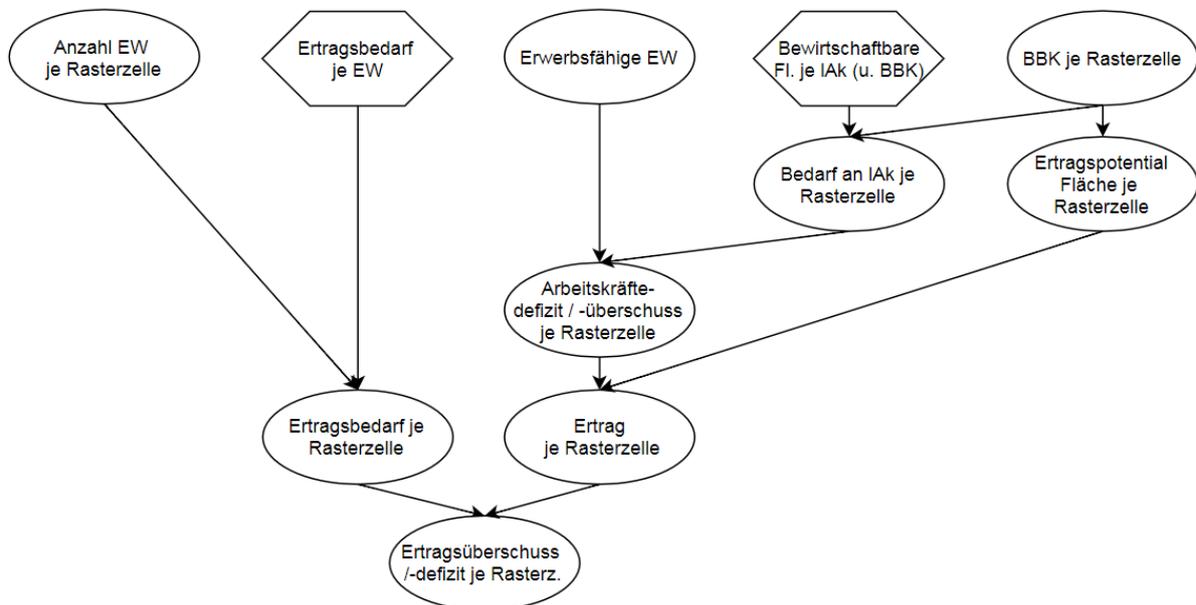


Abbildung 15: Grundlegender Modellaufbau zur Ermittlung des Ertragsüberschusses/-defizits je Rasterzelle.

3.4. Verteilungsnotwendigkeiten

Da sich für viele Rasterzellen ein Überschuss bzw. ein Defizit an IAk ergibt, ergeben sich zu Teilen unplausible Ergebnisse bei der Ermittlung der Ernteerträge. Wenn „vor Ort“ nicht ausreichend IAk verfügbar sind, gleichzeitig aber die IAk selbst mobil sind, erscheint eine „Umverteilung“ der IAk als realitätsnah. Daher müssen zur plausiblen Modellierung der Ernteerträge die überschüssigen IAk zu jenen landwirtschaftlichen Zellen mit einem Mangel an IAk „hinverteilt“ werden. Jedoch ergibt sich nicht nur bei der räumlichen „Verteilung“ von IAk zu vorhandenen Acker- und Weideflächen, sondern auch bei der räumlichen Verteilung der Ernteerträge auf die Bevölkerung das gleiche Problem: Zwischen den „Überschuss“-Rasterzellen sowie den „Defizit“-Rasterzellen ist eine Verteilung notwendig. Die ähnliche Verarbeitungsstruktur ist in Abbildung 16 dargestellt.

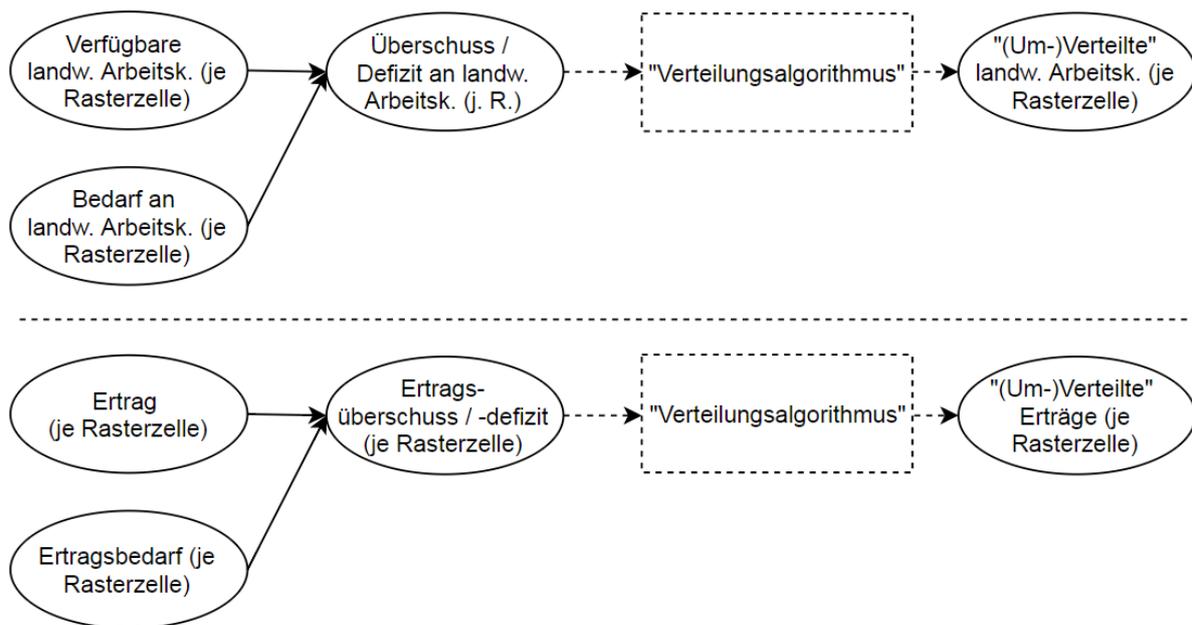


Abbildung 16: Bildung eines Überschusses oder Defizits mit anschließender „Umverteilung“ bei der Zuteilung von IAK (oben) sowie bei Ernteerträgen (unten)

Eine Verschiebung der Wohnbevölkerung wird nicht modelliert. Es wird daher ausschließlich auf Basis der aktuellen Bevölkerungsverteilung modelliert und mögliche Bevölkerungsverlagerungen hin zu landwirtschaftlichen Gunstregionen werden ignoriert. Lediglich die veränderte Nachfrage nach Arbeitskräften sowie die verminderten Pendelmöglichkeiten (siehe Kapitel 3.5 Arbeitsweg- und Transportkosten) werden berücksichtigt. Die Verteilung der IAK hin zu den landwirtschaftlichen Flächen und die Verteilung der Ernteerträge hin zu den EW erfolgt anhand der Transportkosten (siehe Kapitel 3.5 Arbeitsweg- und Transportkosten) und nicht anhand von Marktmechanismen. So werden Nachfrage- und Angebotskonzentrationen, bestehende Wirtschaftskreisläufe sowie sämtliche Eigentumsverhältnisse ignoriert und die Verteilung nur anhand der jeweiligen Transportkosten modelliert.

3.5.Arbeitsweg- und Transportkosten

Bisher wurde geklärt, wie die landwirtschaftliche Produktion, bestehend aus landwirtschaftlichen Nutzflächen und landwirtschaftlichen Arbeitskräften, abgebildet werden kann. Im folgenden Abschnitt soll geklärt werden, wie der Ressourcenverlust bei den täglichen Arbeitswegen sowie beim Transport der Ernteerträge Eingang in das Modell finden kann. Aufgrund der im vorherigen Unterkapitel beschriebenen Verteilungsnotwendigkeiten von IAK und Ernteerträgen ergibt sich die Notwendigkeit die „Kosten“ des Verteilungsvorgangs zu ermitteln. Somit müssen für die bei der Verteilung von Überschuss- auf Defizitzellen entstehenden räumlichen Relationen, Weg- bzw. Transportkosten ermittelt werden.

Vor der Beschreibung der Ermittlungsmethode der Weglängen muss noch die „Einheit“ der Kosten geklärt werden. Es wird angenommen, dass sich der Arbeitstag einer IAK verkürzt, wenn diese einen weiten täglichen Arbeitsweg zurücklegen muss. Somit vermindert sich der Wert einer IAK mit der Länge des Arbeitswegs. Bei einer täglich nicht mehr zurücklegbaren Entfernung zwischen Wohn- und Landwirtschafts-Rasterzelle würde die IAK über gar keinen Wert mehr verfügen. Bei Ernteerträgen wird ebenso angenommen, dass sie der Wert des Ernteertrags reduziert, wenn dieser über weite Distanzen transportiert werden muss, da ein Teil des kalorischen Werts der Ernte für die

Transportleistung selbst verwendet werden muss. (Dabei werden die eigentliche Transportlast sowie sämtliche Aspekte der Kühlung und Lagerung nicht berücksichtigt. Ebenso werden Transporte für Verarbeitungsschritte sowie zusätzliche IAK für den Transport selbst nicht berücksichtigt.)

Somit werden die für Arbeits- und Transportwege benötigten Ressourcen vom fortbewegten Objekt direkt abgezogen bzw. dessen Wert vermindert. Das heißt, mit steigender Weglänge in Metern nimmt der Wert von landwirtschaftlichen Arbeitskräften und Ernteerträgen ab. Für IAK und Ernteerträge wurden unterschiedliche Maximalwerte abgeschätzt. Für konkrete Wertangaben siehe die zwei Unterkapitel 4.3.2 Arbeitswegkosten von landwirtschaftlichen Arbeitskräften und 4.3.3 Transportkosten Ernteerträge.

Da nun eine „Kosteneinheit“ eingeführt wurde, fehlt noch eine Methode zur Ermittlung der Weglängen in Metern. Eine sehr einfache Form zur Ermittlung der Wegkosten ist die Berechnung des euklidischen Abstands (siehe Abbildung 17). In der Realität treten Relationen, die dem euklidischen Abstand entsprechen, sehr selten auf. Auch wären bei einer reinen Distanzmessung die durch die Topographie entstehenden „Zusatzkosten“ nicht mitberücksichtigt.

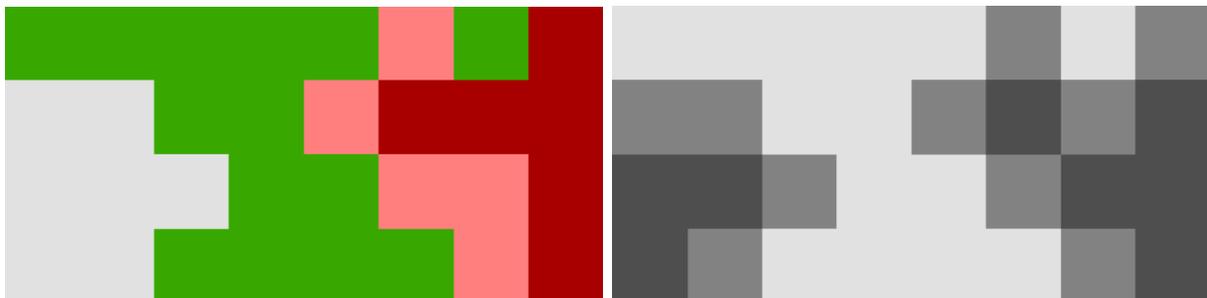


Abbildung 17: Links: Grün=Bedarf an landwirtschaftlichen Arbeitskräften (Felder), Rot=Verfügbare IAK (Siedlungen); Rechts: Euklidischer Abstand zum nächstgelegenen Feld (je dunkler desto größer die Distanz); Zellengröße=100m

Eine erweiterte Variante ist die Modellierung mittels graphenbasierter Wegfindung. Relevante Verkehrsinfrastruktur kann als kantengewichteter Graph abgebildet werden und der gesamte Untersuchungsraum kann in Verkehrszellen unterteilt werden (eine beispielhafte Darstellung eines kantengewichteten Graphen befindet sich in unten stehender Abbildung). Über entsprechende Algorithmen können die kürzesten Pfade ermittelt werden. Eine gute Datengrundlage für einen Verkehrsgraphen stellt jener der Graphenintegrations-Plattform dar, welcher das Verkehrsnetz Österreichs abbildet. Somit könnten Arbeitsweg- und Erntetransportkosten entlang der österreichischen Verkehrsnetze abgebildet werden.

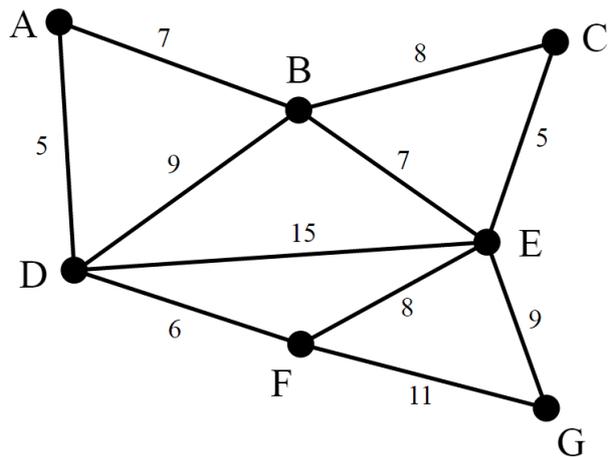


Abbildung 18 (Drichel 2008): Beispiel für einen kantengewichteten Graphen

Allerdings verlaufen die Arbeitswege der landwirtschaftlichen Arbeitskräfte zu den Äckern, Wiesen und Weiden auch abseits der Verkehrsinfrastruktur. So entstehen für Arbeitswege, die über mehrere Äcker und somit abseits der erfassten Verkehrsinfrastruktur verlaufen, zusätzliche Weglängen die mit bestehenden Graphen nicht ermittelt werden können. Das gleiche Problem ergibt sich bei der Abschätzung der Transportkosten der Ernte von einem nicht direkt an Verkehrsinfrastruktur liegenden Acker. Zwar könnte versucht werden die diesbezügliche Lücke des GIP-Graphen mit der Entwicklung eines eigenen „Landwirtschafts-Graphen“ zu füllen, jedoch würde dies ein eigenes Thema für eine Diplomarbeit darstellen. Daher erscheint eine rasterbasierte Kostenermittlung zur Entwicklung des flächenhaften und kleinräumigen Berechnungsmodells als geeigneter.

Ebenso wie bei der Modellierung mittels graphenbasierter Wegfindung ermöglicht die Funktion Kostenentfernung (Cost Distance) unter Verwendung reiner Rasterdaten eine Annäherung an „natürliche“ Pfade. Die Funktion bietet die Möglichkeit, raumspezifische Weglängen von allen Rasterzellen hin zu ausgewählten Rasterzellen zu berechnen (siehe unten stehende Abbildung). Zur Ermittlung der Weglängen mittels dieser Funktion ist der Aufbau eines Rasters mit dem Raumwiderstand je Rasterzelle notwendig. Der Wert des Raumwiderstands gibt an, inwieweit sich die euklidische Distanz, die sich beim direkten Durchqueren der Zelle ergeben würde, erhöht. So kann etwa angenommen werden, dass Wege in Siedlungen wesentlich direkter zurückgelegt werden können, als dies im Ackerland oder in Wäldern der Fall ist. Konkrete Wertangaben sind im Parameterunterkapitel 4.3.1 Raumwiderstand zu finden.

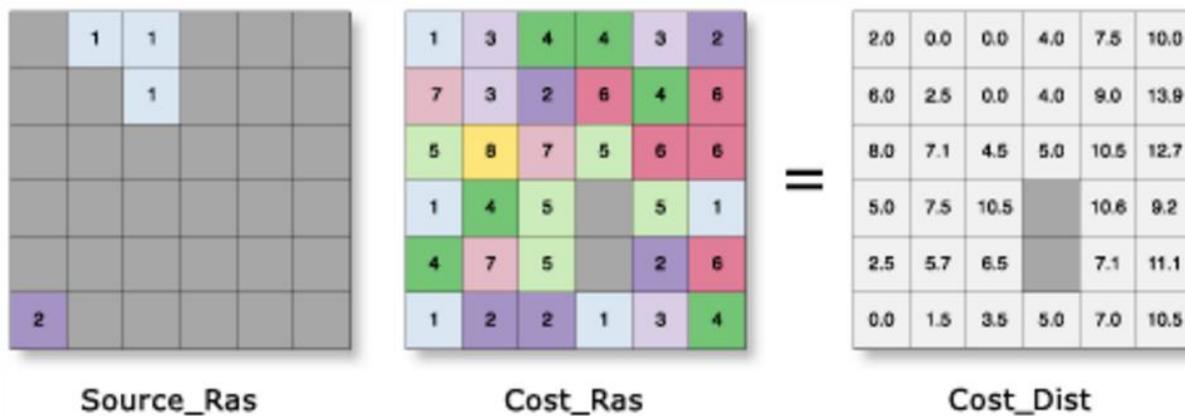


Abbildung 19 (ESRI 2016a): Berechnung der Wegekosten von allen Rasterzellen hin zu ausgewählten Rasterzellen unter Berücksichtigung von lokal ungleichen Raumwiderständen (Source_Ras = Ziel-Rasterzellen, Cost_Ras = Raumwiderstand je Rasterzelle, Cost_Dist = Wegekosten je Rasterzelle)

Der Raumwiderstand je Rasterzelle wird direkt aus den Bodenbedeckungsklassen (siehe Kapitel 3.2.1 CORINE Land Cover) gebildet. Dazu werden die 44 Bodenbedeckungsklassen in Klassen unterteilt (siehe Kapitel 4 Parameterermittlung).

3.6. Verteilungsalgorithmus

Im bisherigen Teil des Kapitels wurden die Modellierung der landwirtschaftlichen Produktion und die Abschätzung von Arbeitsweg- und Transportkosten besprochen. Zur vollständigen Einbindung der Arbeitsweg- und Transportkosten in das Modell fehlt noch eine Lösung zur Ermittlung der eigentlichen Verteilungsrelationen. Mit den abschätzbaren Wegkosten zwischen einer Überschuss- und einer Defizitrasterzelle kann ein Verteilungsalgorithmus zur Verteilung der IAK sowie der Ernteerträge gebildet werden. Durch ein iteratives Aggregieren und Disaggregieren der Zellen kann eine Verteilung geschätzt werden. Der entwickelte Algorithmus kann in folgende Stufen unterteilt werden:

- 1) Definierung der Größe von **Betrachtungsblöcken** (Start bei 1 x 2 Rasterzellen)
- 2) **Unterteilung** der gesamten Daten anhand der Größe der Betrachtungsblöcke
- 3) **Aggregation** aller Rasterzellen je Betrachtungsblock
- 4) Berechnung des (durchschnittlichen) Ressourcenverlusts durch die **Wegkosten** je Betrachtungsblock
- 5) **Disaggregation** der aggregierten Werte
- 6) **Vergrößerung** der Betrachtungsblöcke
- 7) **Wiederholen** der vorherigen Schritte bis nur noch Überschuss- oder Defizitzellen übrig sind

Folgend wird der Verteilungsalgorithmus anhand eines Beispiels beschrieben.

3.6.1. Betrachtungsblöcke

Die Eingangsdaten bilden die Defizit-/Überschusszellen. Diese ergeben sich, wie bereits in Abbildung 14 dargestellt, aus den verfügbaren und benötigten IAK bzw. aus den verfügbaren und benötigten Ernteerträgen. Im gezeigten Beispiel handelt es sich konkret um zu verteilende IAK). Diese werden hier zwecks besserer Anschaulichkeit in Betrachtungsblöcke mit einer Größe von 2x2 Rasterzellen unterteilt. In der ArcPy Routine umfasst der Betrachtungsblock beim Start der Routine 1x2

Rasterzellen. In Abbildung 20 ist die Gliederung der einzelnen Rasterzellen in die 2x2 Betrachtungsblöcke zu sehen. Es ergeben sich drei Blöcke in denen sowohl Überschuss- als auch Defizitrasterzellen vorkommen und sechs in denen keine „Durchmischung“ auftritt. Somit gibt es drei Blöcke, in denen eine Verteilung vorgenommen werden soll und sechs Blöcke, in denen eine Umverteilung nicht notwendig ist.

0,00	0,00	0,00	0,00	-0,65	-0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,65	-0,65
0,00	8,71	6,03	0,69	-0,65	-0,65	0,00	8,71	6,03	0,69	-0,65	-0,65
14,07	4,69	0,00	5,38	0,69	-0,65	14,07	4,69	0,00	5,38	0,69	-0,65
6,70	0,00	-0,65	-0,65	0,02	0,02	6,70	0,00	-0,65	-0,65	0,02	0,02
-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	2,70	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	2,70
-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65

Abbildung 20: Links: Eingangsdaten; Rechts: Gliederung der Eingangsdaten in Betrachtungsblöcke mit einer Größe von 2x2 Rasterzellen

3.6.2. Aggregation

Je Betrachtungsblock wird die Summe gebildet. Durch diesen Schritt wird ermittelt, ob in einem Block ein Überschuss oder ein Defizit besteht. In Abbildung 21 ist zu sehen, dass die jeweilige Summe in den drei „gemischten“ Blöcken einen positiven Wert ergibt und somit diesen lokal vorhandenen Defiziten ein ausreichend großer Überschuss gegenübersteht.

8,71	6,72	-2,59
25,46	4,09	0,09
-2,59	-2,59	0,76

Abbildung 21: Summen je Betrachtungsblock (ohne Ressourcenverlust durch Verteilung)

Da bei der einfachen Summe kein Ressourcenverlust durch die Raumüberwindung berücksichtigt wird, müssen die Summenwerte noch um die Wegkosten verringert werden. Dazu müssen zunächst drei Einflussgrößen berücksichtigt werden:

- 1) Der Raumwiderstand je Rasterzelle,
- 2) die Anzahl der zu verteilenden Einheiten sowie
- 3) die von den zu verteilenden Einheiten zurückzulegende Weglänge.

Der Raumwiderstand wird, wie in Kapitel 3.5 (Arbeitsweg- und Transportkosten) erwähnt, aus den Bodenbedeckungsklassen gebildet. Der so für jede Rasterzelle ermittelte Wert ist für das bisher besprochene Beispiel in Abbildung 22 dargestellt. Ebenso in Abbildung 22 ist die Summe der zu verteilenden Einheiten je Betrachtungsblock dargestellt. Zur Ermittlung der zu verteilenden Einheiten wird zuerst die Summe der positiven Werte je Betrachtungsblock sowie die Summe der Absolutwerte der negativen Werte je Betrachtungsblock gebildet. Die kleinere der beiden Summen bildet dann die zu verteilenden Einheiten. Das Defizit kann immer nur im Ausmaß des verfügbaren Überschusses „ausgeglichen“ werden.

1,20	1,20	1,20	1,20	1,56	1,56	0,00	0,00	0,00
1,20	1,20	1,20	1,56	1,56	1,56	0,00	1,29	0,65
1,20	1,20	1,56	1,56	1,56	1,56	0,00	0,00	1,94
1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56			
1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56			

Abbildung 22: Links: Raumwiderstand je Rasterzelle; Rechts: Summe der zu verteilenden Einheiten je Betrachtungsblock

Um die von den zu verteilenden Einheiten zurückzulegende Weglänge berechnen zu können, eignet sich, wie in Kapitel 3.5 (Arbeitsweg- und Transportkosten) beschrieben, die Funktion Kostenentfernung (Cost Distance). Diese Funktion ermittelt Wegkosten von allen Rasterzellen hin zu ausgewählten „Ressourcen“-Rasterzellen. Die Berechnungsergebnisse der Funktion für die Eingangswerte (siehe Abbildung 20) sind in Abbildung 23 abgebildet. Die Werte je Rasterzelle ergeben sich aus den Defizit-/Überschusszellen (siehe Abbildung 20) und dem Raumwiderstandszellen (siehe Abbildung 22). Für alle Zellen wird der kürzeste Weg zu einer negativen Zelle gesucht. So bedeutet etwa der Wert in der linken oberen Zelle, dass die nächste Defizitzelle („Ressourcen“-Rasterzelle) 477,41 Meter entfernt ist. Wobei durch den Raumwiderstandsraaster berücksichtigt wurde, dass die Weglänge je 100mx100m Rasterzelle unterschiedlich lang sein kann (z.B. aufgrund dichter Wegnetze in Siedlungen und weniger dichten Wegnetzen/Feldwegen auf Äckern).

477,41	378,00	258,00	138,00	0,00	0,00
364,87	307,71	258,00	156,00	0,00	0,00
258,00	195,16	138,00	156,00	156,00	0,00
138,00	138,00	0,00	0,00	156,00	156,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	156,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Abbildung 23: Weglänge in Metern je Rasterzelle zur nächsten Defizitzelle

Die jetzt bekannten Weglängen je Rasterzelle können nun mit den Überschusszellen (Abbildung 20) verbunden werden. In diesem Bearbeitungsschritt wird die Anzahl der zu verteilenden Einheiten (siehe Abbildung 22) nicht berücksichtigt, welche erst später verwendet werden. Da die Werte der jeweiligen Überschusszellen die maximal mögliche Anzahl an zu verteilenden Einheiten darstellen, werden die ermittelten Wegkosten mit dem jeweiligen Wert der Überschusszellen gewichtet. Diese gewichteten Wegkosten werden anschließend für den jeweiligen Betrachtungsblock summiert (siehe Abbildung 24). Würden sämtliche Überschusswerte in einem Betrachtungsblock hin zu Defizitzellen „wandern“, dann stellte die Summe der gewichteten Wegkosten die angenommenen Gesamtwegkosten dar. Nicht berücksichtigt bei dieser Vorgangsweise sind Ansteuerungen von verschiedenen Überschusszellen hin zu einer Defizitzelle in einem Ausmaß, das über dem Bedarf der Defizitzelle liegt. Daher sind sämtliche berechneten Wegkosten keine „widerspruchsfreien“ Wegkosten von 1:1 Relationen, sondern nur mit einfachen Mitteln geschätzte Wegkosten. Wie oben erwähnt wurde die tatsächliche Anzahl an zu verteilenden Einheiten nicht berücksichtigt. Daher stellen die Werte in Abbildung 24 nur die Weglängen dar, geben aber keinen Hinweis darauf, ob hier tatsächlich Relationen zustande kommen oder nicht.

0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2680,12	1663,88	0,00
0,00	2680,12	1555,74	108,14	0,00	0,00	5469,97	839,59	115,38
3630,06	915,31	0,00	839,59	108,14	0,00	0,00	0,00	421,70
924,60	0,00	0,00	0,00	3,62	3,62			
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	421,70			
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			

Abbildung 24: Links: (Mit Eingangswerten) gewichtete Wegkosten; Rechts: Summen der gewichteten Wegkosten

Aus den Summen der gewichteten Wegkosten können die durchschnittlichen Wegkosten je (Überschuss-)Rasterzelle je Betrachtungsblock gebildet werden (siehe Abbildung 25). So ist etwa zu sehen, dass im linken mittleren Betrachtungsblock eine durchschnittliche Überschussrasterzelle 214,85 Meter von der nächsten Defizitzelle entfernt ist. Die Kosten die für jede bewegte Einheit entstehen, leiten sich direkt von den Weglängen ab. Diese sind für IAK und Ernteerträge unterschiedlich und werden wie im obigen Unterkapitel 3.5 (Arbeitsweg- und Transportkosten) beschrieben vom fortbewegten Objekt direkt abgezogen. So vermindert sich der Wert der Einheit mit steigender Weglänge.

Im rechten Teil der Abbildung 25 ist der (durchschnittliche) Ressourcenverlust je bewegter Einheit je Betrachtungsblock dargestellt. Zum Beispiel ergibt sich so für den rechten mittleren Betrachtungsblock je bewegter Einheit für das Zurücklegen des Hin- und Rückwegs eine Verminderung von -0,01. Wie bereits bei den Werten in Abbildung 24 handelt es sich hier nur um mögliche Ressourcenverluste und noch nicht um tatsächlich stattfindende Ressourcenverluste. Für genauere Informationen zur Entwicklung der maximal möglichen Weglängen der IAK und der Ernteerträge siehe Kapitel 4 (Parameterermittlung).

307,71	247,48	0,00	-0,02	-0,02	0,00
214,85	156,00	156,00	-0,01	-0,01	-0,01
0,00	0,00	156,00	0,00	0,00	-0,01

Abbildung 25: Links: Durchschnittliche Wegkosten je (Überschuss-)Rasterzelle je Betrachtungsblock; Rechts: Ressourcenverlust je bewegter Einheit je Betrachtungsblock

Der Ressourcenverlust je bewegter Einheit ergibt multipliziert mit der Anzahl der bewegten Einheiten den Ressourcenverlust durch den Verteilungsvorgang. So kann für alle Betrachtungsblöcke der jeweils auftretende Ressourcenverlust festgestellt werden. Wie in Abbildung 26 zu sehen ist, kommt es in den drei „gemischten“ Betrachtungsblöcken zu einem Ressourcenverlust.

0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	1,31	0,65	0,00	-0,01	-0,01
0,00	0,00	1,96	0,00	0,00	-0,02

Abbildung 26: Links: Bewegte Einheiten je Betrachtungsblock; Rechts: Ressourcenverlust durch Verteilung je Betrachtungsblock

Die so ermittelten Ressourcenverluste können von den ursprünglich ermittelten Summen abgezogen werden und ergeben so die Summen inkl. des Ressourcenverlusts. Somit ist für alle

Betrachtungsblöcke die Aggregation abgeschlossen. Eine Ergebnisgegenüberstellung ohne und mit Ressourcenverlust ist in Abbildung 27 dargestellt.

8,71	6,72	-2,59
25,46	4,09	0,09
-2,59	-2,59	0,76

8,71	6,72	-2,59
25,46	4,08	0,09
-2,59	-2,59	0,74

Abbildung 27: Links: Summen je Betrachtungsblock ohne Ressourcenverlust durch Verteilung; Rechts: Summen je Betrachtungsblock inkl. Ressourcenverlust durch Verteilung)

3.6.3. Disaggregation

Durch die erfolgte Werteaggregation inkl. Wegkostenabschätzung wurde der Überschuss bzw. das Defizit je Betrachtungsblock geschätzt. Durch die gewählte Vorgangsweise konnte ein Wissensgewinn erzielt werden, jedoch ist gleichzeitig die räumliche Genauigkeit der Daten reduziert worden. So wurde zum Beispiel für den rechten unteren Betrachtungsblock ermittelt, dass unter Berücksichtigung der, aufgrund des Verteilungsvorgangs auftretenden, Ressourcenverluste die Summe der verfügbaren IAK nur noch 0,74 beträgt. Wäre der Ressourcenverlust vernachlässigt worden, würde die Summe der Verfügbaren IAK 0,76 betragen. Allerdings wurde durch den Vorgang die Auflösung der Daten reduziert. Die ermittelten Werte sollen daher in folgendem Ablauf auf die ursprüngliche Zellenebene disaggregiert werden.

Im ersten Schritt der Disaggregation wird die Anzahl der Defizit- sowie der Überschusszellen je Betrachtungsblock ermittelt (siehe Abbildung 28). Die ursprünglichen Eingangsdaten sind in Abbildung 20 abgebildet.

0,00	0,00	4,00
0,00	2,00	1,00
4,00	4,00	3,00

1,00	2,00	0,00
3,00	1,00	3,00
0,00	0,00	1,00

Abbildung 28: Links: Anzahl der Defizitzellen; Rechts: Anzahl der Überschusszellen

In Kombination mit den Ergebnissen des Aggregationsschritts (siehe Abbildung 27) können mit den ermittelten Werten aus Abbildung 28 die gleichverteilten Defizit- sowie Überschusswerte je Betrachtungsblock ermittelt werden (siehe Abbildung 29). So ergibt beispielsweise der für den linken mittleren Betrachtungsblock ermittelte Überschusswert von 25,46 geteilt durch die drei Überschuss-Eingangszellen (14,07; 4,69; 6,70 – siehe Abbildung 30) einen Überschusswert von 8,49 je Überschuss-Eingangszelle. Der errechnete Wert von 8,49 übersteigt jedoch die ursprünglichen Werte 4,69 und 6,70. Somit ist eine Berücksichtigung der ursprünglichen Defizit- und Überschusswerte (siehe Abbildung 30) bei der Disaggregation sinnvoll. Die so gewonnene Disaggregation ist in Abbildung 31 abgebildet.

		-0,65
-0,65	-0,65	

8,71	3,36	
8,49	4,08	0,03
		0,74

Abbildung 29: Links: Gleichverteilter Defizitwert je Betrachtungsblock; Rechts: Gleichverteilter Überschusswert je Betrachtungsblock

		-0,65	-0,65
		-0,65	-0,65
			-0,65
	-0,65	-0,65	
-0,65	-0,65	-0,65	-0,65
-0,65	-0,65	-0,65	-0,65

	8,71	6,03	0,69	
14,07	4,69		5,38	0,69
6,70				0,02
				2,70

Abbildung 30: Links: Ursprüngliche Defizitwerte; Rechts: Ursprüngliche Überschusswerte

		-0,65	-0,65
		-0,65	-0,65
-0,65	-0,65	-0,65	-0,65
-0,65	-0,65	-0,65	-0,65

	8,71	6,03	0,69	
14,07	4,69		4,08	0,04
6,70				0,02
				0,74

Abbildung 31: Aus gleichverteilten und ursprünglichen Werten abgeleitete Defizit- und Überschusswerte

Eine Gegenüberstellung der Eingangswerte mit den Ergebniswerten dieses einen Durchlaufs sind in Abbildung 32 enthalten.

0,00	0,00	0,00	0,00	-0,65	-0,65
0,00	8,71	6,03	0,69	-0,65	-0,65
14,07	4,69	0,00	5,38	0,69	-0,65
6,70	0,00	-0,65	-0,65	0,02	0,02
-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	2,70
-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65

0,00	0,00	0,00	0,00	-0,65	-0,65
0,00	8,71	6,03	0,69	-0,65	-0,65
14,07	4,69	0,00	4,08	0,04	0,00
6,70	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02
-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	0,00	0,74
-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	0,00	0,00

Abbildung 32: Links: Eingangswerte; Rechts: Ergebniswerte der Aggregation und Disaggregation

3.6.4. Vergrößerung der Betrachtungsblöcke

Die beschriebene Vorgangsweise zur Aggregation und Disaggregation wird auf definierte Betrachtungsräume angewandt. Die Größe der Betrachtungsräume wird nach einem erfolgten Durchlauf erweitert und dann ein neuer Durchlauf gestartet. Die Ergebniswerte werden als Eingangswerte für den nächsten Durchlauf verwendet.

Der Betrachtungsraum startet mit einer Ost-West Ausdehnung von einer Zelle und einer Nord-Süd Ausdehnung von zwei Zellen. Die Erweiterung des Betrachtungsraums erfolgt wie in Abbildung 33 dargestellt in möglichst kleinen Schritten. So wird die Anzahl der zu verteilenden Defizit- und Überschusszellen ebenso möglichst klein gehalten und die errechneten Durchschnittswerte (z.B. Wegkosten) behalten möglichst viel von ihrem kleinräumigen Bezug bei.

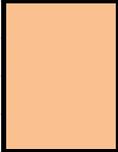
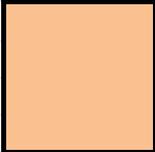
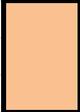
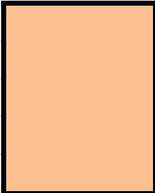
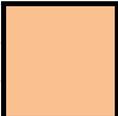
Druchlauf Nr. 1 	1 Zelle Ost-West Ausdehnung 2 Zellen Nord-Süd Ausdehnung	Druchlauf Nr. 7 	3 Zellen Ost-West Ausdehnung 4 Zellen Nord-Süd Ausdehnung
Druchlauf Nr. 2 	2 Zellen Ost-West Ausdehnung 1 Zelle Nord-Süd Ausdehnung	Druchlauf Nr. 8 	4 Zellen Ost-West Ausdehnung 3 Zellen Nord-Süd Ausdehnung
Druchlauf Nr. 3 	2 Zellen Ost-West Ausdehnung 2 Zellen Nord-Süd Ausdehnung	Druchlauf Nr. 9 	4 Zellen Ost-West Ausdehnung 4 Zellen Nord-Süd Ausdehnung
Druchlauf Nr. 4 	2 Zellen Ost-West Ausdehnung 3 Zellen Nord-Süd Ausdehnung	Druchlauf Nr. 10 	4 Zellen Ost-West Ausdehnung 5 Zellen Nord-Süd Ausdehnung
Druchlauf Nr. 5 	3 Zellen Ost-West Ausdehnung 2 Zellen Nord-Süd Ausdehnung		
Druchlauf Nr. 6 	3 Zellen Ost-West Ausdehnung 3 Zellen Nord-Süd Ausdehnung		

Abbildung 33: Schrittweise Erweiterung des Betrachtungsraumes für die Durchläufe 1 bis 10

3.7. Zusammenfassung des Modellaufbaus

Das Modell umfasst die Modellierung der notwendigen Ernteerträge, der realisierbaren Ernteerträge sowie der jeweiligen Transportnotwendigkeiten und deren Ressourcenverbrauch. Da als Datengrundlage der CORINE Land Cover Datensatz sowie Rasterdaten der Statistik Austria zu den Hauptwohnsitzen in Österreich gewählt wurden, sind alle Berechnungen auf Österreich beschränkt.

Den „Startpunkt“ des Modells stellen die zur Ernährung der Bevölkerung notwendigen Ernteerträge dar. Diese werden direkt aus den Rasterdaten der Statistik Austria für alle 100x100m Rasterzellen Österreichs abgeleitet. Den notwendigen Ernteerträgen werden die tatsächlich realisierbaren Ernteerträge gegenübergestellt, welche aus den landwirtschaftlichen Flächen abgeleitet werden.

Zur Feststellung, ob ausreichend landwirtschaftliche Arbeitskräfte (IAk) zur Bewirtschaftung des Bodens in jeder Zelle vorhanden sind, können jeweils der Bedarf an IAk sowie die verfügbaren IAk aus den vorhandenen Daten geschätzt werden und danach der Überschuss bzw. das Defizit an IAk ermittelt werden. Zwischen den Überschuss- sowie den Defizit-Rasterzellen ist eine Verteilung notwendig. Diese Verteilungsnotwendigkeit ergibt sich ebenso bei der räumlichen Verteilung der Ernteerträge auf die Bevölkerung. Die bei der Verteilung auftretenden Wegkosten werden mittels der Funktion Kostenentfernung (Cost Distance) berechnet. Die Verteilungsergebnisse selbst werden durch ein iteratives Aggregieren und Disaggregieren der Zellen geschätzt.

Eine vereinfachte Darstellung des Gesamtmodells befindet sich in Abbildung 34.



Abbildung 34: Vereinfachtes Gesamtmodell

Die oben beschriebenen methodischen Ansätze wurden per ArcGIS ModelBuilder und ArcPy Skripten modelliert (siehe Kapitel ArcPy). So konnten durch wiederholte Berechnungsdurchläufe Parameter verfeinert und bei kritischer Begutachtung der Gesamtergebnisse die Qualität des Modells schrittweise verbessert werden.

4. Parameterermittlung

In Kapitel 3 (Aufbau des GIS-Modells) wurde das GIS-Berechnungsmodell sowie die Rasterdatengrundlage erläutert. Im folgenden Kapitel 4 wird die Ermittlung der zur Berechnung notwendigen Parameter, wie zum Beispiel das notwendige Flächenausmaß zur Ernährung eines Menschen oder die von einer landwirtschaftlichen Arbeitskraft bewirtschaftbare Fläche, besprochen.

4.1. Notwendige Ernteerträge

Ein wesentlicher Parameter für das GIS-Berechnungsmodell ist der notwendige Ernteertrag je EW. Wie in Kapitel 3.3 Notwendige und realisierbare Ernteerträge beschrieben, wurde dazu als Vereinfachung der notwendige Ernteertrag als durchschnittlich notwendige landwirtschaftliche Fläche definiert. Dabei wird zwischen Ackerflächen und Weideflächen unterschieden. Die Ermittlung dieser durchschnittlichen landwirtschaftlichen Flächen, die jeweils notwendig sind um einen Menschen (ein Jahr lang) zumindest kalorisch ernähren zu können, wird nachstehend ausgeführt.

4.1.1. Notwendige landwirtschaftliche Fläche bei ausschließlicher Versorgung durch Ackerflächen

Zunächst werden zur Ermittlung der zur Ernährung eines Menschen notwendigen Ackerfläche die Anbauflächen und Ernteerträge einiger wichtiger Kulturpflanzen in Österreich betrachtet. In Tabelle 2 und Tabelle 3 sind die Anbauflächen sowie die Erträge dieser für die Jahre 2013 und 2014 abgebildet. In Tabelle 4 und Tabelle 5 sind die Mittelwerte aus den beiden Jahren aufgelistet.

Tabelle 2 (STATISTIK AUSTRIA 2015): Anbauflächen ausgewählter Kulturpflanzen in Österreich für die Jahre 2013 und 2014

Kennzahl	Menge 2013	Menge 2014	Einheit
Anbaufläche Weizen	297.286	304.645	[ha / a]
Anbaufläche Gerste	142.574	145.825	[ha / a]
Anbaufläche Roggen	56.108	48.241	[ha / a]
Anbaufläche Triticale	44.996	51.302	[ha / a]
Anbaufläche Hafer	23.165	23.297	[ha / a]
Anbaufläche Kartoffeln	21.128	21.384	[ha / a]

Tabelle 3 (STATISTIK AUSTRIA 2015): Erträge ausgewählter Kulturpflanzen in Österreich für die Jahre 2013 und 2014

Kennzahl	Menge 2013	Menge 2014	Einheit
Ertrag Weizen 2013	1.597.706	1.804.018	[t / a]
Ertrag Gerste 2013	734.051	845.705	[t / a]
Ertrag Roggen 2013	234.689	232.530	[t / a]
Ertrag Triticale 2013	224.141	302.598	[t / a]
Ertrag Hafer 2013	86.936	105.907	[t / a]
Ertrag Kartoffeln 2013	604.051	750.637	[t / a]

Tabelle 4: Mittelwerte der Anbauflächen ausgewählter Kulturpflanzen in Österreich der Jahre 2013 und 2014

Kennzahl	Menge	Einheit
Anbaufläche Weizen Mittelwert aus 2013 und 2014	300.965	[ha / a]
Anbaufläche Gerste Mittelwert aus 2013 und 2014	144.199	[ha / a]
Anbaufläche Roggen Mittelwert aus 2013 und 2014	52.175	[ha / a]
Anbaufläche Triticale Mittelwert aus 2013 und 2014	48.149	[ha / a]
Anbaufläche Hafer Mittelwert aus 2013 und 2014	23.231	[ha / a]
Anbaufläche Kartoffeln Mittelwert aus 2013 und 2014	21.256	[ha / a]

Tabelle 5: Mittelwerte der Erträge ausgewählter Kulturpflanzen in Österreich der Jahre 2013 und 2014

Kennzahl	Menge	Einheit
Ertrag Weizen Mittelwert aus 2013 und 2014	1.700.862	[t / a]
Ertrag Gerste Mittelwert aus 2013 und 2014	789.878	[t / a]
Ertrag Roggen Mittelwert aus 2013 und 2014	233.609	[t / a]
Ertrag Triticale Mittelwert aus 2013 und 2014	263.369	[t / a]
Ertrag Hafer Mittelwert aus 2013 und 2014	96.421	[t / a]
Ertrag Kartoffeln Mittelwert aus 2013 und 2014	677.344	[t / a]

Aus den Erträgen in Tonnen kann mittels der jeweiligen Nährwerte je Tonne (siehe Tabelle 6) der Nährwert der gesamten Ernteerträge je Kulturpflanze errechnet werden (siehe Tabelle 7). Bei der getroffenen Auswahl an Kulturpflanzen wäre somit Weizen mit rund 6 Billionen kcal je Jahr der größte Nährwertlieferant.

Tabelle 6 (United States Department of Agriculture 2016): Nährwerte ausgewählter Kulturpflanzen

Kennzahl	Menge	Einheit
Nährwert Weizen	339	[kcal / 100 g]
Nährwert Gerste	354	[kcal / 100 g]
Nährwert Roggen	338	[kcal / 100 g]
Nährwert Triticale	336	[kcal / 100 g]
Nährwert Hafer	389	[kcal / 100 g]
Nährwert Kartoffeln	77	[kcal / 100 g]
Nährwert Weizen	3.390.000	[kcal / t]
Nährwert Gerste	3.540.000	[kcal / t]
Nährwert Roggen	3.380.000	[kcal / t]
Nährwert Triticale	3.360.000	[kcal / t]
Nährwert Hafer	3.890.000	[kcal / t]
Nährwert Kartoffeln	770.000	[kcal / t]

Tabelle 7: Nährwerte der gesamten Ernteerträge ausgewählter Kulturpflanzen in Österreich

Kennzahl	Menge	Einheit
Nährwert Ertrag Weizen	5.765.923.301.280	[kcal / a]
Nährwert Ertrag Gerste	2.796.167.258.010	[kcal / a]
Nährwert Ertrag Roggen	789.599.183.373	[kcal / a]
Nährwert Ertrag Triticale	884.920.999.872	[kcal / a]
Nährwert Ertrag Hafer	375.079.433.693	[kcal / a]
Nährwert Ertrag Kartoffeln	521.554.960.411	[kcal / a]

Aus den bisherigen Daten zu Anbauflächen, Erträgen und Nährwerten kann der Nährwert des Ertrages eines Hektars Ackerfläche errechnet werden (siehe Tabelle 8). Bei einer rein vegetarischen Ernährung können daher die rund 19 Millionen kcal zur Ernährung der Bevölkerung verwendet werden. Da aber auch in einer Situation der Nahrungsverknappung zumindest eine geringfügige Fleischproduktion als realistisch erscheint, wird im Folgenden ein Teil des pflanzlichen Nahrungsertrags der Fleischproduktion zugewiesen, um so einen robusteren Nährwert je Hektar zu ermitteln.

Tabelle 8: Zusammenfassende Kennzahlen zu den Kulturpflanzen Weizen, Gerste, Roggen, Triticale, Hafer und Kartoffeln

Kennzahl	Menge	Einheit
Anbaufläche Summe	589.976	[ha / a]
Ertrag Summe	3.761.484	[t / a]
Nährwert Ertrag Summe	11.133.245.136.638	[kcal / a]
Nährwert Ertrag je Tonne	2.959.801	[kcal / t]
Nährwert Ertrag je Anbaufläche	18.870.690	[kcal / ha / a]

Um den Effekt der Verwendung von Ernteerträgen für die Fleischproduktion ermitteln zu können, müssen sowohl der Nährwertverbrauch sowie der Nährwert ertrag der Fleischproduktion abgeschätzt werden. Der Nährwertverbrauch ergibt sich vereinfacht betrachtet aus dem während der Mastdauer verzehrten Ernteertrag. Der Nährwert ertrag ergibt sich aus der gewonnenen Fleischmasse. Um die Berechnung zu vereinfachen wird angenommen, dass nur Rindfleisch produziert wird.

Bei einer Mastdauer von zwei Jahren, einer täglichen Nahrungsaufnahme von 2,1 % (Government of Alberta 2003) des Eigengewichts und einem Anteil von 62 % (Holland, Loveday, und Ferguson 2017) an verwertbarem Fleisch je Rind, ergibt sich ein Verhältnis von 1:25 zwischen produziertem Fleisch (in Tonnen) und verwendeten Ernteerträgen (in Tonnen) (siehe Tabelle 9). Wenn die verwendeten Tonnen in deren Nährwert umgerechnet werden und der gewonnene Fleischertrag ebenfalls in seinen Nährwert umgerechnet wird, dann ergibt sich ein Verhältnis von einer gewonnenen kcal zu 23 investierten kcal (Tabelle 10).

Tabelle 9 (Wikipedia 2017g; Government of Alberta 2003; Holland, Loveday, und Ferguson 2017): Kennzahlen zur Rinderfleischproduktion

Kennzahl	Menge	Einheit	Quelle
Mastdauer Rind	2	[a]	Wikipedia
Jahr	365,25	[d / a]	
Mastdauer Rind	730,50	[d]	
Nahrungsaufnahme Rind in % des Eigengewichts je Tag	2,1%	[%]	Government of Alberta
Ertragsverbrauch je Tonne Rind	15	[t]	
Anteil verwertbares Fleisch je Rind	62%	[%]	University of Tennessee
Ertragsverbrauch je Tonne Rindfleisch	25	[t]	

Tabelle 10 (United States Department of Agriculture 2016): Nährwert ertrag und -verbrauch von Rindfleisch

Kennzahl	Menge	Einheit	Quelle
Nährwert Rindfleisch Faschiertes	332	[kcal / 100 g]	USDA
Nährwert Rindfleisch Querrippe	471	[kcal / 100 g]	USDA
Nährwert Rindfleisch Brust	155	[kcal / 100 g]	USDA
Nährwert Rindfleisch Mittelwert	319	[kcal / 100 g]	
Nährwert Rindfleisch Mittelwert	3.193.333	[kcal / t]	
Nährwertverbrauch je Tonne Rindfleisch	73.233.595	[kcal / t]	
Nährwertverbrauch je kcal Rindfleisch	23	[kcal]	

Wenn angenommen wird, dass 20 % des pflanzlichen Ernteertrages eines wie oben ermittelten durchschnittlichen Hektars Acker für die Rindfleischproduktion verwendet wird, dann entspricht dies einem Nährwert von rund 4 Mio. kcal der ursprünglichen rund 19 Mio. kcal. Der durch die Rindfleischproduktion erzeugte Nährwert beträgt rund 200.000 kcal. Je Hektar ergeben sich somit inkl. der Rindfleischproduktion rund 15,2 Mio. kcal (siehe Tabelle 11). Der Nährwert des gewonnenen

Rindfleisch entspricht bei 20-prozentiger Ernteverwendung lediglich 1 % des endgültig produzierten Nährwerts. (Die restlichen 80 % der Ernte entsprechen nach der Fleischproduktion 99 % des zur Verfügung stehenden Nährwerts.) Somit erscheint eine 20-prozentige Ernteverwendung zur Fleischproduktion als vorsichtige und nicht zu hoch angesetzte Annahme.

Tabelle 11: Nährwertverbrauch der Rindfleischproduktion und Nährwert je Anbaufläche inkl. Rindfleischproduktion

Kennzahl	Menge	Einheit
Angenommene Verwendung Ertrag für Rindfleischproduktion	20%	[%]
Angenommene Verwendung Ertrag für Rindfleischproduktion	3.774.138	[kcal / ha / a]
Nährwert Rindfleisch	164.570	[kcal / ha / a]
Reduktion Nährwert durch Rindfleischproduktion	-3.609.568	[kcal / ha / a]
Nährwert je Anbaufläche inkl. Rindfleischproduktion	15.261.123	[kcal / ha / a]
Nährwert Anteil Rindfleisch an Gesamtsumme	1,1%	[%]

Der aus aktuellen Ertragsdaten geschätzte Nährwert ertrag je Fläche Ackerland muss nun noch entsprechend dem Grundszenario vermindert werden. Dazu eignet sich die in Abbildung 1 dargestellte weltweite landwirtschaftliche Produktionssteigerung von 1961 bis 2013. Bei einem durch Erdöl- und Energiemangel womöglich verursachten Produktionsabfall wird im Folgenden angenommen, dass die landwirtschaftlichen Erträge je Flächeneinheit zumindest auf das Niveau von 1961 (Beginn der FAO Zeitreihe aus Abbildung 1) fallen. Wie in Tabelle 12 abgebildet, stieg der landwirtschaftliche Ertrag je Ackerfläche in diesem Zeitraum um rund 220 %. Somit würden sich die Ernteerträge auf rund 31 % ihres aktuellen Niveaus reduzieren.

Tabelle 12 (FAO 2016): Weltweites Ackerland sowie weltweite Erträge für Getreide, Reis und Mais für die Jahre 1961 bis 2013

Kennzahl	Menge 1961	Menge 2013	Steigerung um	Einheit	Quelle
Ackerland weltweit	1.291.647.410	1.407.843.380	9%	[ha / a]	FAO
Ertrag Getreide weltweit	876.874.886	2.765.850.787	215%	[t / a]	FAO
Ertrag Reis weltweit	215.646.633	738.089.040	242%	[t / a]	FAO
Ertrag Mais weltweit	205.027.583	1.017.750.854	396%	[t / a]	FAO
Ertrag Summe weltweit	1.297.549.102	4.521.690.681	248%	[t / a]	
Ertrag je Ackerfläche weltweit	1,0	3,2	220%	[t / ha / a]	

Bei einem angenommenen Nährwertverbrauch von rund 900.000 kcal je Mensch und je Jahr (siehe Tabelle 13) können bei aktuellem Produktionsniveau rund 17 Menschen je Hektar und bei auf 31 % reduziertem Produktionsniveau rund 5 Menschen je Hektar versorgt werden (siehe Abbildung 19). Das bedeutet, dass die notwendige Ackerfläche zur Versorgung eines EW je Jahr rund 0,2 Hektar beträgt.

Tabelle 13 (Wikipedia 2017e): Nährwertbedarf eines Menschen

Kennzahl	Menge	Einheit	Quelle
Nährwertbedarf Mensch	2.500	[kcal / d]	Wikipedia
Nährwertbedarf Mensch	913.125	[kcal / a]	

Tabelle 14: Notwendige Anbaufläche je EW

Kennzahl	Menge	Einheit
Versorgte EW je Anbaufläche	16,7	[EW / ha / a]
Notwendige Anbaufläche je EW	0,1	[ha / EW / a]
Ernteerträge bei Produktionsabfall auf Niveau von 1961	31%	[%]
Versorgte EW je Anbaufläche bei Produktionsabfall auf Niveau von 1961	5,2	[EW / ha / a]
Notwendige Anbaufläche je EW bei Produktionsabfall auf Niveau von 1961	0,2	[ha / EW / a]

4.1.2. Notwendige landwirtschaftliche Fläche bei ausschließlicher Versorgung durch Weideflächen

Um jene Weidefläche zu ermitteln, die notwendig ist, um den für einen Menschen notwendigen Jahresnährwert zu produzieren, wird zur Vereinfachung angenommen, dass die Weideflächen ausschließlich zur Rinderfleischproduktion genutzt werden. Ein Rind benötigt bei einer durchschnittlichen Weide zur ganzjährigen Ernährung ca. einen Hektar (Wikipedia 2017i). Bei einer Mastdauer von zwei Jahren ergeben sich je Hektar Weide und je Jahr 0,5 geschlachtete Rinder. Das bedeutet, dass bei einem Gewicht je Rind von 500 kg (Wikipedia 2017d), einem Anteil an verwertbarem Fleisch von 62 % (Holland, Loveday, und Ferguson 2017) und einem Nährwert je 100 g Rindfleisch von rund 319 kcal ein Nährwertertrag je Hektar Weide und je Jahr von rund 500.000 kcal erzeugt wird (siehe Tabelle 15). Somit werden rund 1,8 Hektar Weideland benötigt, um einen Menschen (ein Jahr lang) zumindest kalorisch ernähren zu können.

Tabelle 15 (Wikipedia 2017i, 2017d): Nährwertertrag je Weidefläche

Kennzahl	Menge	Einheit	Quelle
Viehbesatz Rinder auf Weide	1	[Stk. / ha / a]	Wikipedia
Schlachtungen	0,5	[Stk / ha / a]	
Gewicht Rinder	500	[kg / Stk.]	Wikipedia
Rindfleisch je Rind	310	[kg / Stk.]	
Nährwert Rindfleisch Mittelwert	3.193	[kcal / kg]	
Nährwert Rind	989.933	[kcal / Stk.]	
Ertrag Weide	494.967	[kcal / ha / a]	
Versorgte Menschen je Weidefläche	0,5	[EW / ha / a]	
Notwendige Weidefläche je EW	1,8448	[ha / EW / a]	

4.2. Landwirtschaftliche Arbeitskräfte

Da nun abgeschätzt worden ist, wie viel Acker- oder Weidefläche notwendig ist, um einen EW ernähren zu können, muss jetzt ermittelt werden, wie viele landwirtschaftliche Arbeitskräfte zur Verfügung stehen und wie viel landwirtschaftliche Fläche diese bewirtschaften können.

4.2.1. Verfügbare landwirtschaftliche Arbeitskräfte

Wie in Kapitel Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. (Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.) erwähnt, werden vereinfacht alle Einwohner (EW) im Alter zwischen 15 und 64 als mögliche Iak angenommen. Wobei das Verhältnis der österreichischen Gesamtbevölkerung für alle Rasterzellen übernommen wird und keine zellengenaue Altersverteilung vorliegt. Wie in Tabelle 16 zu sehen ist, beträgt der Anteil der 15- bis 64-Jährigen an der österreichischen Bevölkerung zu Jahresbeginn 2016 rund 67 %.

Tabelle 16 (STATISTIK AUSTRIA 2016a): Bevölkerung in Österreich zu Jahresbeginn 2016

Bevölkerung Österreich Jahresbeginn 2016	Absolutwert	Anteil
0 bis 14 Jahre	1.246.847	14%
15 bis 64 Jahre	5.848.657	67%
65 Jahre und älter	1.604.967	18%
Insgesamt	8.700.471	100%

4.2.2. Bewirtschaftbare Fläche je landwirtschaftlicher Arbeitskraft

Da durch die Statistik Austria Rasterdaten sowie durch den angenommenen Anteil an zur Verfügung stehenden IAK-, die Anzahl der IAK je Rasterzelle genau definiert ist, muss nun abgeschätzt werden, welches Flächenausmaß je IAK bewirtschaftet werden kann. Die Arbeitsstunden, die für eine IAK notwendig sind, um eine Flächeneinheit zu bewirtschaften, haben sich über die Jahrzehnte vermutlich anders entwickelt als der Ertrag je Flächeneinheit. Somit würde eine analog zu den Flächenerträgen vorgenommene Verminderung eine schwache Berechnungsgrundlage für das GIS-Modell darstellen.

Um mit einfachen Mitteln eine plausible Berechnungsgrundlage zu schaffen, wird im Folgenden versucht, mit historischen Daten aus den Jahren von 1876 bis 1910 die Flächenleistung je IAK in Österreich abzuschätzen. Als einfacher Ansatz wurde eine Verhältnisbildung aus historischen landwirtschaftlichen Arbeitskräften sowie historischen landwirtschaftlichen Flächen gewählt. Für die österreichischen Kronländer sind in Tabelle 17 die Berufstätigen im primären Sektor des Jahres 1910 sowie die Ackerflächen des Jahres 1897 dargestellt.

Eine Karte mit der innerstaatlichen Abgrenzung der österreichischen Kronländer zu den restlichen Reichsteilen befindet sich in Abbildung 35 (Plannummern 1-15 markieren die österreichischen Kronländer). „Das Königreich Ungarn (Plannummer 16) und das Königreich Kroatien und Slawonien (17) waren ab 1867 keine österreichischen Kronländer mehr. Das von Österreich und Ungarn 1878–1918 über das gemeinsame Reichsfinanzministerium verwaltete, erst 1908 annektierte Gebiet Bosnien und Herzegowina (18) gehörte ebenfalls nicht zu den österreichischen Kronländern“ (Wikipedia 2017f).



Abbildung 35 (Wikipedia 2011a): Karte Österreich-Ungarns für das Jahr 1910; Plannummern 1-15 markieren die österreichischen Kronländer

Tabelle 17 (Rumpler und Seger (Hg.) 2010; Sandgruber 1978; Mayrhofer 2014): Landwirtschaftliche Kennzahlen der österreichischen Kronländern in der österreichisch-ungarischen Monarchie

Landwirtschaft in den österreichischen Kronländern	Menge	Einheit	Quelle
Berufstätige im primären Sektor im Jahr 1910	8.551.000	[Pers.]	Rumpler 2010
Ackerflächen im Jahr 1897	10.626.000	[ha]	Sandgruber 1978, zit. nach Mayrhofer 2014

Leider konnte nicht abschließend geklärt werden, ob die Beschäftigten des Bergbaus bei der Volkszählung 1910 Teil der Beschäftigten des primären Sektors waren oder ob diese einem anderen Sektor, etwa dem sekundären Sektor (Industrie und Gewerbe), zugeordnet wurden. Aus den Erläuterungstexten des 9. Bands der Reihe „Die Habsburgermonarchie 1848-1918“ kann jedoch der Eindruck gewonnen werden, dass im primären Sektor der Bergbau nicht enthalten ist. Die Beschäftigten der Holzwirtschaft werden nicht gesondert herausgerechnet, da angenommen wird, dass einerseits Teile des Holztrags für die unmittelbare Instandhaltung von landwirtschaftlichen Gebäuden und Werkzeugen verwendet wurde und andererseits keine Daten zum Ausmaß der Holzwirtschaft in den österreichischen Kronländern um 1900 vorliegen.

Zwar liegt mit dem Flächenausmaß der Ackerflächen des Jahres 1897 eine gute Berechnungsgrundlage vor, jedoch fehlt das Flächenausmaß der Weideflächen. Der Wert für sämtliche Weideflächen der österreichischen Kronländer wird anhand des aktuellen für die EU zutreffenden Flächenverhältnisses von Acker- zu Weideflächen geschätzt. Da es aktuell in der EU

rund halb so viele Weide- wie Ackerflächen gibt (siehe Tabelle 18), wird angenommen, dass dies auch für die österreichischen Kronländer um 1900 zutreffend war. Somit wird angenommen, dass die Weideflächen ein Ausmaß von rund 6 Mio. Hektar hatten (siehe Tabelle 19).

Tabelle 18 (Wikipedia 2017a): Ackerflächen und Dauergrünland in der Europäischen Union im Jahr 2007

Agrarflächen in der EU im Jahr 2007	Menge	Anteil	Einheit	Quelle
Ackerland in der EU im Jahr 2007	104	65%	[Mio. ha]	Wikipedia
Dauergrünland in der EU im Jahr 2007	57	35%	[Mio. ha]	Wikipedia
Summe Ackerflächen und Dauergrünland	161		[Mio. ha]	

Tabelle 19: Geschätzte Agrarflächen in den österreichischen Kronländern im Jahr 1910

Geschätzte Agrarflächen in den österreichischen Kronländern im Jahr 1910	Menge	Einheit
Geschätzte Weideflächen	5.823.865	[ha]
Geschätzte Summe aus Acker- und Weideflächen	16.449.865	[ha]

Da nun geschätzt wurde, wie viele Menschen in der Landwirtschaft um 1900 beschäftigt waren und wie groß die Acker- und Weideflächen waren, die bewirtschaftet wurden, muss nun eine Zuteilung der IAK zu den Flächen vorgenommen werden. Dazu muss geklärt werden, in welchem Verhältnis die notwendigen Arbeitsstunden für die Bewirtschaftung von Ackerflächen zu jenen von Weideflächen standen.

In der Masterarbeit von Elisabeth Schaschl aus dem Jahr 2007 wurde eine „*Rekonstruktion der Arbeitszeit in der Landwirtschaft im 19. Jahrhundert am Beispiel von Theyern in Niederösterreich*“ erarbeitet. Aus den in der Arbeit zitierten Werten für verschiedene Arbeitsleistungen in Arbeitstagen wurde oben erwähntes Verhältnis aus Acker- und Weidewirtschaft gebildet. In Tabelle 20 sind für verschiedene Tätigkeiten, die zur Bewirtschaftung eines Kartoffelfeldes notwendig sind, Arbeitstage je Hektar und je Jahr angegeben. Laut den Angaben waren inkl. Düngung in der zweiten Hälfte des 19. Jhdt. rund 50 Arbeitstage je Hektar und je Jahr zur Bewirtschaftung eines Kartoffelfeldes notwendig.

Tabelle 20 (Krafft u. a. 1880; Komers 1876; Schaschl 2007): Notwendige Arbeitstage für die Bewirtschaftung eines Kartoffelfelds (Quelle *1: Krafft et al. 1880, zit. nach Schaschl 2007, Quelle *2: Komers 1876, zit. nach Schaschl 2007)

Tätigkeit	Menge	Einheit
Düngung		
Mist ausfahren, 28 Fuder pro ha, 0,5 ha täglich (14 Fuder) einspännig (*1)	2	[d / ha / a]
Dünger breiten (*2)	4,69	[d / ha / a]
Dünger einpflügen (Doppelgespann Tage/ha) (*2)	2,18	[d / ha / a]
Düngung Summe	9	[d / ha / a]
Kartoffelanbau		
Kartoffeln felgen (2 Pflüge einspännig) (*2)	1,09	[d / ha / a]
Kartoffeln legen (*2)	4,35	[d / ha / a]
Kartoffeln behäufeln (2 Pflüge einspännig) (*2)	1,17	[d / ha / a]
Behacken der Kartoffeln (*2)	18,25	[d / ha / a]
Kartoffeln ausackern (Doppelgespann Tage/ha) (*2)	1,09	[d / ha / a]
Kartoffeln klauben (*2)	13,12	[d / ha / a]
Kartoffel einmieten samt 12 Zoll Erdecke (*2)	3,05	[d / ha / a]
Kartoffelanbau Summe	42	[d / ha / a]
Summe Düngung und Kartoffelanbau	51	[d / ha / a]

Da in Kapitel 4.1.1 (Notwendige landwirtschaftliche Fläche bei ausschließlicher Versorgung durch Ackerflächen) angenommen wurde, dass rund 20 % des Ernteertrags eines Ackers und somit rund 20 % der Ackerflächen für die Rindfleischproduktion verwendet werden, wird dieser Arbeitsaufwand zu den Angaben des Kartoffelfeldes noch hinzugerechnet. Ebenso wie beim Kartoffelanbau werden aus der Arbeit „Rekonstruktion der Arbeitszeit in der Landwirtschaft im 19. Jahrhundert am Beispiel von Theyern in Niederösterreich“ von Schaschl Arbeitszeitangaben für die Viehhaltung übernommen.

Bei einem Viehbestand von 2 Pferden, 3 Kühen, 6 Schafen und 4 Schweinen waren etwa 1.500 Arbeitsstunden je Jahr notwendig (siehe Tabelle 21). Der angenommene Viehbestand entspricht rund 8 Großvieheinheiten (siehe Tabelle 22). Da eine Großvieheinheit ca. einem Rind entspricht, waren etwa 200 Arbeitsstunden je Jahr für ein Rind notwendig. Wie in Tabelle 11 geschätzt, könnten etwa je Jahr und je 6 Hektar Acker ein Rind produziert werden. Somit ergeben sich je Hektar und je Jahr rund 0,2 Rinder und rund 30 Arbeitsstunden (siehe Tabelle 24).

Tabelle 21 (Schaschl 2007): Notwendige Arbeitsstunden für die Viehwartung

Tätigkeit	Menge	Einheit	Quelle	Annahmen
Viehwartung				
Fütterung und Versorgung des Viehs (Melken, Tränken, Fütterung und Futterbereitung, usw, zweimal täglich) bei durchgehender Stallhaltung rd. 215 Tage/Jahr	4,5	[h / d]	Schaschl 2007	Annahme bei folgendem Viehstand: 2 Pferde, 3 Kühe, 6 Schafe, 4 Schweine
Fütterung und Versorgung des Viehs (Melken, Tränken, Fütterung und Futterbereitung, usw, zweimal täglich) bei Weidegang, rd. 150 Tage/Jahr	3,5	[h / d]	Schaschl 2007	Annahme bei folgendem Viehstand: 2 Pferde, 3 Kühe, 6 Schafe, 4 Schweine
Fütterung und Versorgung des Viehs (Melken, Tränken, Fütterung und Futterbereitung, usw, zweimal täglich) bei durchgehender Stallhaltung rd. 215 Tage/Jahr	968	[h / a]		Annahme bei folgendem Viehstand: 2 Pferde, 3 Kühe, 6 Schafe, 4 Schweine
Fütterung und Versorgung des Viehs (Melken, Tränken, Fütterung und Futterbereitung, usw, zweimal täglich) bei Weidegang, rd. 150 Tage/Jahr	525	[h / a]		Annahme bei folgendem Viehstand: 2 Pferde, 3 Kühe, 6 Schafe, 4 Schweine
Viehwartung Summe	1493	[h / a]		Annahme bei folgendem Viehstand: 2 Pferde, 3 Kühe, 6 Schafe, 4 Schweine
Viehwartung	187	[h / GV / a]		

Tabelle 22 (Wikipedia 2017i) : Großvieheinheiten

Vieh	Großvieheinheit	Einheit	Quelle
Pferd	0,8 - 1,5	[GV]	Wikipedia
Pferd geschätzt	1,15	[GV]	Wikipedia
Milchkuh	1	[GV]	
Schaf	0,1	[GV]	Wikipedia
Mastschwein	0,12	[GV]	Wikipedia
Viehstand: 2 Pferde, 3 Kühe, 6 Schafe, 4 Schweine	8	[GV]	

Für den Ackerbau konnten als notwendiges Arbeitsausmaß 50 Arbeitstage zuzüglich 30 Arbeitsstunden geschätzt werden. Zur Gegenüberstellung des Arbeitsaufwands von Acker- zu Weideflächen wird nun noch ein Näherungswert für Weiden benötigt. Als grobe Annäherung bei der Schätzung der notwendigen Arbeitsstunden je Hektar Weide werden einerseits, wiederum aus der Arbeit von Schaschl, Werte zum notwendigen Arbeitsaufwand bei der Bewirtschaftung von Wiesen verwendet und andererseits der bereits geschätzte Arbeitsaufwand je Rind verwendet. In Tabelle 23

sind verschiedene Tätigkeiten aufgelistet, die bei der Bewirtschaftung einer Wiese notwendig sind. Der Arbeitsaufwand je Hektar und je Jahr beträgt in etwa 13 Arbeitstage.

Tabelle 23 (Krafft u. a. 1880; Hitschmann 1891; Komers 1876; Schaschl 2007): Notwendige Arbeitstage für die Bewirtschaftung einer Wiese

Tätigkeit	Menge	Einheit	Quelle
Wiesenbau, Brachflächenbewirtschaftung			
Zum 1. Mal Pflügen der Brache einspännig	2	[d / ha / a]	Krafft et al. 1880, zit. nach Schaschl 2007
Zum 1. Mal Eggen der Brache einspännig	1,1	[d / ha / a]	Krafft et al. 1880, zit. nach Schaschl 2007
Grassamen mit der Hand säen	0,28	[d / ha / a]	Hitschmann 1891, zit. nach Schaschl
Zum 2. Mal Eggen der Brache einspännig	0,9	[d / ha / a]	Krafft et al. 1880, zit. nach Schaschl 2007
Walzen (glatte Walze) Deppelgespann/Tag	0,33	[d / ha / a]	Komers 1876, zit. nach Schaschl 2007
Gras mähen 1. Schnitt	2,79	[d / ha / a]	Komers 1876, zit. nach Schaschl 2007
Heu trocknen	1,52	[d / ha / a]	Komers 1876, zit. nach Schaschl 2007
Gras mähen 2. Schnitt	2,79	[d / ha / a]	Komers 1876, zit. nach Schaschl 2007
Grummet trocknen	1,52	[d / ha / a]	Komers 1876, zit. nach Schaschl 2007
Wiesenbau, Brachflächenbewirtschaftung Summe	13	[d / ha / a]	

Zusammenfassend ergibt sich nun, dass bei der in Tabelle 11 geschätzten Anzahl von 0,2 Rindern je Hektar Ackerfläche und je Jahr, sowie bei einem Arbeitsaufwand von rund 200 Stunden je Rind und je Jahr (siehe Tabelle 11), etwa 30 Arbeitsstunden je Hektar Ackerland und je Jahr auf die Rinderhaltung entfallen. Gemeinsam mit der Summe der Arbeitsstunden aus Düngung und Kartoffelanbau ergeben sich je Jahr etwa 650 Arbeitsstunden je Hektar Acker (siehe Tabelle 24). Für den Wiesenbau ergeben sich gemeinsam mit den Arbeitsstunden für die Rinderhaltung je Jahr etwa 350 Arbeitsstunden je Hektar Weidefläche. Letztlich ergibt sich ein Verhältnis von Weide- zu Ackerarbeitsstunden von rund 0,5. Somit wird im Weiteren angenommen, dass die Bewirtschaftung einer Weidefläche etwa halb so viele Arbeitsstunden benötigt wie die Bewirtschaftung einer Ackerfläche.

Tabelle 24 (Schaschl 2007): Geschätztes Mindestmaß an Arbeitsstunden je Acker- und Weidefläche

Geschätztes Mindestmaß an Arbeitsstunden je Acker- und Weidefläche	Menge	Einheit	Quelle
Angenommene Anzahl Rinder je Ackerfläche	0,2	[Stk. / ha / a]	
Viewartung je Ackerfläche	31	[h / ha / a]	
Arbeitsstunden je Arbeitstag	12	[h / d]	Schaschl 2007
Summe Düngung und Kartoffelanbau	612	[h / ha / a]	
Summe Düngung, Kartoffelanbau und Viewartung	643	[h / ha / a]	
Geschätztes Mindestmaß an Arbeitsstunden je Ackerfläche	643	[h / ha / a]	
Wiesenbau, Brachflächenbewirtschaftung	159	[h / ha / a]	
Summe Wiesenbau und Viewartung	346	[h / ha / a]	
Geschätztes Mindestmaß an Arbeitsstunden je Weide	346	[h / ha / a]	
Geschätztes Verhältnis Arbeitsstunden Weide- zu Ackerflächen	0,5	[-]	

Wenn im oben besprochenen Verhältnis aus notwendigen Arbeitsstunden zur Weide- und Ackerbewirtschaftung die geschätzten Weideflächen der österreichischen Kronländer (siehe Tabelle 19) reduziert werden, ergeben sich für die österreichischen Kronländer etwa 14 Mio. Hektar (umgerechnete) Ackerfläche (siehe Tabelle 25). Wenn die Zahl der oben ermittelten, in der Landwirtschaft Beschäftigten durch die (umgerechnete) Ackerfläche dividiert wird, ergibt sich eine von einer IAK bewirtschaftbare Ackerfläche von rund 1,6 Hektar je Jahr. Da mit der gleichen Zeitmenge in etwa doppelt so viel Weidefläche wie Ackerfläche bewirtschaftet werden kann, ergibt sich eine von einer IAK bewirtschaftbare Weidefläche von rund 3 Hektar je Jahr.

Tabelle 25: Geschätzte bewirtschaftbare Fläche je landwirtschaftlicher Arbeitskraft in den österreichischen Kronländern um 1900

Geschätzte bewirtschaftbare Fläche je landwirtschaftlicher Arbeitskraft in den österreichischen Kronländern um 1900	Menge	Einheit
Zu bewirtschaftende Weideflächen umgerechnet als Ackerfläche	3.132.069	[ha]
Zu bewirtschaftende Acker- und Weideflächen umgerechnet als Ackerfläche	13.758.069	[ha]
Je IAK bewirtschaftbare Ackerfläche	1,6	[ha / IAK / a]
Je IAK bewirtschaftbare Weidefläche	3,0	[ha / IAK / a]

4.3.Arbeitsweg- und Transportkosten

Im bisherigen Teil dieses Kapitels wurde geklärt, welche Acker- sowie Weideflächen ein Mensch zur kalorischen Ernährung zumindest benötigt und welche Acker- sowie Weideflächen eine landwirtschaftliche Arbeitskraft bewirtschaften kann. Im folgenden Abschnitt soll geklärt werden, in welchem Ausmaß Ressourcen bei den täglichen Arbeitswegen sowie beim Transport der Ernteerträge verloren gehen.

4.3.1. Raumwiderstand

Wie in Kapitel 3.5 (Arbeitsweg- und Transportkosten) beschrieben, wird der Ressourcenverbrauch zur Distanzüberwindung im GIS-Modell mittels der Funktion Kostenentfernung (Cost Distance) berechnet. Dazu notwendig ist die Bildung einer Rasterebene mit dem Raumwiderstand je Rasterzelle (Cost_Ras). Diese Ebene soll widerspiegeln, wie hoch der Ressourcenverbrauch beim Durchqueren einer Rasterzelle, ist sowie die unterschiedliche Wegnetzdicke der neu gebildeten Bodenbedeckungsklassen abbilden.

Zur Umsetzung wurde folgende Vorgangsweise gewählt:

- Zusammenfassung der CORINE Land Cover Bodenbedeckungsklassen anhand deren Überklassen zu vier Klassen (siehe Tabelle 26 und Tabelle 27) und
- Ermittlung von Aufschlagsfaktoren für jede der neu gebildeten Klassen (siehe Tabelle 29 und Tabelle 29).

Tabelle 26: Aus CORINE Land Cover Bodenbedeckungsklassen zusammengefasste Klassen

Zusammengefasste Klassen	Bezeichnung der CORINE Land Cover Bodenbedeckungsklassen
Besiedelt	1. Bebaute Flächen
Landwirtschaftliche Flächen	2. Landwirtschaft
Wälder	3.1 Wälder
Unwegsames Gelände	3.2 Kraut-/Strauchvegetation – 3.3 Offene Flächen ohne oder mit geringer Vegetation 4. Feuchtflächen 5. Wasserflächen

Tabelle 27 (Umweltbundesamt Österreich 2017b): CORINE Land Cover Nomenklatur (Klassen in Grau kommen in Österreich nicht vor)

1. Bebaute Fläche	1.1. Städtisch geprägte Flächen	1.1.1. durchgängig städtische Prägung 1.1.2. nicht durchgängig städtische Prägung
	1.2. Industrie-, Gewerbe- und Verkehrsflächen	1.2.1. Industrie/Gewerbeflächen 1.2.2. Straßen/Eisenbahnnetze, funktionell zugeordnete Flächen 1.2.3. Hafengebiete 1.2.4. Flughäfen
	1.3. Abbauflächen, Deponien, Baustellen	1.3.1. Abbauflächen 1.3.2. Deponien, Abraumhalden 1.3.3. Baustellen
	1.4. Künstlich angelegte nicht landwirtschaftlich genutzte Flächen	1.4.1. Städtische Grünflächen 1.4.2. Sport/Freizeitanlagen
2. Landwirtschaft	2.1. Ackerflächen	2.1.1. Nicht bewässertes Ackerland 2.1.2. Regelmäßig bewässertes Ackerland 2.1.3. Reisfelder
	2.2. Dauerkulturen	2.2.1. Weinbauflächen 2.2.2. Obst/Beerenobstbestände 2.2.3. Olivenhaine
	2.3. Grünland	2.3.1. Wiesen und Weiden
	2.4. Heterogene landwirtschaftliche Flächen	2.4.1. Einjähr. Kulturen in Verbindung mit Dauerkulturen 2.4.2. Komplexe Parzellenstruktur 2.4.3. Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher Vegetation von signifikanter Größe 2.4.4. Land/Forstwirtschaftliche Flächen
3. Wälder und naturnahe Flächen	3.1. Wälder	3.1.1. Laubwälder 3.1.2. Nadelwälder 3.1.3. Mischwälder
	3.2. Kraut-/Strauchvegetation	3.2.1. Natürliches Grünland 3.2.2. Heiden und Moorheiden 3.2.3. Hartlaubbewuchs 3.2.4. Wald/Strauch Übergangsstadien
	3.3. Offene Flächen ohne oder mit geringer Vegetation	3.3.1. Strände, Dünen, Sandflächen 3.3.2. Felsflächen ohne Vegetation 3.3.3. Flächen mit spärlicher Vegetation 3.3.4. Brandflächen 3.3.5. Gletscher/Dauerschneegebiet
4. Feuchtflächen	4.1. Feuchtflächen im Landesinneren	4.1.1. Sümpfe 4.1.2. Torfmoore
	4.2. Feuchtflächen an der Küste	4.2.1. Salzwiesen 4.2.2. Salinen 4.2.3. In der Gezeitenzone liegende Fl.
5. Wasserflächen	5.1. Wasserflächen im Landesinneren	5.1.1. Gewässerläufe 5.1.2. Wasserflächen
	5.2. Meeressgewässer	5.2.1. Lagunen 5.2.2. Mündungsgebiete 5.2.3. Meer und Ozean

Zur Ermittlung der Aufschlagsfaktoren je Bodenbedeckungsklasse wurde ein Verhältnis aus der von Google Maps errechneten Weglänge zwischen zwei Adressen sowie deren direkten Luftlinie gebildet (siehe Abbildung 36 und Tabelle 28). Die Ergebnisse der Verhältnisbildung der in Tabelle 28 aufgelisteten Relationen befinden sich in Tabelle 29 und sind in Abbildung 37 für Österreich (und angrenzende Flächen) abgebildet. Wie in Abbildung 37 zu sehen ist, sind die Transportkosten im alpinen Raum höher als in der Ebene.

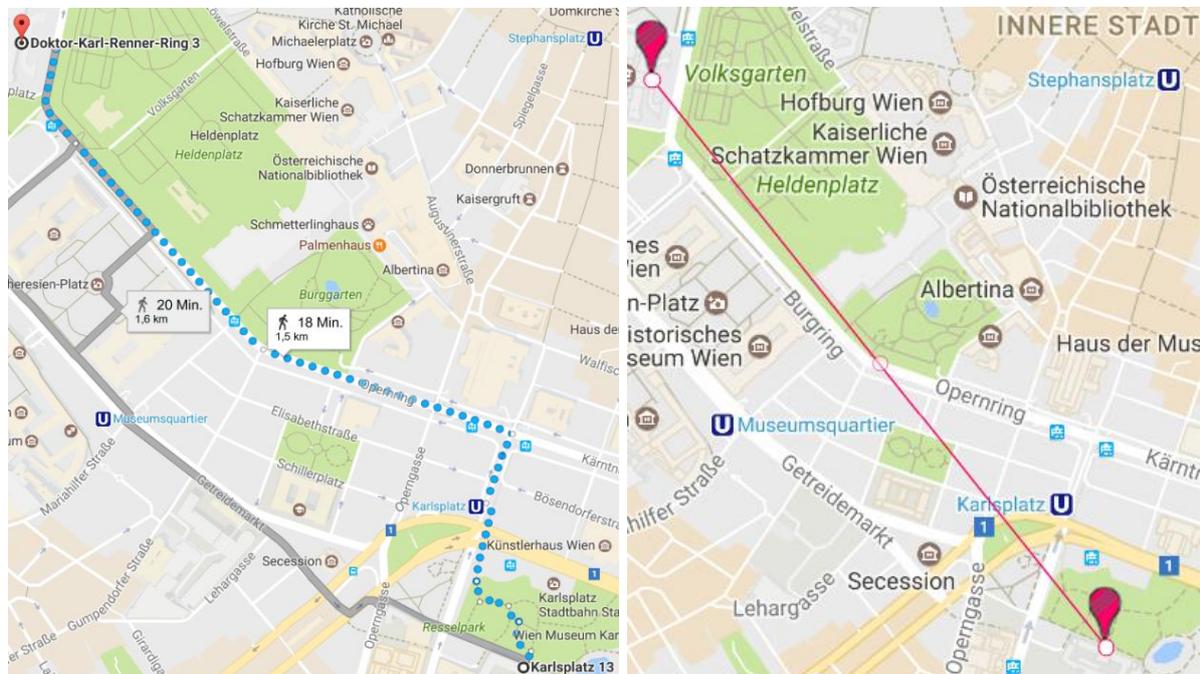


Abbildung 36 („Google Maps“ 2017, „DraftLogic“ 2017): Links: Weglängenberechnung mittel Google Maps; rechts: Luftlinienlängenberechnung mittels DraftLogic

Tabelle 28: Mittels Google Maps und DraftLogic ermittelte Weglängen und Luftlinienlängen

Bodenbedeckungsklasse	Startadresse	Zieladresse	Weglänge	Luftlinie	Einheit
Besiedelt	Karlsplatz 13, Wien	Dr.-Karl-Renner-Ring 3, Wien	1,5	1,3	[km]
Besiedelt	Gußhausstraße 27, wien	Augasse 2, Wien	4,5	3,9	[km]
Besiedelt	Südtiroler Platz 7, Innsbruck	Anichstraße 35, Innsbruck	1,2	0,9	[km]
Landwirtschaftliche Flächen	Goldwaldstraße 3, Ebergassing	Gutenhof 12, Gutenhof	6,0	4,4	[km]
Landwirtschaftliche Flächen	Birkenstraße 36-38, Götzendorf an der Leitha	Hauptplatz 1, Moosbrunn	11,6	8,8	[km]
Landwirtschaftliche Flächen	Milchhausstraße 14, Hohenruppersdorf	Bahnstraße 15, Bad Pirawarth	5,7	3,8	[km]
Wälder	Neustiftgasse 1, Mannersdorf am Leithagebirge	Eisenstädter Str. 1, Purbach am Neusiedler See	15,2	9,2	[km]
Wälder	Rohr im Gebirge 1, Rohr im Gebirge	Klausenstraße 1, Alland	48,4	31,2	[km]
Wälder	Bahnhofstraße 1, Bad Ischl	Rund um den Sandling 1, Rund um den Sandling	19,3	8,8	[km]
Unwegsames Gelände	Ferleiten 1, Ferleiten	Großdorf 1, Großdorf	335	19,8	[km]
Unwegsames Gelände	Tiwagweg 1, Sölden	Jaufengasse 1, Sterzing	129	33,2	[km]
Unwegsames Gelände	Klösterle 1, Klösterle	Arlbergstraße 1, St. Anton am Arlberg	115	12,0	[km]

Tabelle 29: Verhältnisse je neu gebildeter Bodenbedeckungsklasse zwischen Google Maps Weglängen und DraftLogic Luftlinienlängen

Bodenbedeckungsklasse	Summe Weglänge	Summe Luftlinie	Einheit	Verhältnis
Besiedelt	7,2	6,1	[km]	1,2
Landwirtschaftliche Flächen	23,3	16,9	[km]	1,4
Wälder	82,9	49,1	[km]	1,7
Unwegsames Gelände	579,0	65,0	[km]	8,9

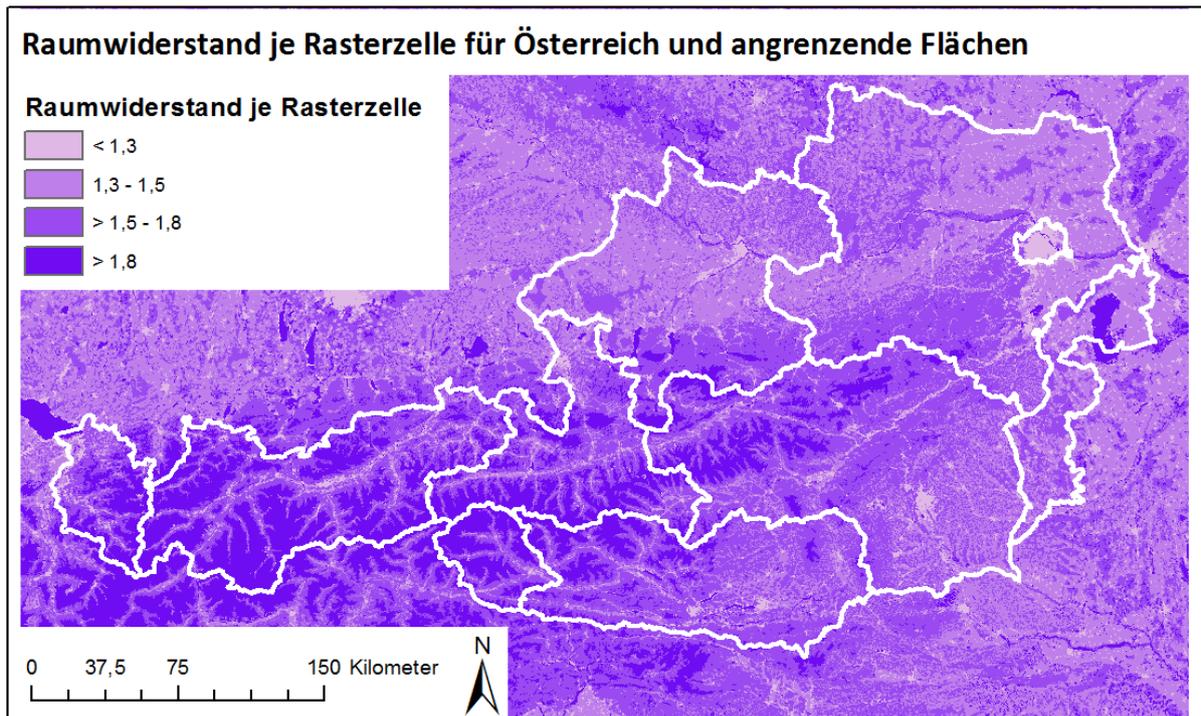


Abbildung 37: Raumwiderstand je Rasterzelle für Österreich und angrenzende Flächen; je dunkler desto höher die Wegkosten je Rasterzelle; Werte aus Tabelle 29 und den CORINE Land Cover Bodenbedeckungsklassen

4.3.2. Arbeitswegkosten von landwirtschaftlichen Arbeitskräften

Für die Berechnung der Wegkosten der täglichen Wege der Arbeitskräfte hin zu landwirtschaftlichen Flächen wurde angenommen, dass die Arbeitsdauer je Arbeitstag 12 Stunden und die durchschnittliche Gehgeschwindigkeit einer IAK 5 Kilometer je Stunde beträgt. Somit ergibt sich für tägliche Wege eine maximale Wegdauer je Richtung von 6 Stunden und damit eine maximale Distanz von 30 Kilometern. Daher wäre, z.B. bei einer Entfernung von Wohn-Rasterzelle zu Landwirtschafts-Rasterzelle von 30 Kilometern keine Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Fläche mehr möglich, da der gesamte Arbeitstag für das Zurücklegen von Hin- und Rückweg benötigt werden würde. Der Wert der IAK wird linear mit der zurückgelegten Distanz reduziert, wobei bei einer Weglänge von 0 Kilometern der Wert der IAK 100 % beträgt und bei einer Weglänge von 30 Kilometern 0 %.

4.3.3. Transportkosten Ernteerträge

Um überschüssige Ernteerträge von deren ursprünglichen Rasterzellen hin zu Rasterzellen mit einem Bedarf an Ernteerträgen zu bringen, ist ebenso wie bei den Arbeitswegkosten der IAK ein bestimmter Ressourceneinsatz notwendig. Anders als bei den Arbeitswegkosten wurde im Folgenden keine Ressourcenaufwendung durch den Abzug vom Leistungspotential von IAK gewählt. Stattdessen wurde mit steigender Transportdistanz der vorhandene Ernteertrag reduziert. Zur Ermittlung der maximalen Weglänge beim Transport von Ernteerträgen wurde abgeschätzt, wie weit ein Transportmittel sich mit der Energie einer jährlichen Ernährungsration bewegen kann. Dabei wurden die eigentliche Transportlast sowie sämtliche Aspekte der Kühlung und Lagerung nicht berücksichtigt. Ebenso werden Transporte für Verarbeitungsschritte sowie zusätzliche IAK für den Transport selbst nicht berücksichtigt.

In Tabelle 30 ist der Nährwertverbrauch eines ganztägig arbeitenden Pferdes abgebildet. Aus diesem kann unter Berücksichtigung des jährlichen Nährwertverbrauchs eines Menschen (siehe Tabelle 13) sowie der angenommenen Arbeitszeit je Tag (siehe Tabelle 24) abgeleitet werden, welche

Wegstrecke ein Pferd mit der gegebenen Energie zurücklegen kann. Die Hälfte der errechneten möglichen Gesamtwegstrecke von rund 2.000 Kilometern ergibt die maximal mögliche „Reichweite“ eines Pferdes von rund 1.000 Kilometern.

Tabelle 30 (Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft und Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hg.) 2015): Nährwertverbrauch eines ganztägig arbeitenden Pferdes sowie die daraus abgeschätzte maximale Transportreichweite eines Pferdes

Kennzahl	Menge	Einheit	Quelle
Nährwertverbrauch arbeitendes Pferd	127	[MJ / d]	LfL
MJ	239	[kcal]	
Nährwertverbrauch Pferd	30.353	[kcal / d]	
Geschwindigkeit	6	[km / h]	
Mögliche Wegstrecke je Tag	72	[km / d]	
Tage bis transportierte Ernte konsumiert	30	[d]	
Mögliche Gesamtwegstrecke	2.166	[km / a]	
Möglicher Hinweg	1.083	[km / a]	
Reichweite für Erntetransport	1.083	[km]	

Um einen robusteren Wert für die Transportreichweite von Ernterträgen zu generieren, wird die in Tabelle 30 für Pferde verwendete Logik noch für drei weitere Transportmittel verwendet und die Resultate dieser Berechnungen (ungewichtet) gemittelt. In Tabelle 31 befindet sich die Ermittlung der „Reichweite“ eines Esels (rund 4.000 Kilometer), in Tabelle 32 jene eines Menschen (rund 11.000 Kilometer) und in Tabelle 33 jene eines Personenkraftwagens (um grob mit Agrardiesel betriebene Transportfahrzeuge mitzuberechnenden) (rund 1.000 Kilometer). Es ergibt sich eine durchschnittliche Reichweite von 4.337 Kilometern.

Ebenso wie der Abschätzung der Wegkosten von IAK wird der Wert des Erntertrags linear mit der zurückgelegten Distanz reduziert, wobei bei einer Weglänge von 0 Kilometern der Wert des Erntertrags 100 % beträgt und bei einer Weglänge von 4.337 Kilometern 0 %.

Tabelle 31 (Aganga, Letso, und Aganga 2000): Nährwertverbrauch eines ganztägig arbeitenden Esels sowie die daraus abgeschätzte maximale Transportreichweite eines Esels

Esel			
Kennzahl	Menge	Einheit	Quelle
Nährwertverbrauch arbeitender Esel	28.451	[kJ / d]	Botswana College of Agriculture
kJ je kcal	4	[kJ]	
Nährwertverbrauch Esel	6.795	[kcal / d]	
Geschwindigkeit	5	[km / h]	
Mögliche Wegstrecke je Tag	60	[km / d]	
Tage bis transportierte Ernte konsumiert	134	[d]	
Mögliche Gesamtwegstrecke	8.062	[km / a]	
Möglicher Hinweg	4.031	[km / a]	
Reichweite für Erntetransport	4.031	[km]	

Tabelle 32: Abgeschätzte maximale Transportreichweite eines Menschen

Kennzahl	Menge	Einheit
Gehgeschwindigkeit	5	[km / h]
Mögliche Wegstrecke je Tag	60	[km / Tag]
Tage bis transportierte Ernte konsumiert	365	[km / kg]
Mögliche Gesamtwegstrecke	21.915	[km / Jahr]
Möglicher Hinweg	10.958	[km / Jahr]
Mögliche Gesamtwegstrecke	10.958	[km]

Tabelle 33 (Wikipedia 2017c): Abgeschätzte maximale Transportreichweite eines Personenkraftwagens

Kennzahl	Menge	Einheit	Quelle
Kraftstoffverbrauch Diesel	0,04	[l / km]	
Brennwert Diesel	10,4	[kWh / l]	Wikipedia
kWh	860	[kcal]	
Nährwertverbrauch Mensch	1061	[kWh / a]	
Nährwertverbrauch Mensch in Diesel	102	[l / Jahr]	
Mögliche Gesamtwegstrecke	2551	[km / Jahr]	
Möglicher Hinweg	1276	[km / Jahr]	

4.4. Zusammenfassung der Parameter für Berechnungsmodell

Aus den obigen Berechnungen ergeben sich die in Tabelle 34 aufgelisteten sechs Eingangsparameter für das GIS-Modell.

Tabelle 34: Eingangsparameter für das GIS-Modells

Kennzahl	Menge	Einheit
Notwendige Ackerfläche je EW	0,2	[ha / EW / a]
Notwendige Weidefläche je EW	1,8	[ha / EW / a]
Je IAK bewirtschaftbare Ackerfläche	1,6	[ha / IAK / a]
Je IAK bewirtschaftbare Weidefläche	3,0	[ha / IAK / a]
Maximaler täglicher Arbeitsweg IAK für Hin- und Rückweg	30	[km / d]
Maximale Transportreichweite eines jährlichen Ernteertrags	4.337	[km / a]

5. Ergebnisse

Der in Kapitel 3 besprochene Aufbau des GIS-Modells setzt sich zusammen aus der Verteilung der landwirtschaftlichen Arbeitskräfte auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen sowie aus der Verteilung der Ernteerträge auf die Einwohner. Bei beiden zellenübergreifenden Verteilungen wird derselbe Algorithmus angewandt.

5.1. Verteilung der landwirtschaftlichen Arbeitskräfte

In Abbildung 38 ist der Bedarf sowie der Überschuss an landwirtschaftlichen Arbeitskräften ohne zellenübergreifende Verteilung für Gesamtösterreich dargestellt. Für den Donauraum ergeben sich umfangreiche Flächen mit einem Bedarf an landwirtschaftlichen Arbeitskräften. Die Verteilungssituation nach 100 Durchläufen der Verteilungsroutine ist in Abbildung 39 dargestellt.

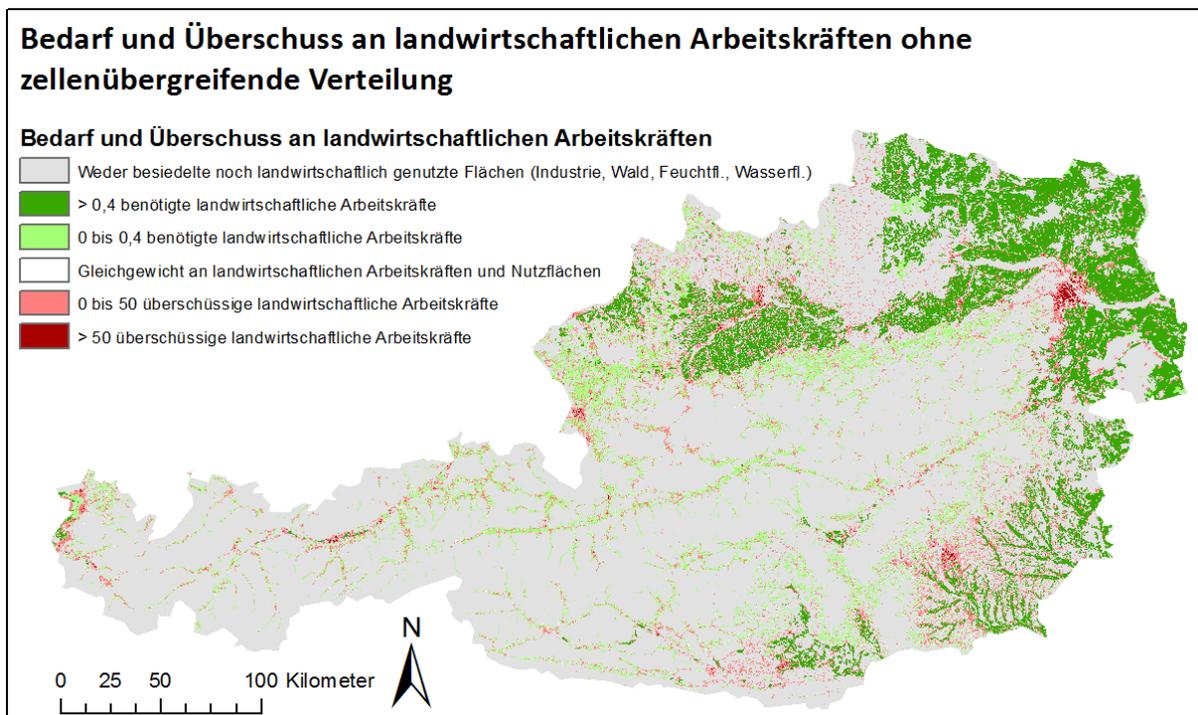


Abbildung 38: Bedarf (grün) und Überschuss (rot) an landwirtschaftlichen Arbeitskräften je Rasterzelle (abgeleitet aus der Bodenbedeckungsklasse sowie den Hauptwohnsitzen) ohne zellenübergreifende Verteilung

Bedarf und Überschuss an landwirtschaftlichen Arbeitskräften nach 100 Durchläufen der Verteilungsroutine

Bedarf und Überschuss an landwirtschaftlichen Arbeitskräften

-  Weder besiedelte noch landwirtschaftlich genutzte Flächen (Industrie, Wald, Feuchtl., Wasserfl.)
-  > 0,4 benötigte landwirtschaftliche Arbeitskräfte
-  0 bis 0,4 benötigte landwirtschaftliche Arbeitskräfte
-  Gleichgewicht an landwirtschaftlichen Arbeitskräften und Nutzflächen
-  0 bis 50 überschüssige landwirtschaftliche Arbeitskräfte
-  > 50 überschüssige landwirtschaftliche Arbeitskräfte

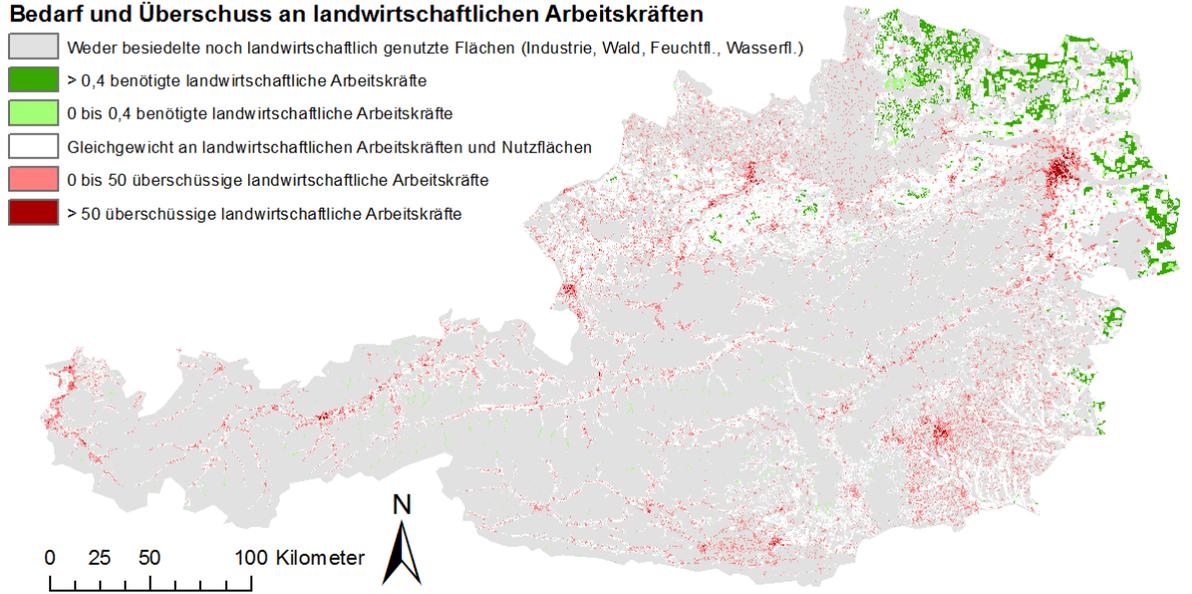


Abbildung 39: Bedarf (grün), Überschuss (rot) und Gleichgewicht (weiß) an landwirtschaftlichen Arbeitskräften je Rasterzelle (abgeleitet aus der Bodenbedeckungsklasse sowie den Hauptwohnsitzen) nach 100 Durchläufen der Verteilungsroutine

In Abbildung 40 ist der Bedarf und der Überschuss an landwirtschaftlichen Arbeitskräften nach 1300 Durchläufen der Verteilungsroutine dargestellt. Wie in Kapitel 4.3.2 (Arbeitswegkosten von landwirtschaftlichen Arbeitskräften) beschrieben, beträgt die maximale Pendeldistanz 30 Kilometer. Nach 1300 Durchläufen der Verteilungsroutine befinden sich keine landwirtschaftlichen Nutzflächen mehr in der Reichweite von landwirtschaftlichen Arbeitskräften. Daher bleiben einige landwirtschaftliche Flächen im Norden Niederösterreichs sowie im Nordosten des Burgenlands aus Mangel an verfügbaren landwirtschaftlichen Arbeitskräften unbewirtschaftet.

Bedarf und Überschuss an landwirtschaftlichen Arbeitskräften nach 1300 Durchläufen der Verteilungsroutine

Bedarf und Überschuss an landwirtschaftlichen Arbeitskräften

-  Weder besiedelte noch landwirtschaftlich genutzte Flächen (Industrie, Wald, Feuchtl., Wasserfl.)
-  > 0,4 benötigte landwirtschaftliche Arbeitskräfte
-  0 bis 0,4 benötigte landwirtschaftliche Arbeitskräfte
-  Gleichgewicht an landwirtschaftlichen Arbeitskräften und Nutzflächen
-  0 bis 50 überschüssige landwirtschaftliche Arbeitskräfte
-  > 50 überschüssige landwirtschaftliche Arbeitskräfte

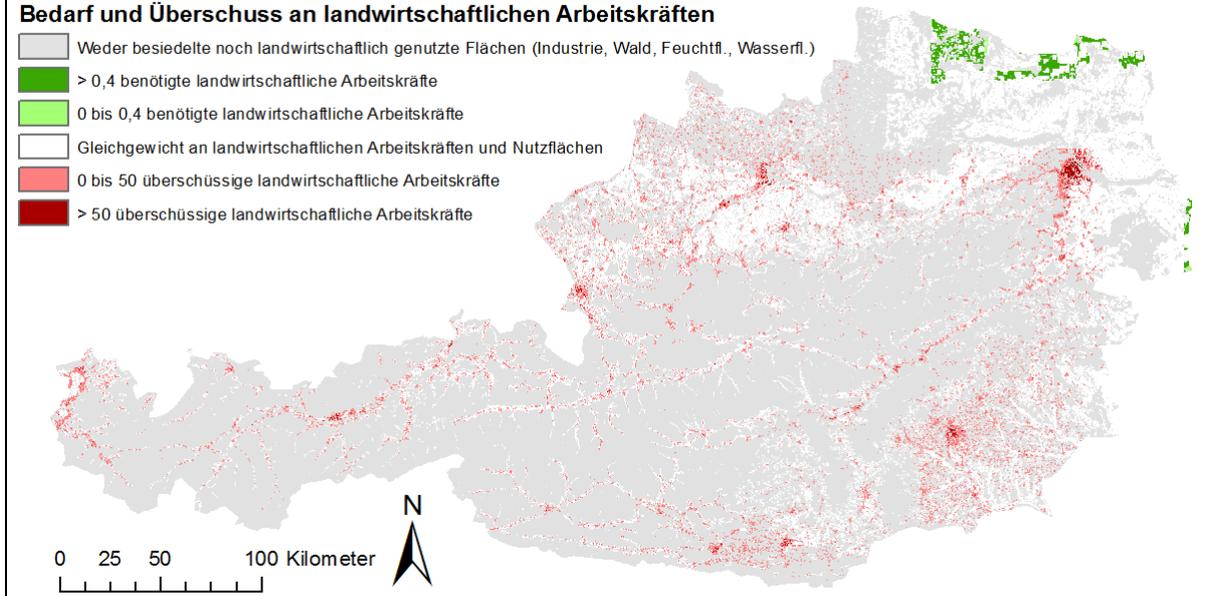


Abbildung 40: Bedarf (grün), Überschuss (rot) und Gleichgewicht (weiß) an landwirtschaftlichen Arbeitskräften je Rasterzelle (abgeleitet aus der Bodenbedeckungsklasse sowie den Hauptwohnsitzen) nach 1300 Durchläufen der Verteilungsroutine

5.2. Verteilung der Ernteerträge

In Abbildung 41 ist der Bedarf sowie der Überschuss an landwirtschaftlichen Ernteerträgen ohne zellenübergreifende Verteilung für Gesamtösterreich dargestellt. Für den Donauraum ergeben sich umfangreiche landwirtschaftliche Ernteerträge. Die Verteilungssituation nach 100 sowie nach 1000 Durchläufen der Verteilungsroutine ist in Abbildung 42 und Abbildung 43 dargestellt.

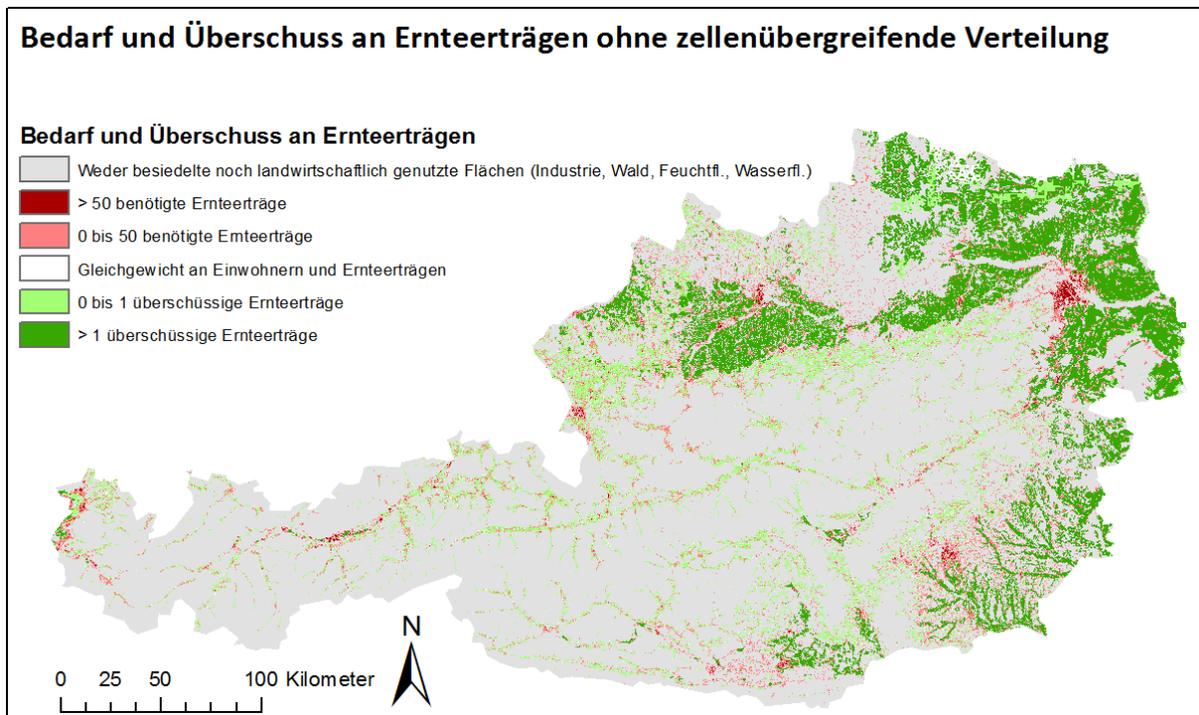


Abbildung 41: Bedarf (rot) und Überschuss (grün) an realisierten landwirtschaftlichen Erträgen je Rasterzelle ohne zellenübergreifende Verteilung

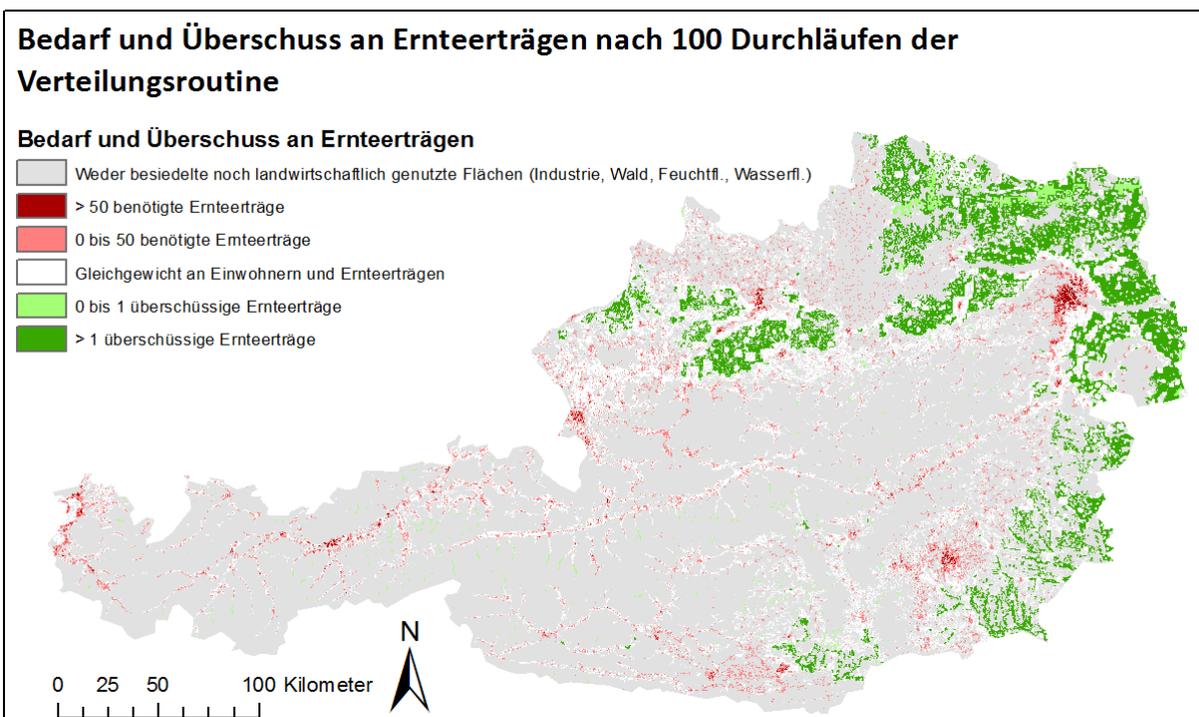


Abbildung 42: Bedarf (rot), Überschuss (grün) und Gleichgewicht (weiß) an realisierten landwirtschaftlichen Erträgen je Rasterzelle nach 100 Durchläufen der Verteilungsroutine

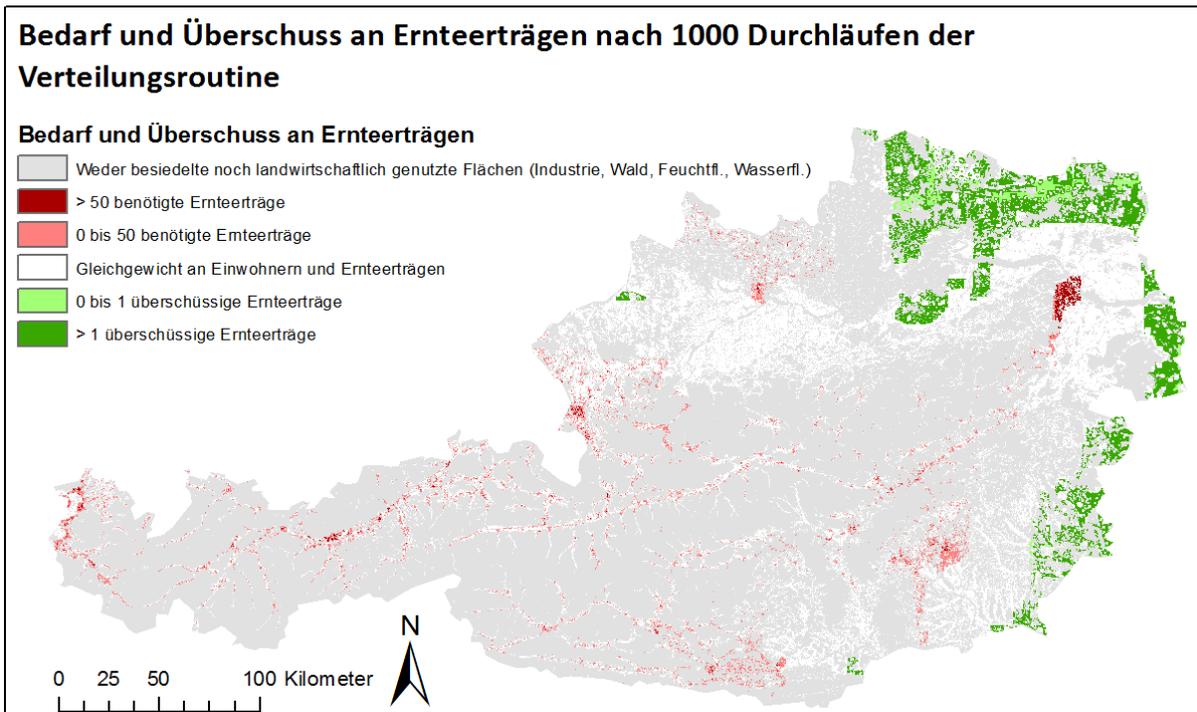


Abbildung 43: Bedarf (rot), Überschuss (grün) und Gleichgewicht (weiß) an realisierten landwirtschaftlichen Erträgen je Rasterzelle nach 1000 Durchläufen der Verteilungsroutine

In Abbildung 44 ist der Überschuss an Ernteerträgen nach 4600 Durchläufen der Verteilungsroutine dargestellt. Wie in Kapitel 4.3.2 (Arbeitswegkosten von landwirtschaftlichen Arbeitskräften) beschrieben, beträgt die maximale Pendeldistanz 4337 Kilometer. Nach 4600 Durchläufen der Verteilungsroutine sind alle Ernteerträge verbraucht worden und einige Siedlungsgebiete bleiben unterversorgt. Wie in der Abbildung sowie in Tabelle 35 zu sehen ist, entfallen die nicht versorgten Hauptwohnsitze besonders auf die westlichen Bundesländer, während das Burgenland zu 100 % sowie Niederösterreich und Wien fast zur Gänze versorgt sind. Für Gesamtösterreich ergeben sich rund 2,3 Mio. nicht versorgte Einwohner, was einem Anteil von rund 27 % aller österreichischen Einwohner entspricht.

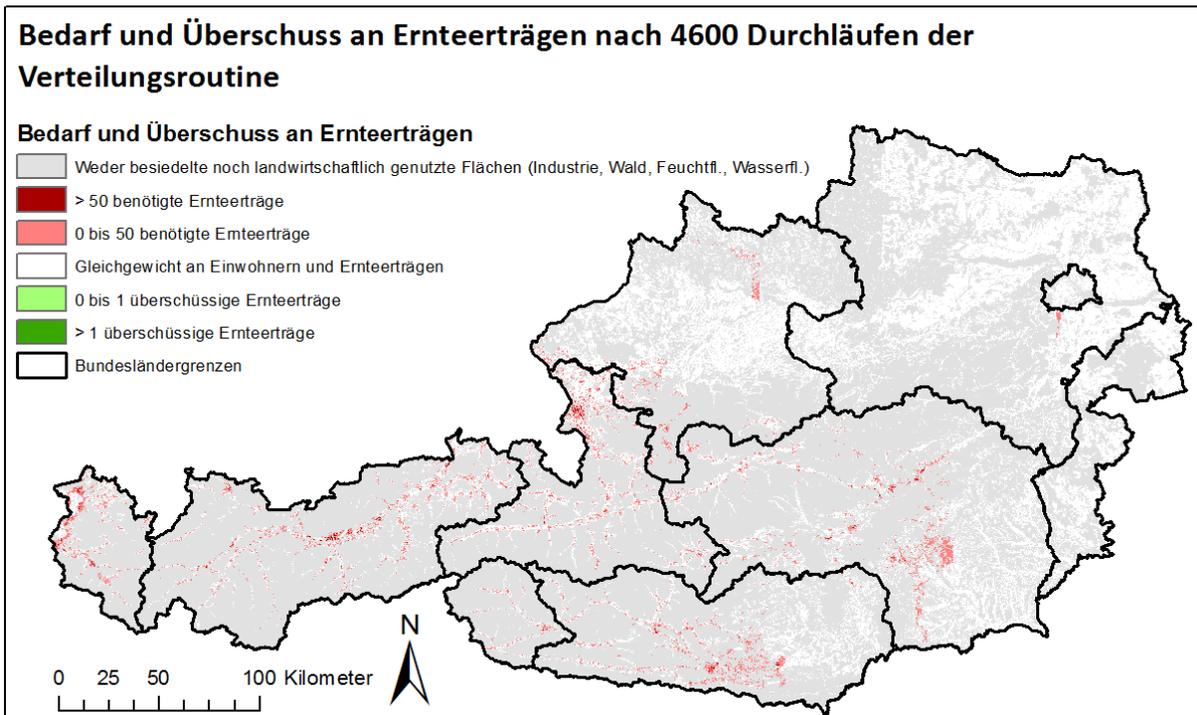


Abbildung 44: Bedarf (rot) und Gleichgewicht (weiß) an realisierten landwirtschaftlichen Erträgen je Rasterzelle nach 4600 Durchläufen der Verteilungsroutine

Tabelle 35: Nicht versorgte Hauptwohnsitze (berechnet auf Basis der Hauptwohnsitze 2014 (Statistik Austria))

Bundesland	Hauptwohnsitze (2014)	Nicht versorgte Hauptwohnsitze	Anteil nicht versorgter Hauptwohnsitze
Burgenland	287.409	-	0%
Kärnten	555.905	292.065	53%
Niederösterreich	1.625.506	35.822	2%
Oberösterreich	1.425.414	115.750	8%
Salzburg	534.123	471.535	88%
Steiermark	1.215.171	393.899	32%
Tirol	722.026	656.317	91%
Vorarlberg	375.255	332.527	89%
Wien	1.766.586	1.582	0%
Summe	8.507.395	2.299.497	27%

5.3. Ergebnisdiskussion

Wie im vorherigen Unterkapitel bereits angesprochen, können laut dem gewählten Berechnungsweg nicht alle Hauptwohnsitze in Österreich mit den notwendigen Ernteerträgen versorgt werden. Somit muss die in Kapitel 1.2 (Fragestellung und Methodik) formulierte Fragestellung, ob eine „flächendeckende Nahrungsmittelversorgung in Österreich bei stark reduziertem Energieeinsatz in Land- und Transportwirtschaft gegeben“ sei, verneint werden.

Die nicht versorgten Hauptwohnsitze verteilen sich ungleich über Österreich und konzentrieren sich größtenteils auf den Alpenraum. Die ackerreichen Bundesländer Burgenland, Niederösterreich und Oberösterreich weisen hingegen eine relativ gute Versorgungslage auf. Auch Städte wie Wien, St. Pölten, Wels, Wiener Neustadt oder Steyr könnten laut Berechnungsmodell vollständig mit Ernteerträgen versorgt werden.

Dies ist zum geringeren Teil auf die laut Berechnungsmodell nicht vollständige Nutzung der österreichischen Ackerflächen zurückzuführen (siehe Unterkapitel 5.1) und zum größeren Teil auf die Transportkosten bei der räumlichen Verteilung der Ernte.

Wenn unter kompletter Ignorierung der Transportkosten, die landwirtschaftlichen Flächen Österreichs überschlagsmäßig mit den in Kapitel 4 (Parameterermittlung) ermittelten Werten zur notwendigen landwirtschaftlichen Fläche je Einwohner (siehe Tabelle 34) multipliziert werden, dann ergibt sich ein ernährbarer Anteil an der Gesamtbevölkerung von rund 96 % (siehe Tabelle 36). Somit wären lediglich 4 % aller Einwohner nicht versorgt, wohingegen sich laut Berechnungsmodell unter Berücksichtigung der Transportkosten ein Anteil an nicht versorgten Einwohnern von 27 % ergibt.

Tabelle 36 (STATISTIK AUSTRIA 2016a; Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2010): Anteil der ernährbaren Einwohner in Österreich bei Vernachlässigung aller Transportkosten

Kennzahl	Menge	Einheit	Quelle
Einwohner in Österreich (2014)	8.543.932	[EW]	Statistik Austria
Ackerland	1.389.000	[ha]	Grüner Bericht 2010
Dauergrünland	1.731.000	[ha]	Grüner Bericht 2010
Durch Ackerbau ernährbare Einwohner	7.260.923	[EW / a]	Eigene Abschätzung
Durch Weidewirtschaft ernährbare Einwohner	938.302	[EW / a]	Eigene Abschätzung
Summe der ernährbaren Einwohner	8.199.225	[EW / a]	Eigene Abschätzung
Anteil der ernährbaren Einwohner	96%	[%]	Eigene Abschätzung

Weiters kann der hohe Anteil an nicht versorgten Einwohnern im Alpenraum zumindest teilweise mit der historischen Bevölkerungsentwicklung erklärt werden. So stieg zum Beispiel die Bevölkerung des Bundeslandes Tirol vom Jahr 1869 bis zum Jahr 2016, auf das 3-fache während im gleichen Zeitraum die Bevölkerung im Bundesland Burgenland nur auf das 1,1-fache wuchs (siehe Abbildung 45 und Abbildung 46).

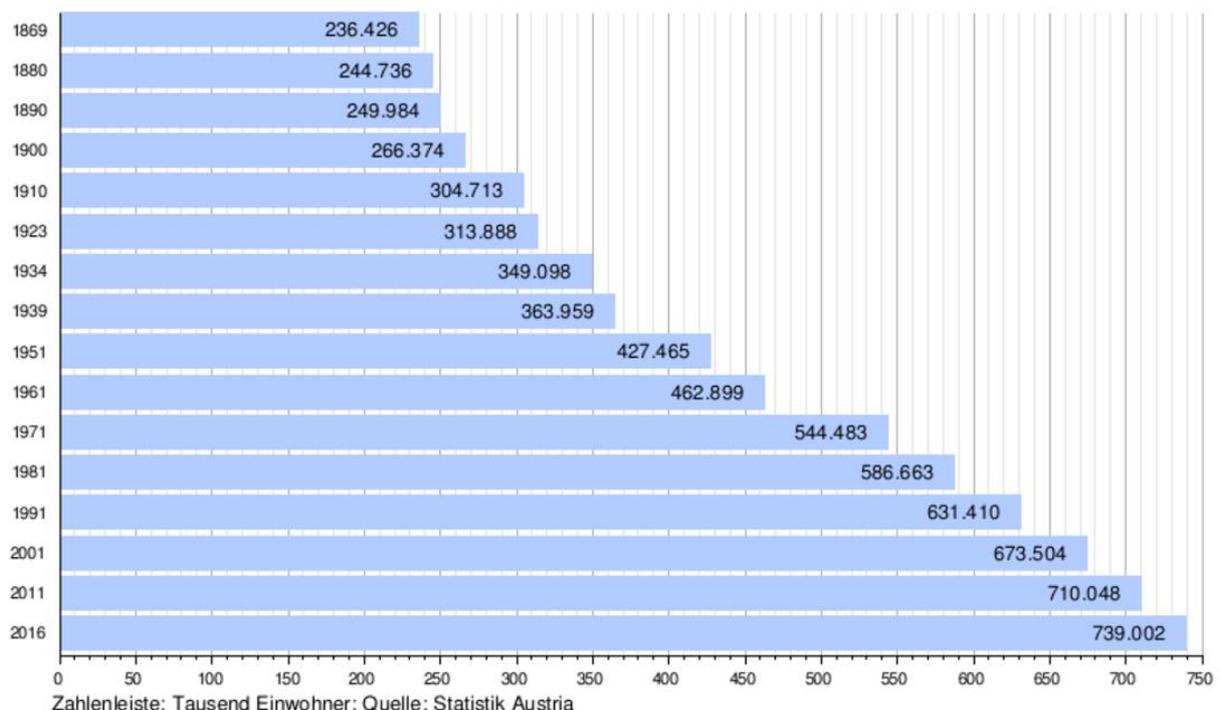


Abbildung 45 (Darstellung: Wikipedia; Daten: Statistik Austria): Einwohner im Bundesland Tirol von 1869 bis 2016

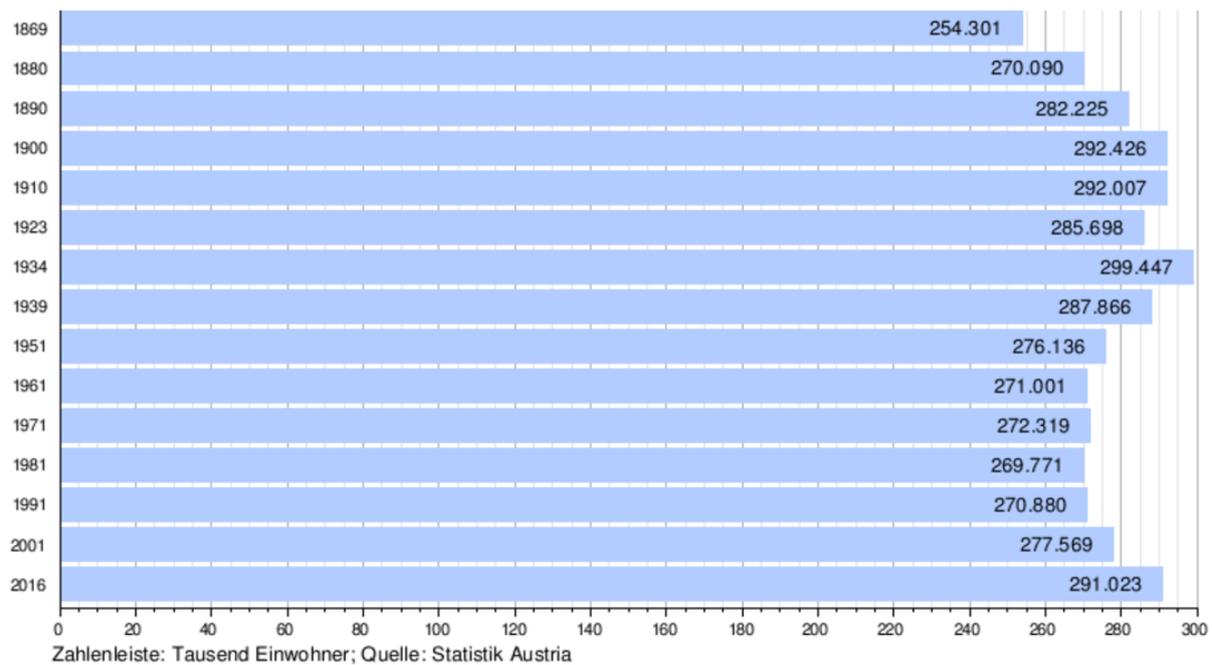


Abbildung 46 (Darstellung: Wikipedia; Daten: Statistik Austria): Einwohner im Bundesland Burgenland von 1869 bis 2016

6. Mögliche Weiterentwicklungen

Für den in Kapitel 3 gezeigten Aufbau des GIS-Modells sowie die in Kapitel 4 gezeigte Parameterermittlung ergeben sich einige Verbesserungsmöglichkeiten. Im Folgenden sollen mögliche Weiterentwicklungen andiskutiert werden.

6.1. Mögliche Modellerweiterungen bei der Ermittlung der notwendigen und realisierbaren Ernteerträge

6.1.1. Fruchtfolge, Nährstoffgehalt und Lagerungsfähigkeit

Wie in Kapitel 3.3 (Notwendige und realisierbare Ernteerträge) beschrieben, wurde der Ernteertrag vereinfacht nur als abstrakte Größe zur Ernährung von Menschen verstanden, nicht jedoch als konkrete Mischung von Feldfrüchten oder als eine Größe mit konkretem Jahreszeitenbezug. Daher würde sowohl eine Präzisierung des Erntebedarfs in Form von spezifischen Feldfrüchten oder eine Präzisierung in zeitlicher Dimension eine wesentliche Verbesserung darstellen.

So könnten etwa die für einen durchschnittlichen Acker ausgewählten Feldfrüchte auf deren Fruchtfolge sowie auf deren Nährstoffgehalt hin optimiert werden, was vermutlich für gesamt Österreich zu einer Reduktion des kalorischen Nährwerts führen würde. Ebenso müssten die Feldfrüchte auf deren Lagerungsfähigkeit hin optimiert werden, sodass eine ganzjährige kalorische sowie nährstoffreiche Ernährung der Bevölkerung gewährleistet ist. Hierfür müssten Annahmen getroffen werden, wie sich im untersuchten Grundszenario der Energie- und Ölnapheit die Logistik- und Kühlwirtschaft entwickeln würde.

6.1.2. Bodenqualität

Die in Kapitel 3.3 (Notwendige und realisierbare Ernteerträge) getroffene Vereinfachung, dass zu jenem Ernteertrag, der notwendig ist um einen Menschen ein Jahr lang zu ernähren, eine durchschnittliche Flächengröße geschätzt wird, birgt das Problem in sich, dass die lokalen Standorteigenschaften wie die Bodenqualität, die Topographie oder das lokale Klima außer Acht gelassen werden. Somit werden mit hoher Wahrscheinlichkeit die möglichen Ernteerträge in großen Teilen Österreichs entweder über- oder unterschätzt und somit die Qualität der Ergebnisse des Gesamtmodells negativ beeinflusst.

Um die realen Bodenqualitäten in die Berechnungen einfließen lassen zu können, eignet sich die (digitale) Bodenkarte der Österreichischen Bodenkartierung, welche die Bodenverhältnisse der landwirtschaftlichen Nutzfläche Österreichs beinhaltet. Die Bodenkarte bildet unter anderem die Kartierungseinheit der Bodenform ab, welche Flächen mit ähnlichen Boden- und Standorteigenschaften, wie z.B. Hangneigung, Bodenart, Humus- oder Karbonatgehalt, zusammenfasst (BFW 2013).

6.1.3. Anzahl der landwirtschaftlichen Arbeitskräfte

Die Anzahl der landwirtschaftlichen Arbeitskräfte (IAk) je Rasterzelle wird wie in Kapitel 4.2.1 (Verfügbare landwirtschaftliche Arbeitskräfte) beschrieben, aus der Anzahl der Hauptwohnsitze je Rasterzelle und dem Anteil der 15- bis 64-Jährigen an der österreichischen Bevölkerung abgeleitet. Durch diese Vereinfachung ergibt sich eine unscharfe Abbildung der verfügbaren IAk. Die Anzahl der 15- bis 64-Jährigen je Rasterzelle kann direkt von der Statistik Austria übernommen werden (STATISTIK AUSTRIA 2016b).

Die im bestehenden Modell verwendete Gesamtanzahl der 15- bis 64-Jährigen als landwirtschaftliche Arbeitskräfte führt sehr wahrscheinlich zu einer Überschätzung der verfügbaren IAK. Selbst in einer reinen Agrargesellschaft bräuchte es ein Mindestmaß an (Vollzeit-)Handwerkern. Weiters wurde der Ressourcenbedarf für Gebäudeheizungen ignoriert, welche zumindest für den Transport von Brennstoffen Arbeitskräfte binden würde. Daher würde eine Abschätzung zumindest dieser beiden Bereiche eine sinnvolle Reduktion der verfügbaren IAK ergeben. Ähnlich wie bei der Abschätzung der notwendigen landwirtschaftlichen Arbeitskräfte (siehe Tabelle 17) können historische Daten aus dem 9. Band der Reihe „Die Habsburgermonarchie 1848-1918“ verwendet werden.

6.1.4. Bewirtschaftbare Fläche je landwirtschaftlicher Arbeitskraft

In Kapitel 4.2.2 (Bewirtschaftbare Fläche je landwirtschaftlicher Arbeitskraft) wurde abgeschätzt, welche Acker- oder Weidefläche von einer landwirtschaftlichen Arbeitskraft bewirtschaftet werden kann. Diese Schätzung wurde unter Heranziehung der Anzahl der Beschäftigten des primären Sektors der österreichischen Kronländer des Jahres 1910 sowie der Ackerflächen der österreichischen Kronländer des Jahres 1897 gebildet. Eine Summe der Weideflächen für die österreichischen Kronländer aus diesem Zeitraum wurde nicht gefunden. Daher wurde diese mittels aktueller Daten abgeschätzt und diese Unschärfe bei der weiteren Verarbeitung in Kauf genommen. (Der im Berechnungsmodell verwendete Wert für die Weideflächen befindet sich in Tabelle 19.)

Eine Möglichkeit zur genaueren Verhältnisbestimmung stellt der historische Grundsteuerkataster dar. Dieser, auch Franziszeischer Kataster genannt, entstand ab dem Jahr 1817 und enthält für Österreich flächendeckende Daten zur Bodennutzung (Twaroch u. a. 2016). In Abbildung 47 ist die Legende zu den Kartenblättern des Franziszeischen Katasters aus dem Jahr 1824 abgebildet. In der zweiten Zeile links findet sich der Eintrag zur Weide sowie zu Gemeindeweiden. In Abbildung 48 ist ein Teil der Ortschaft Bílany (Bielan) im heutigen Tschechien abgebildet. Im südwestlichen Teil der Karte befindet sich Weidegebiet.

6.2.Mögliche Modellverbesserungen bei der Ermittlung der Arbeitsweg- und Transportkosten

6.2.1. Richtungsausgabe der Funktion Kostenentfernung (Cost Distance)

Die Funktion Kostenentfernung (Cost Distance) wurde im Kapitel 3.5 (Arbeitsweg- und Transportkosten) als Mittel zur Wegkostenermittlung und somit als wichtiger Bestandteil des Verteilungsalgorithmus beschrieben. Im Algorithmus wurde jedoch nicht der Ausgabematrix „Kostenrückverknüpfung“ der Funktion Kostenentfernung genutzt. Dieser „Definiert die nächste Nachbarzelle auf dem kleinsten akkumulativen Kostenpfad zur nächstgelegenen Quelle“ (ESRI 2017c). Wobei eine Richtungskodierung durch die Werte 1 bis 8 erfolgt (siehe Abbildung 49).

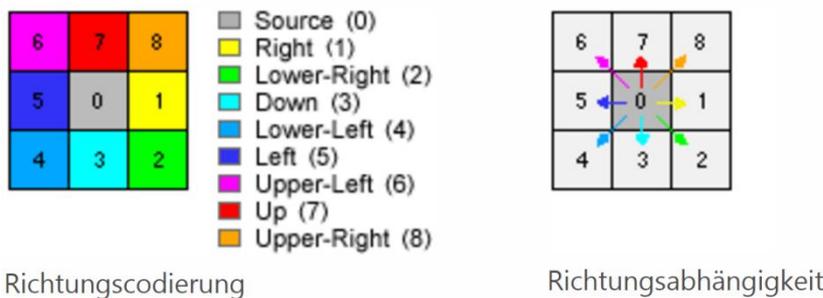


Abbildung 49 (ESRI 2017b): Richtungskodierung der Funktion Kostenrückverknüpfung

Dieser Raster kann bei der Aggregation und der Disaggregation des Verteilungsalgorithmus verwendet werden. Bei der Aggregation kann dieser bei der Bildung des gewichteten Durchschnittswerts genutzt werden, um (zumindest an den Rändern des Betrachtungsblocks) Zellen mit einem Ressourcenziel außerhalb des Betrachtungsblocks von der Berechnung auszuschließen. Bei der Disaggregation können die Informationen des Rasters dazu verwendet werden, um gezielter Zellen „auszugleichen“ und nicht so wie im entwickelten Algorithmus allen Zellen im Betrachtungsblock den gleichen „Restwert“ zuzuweisen.

6.2.2. Verkehrsinfrastruktur und -graph

Wie in Kapitel 3.5 (Arbeitsweg- und Transportkosten) beschrieben, wurde der Raumwiderstand je Rasterzelle direkt aus den CORINE Land Cover Bodenbedeckungsklassen gebildet. Abseits der Bodenbedeckungsklassen floss keine weitere Information zur Verkehrsinfrastruktur Österreichs ein. Somit wurden bei der Wegfindung große Teile der Verkehrsinfrastruktur Österreichs nicht berücksichtigt. Weiters wurde auf die Verwendung von Graphen verzichtet, da für kleinräumige Verteilungen die rasterbasierte Verarbeitung als vorteilhafter eingeschätzt wurde. Bei weiträumigeren Güter- und Personenverkehren ist jedoch eine graphenbasierte Wegfindung und Verkehrsverteilung geeigneter. Als Basis zur Implementierung kann auf die umfangreichen Daten der Graphenintegrations-Plattform (GIP) zugegriffen werden, welche die österreichische Verkehrsinfrastruktur in hoher Datenqualität abbildet.

6.2.3. Verarbeitung der Rasterzellen als zweidimensionales Feld

Der in Kapitel 3.6 beschriebene Verteilungsalgorithmus nimmt durch Aggregation und Disaggregation eine Verteilung in einem bestimmten Betrachtungsblock vor. Die Arbeitsweg- und Transportkosten entsprechen dabei immer dem Durchschnitt des Betrachtungsblocks und nicht den Wegkosten einer konkreten Relation. Diese Modellunschärfe kann durch eine Abänderung des Verteilungsalgorithmus reduziert werden. Eine Verteilung zwischen Defizit- und Überschusszellen nicht mittels Betrachtungsblöcken sondern per direkter Zelladressierung würde eine Berechnung der konkreten

Wegkosten ermöglichen. Dazu notwendig wäre eine Verarbeitung der entsprechenden Rasterdaten als zweidimensionales Feld (Array). Besonders vorteilhaft wäre dieser Verarbeitungszugang bei einem verbesserten Raumwiderstandsraster (z.B. mittels GIP-Daten).

6.3.Österreichische Staatsgrenze

Da nur Daten für den Raum innerhalb der österreichischen Staatsgrenzen verwendet werden, ergibt sich eine generelle Ergebnisunschärfe, speziell in der unmittelbaren Nähe der Staatsgrenzen. Eine Ausweitung der Eingangsdaten würde die Ergebnisqualität deutlich erhöhen. So könnte sich aufgrund der „hohen“ Transportreichweite der Ernteerträge die Versorgungssituation im alpinen Raum Österreichs verbessern. Die Bodenbedeckungsklassen liegen in Form CORINE Land Cover Daten für (fast) die gesamte Europäische Union vor (siehe Abbildung 50).

Die Hauptwohnsitze bzw. die Einwohner müssen zur räumlichen Modellerweiterung für den Raum der Europäischen Union je nach Datenverfügbarkeit eventuell auf eine Auflösung von 100 Metern umgerechnet werden. Mit der GEOSTAT-Initiative, welche von Eurostat und den nationalen statistischen Ämtern ins Leben gerufen wurde, um *„die nationalen statistischen Ämter in erster Linie dabei zu unterstützen, ihre Daten, Methoden und Erstellungssysteme so auszurichten, dass die Volkszählung im Jahr 2021 in vollem Umfang geokodiert erfolgen kann. Alle Ergebnisse der Volkszählung sollen auf der Verdichtung geokodierter punktbasierter Daten beruhen, so dass sie flexibel zur Erstellung von Statistiken für sämtliche Arten der Klassifikation von Gebietseinheiten, einschließlich Rasterstatistiken, genutzt werden können.“*

GEOSTAT 1 wurde 2010 von Eurostat und dem Europäische Forum für Geografie und Statistik (EFGS) *„ins Leben gerufen, um die Volkszählungsdaten von 2011 in einem EU-weiten rasterbezogenen Bevölkerungsdatensatz darstellen zu können. Mehrere auf dem Gebiet der Rasterstatistiken führende nationale statistische Ämter haben angeregt, sich die Tatsache zunutze zu machen, dass die meisten Daten aus der Volkszählung 2011 bereits geokodiert waren. Auf der Grundlage dieser Daten wurde unter Nutzung verschiedener Erstellungsmethoden, z. B. Aufschlüsselung, ein [...] Bevölkerungsraster erstellt, ohne dass neue Mikrodaten hätten erhoben werden müssen.“* (Statistisches Amt der Europäischen Union 2017)

„Das Folgeprojekt GEOSTAT 2 hat die Festlegung eines standardisierten punktbasierten räumlichen Bezugsrahmens für Statistiken zum Ziel. Der Rahmen soll auf geokodierten Melde-, Gebäude- und Wohnungsregistern aufbauen und würde die Geokodierung zahlreicher für amtliche Statistiken verwendeter Datenquellen – so auch von Stichprobenrahmen – ermöglichen. Das Projekt ist 2014 an den Start gegangen und läuft noch bis zum Frühjahr 2016.“ (Statistisches Amt der Europäischen Union 2017)

Aktuell sind GEOSTAT 1km x 1km Bevölkerungsraster für die Jahre 2006 und 2011 verfügbar. (Statistisches Amt der Europäischen Union 2016)

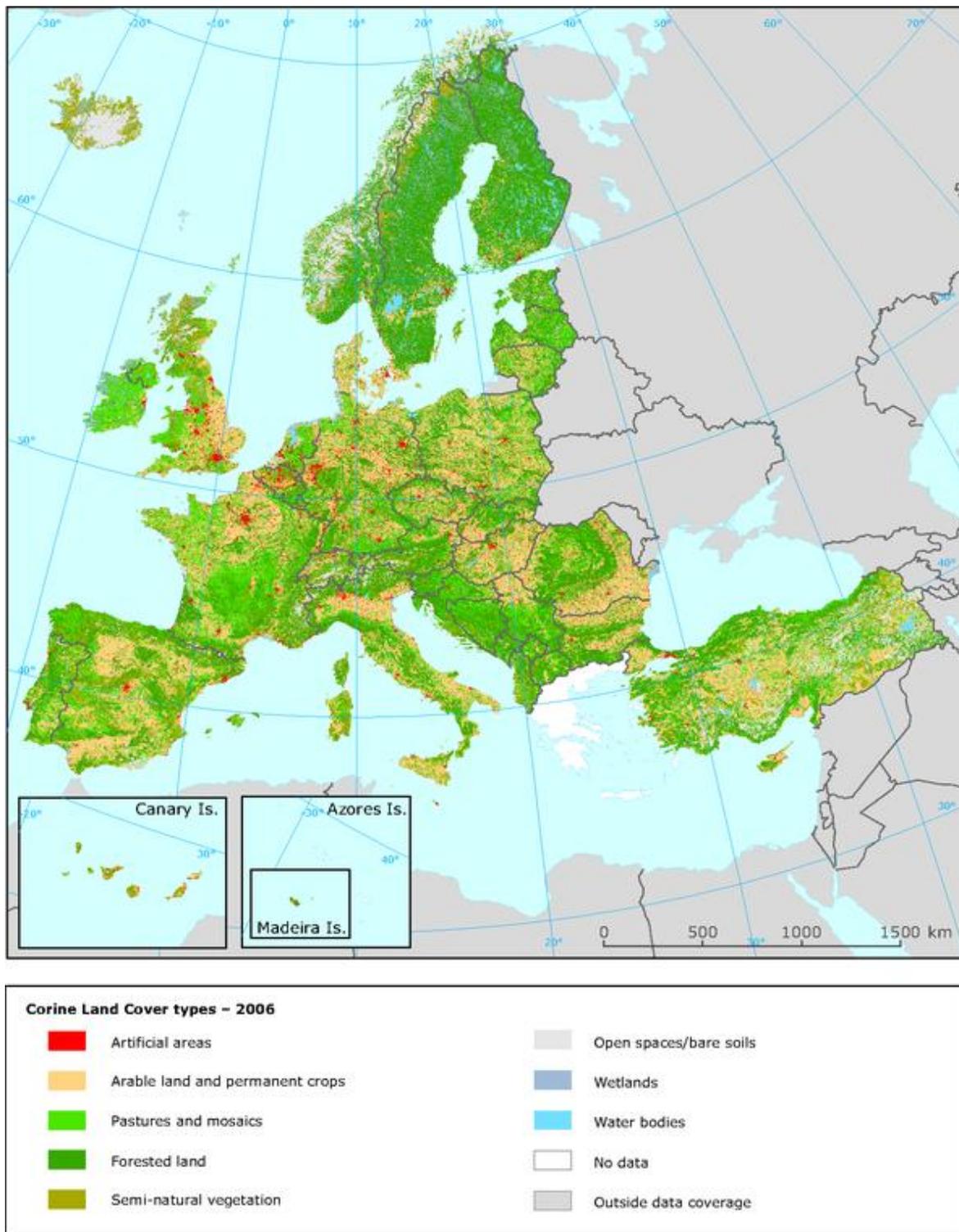


Abbildung 50 (Europäische Umweltagentur 2013): CORINE Land Cover Bodenbedeckungsklassen in Europa für das Jahr 2006

6.4. Bevölkerungsverlagerungen

Das bestehende Modell lässt Bevölkerungsverlagerungen unberücksichtigt. Bei lokalen Versorgungsengpässen und gleichzeitigem Mangel an Arbeitskräften in anderen Regionen erscheint es als sehr wahrscheinlich, dass Teile der Bevölkerung ihren Wohnsitz dauerhaft oder zumindest saisonal verlagern. Die aktuellen Modellergebnisse können als Grundlage für ein Bevölkerungsverlagerungsmodell verwendet werden.

6.5. Agentenbasierte Modellierung

Einen gänzlich anderen Modellaufbau würde eine agentenbasierte Modellierung darstellen. *„Im Entwurfsprozess eines agentenbasierten Modells identifiziert der Modellentwickler die aktiven Entitäten, also die Agenten (das können Personen, Unternehmen, Projekte, Vermögen, Fahrzeuge, Städte, Tiere, Schiffe, Produkte, etc. sein), spezifiziert ihr Verhalten (Hauptantreiber, Reaktionen, Gedächtnis, Zustände, ...), bringt sie in eine definierte Umgebung, richtet unter Umständen Kommunikationsverbindungen ein und führt schließlich Simulationsläufe durch. Das globale Systemverhalten prägt sich dann als Resultat der Interaktion vieler verschiedener individueller Verhaltensmuster aus.“* (The AnyLogic Company 2017)

Alle Menschen in Österreich könnten als Agenten modelliert werden. So wäre etwa eine Inkludierung möglicher Bevölkerungsverschiebungen möglich. Die Agenten würden nach Siedlungen mit Ernteüberschuss suchen. Sinnvoll erscheint es, die Siedlungswahl auch an andere Entscheidungsgrundlagen, wie zum Beispiel Mindestanforderungen an die soziale und technische Infrastruktur, zu knüpfen. Somit würde jedoch für das gewählte Rahmenszenario ein agentenbasierter Modellaufbau zu einem hohen Parametrisierungsaufwand führen. Die Einführung von Modell-Parametern würde teilweise den Einbau weiterer Parameter bedingen.

Weiters besteht ein wichtiger *„Nachteil jeder individuenbasierten Simulation [...] darin, daß sie deutlich mehr Hardware-Ressourcen erfordert, als eine abstrakte Nachbildung des System auf Makroebene. Es werden hohe Anforderungen an die Rechen- und Speicherkapazität der verwendeten Rechner gestellt: Jedes Individuum muß eine Entsprechung im Rechner besitzen und separat aktualisiert werden. Der Speicherbedarf und Rechenaufwand kann sogar die eigentlich notwendige Komplexität des Individuums bzw. eine Mindestanzahl von einzelnen Einheiten in Frage stellen.“* (Klügl 2000)

7. Zusammenfassung

In der Diplomarbeit wurde aufbauend auf dem von Dale Pfeiffer, Julia Wright und anderen Autoren geschildertem Szenario einer zukünftigen Erdöl-, Energie- und Nahrungsknappheit, ein GIS-Berechnungsmodell entwickelt. Anhand des Berechnungsmodells wurde der Frage nachgegangen, ob eine flächendeckende Nahrungsmittelversorgung in Österreich bei stark reduziertem Energieeinsatz in Land- und Transportwirtschaft gegeben ist.

Das entwickelte Berechnungsmodell umfasst die Modellierung der notwendigen Ernteerträge, der realisierbaren Ernteerträge sowie der jeweiligen Transportnotwendigkeiten und deren Ressourcenverbrauch. Da als Datengrundlage der CORINE Land Cover Datensatz sowie Rasterdaten der Statistik Austria zu den Hauptwohnsitzen in Österreich gewählt wurden, sind alle Berechnungen auf Österreich beschränkt.

Den „Startpunkt“ des Modells stellen die zur Ernährung der Bevölkerung notwendigen Ernteerträge dar. Diese werden direkt aus den Rasterdaten der Statistik Austria für alle 100x100m Rasterzellen Österreichs abgeleitet. Den notwendigen Ernteerträgen werden die tatsächlich realisierbaren Ernteerträge gegenübergestellt, welche aus den landwirtschaftlichen Flächen abgeleitet werden.

Zur Feststellung, ob ausreichend landwirtschaftliche Arbeitskräfte (IAK) zur Bewirtschaftung des Bodens in jeder Zelle vorhanden sind, können jeweils der Bedarf an IAK sowie die verfügbaren IAK aus den vorhandenen Daten geschätzt werden und danach der Überschuss bzw. das Defizit an IAK ermittelt werden. Zwischen den Überschuss- sowie den Defizit-Rasterzellen ist eine Verteilung notwendig. Diese Verteilungsnotwendigkeit ergibt sich ebenso bei der räumlichen Verteilung der Ernteerträge auf die Bevölkerung. Die bei der Verteilung auftretenden Wegkosten werden mittels der Funktion Kostenentfernung (Cost Distance) berechnet. Die Verteilungsergebnisse selbst werden durch ein iteratives Aggregieren und Disaggregieren der Zellen geschätzt. (Eine vereinfachte Darstellung des Gesamtmodells befindet sich in Abbildung 34 auf Seite 35).

Als Berechnungsgrundlage war die Ermittlung einiger Parameter notwendig. So wurden aus teilweise historischen Daten die zur Ernährung eines Menschen notwendige landwirtschaftliche Fläche, die von einer Person bewirtschaftbare Fläche sowie der Ressourcenverlust bei Erntetransporten sowie Arbeitswegen abgeschätzt.

Als Resultat des entwickelten Berechnungsmodells ergibt sich, dass nicht alle Hauptwohnsitze in Österreich mit den notwendigen Ernteerträgen versorgt werden können. Somit muss die in Kapitel 1.2 (Fragestellung und Methodik) formulierte Fragestellung, ob eine „flächendeckende Nahrungsmittelversorgung in Österreich bei stark reduziertem Energieeinsatz in Land- und Transportwirtschaft gegeben“ sei, verneint werden. Laut Berechnungsmodell ergibt sich ein Anteil an nicht versorgten Einwohnern von 27 %. Dies ist zum geringeren Teil auf die laut Berechnungsmodell nicht vollständige Nutzung der österreichischen Ackerflächen zurückzuführen (siehe Unterkapitel 5.1) und zum größeren Teil auf die Transportkosten bei der räumlichen Verteilung der Ernte.

Die nicht versorgten Hauptwohnsitze verteilen sich ungleich über Österreich und konzentrieren sich größtenteils auf den Alpenraum. Die ackerreichen Bundesländer Burgenland, Niederösterreich und Oberösterreich weisen hingegen eine relativ gute Versorgungslage auf. Auch Städte wie Wien, St. Pölten, Wels, Wiener Neustadt oder Steyr könnten laut Berechnungsmodell vollständig mit Ernteerträgen versorgt werden. In Abbildung 44 auf Seite 59 ist das Ergebnis der Berechnung für Gesamtösterreich dargestellt.

Für den gewählten Aufbau des Berechnungsmodells und die gewählten Wege zur Ermittlung der Eingangparameter ergeben sich einige Verbesserungsmöglichkeiten, die im Zuge dieser Diplomarbeit nicht mehr umgesetzt wurden. So könnten die Ertragsqualität der Böden aufbauend auf der (digitalen) Bodenkarte der Österreichischen Bodenkartierung mitberücksichtigt werden oder ein Verkehrsgraph zur genauere Transportkostenermittlung eingefügt werden.

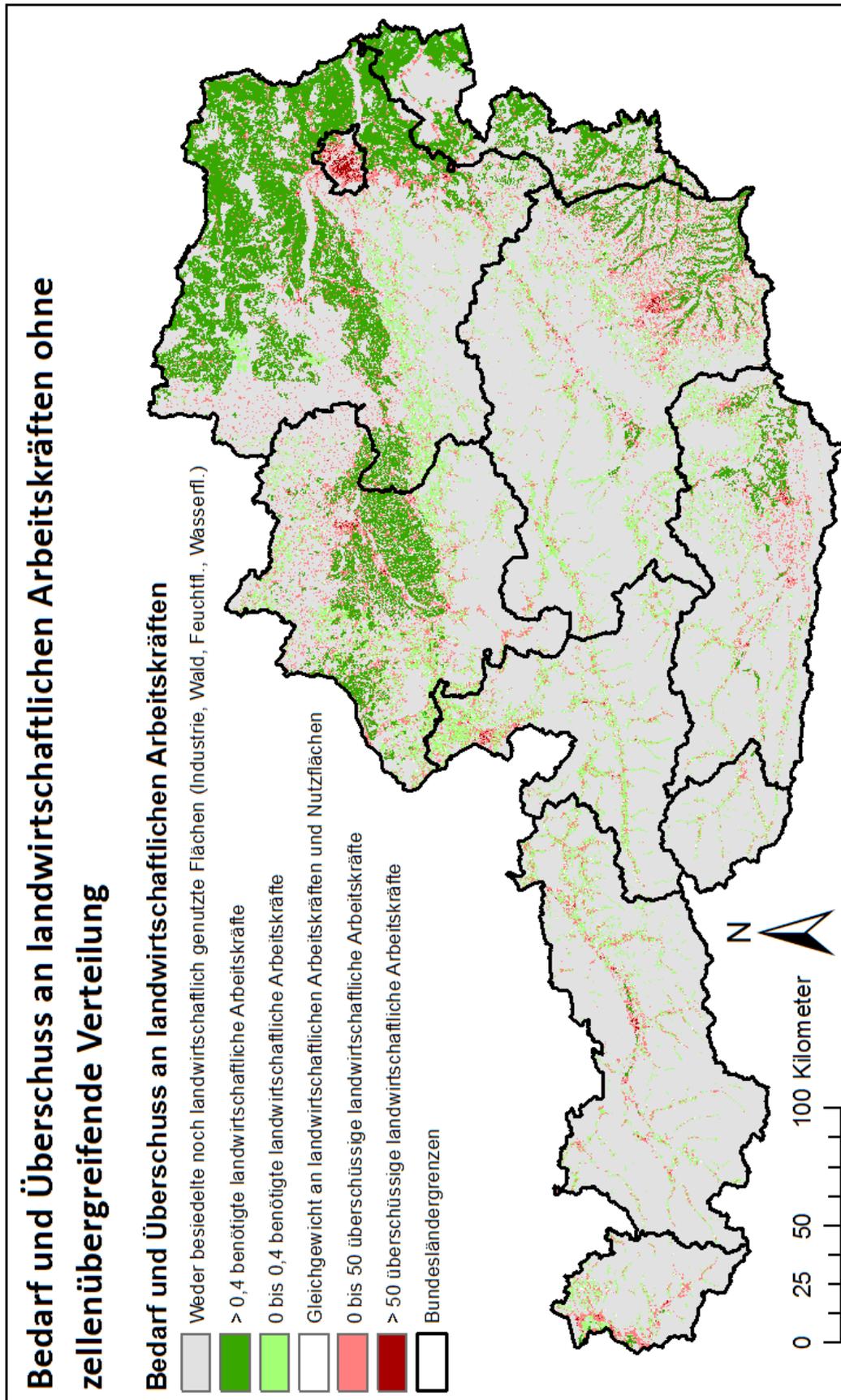


Abbildung 51: Bedarf (grün) und Überschuss (rot) an landwirtschaftlichen Arbeitskräften je Rasterzelle (abgeleitet aus der Bodenbedeckungskategorie sowie den Hauptwohnsitzen) ohne zellenübergreifende Verteilung

Bedarf und Überschuss an landwirtschaftlichen Arbeitskräften nach 100 Durchläufen der Verteilungsroutine

Bedarf und Überschuss an landwirtschaftlichen Arbeitskräften

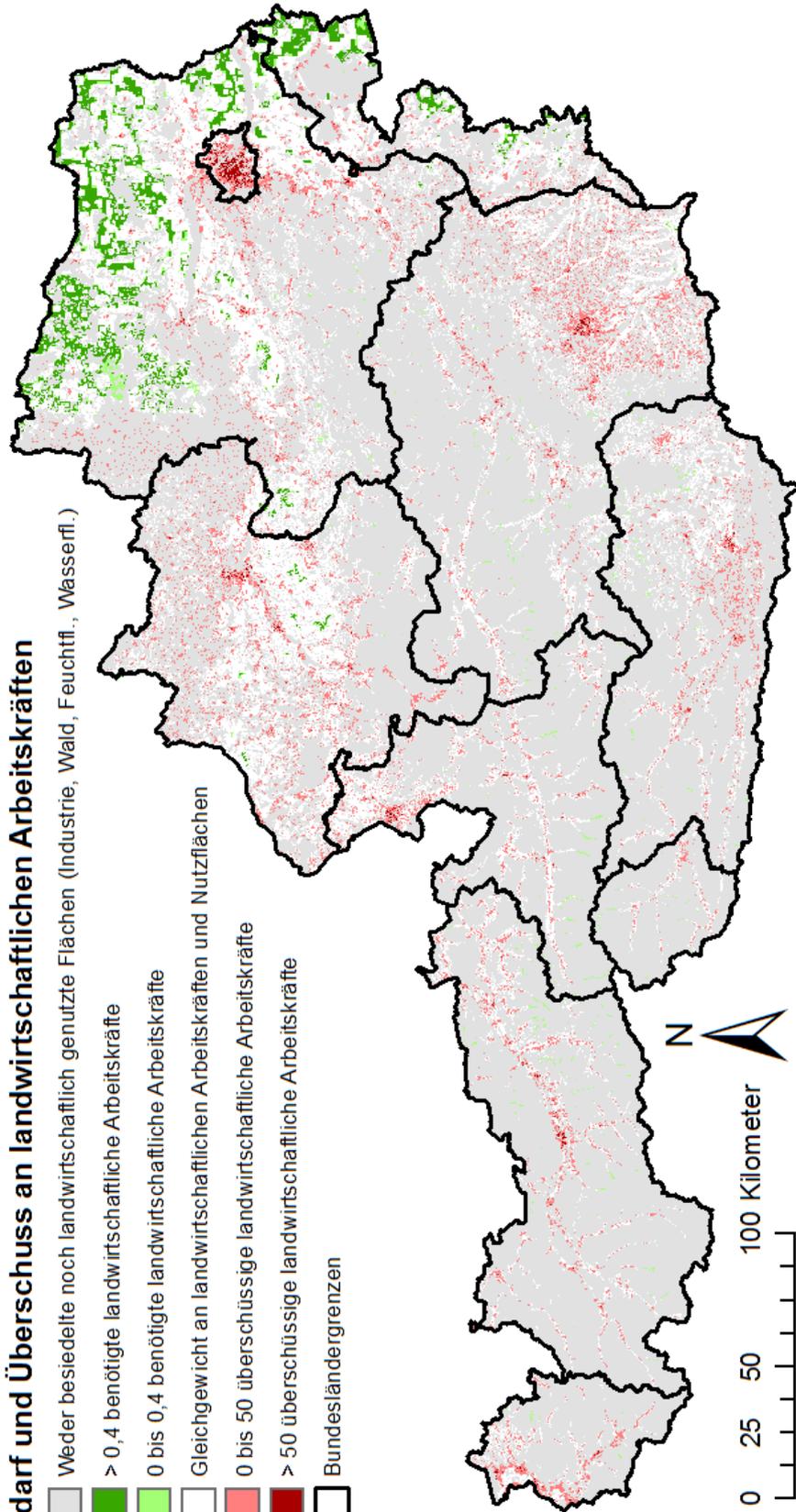


Abbildung 52: Bedarf (grün), Überschuss (rot) und Gleichgewicht (weiß) an landwirtschaftlichen Arbeitskräften je Rasterzelle (abgeleitet aus der Bodenbedeckungsklasse sowie den Hauptwohnsitzen) nach 100 Durchläufen der Verteilungsroutine

Bedarf und Überschuss an landwirtschaftlichen Arbeitskräften nach 1300 Durchläufen der Verteilungsroutine

Bedarf und Überschuss an landwirtschaftlichen Arbeitskräften

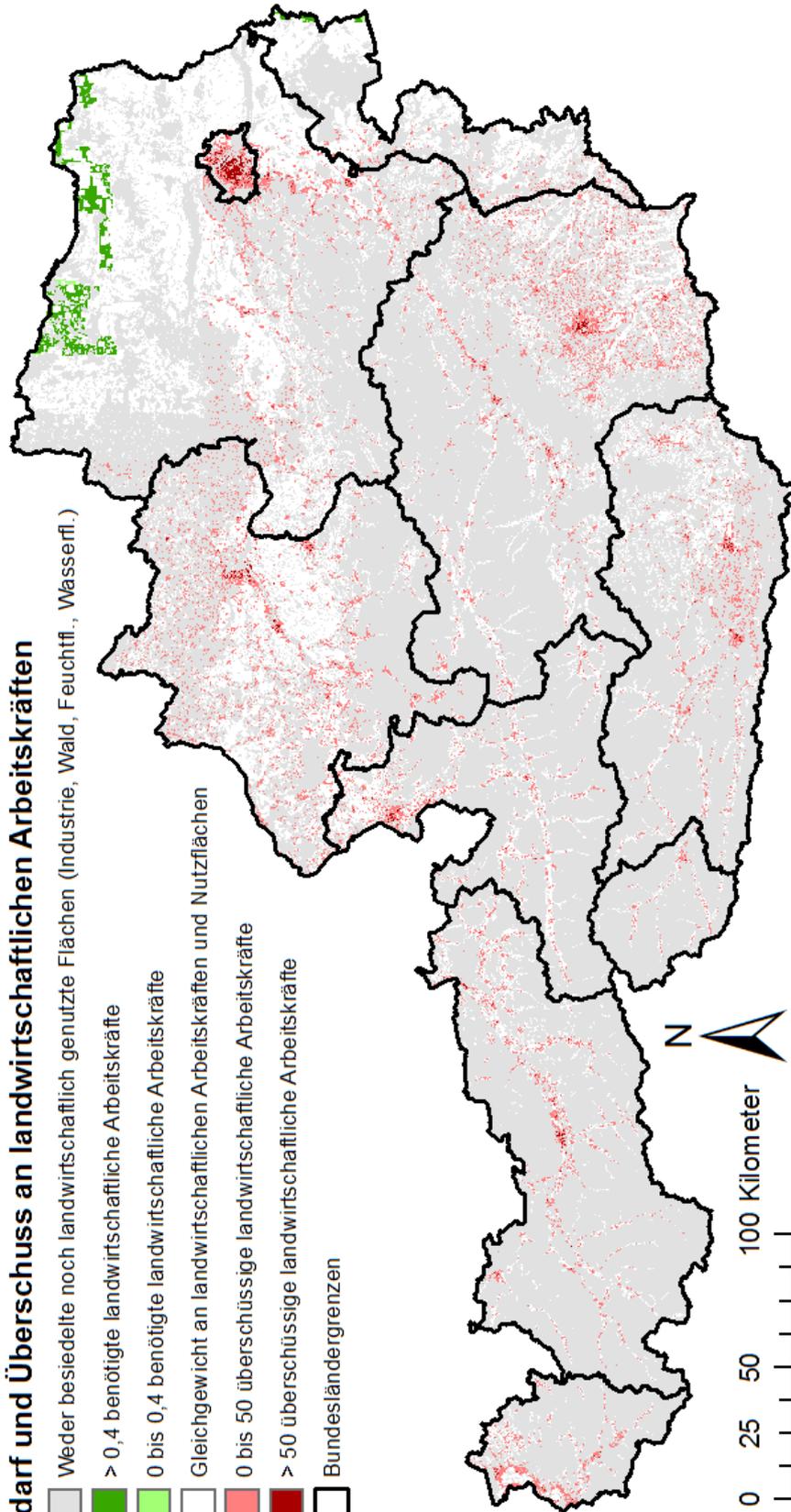
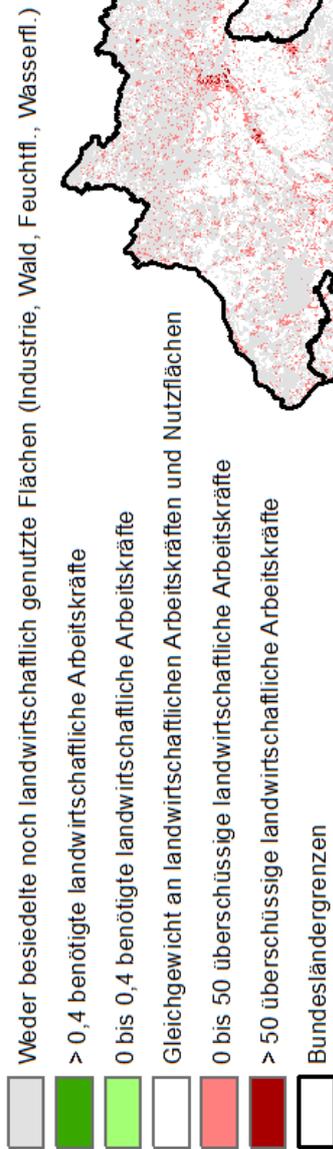


Abbildung 53: Bedarf (grün), Überschuss (rot) und Gleichgewicht (weiß) an landwirtschaftlichen Arbeitskräften je Rasterzelle (abgeleitet aus der Bodenbedeckungsklasse sowie den Hauptwohnsitzen) nach 1300 Durchläufen der Verteilungsroutine

Bedarf und Überschuss an Ernteerträgen ohne zellenübergreifende Verteilung

Bedarf und Überschuss an Ernteerträgen

Weder besiedelte noch landwirtschaftlich genutzte Flächen (Industrie, Wald, Feuchtlf., Wasserfl.)

> 50 benötigte Ernteerträge

0 bis 50 benötigte Ernteerträge

Gleichgewicht an Einwohnern und Ernteerträgen

0 bis 1 überschüssige Ernteerträge

> 1 überschüssige Ernteerträge

Bundesländergrenzen

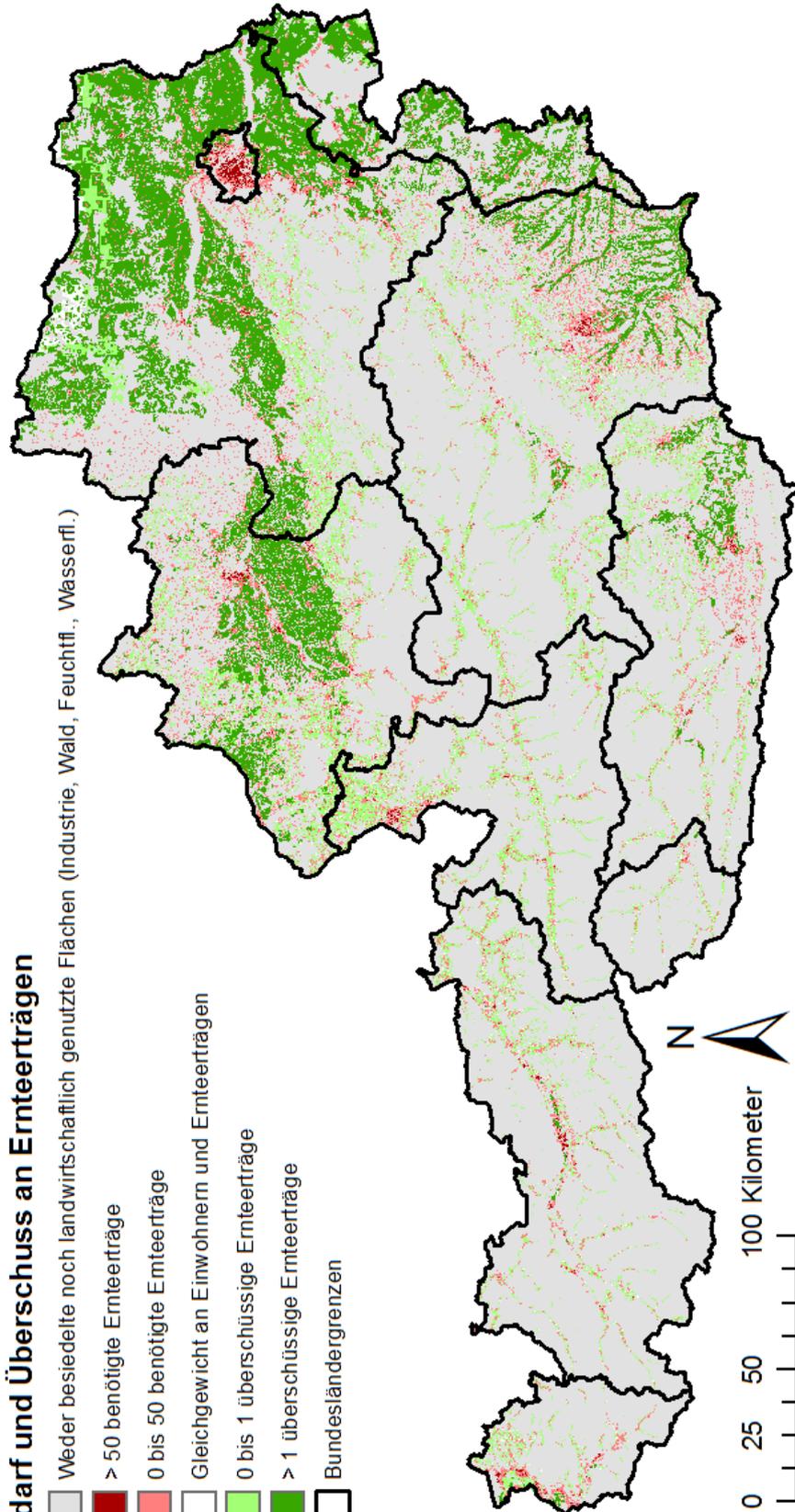


Abbildung 54: Bedarf (rot) und Überschuss (grün) an realisierten landwirtschaftlichen Erträgen je Rasterzelle ohne zellenübergreifende Verteilung

Bedarf und Überschuss an Ernteerträgen nach 100 Durchläufen der Verteilungsroutine

Bedarf und Überschuss an Ernteerträgen

Weder besiedelte noch landwirtschaftlich genutzte Flächen (Industrie, Wald, Feuchtlf., Wasserfl.)

> 50 benötigte Ernteerträge

0 bis 50 benötigte Ernteerträge

Gleichgewicht an Einwohnern und Ernteerträgen

0 bis 1 überschüssige Ernteerträge

> 1 überschüssige Ernteerträge

Bundesländergrenzen

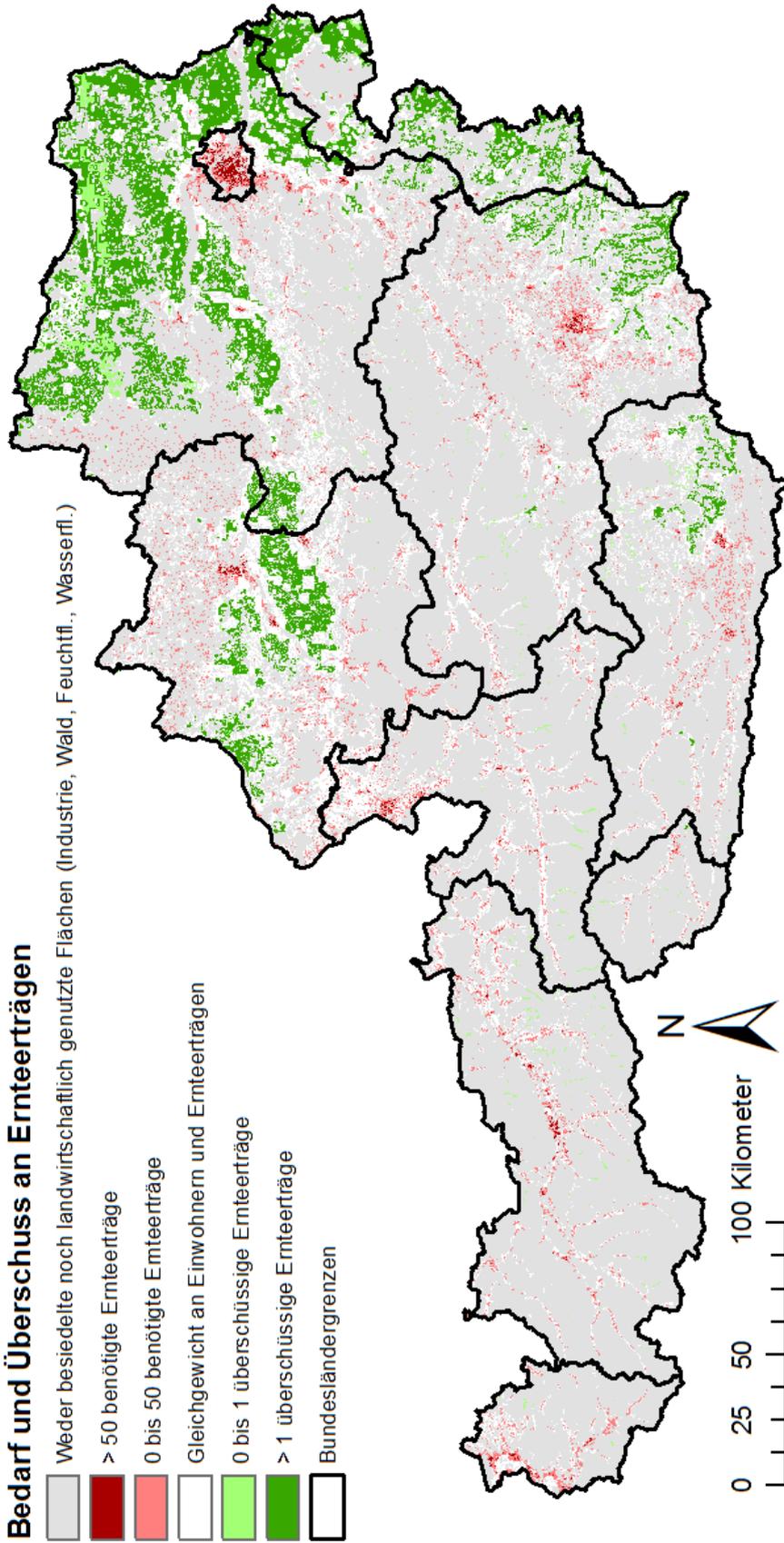


Abbildung 55: Bedarf (rot), Überschuss (grün) und Gleichgewicht (weiß) an realisierten landwirtschaftlichen Erträgen je Rasterzelle nach 100 Durchläufen der Verteilungsroutine

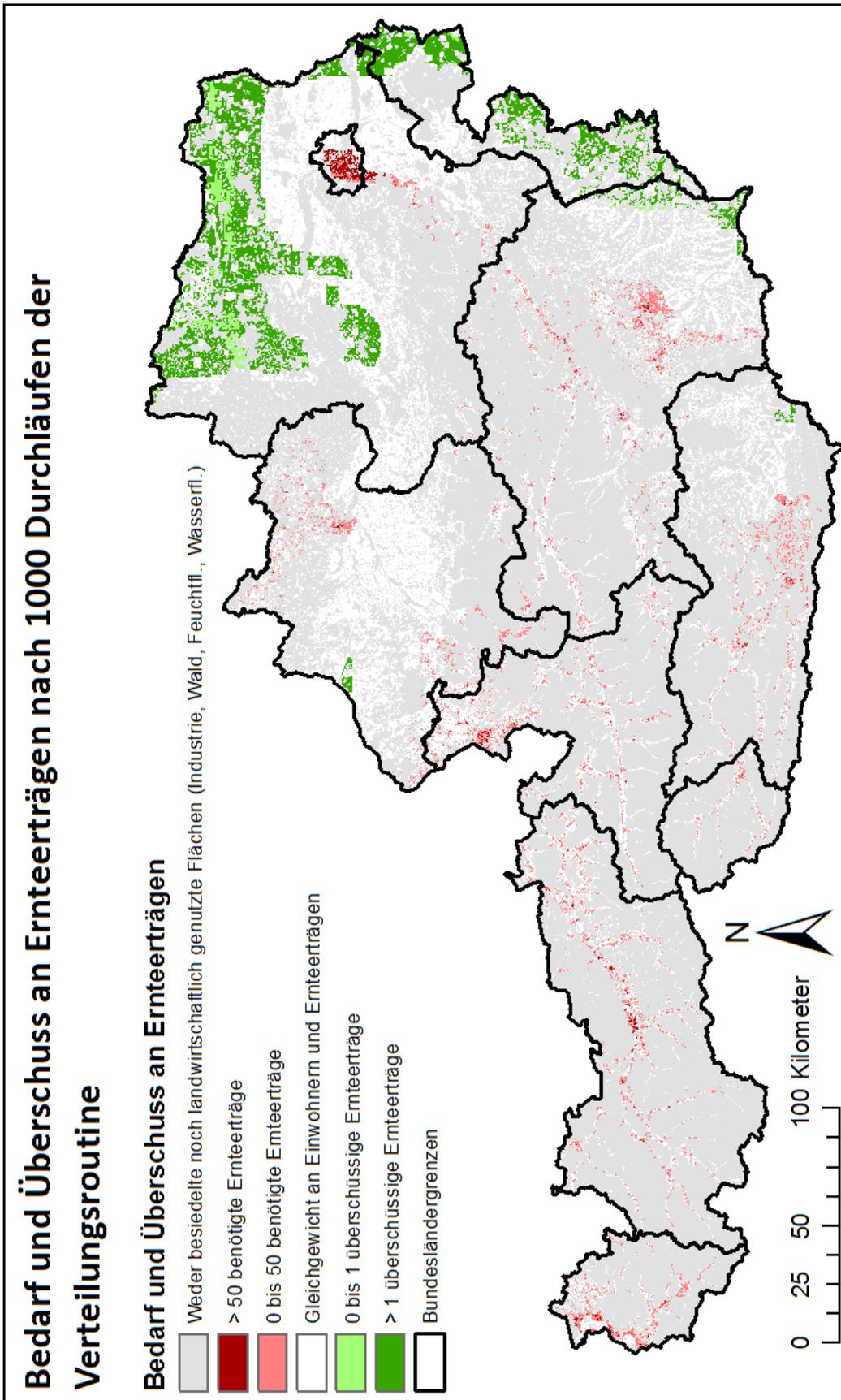


Abbildung 56: Bedarf (rot), Überschuss (grün) und Gleichgewicht (weiß) an realisierten landwirtschaftlichen Erträgen je Rasterzelle nach 1000 Durchläufen der Verteilungsroutine

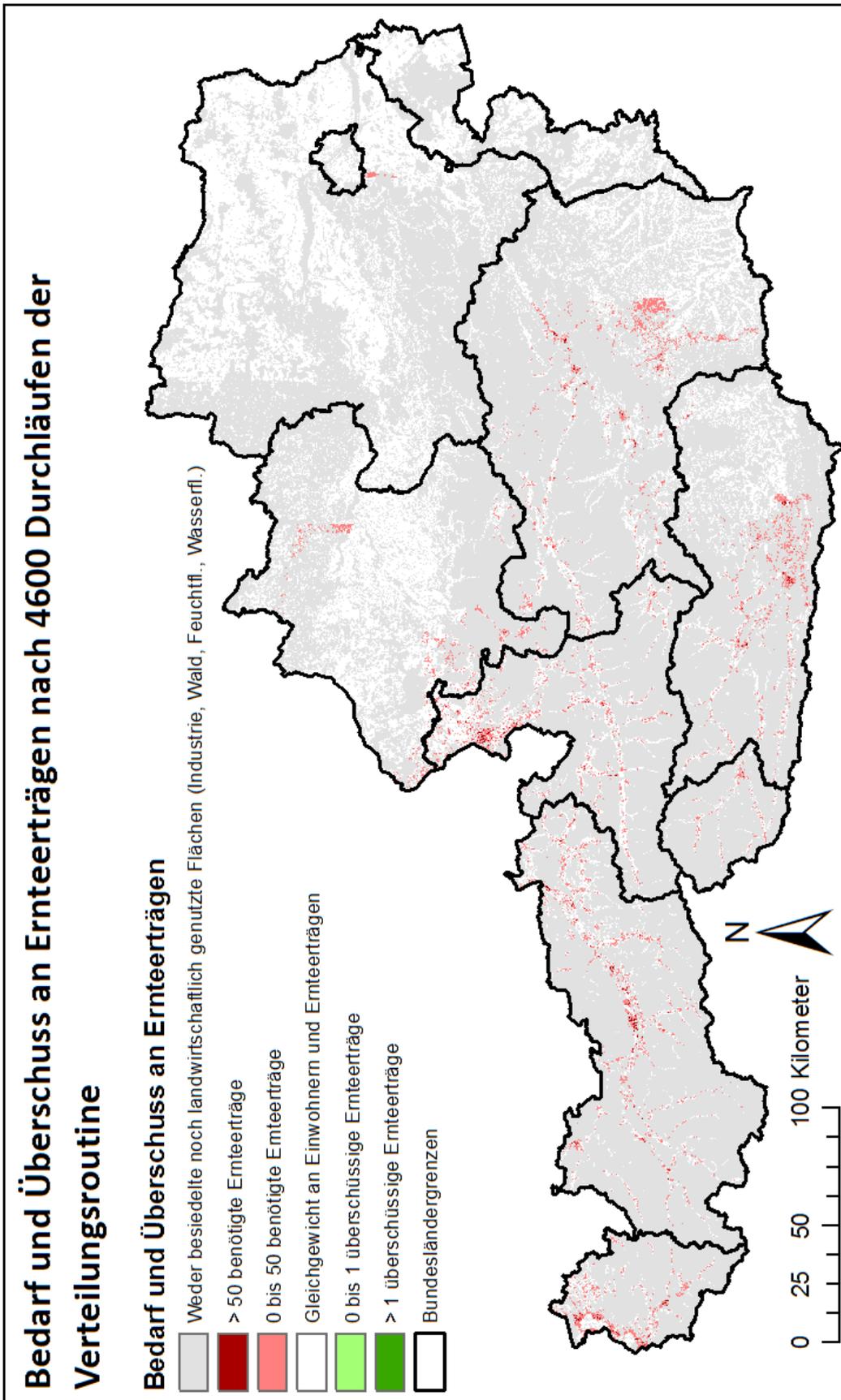


Abbildung 57: Bedarf (rot) und Gleichgewicht (weiß) an realisierten landwirtschaftlichen Erträgen je Rasterzelle nach 4600 Durchläufen der Verteilungsroutine

Bedarf und Überschuss an landwirtschaftlichen Arbeitskräften nach 1300 Durchläufen der Verteilungsroutine

Bedarf und Überschuss an landwirtschaftlichen Arbeitskräften

-  Weder besiedelte noch landwirtschaftlich genutzte Flächen (Industrie, Wald, Feuchtlf., Wasserfl.)
-  > 0,4 benötigte landwirtschaftliche Arbeitskräfte
-  0 bis 0,4 benötigte landwirtschaftliche Arbeitskräfte
-  Gleichgewicht an landwirtschaftlichen Arbeitskräften und Nutzflächen
-  0 bis 50 überschüssige landwirtschaftliche Arbeitskräfte
-  > 50 überschüssige landwirtschaftliche Arbeitskräfte

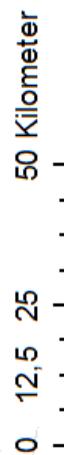
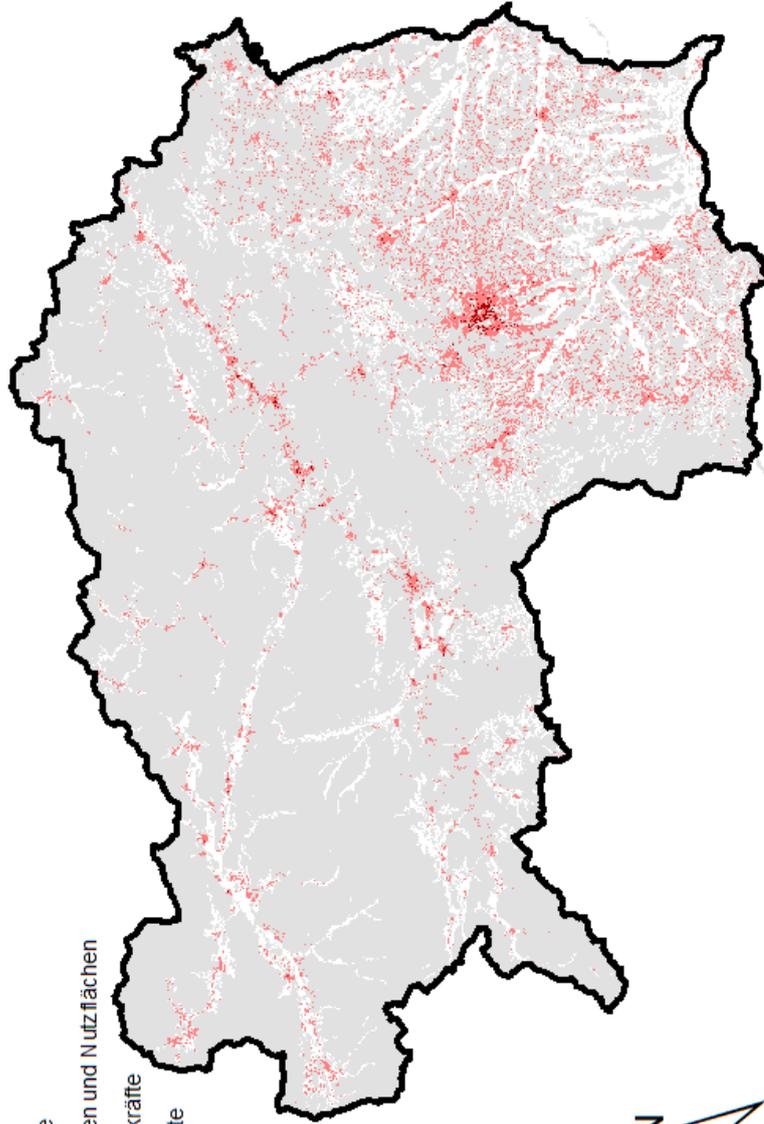


Abbildung 58: Bedarf (grün), Überschuss (rot) und Gleichgewicht (weiß) an landwirtschaftlichen Arbeitskräften je Rasterzelle (abgeleitet aus der Bodenbedeckungsklasse sowie den Hauptwohnsitzen) nach 1300 Durchläufen der Verteilungsroutine für das Bundesland Steiermark

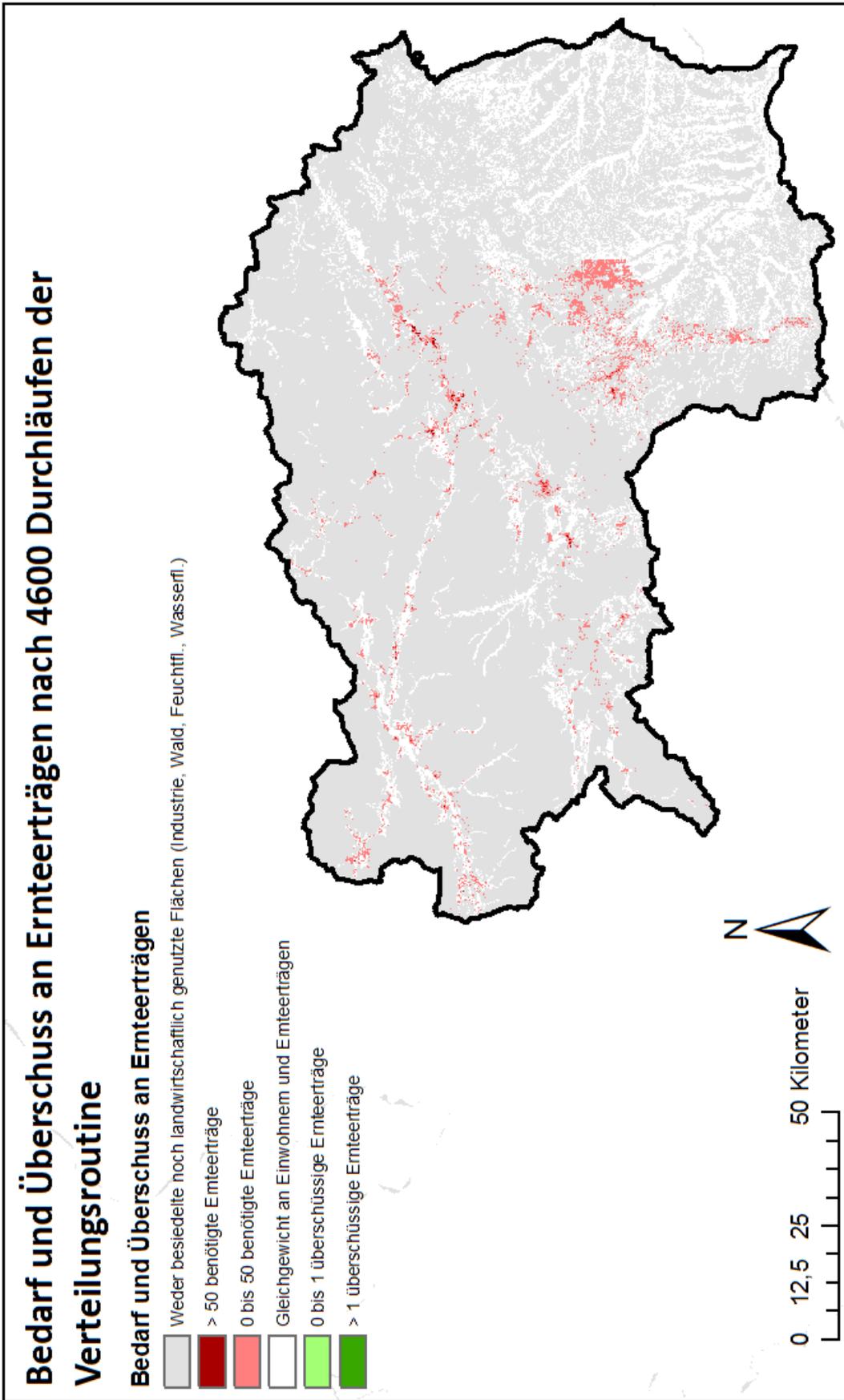


Abbildung 59: Bedarf (rot) und Gleichgewicht (weiß) an realisierten landwirtschaftlichen Erträgen je Rasterzelle nach 4600 Durchläufen der Verteilungsroutine für das Bundesland Steiermark

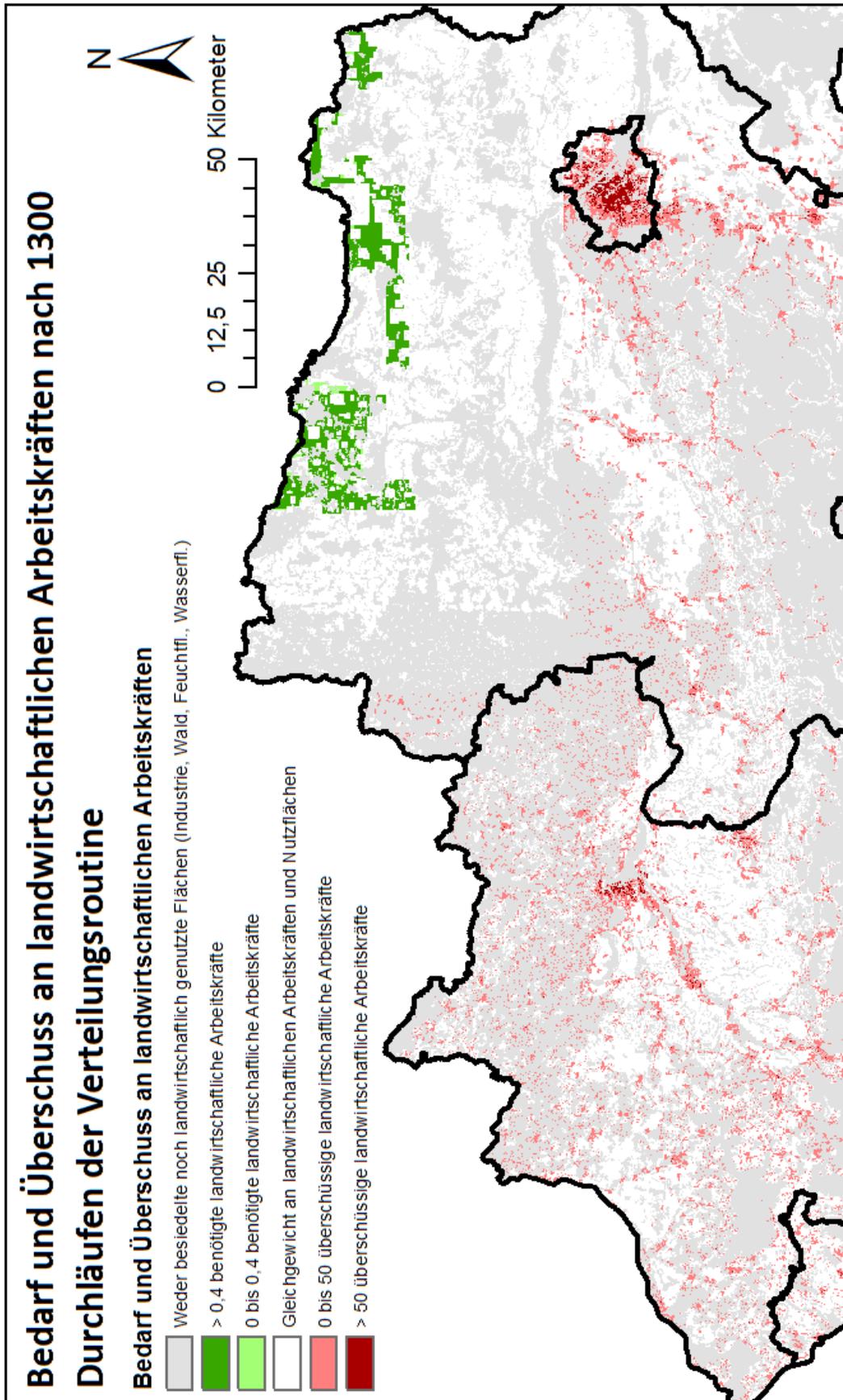


Abbildung 60: Bedarf (grün), Überschuss (rot) und Gleichgewicht (weiß) an landwirtschaftlichen Arbeitskräften je Rasterzelle (abgeleitet aus der Bodenbedeckungsklasse sowie den Hauptwohnsitzen) nach 1300 Durchläufen der Verteilungsroutine für den Donauraum

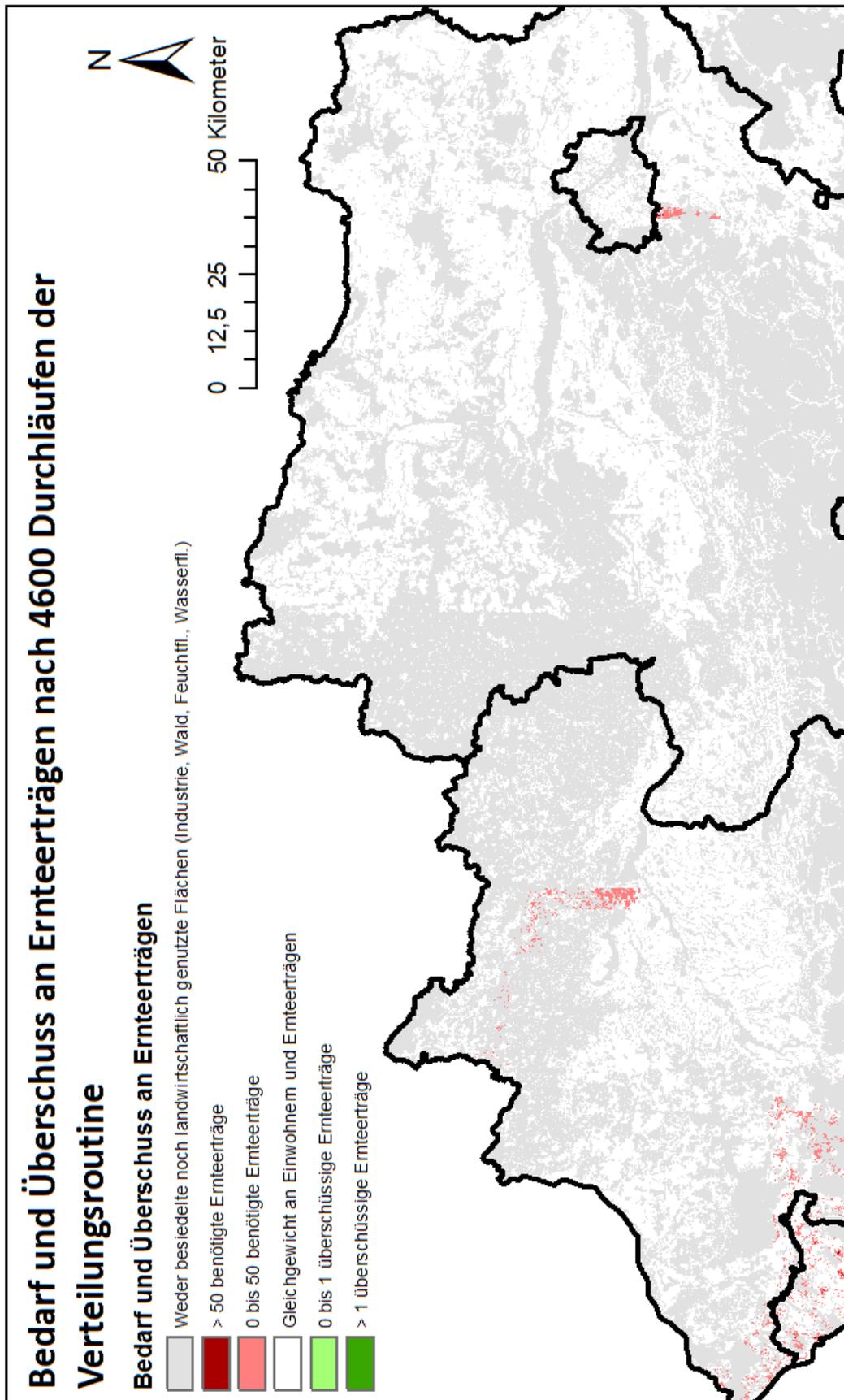


Abbildung 61: Bedarf (rot) und Gleichgewicht (weiß) an realisierten landwirtschaftlichen Erträgen je Rasterzelle nach 4600 Durchläufen der Verteilungsroutine für den Donaauraum

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: ENTWICKLUNG DER WELTWEITEN LANDWIRTSCHAFTLICHEN FLÄCHEN UND ERTRÄGE VON 1961 BIS 2013. TROTZ NUR GERINGER FLÄCHENVERÄNDERUNGEN KAM ES ZU GROßEN ERTRAGSSTEIGERUNGEN (FAO 2016).....	8
ABBILDUNG 2 (LAMBERT U. A. 2012): PROZENTUALE VERTEILUNG DES WELTWEITEN PRIMÄRENERGIEVERBRAUCHS VON 1800 BIS 2007 JE ENERGIEQUELLE. WÄHREND IM JAHR 1800 BIOMASSE DIE DOMINIERENDE ENERGIEQUELLE WAR, WURDE DIESE IM ZUGE DER INDUSTRIELLEN REVOLUTION ZUNÄCHST DURCH DIE KOHLE UND DANACH DURCH ERDÖL VERDRÄNGT.	8
ABBILDUNG 3 (INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR (IEA) 2016): WELTWEITER PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH VON 1971 BIS 2014 JE ENERGIEQUELLE IN MILLIONEN ÖLEINHEITEN (EINE ÖLEINHEIT ENTSpricht DER ENERGIEMENGE, DIE BEIM VERBRENNEN VON EINEM KILOGRAMM ERDÖL FREIGESETZT WIRD).....	9
ABBILDUNG 4 (HALL UND DAY 2009): ERNTEFAKTOR (BESCHREIBT DAS VERHÄLTNISS DER GENUTZTEN ENERGIE ZUR INVESTIERTEN ENERGIE) VERSCHIEDENER ENERGIEQUELLEN (HELLGRÜNE DIAGRAMMBALKENBEREICHE GEBEN BANDBREITEN WIEDER). DER ERNTEFAKTOR VON ÖL HAT SICH IN DEN LETZTEN 80 JAHREN AUFGRUND DER SCHWIERIGEREN ERSCHLIEßUNG DEUTLICH REDUZIERT. ÖLSAND WEIST EINEN SEHR GERINGEN ERNTEFAKTOR AUF.	10
ABBILDUNG 5 (INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR (IEA) 2012): PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH IN KUBA VON 1971 BIS 2010 JE ENERGIEQUELLE IN MEGATONNEN.....	11
ABBILDUNG 6 (WRIGHT 2009): ENTWICKLUNG VON LANDWIRTSCHAFTLICHEN ERNTEERTRÄGEN IN KUBA IN DEN JAHREN 1989 BIS 1994.....	11
ABBILDUNG 7 (GEOLOGIE FREIBURG 2017): REPRÄSENTATION VON OBJEKTEN IM RASTERMODELL.....	14
ABBILDUNG 8 (DE LANGE 2013): GEOMETRISCHE MODELLIERUNG IM VEKTORMODELL.....	14
ABBILDUNG 9 (DE LANGE 2013): VERGLEICHENDE GEGENÜBERSTELLUNG VON VEKTOR- UND RASTERMODELL	15
ABBILDUNG 10 (BARTELME 2005): BEISPIEL FÜR TRANSLATION UND LOGISCHE VERKNÜPFUNGEN	16
ABBILDUNG 11 (SCHMIDT 1997): PRÄZISION UND RICHTIGKEIT ALS KRITERIEN DER GENAUIGKEIT (ABBILDUNG ÜBERNOMMEN AUS DEM SKRIPTUM AUSGLEICHUNGSRECHNUNG I (NAVRATIL 2006))	17
ABBILDUNG 12: LEGENDE (DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT E. V. (DLR) 2017) UND KARTE (EUROPÄISCHE UMWELTAGENTUR 2009) DER CORINE LAND COVER BODENBEDECKUNGSKLASSEN IN ÖSTERREICH FÜR DAS JAHR 2000	21
ABBILDUNG 13: ANZAHL DER VON DER STATISTIK AUSTRIA ERFASSTEN HAUPTWOHNsitZE JE 100x100M RASTERZELLE IN DER GEMEINDE EBERGASSING (NIEDERÖSTERREICH) IM JAHR 2014; JE DUNKLER DIE EINFÄRBUNG DESTO MEHR EINWOHNER JE ZELLE	22
ABBILDUNG 14: JE ZELLE WIRD AUS DEN VERFÜGBAREN LANDWIRTSCHAFTLICHEN ARBEITSKRÄFTEN (LAK) UND DEM BEDARF AN LAK DER ÜBERSCHUSS ODER DAS DEFIZIT AN LAK ERMITTELT.	24
ABBILDUNG 15: GRUNDLEGENDER MODELLAUFBAU ZUR ERMITTLUNG DES ERTRAGSÜBERSCHUSSES/-DEFIZITS JE RASTERZELLE.	24
ABBILDUNG 16: BILDUNG EINES ÜBERSCHUSSES ODER DEFIZITS MIT ANSCHLIEßENDER „UMVERTEILUNG“ BEI DER ZUTEILUNG VON LAK (OBEN) SOWIE BEI ERNTEERTRÄGEN (UNTEN).....	25
ABBILDUNG 17: LINKS: GRÜN=BEDARF AN LANDWIRTSCHAFTLICHEN ARBEITSKRÄFTEN (FELDER), ROT=VERFÜGBARE LAK (SIEDLUNGEN); RECHTS: EUKLIDISCHER ABSTAND ZUM NÄCHSTGELEGENEN FELD (JE DUNKLER DESTO GRÖßER DIE DISTANZ); ZELLENGRÖßE=100M	26
ABBILDUNG 18 (DRICHEL 2008):BEISPIEL FÜR EINEN KANTENGEWICHTETEN GRAPHEN.....	27
ABBILDUNG 19 (ESRI 2016A): BERECHNUNG DER WEGEKOSTEN VON ALLEN RASTERZELLEN HIN ZU AUSGEWÄHLTEN RASTERZELLEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON LOKAL UNGLEICHEN RAUMWIDERSTÄNDEN (SOURCE_RAS = ZIEL-RASTERZELLEN, COST_RAS = RAUMWIDERSTAND JE RASTERZELLE, COST_DIST = WEGEKOSTEN JE RASTERZELLE).....	28
ABBILDUNG 20: LINKS: EINGANGSDATEN; RECHTS: GLIEDERUNG DER EINGANGSDATEN IN BETRACHTUNGSBLÖCKE MIT EINER GRÖßE VON 2x2 RASTERZELLEN	29
ABBILDUNG 21: SUMMEN JE BETRACHTUNGSBLOCK (OHNE RESSOURCENVERLUST DURCH VERTEILUNG).....	29
ABBILDUNG 22: LINKS: RAUMWIDERSTAND JE RASTERZELLE; RECHTS: SUMME DER ZU VERTEILENDEN EINHEITEN JE BETRACHTUNGSBLOCK.....	30
ABBILDUNG 23: WEGLÄNGE IN METERN JE RASTERZELLE ZUR NÄCHSTEN DEFIZITZELLE.....	30
ABBILDUNG 24: LINKS: (MIT EINGANGSWERTEN) GEWICHTETE WEGEKOSTEN; RECHTS: SUMMEN DER GEWICHTETEN WEGEKOSTEN..	31
ABBILDUNG 25: LINKS: DURCHSCHNITTliche WEGEKOSTEN JE (ÜBERSCHUSS-)RASTERZELLE JE BETRACHTUNGSBLOCK; RECHTS: RESSOURCENVERLUST JE BEWEGTER EINHEIT JE BETRACHTUNGSBLOCK	31

ABBILDUNG 26: LINKS: BEWEGTE EINHEITEN JE BETRACHTUNGSBLOCK; RECHTS: RESSOURCENVERLUST DURCH VERTEILUNG JE BETRACHTUNGSBLOCK.....	31
ABBILDUNG 27: LINKS: SUMMEN JE BETRACHTUNGSBLOCK OHNE RESSOURCENVERLUST DURCH VERTEILUNG; RECHTS: SUMMEN JE BETRACHTUNGSBLOCK INKL. RESSOURCENVERLUST DURCH VERTEILUNG)	32
ABBILDUNG 28: LINKS: ANZAHL DER DEFIZITZELLEN; RECHTS: ANZAHL DER ÜBERSCHUSSZELLEN	32
ABBILDUNG 29: LINKS: GLEICHVERTEILTER DEFIZITWERT JE BETRACHTUNGSBLOCK; RECHTS: GLEICHVERTEILTER ÜBERSCHUSSWERT JE BETRACHTUNGSBLOCK.....	33
ABBILDUNG 30: LINKS: URSPRÜNGLICHE DEFIZITWERTE; RECHTS: URSPRÜNGLICHE ÜBERSCHUSSWERTE	33
ABBILDUNG 31: AUS GLEICHVERTEILTEN UND URSPRÜNGLICHEN WERTEN ABGELEITETE DEFIZIT- UND ÜBERSCHUSSWERTE	33
ABBILDUNG 32: LINKS: EINGANGSWERTE; RECHTS: ERGEBNISWERTE DER AGGREGATION UND DISAGGREGATION.....	33
ABBILDUNG 33: SCHRITTWEISE ERWEITERUNG DES BETRACHTUNGSRAUMES FÜR DIE DURCHLÄUFE 1 BIS 10	34
ABBILDUNG 34: VEREINFACHTES GESAMTMODELL	35
ABBILDUNG 35 (WIKIPEDIA 2011A): KARTE ÖSTERREICH-UNGARNS FÜR DAS JAHR 1910; PLANNUMMERN 1-15 MARKIEREN DIE ÖSTERREICHISCHEN KRONLÄNDER.....	42
ABBILDUNG 36 („GOOGLE MAPS“ 2017, „DRAFTLOGIC“ 2017): LINKS: WEGLÄNGENBERECHNUNG MITTEL GOOGLE MAPS; RECHTS: LUFTLINIENLÄNGENBERECHNUNG MITTELS DRAFTLOGIC.....	50
ABBILDUNG 37: RAUMWIDERSTAND JE RASTERZELLE FÜR ÖSTERREICH UND ANGRENZENDE FLÄCHEN; JE DUNKLER DESTO HÖHER DIE WEGKOSTEN JE RASTERZELLE; WERTE AUS TABELLE 29 UND DEN CORINE LAND COVER BODENBEDECKUNGSKLASSEN	51
ABBILDUNG 38: BEDARF (GRÜN) UND ÜBERSCHUSS (ROT) AN LANDWIRTSCHAFTLICHEN ARBEITSKRÄFTEN JE RASTERZELLE (ABGELEITET AUS DER BODENBEDECKUNGSKLASSE SOWIE DEN HAUPTWOHNSITZEN) OHNE ZELLENÜBERGREIFENDE VERTEILUNG	54
ABBILDUNG 39: BEDARF (GRÜN), ÜBERSCHUSS (ROT) UND GLEICHGEWICHT (WEIß) AN LANDWIRTSCHAFTLICHEN ARBEITSKRÄFTEN JE RASTERZELLE (ABGELEITET AUS DER BODENBEDECKUNGSKLASSE SOWIE DEN HAUPTWOHNSITZEN) NACH 100 DURCHLÄUFEN DER VERTEILUNGSROUTINE.....	55
ABBILDUNG 40: BEDARF (GRÜN), ÜBERSCHUSS (ROT) UND GLEICHGEWICHT (WEIß) AN LANDWIRTSCHAFTLICHEN ARBEITSKRÄFTEN JE RASTERZELLE (ABGELEITET AUS DER BODENBEDECKUNGSKLASSE SOWIE DEN HAUPTWOHNSITZEN) NACH 1300 DURCHLÄUFEN DER VERTEILUNGSROUTINE.....	56
ABBILDUNG 41: BEDARF (ROT) UND ÜBERSCHUSS (GRÜN) AN REALISIERTEN LANDWIRTSCHAFTLICHEN ERTRÄGEN JE RASTERZELLE OHNE ZELLENÜBERGREIFENDE VERTEILUNG.....	57
ABBILDUNG 42: BEDARF (ROT), ÜBERSCHUSS (GRÜN) UND GLEICHGEWICHT (WEIß) AN REALISIERTEN LANDWIRTSCHAFTLICHEN ERTRÄGEN JE RASTERZELLE NACH 100 DURCHLÄUFEN DER VERTEILUNGSROUTINE	57
ABBILDUNG 43: BEDARF (ROT), ÜBERSCHUSS (GRÜN) UND GLEICHGEWICHT (WEIß) AN REALISIERTEN LANDWIRTSCHAFTLICHEN ERTRÄGEN JE RASTERZELLE NACH 1000 DURCHLÄUFEN DER VERTEILUNGSROUTINE	58
ABBILDUNG 44: BEDARF (ROT) UND GLEICHGEWICHT (WEIß) AN REALISIERTEN LANDWIRTSCHAFTLICHEN ERTRÄGEN JE RASTERZELLE NACH 4600 DURCHLÄUFEN DER VERTEILUNGSROUTINE.....	59
ABBILDUNG 45 (DARSTELLUNG: WIKIPEDIA; DATEN: STATISTIK AUSTRIA): EINWOHNER IM BUNDESLAND TIROL VON 1869 BIS 2016	60
ABBILDUNG 46 (DARSTELLUNG: WIKIPEDIA; DATEN: STATISTIK AUSTRIA): EINWOHNER IM BUNDESLAND BURGENLAND VON 1869 BIS 2016.....	61
ABBILDUNG 47 (WIKIMEDIA COMMONS 2014): LEGENDE ZU DEN KARTENBLÄTTERN DES FRANZISZEISCHEN KATASTERS AUS DEM JAHR 1824	64
ABBILDUNG 48 (WIKIMEDIA COMMONS (MARTIN KRČMA) 2016): FRANZISZEISCHER KATASTER VON BÍLANY (TSCHECHIEN) AUS DEM JAHR 1830	64
ABBILDUNG 49 (ESRI 2017b): RICHTUNGSKODIERUNG DER FUNKTION KOSTENRÜCKVERKNÜPFUNG.....	65
ABBILDUNG 50 (EUROPÄISCHE UMWELTAGENTUR 2013): CORINE LAND COVER BODENBEDECKUNGSKLASSEN IN EUROPA FÜR DAS JAHR 2006	67
ABBILDUNG 51: BEDARF (GRÜN) UND ÜBERSCHUSS (ROT) AN LANDWIRTSCHAFTLICHEN ARBEITSKRÄFTEN JE RASTERZELLE (ABGELEITET AUS DER BODENBEDECKUNGSKLASSE SOWIE DEN HAUPTWOHNSITZEN) OHNE ZELLENÜBERGREIFENDE VERTEILUNG	71
ABBILDUNG 52: BEDARF (GRÜN), ÜBERSCHUSS (ROT) UND GLEICHGEWICHT (WEIß) AN LANDWIRTSCHAFTLICHEN ARBEITSKRÄFTEN JE RASTERZELLE (ABGELEITET AUS DER BODENBEDECKUNGSKLASSE SOWIE DEN HAUPTWOHNSITZEN) NACH 100 DURCHLÄUFEN DER VERTEILUNGSROUTINE.....	72

ABBILDUNG 53: BEDARF (GRÜN), ÜBERSCHUSS (ROT) UND GLEICHGEWICHT (WEIß) AN LANDWIRTSCHAFTLICHEN ARBEITSKRÄFTEN JE RASTERZELLE (ABGELEITET AUS DER BODENBEDECKUNGSKLASSE SOWIE DEN HAUPTWOHNSITZEN) NACH 1300 DURCHLÄUFEN DER VERTEILUNGSROUTINE.....	73
ABBILDUNG 54: BEDARF (ROT) UND ÜBERSCHUSS (GRÜN) AN REALISIERTEN LANDWIRTSCHAFTLICHEN ERTRÄGEN JE RASTERZELLE OHNE ZELLENÜBERGREIFENDE VERTEILUNG.....	74
ABBILDUNG 55: BEDARF (ROT), ÜBERSCHUSS (GRÜN) UND GLEICHGEWICHT (WEIß) AN REALISIERTEN LANDWIRTSCHAFTLICHEN ERTRÄGEN JE RASTERZELLE NACH 100 DURCHLÄUFEN DER VERTEILUNGSROUTINE	75
ABBILDUNG 56: BEDARF (ROT), ÜBERSCHUSS (GRÜN) UND GLEICHGEWICHT (WEIß) AN REALISIERTEN LANDWIRTSCHAFTLICHEN ERTRÄGEN JE RASTERZELLE NACH 1000 DURCHLÄUFEN DER VERTEILUNGSROUTINE	76
ABBILDUNG 57: BEDARF (ROT) UND GLEICHGEWICHT (WEIß) AN REALISIERTEN LANDWIRTSCHAFTLICHEN ERTRÄGEN JE RASTERZELLE NACH 4600 DURCHLÄUFEN DER VERTEILUNGSROUTINE.....	77
ABBILDUNG 58: BEDARF (GRÜN), ÜBERSCHUSS (ROT) UND GLEICHGEWICHT (WEIß) AN LANDWIRTSCHAFTLICHEN ARBEITSKRÄFTEN JE RASTERZELLE (ABGELEITET AUS DER BODENBEDECKUNGSKLASSE SOWIE DEN HAUPTWOHNSITZEN) NACH 1300 DURCHLÄUFEN DER VERTEILUNGSROUTINE FÜR DAS BUNDESLAND STEIERMARK	78
ABBILDUNG 59: BEDARF (ROT) UND GLEICHGEWICHT (WEIß) AN REALISIERTEN LANDWIRTSCHAFTLICHEN ERTRÄGEN JE RASTERZELLE NACH 4600 DURCHLÄUFEN DER VERTEILUNGSROUTINE FÜR DAS BUNDESLAND STEIERMARK	79
ABBILDUNG 60: BEDARF (GRÜN), ÜBERSCHUSS (ROT) UND GLEICHGEWICHT (WEIß) AN LANDWIRTSCHAFTLICHEN ARBEITSKRÄFTEN JE RASTERZELLE (ABGELEITET AUS DER BODENBEDECKUNGSKLASSE SOWIE DEN HAUPTWOHNSITZEN) NACH 1300 DURCHLÄUFEN DER VERTEILUNGSROUTINE FÜR DEN DONAURAUM	80
ABBILDUNG 61: BEDARF (ROT) UND GLEICHGEWICHT (WEIß) AN REALISIERTEN LANDWIRTSCHAFTLICHEN ERTRÄGEN JE RASTERZELLE NACH 4600 DURCHLÄUFEN DER VERTEILUNGSROUTINE FÜR DEN DONAURAUM	81

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1 (UMWELTBUNDESAMT ÖSTERREICH 2017b): CORINE LAND COVER NOMENKLATUR (KLASSEN IN GRAU KOMMEN IN ÖSTERREICH NICHT VOR).....	20
TABELLE 2 (STATISTIK AUSTRIA 2015): ANBAUFLÄCHEN AUSGEWÄHLTER KULTURPFLANZEN IN ÖSTERREICH FÜR DIE JAHRE 2013 UND 2014.....	36
TABELLE 3 (STATISTIK AUSTRIA 2015): ERTRÄGE AUSGEWÄHLTER KULTURPFLANZEN IN ÖSTERREICH FÜR DIE JAHRE 2013 UND 2014.....	36
TABELLE 4: MITTELWERTE DER ANBAUFLÄCHEN AUSGEWÄHLTER KULTURPFLANZEN IN ÖSTERREICH DER JAHRE 2013 UND 2014 ...	36
TABELLE 5: MITTELWERTE DER ERTRÄGE AUSGEWÄHLTER KULTURPFLANZEN IN ÖSTERREICH DER JAHRE 2013 UND 2014.....	37
TABELLE 6 (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE 2016): NÄHRWERTE AUSGEWÄHLTER KULTURPFLANZEN	37
TABELLE 7: NÄHRWERTE DER GESAMTEN ERNTEERTRÄGE AUSGEWÄHLTER KULTURPFLANZEN IN ÖSTERREICH	37
TABELLE 8: ZUSAMMENFASSENDE KENNZAHLEN ZU DEN KULTURPFLANZEN WEIZEN, GERSTE, ROGGEN, TRITICALE, HAFER UND KARTOFFELN.....	38
TABELLE 9 (WIKIPEDIA 2017g; GOVERNMENT OF ALBERTA 2003; HOLLAND, LOVEDAY, UND FERGUSON 2017): KENNZAHLEN ZUR RINDERFLEISCHPRODUKTION.....	38
TABELLE 10 (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE 2016): NÄHRWERTERTRAG UND -VERBRAUCH VON RINDFLEISCH	38
TABELLE 11: NÄHRWERTVERBRAUCH DER RINDFLEISCHPRODUKTION UND NÄHRWERT JE ANBAUFLÄCHE INKL. RINDFLEISCHPRODUKTION	39
TABELLE 12 (FAO 2016): WELTWEITES ACKERLAND SOWIE WELTWEITE ERTRÄGE FÜR GETREIDE, REIS UND MAIS FÜR DIE JAHRE 1961 BIS 2013	39
TABELLE 13 (WIKIPEDIA 2017e): NÄHRWERTBEDARF EINES MENSCHEN	39
TABELLE 14: NOTWENDIGE ANBAUFLÄCHE JE EW.....	40
TABELLE 15 (WIKIPEDIA 2017i, 2017d): NÄHRWERTERTRAG JE WEIDEFLÄCHE	40
TABELLE 16 (STATISTIK AUSTRIA 2016a): BEVÖLKERUNG IN ÖSTERREICH ZU JAHRESBEGINN 2016.....	41
TABELLE 17 (RUMPLER UND SEGER (HG.) 2010; SANDGRUBER 1978; MAYRHOFFER 2014): LANDWIRTSCHAFTLICHE KENNZAHLEN DER ÖSTERREICHISCHEN KRONLÄNDERN IN DER ÖSTERREICHISCH-UNGARISCHEN MONARCHIE	42
TABELLE 18 (WIKIPEDIA 2017a): ACKERFLÄCHEN UND DAUERGRÜNLAND IN DER EUROPÄISCHEN UNION IM JAHR 2007.....	43
TABELLE 19: GESCHÄTZTE AGRARFLÄCHEN IN DEN ÖSTERREICHISCHEN KRONLÄNDERN IM JAHR 1910	43
TABELLE 20 (KRAFFT U. A. 1880; KOMERS 1876; SCHASCHL 2007): NOTWENDIGE ARBEITSTAGE FÜR DIE BEWIRTSCHAFTUNG EINES KARTOFFELFELDS (QUELLE *1: KRAFFT ET AL. 1880, ZIT. NACH SCHASCHL 2007, QUELLE *2: KOMERS 1876, ZIT. NACH SCHASCHL 2007).....	44
TABELLE 21 (SCHASCHL 2007): NOTWENDIGE ARBEITSSTUNDEN FÜR DIE VIEHWARTUNG	45
TABELLE 22 (WIKIPEDIA 2017i) : GROBVIEHEINHEITEN.....	45
TABELLE 23 (KRAFFT U. A. 1880; HITSCHMANN 1891; KOMERS 1876; SCHASCHL 2007): NOTWENDIGE ARBEITSTAGE FÜR DIE BEWIRTSCHAFTUNG EINER WIESE	46
TABELLE 24 (SCHASCHL 2007): GESCHÄTZTES MINDESTMAß AN ARBEITSSTUNDEN JE ACKER- UND WEIDEFLÄCHE.....	47
TABELLE 25: GESCHÄTZTE BEWIRTSCHAFTBARE FLÄCHE JE LANDWIRTSCHAFTLICHER ARBEITSKRAFT IN DEN ÖSTERREICHISCHEN KRONLÄNDERN UM 1900	47
TABELLE 26: AUS CORINE LAND COVER BODENBEDECKUNGSKLASSEN ZUSAMMENGEFASSTE KLASSEN	48
TABELLE 27 (UMWELTBUNDESAMT ÖSTERREICH 2017b): CORINE LAND COVER NOMENKLATUR (KLASSEN IN GRAU KOMMEN IN ÖSTERREICH NICHT VOR).....	49
TABELLE 28: MITTELS GOOGLE MAPS UND DRAFTLOGIC ERMITTELTE WEGLÄNGEN UND LUFTLINIENLÄNGEN	50
TABELLE 29: VERHÄLTNISSJE NEU GEBILDETER BODENBEDECKUNGSKLASSE ZWISCHEN GOOGLE MAPS WEGLÄNGEN UND DRAFTLOGIC LUFTLINIENLÄNGEN.....	50
TABELLE 30 (INSTITUT FÜR TIERERNÄHRUNG UND FUTTERWIRTSCHAFT UND BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (HG.) 2015): NÄHRWERTVERBRAUCH EINES GANZTÄGIG ARBEITENDEN PFERDES SOWIE DIE DARAUS ABGESCHÄTZTE MAXIMALE TRANSPORTREICHWEITE EINES PFERDES	52
TABELLE 31 (AGANGA, LETSO, UND AGANGA 2000): NÄHRWERTVERBRAUCH EINES GANZTÄGIG ARBEITENDEN ESELS SOWIE DIE DARAUS ABGESCHÄTZTE MAXIMALE TRANSPORTREICHWEITE EINES ESELS	52
TABELLE 32: ABGESCHÄTZTE MAXIMALE TRANSPORTREICHWEITE EINES MENSCHEN	53

TABELLE 33 (WIKIPEDIA 2017C): ABGESCHÄTZTE MAXIMALE TRANSPORTREICHWEITE EINES PERSONENKRAFTWAGENS.....	53
TABELLE 34: EINGANGSPARAMETER FÜR DAS GIS-MODELLS	53
TABELLE 35: NICHT VERSORGTE HAUPTWOHNSITZE (BERECHNET AUF BASIS DER HAUPTWOHNSITZE 2014 (STATISTIK AUSTRIA)) ...	59
TABELLE 36 (STATISTIK AUSTRIA 2016A; BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT 2010): ANTEIL DER ERNÄHRBAREN EINWOHNER IN ÖSTERREICH BEI VERNACHLÄSSIGUNG ALLER TRANSPORTKOSTEN	60

Literaturverzeichnis

- Adger, W. Neil. 2006. „Vulnerability“ *Global Environmental Change* (16): 268–81.
- Aganga, A. A., M. Letso, und A. O. Aganga. 2000. „Feeding Donkeys“. *Feeding Donkeys*.
<http://www.lrrd.org/lrrd12/2/agan122.htm>.
- Albrecht, Jochen. 2007. *Key Concepts and Techniques in GIS*. New York.
- Baldenhofer, Kurt G. 2017. „Lexikon der Fernerkundung“. März 24. <http://fe-lexikon.info/lexikon-r.htm#rasterdaten>.
- Bardi, Ugo, Toufic El Asmar, und Alessandro Lavacchi. 2012. „Turning Electricity into Food: The Role of Renewable Energy in the Future of Agriculture“.
- Bartelme, Norbert. 2005. *Geoinformatik - Modelle, Strukturen, Funktionen*.
- Bentley, R.W. 2002. „Global oil & gas depletion: an overview“ *Energy Policy* (30): 189–205.
- BFW. 2013. „Bodenkarte“. *Bodenkarte*. April 18. <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms2.web?dok=7048>.
- Bollmann, Jürgen, Hrsg. 2001. „Lexikon der Kartographie und Geomatik“. *Spektrum der Wissenschaft*.
<http://www.spektrum.de/lexikon/kartographie-geomatik/geodaten/1714>.
- Breier, Markus. 2009. „GIS in der Numismatik – Analysemethoden in der Interpretation von Fundmünzen“.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. 2010. „Grüner Bericht 2010“. <https://gruenerbericht.at/cm4/jdownload/send/2-gr-bericht-terreich/418-gruener-bericht-2010>.
- Campbell, Colin, und Jean H. Laherrère. 1998. „The End of Cheap Oil“ *Scientific American*.
- Coventry, Donald Hugh. 2013. „Peak Oil and Oil Vulnerability: What Are the Implications for Industrial Agriculture and Rural Communities? - With a Case Study Based in the Southern Gulf Region of Queensland“. [http://www.aspo-australia.org.au/References/Bruce/Masters%20Thesis%20Donald%20Coventry%20\(2\).pdf](http://www.aspo-australia.org.au/References/Bruce/Masters%20Thesis%20Donald%20Coventry%20(2).pdf).
- De Lange, Norbert. 2006. *Geoinformatik in Theorie und Praxis*. 2., Aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin: Springer.
- . 2013. *Geoinformatik in Theorie und Praxis*. 3., Vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage. Osnabrück: Springer Spektrum.
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR). 2017. „Corine Landcover - Bodenbedeckungsdaten für Deutschland“. Zugegriffen Juli 3.
http://www.corine.dfd.dlr.de/intro_de.html.
- „DraftLogic“. 2017. Februar 23. <https://www.daftlogic.com/projects-google-maps-distance-calculator.htm>.
- Drichel, Alexander. 2008. „Kantengewichteter Graph“.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prim_Algorithm_0.svg.
- ESRI. 2016a. „Funktionsweise der Kostenentfernungswerkzeuge“. *ArcGIS Pro*. Zugegriffen Oktober 17. <http://pro.arcgis.com/de/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-the-cost-distance-tools-work.htm>.
- . 2017b. „Kostenentfernungsanalyse“. *ArcMap*. Zugegriffen Mai 4.
<http://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/understanding-cost-distance-analysis.htm>.
- . 2017c. „Kostenrückverknüpfung“. *ArcGIS Pro*. Zugegriffen Mai 4.
<http://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/cost-back-link.htm>.
- Europäische Umweltagentur. 2009. „CORINE Landcover Österreich 2000“. November 12.
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/corine-land-cover-2000-by-country>.
- . 2013. „Corine Land Cover Types - 2006“. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/corine-land-cover-types-2006>.
- Evans, Alex. 2008. „Rising Food Prices - Drivers and Implications for Development“. New York University.
- FAO. 2016. „FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION“. *FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION*. Zugegriffen November 28. <http://faostat3.fao.org/home/E>.

- Frank, Andrew U. 2006. *GIS Theory*. Technische Universität Wien.
- Friedrichs, Jörg. 2012. „Peak Oil Futures: Same Crisis, Different Responses“. In *Energy, Transport & the Environment - Addressing the Sustainable Mobility Paradigm*, herausgegeben von Oliver Inderwildi und David King. Oxford: Springer - Verlag. <http://joerg-friedrichs.qeh.ox.ac.uk/uploads/pdf/PeakOilFutures.pdf>.
- Geologie Freiburg. 2017. Zugegriffen Mai 26. <http://www.geologie.uni-freiburg.de/root/blackboard/grass/Datenstruktur.html>.
- GeoVille GmbH. 2017. „Entwicklung eines Landinformationssystems für Österreich“. Zugegriffen August 23. <http://www.landinformationssystem.at/de-at/lisa/%C3%BCberblick.aspx>.
- „Google Maps“. 2017. April 12. <https://www.google.at/maps>.
- Government of Alberta. 2003. „Government of Alberta“. *Government of Alberta*. Dezember 10. [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/faq7811](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/faq7811).
- Hall, Charles A. S., und John W. Day. 2009. „Revisiting the Limits to Growth - After Peak Oil“ *Scientific American* (Nr 97).
- Hendrickson, John. 1994. „Energy Use in the U.S. Food System: A Summary of Existing Research and Analysis“. Madison, Wisconsin (Vereinigte Staaten von Amerika): Center for Integrated Agricultural Systems. <http://www.cias.wisc.edu/wp-content/uploads/2008/07/energyuse.pdf>.
- Hitschmann, H. 1891. *Vademekum für den Landwirt*. 10. Auflage. Wien: Verlag von Moritz Perles.
- Holland, Rob, Dwight Loveday, und Kevin Ferguson. 2017. „How Much Meat to Expect from a Beef Carcass“. Zugegriffen April 7. <https://extension.tennessee.edu/publications/Documents/PB1822.pdf>.
- Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, und Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hg.). 2015. *Gruber Tabelle zur Pferdefütterung*. 4. unveränderte Auflage 2015. Poing, Freising-Weihenstephan. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/gruber-tabelle-pferdefuetterung_lfl-information.pdf.
- Internationale Energieagentur (IEA). 2012. „Energy Balances of Non-OECD Countries“. Frankreich: Internationale Energieagentur (IEA). <http://www.iea.org/media/training/presentations/statisticsmarch/balancesofnonoecdcountries.pdf>.
- . 2016. „Key World Energy Statistics 2016“. Frankreich: Internationale Energieagentur (IEA). <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>.
- Klügl, Franziska. 2000. „Aktivitätsbasierte Verhaltensmodellierung und ihre Unterstützung bei Multiagentensimulationen“. Würzburg: Bayerische Julius–Maximilians–Universität Würzburg. http://ki.informatik.uni-wuerzburg.de/~kluegl/diss/pdf_files/.
- Komers, A.E. 1876. *Die landwirtschaftliche Betriebsorganisation*. 2. verbesserte Auflage. Prag.
- Krafft, G., C. Lehmann, A. Thaer, und H. Thiel. 1880. *Albrecht Thaers Grundsätze der rationellen Landwirtschaft*. Berlin: Verlag von Wiegandt, Hempel und Parey.
- Lambert, Charles Hall, Steve Balogh, Alex Poisson, und Ajay Gupta. 2012. „EROI of Global Energy Resources“. State University of New York, College of Environmental Science and Forestry. http://www.roboticscaucus.org/ENERGYPOLICYCMTMTGS/Nov2012AGENDA/documents/D FID_Report1_2012_11_04-2.pdf.
- Mayrhofer, Iris. 2014. „Die Anfänge der mineralischen Düngung in Österreich-Ungarn (1848-1914)“. https://www.uni-klu.ac.at/socec/downloads/WP_153_online.pdf.
- Murphy, Catherine. 1999. *Cultivating Havana: Urban Agriculture and Food Security in the Years of Crisis*. Development Report, No. 12. Oakland, CA 94618 USA. <https://foodfirst.org/wp-content/uploads/2013/12/DR12-Cultivating-Havana-Urban-Agriculture-and-Food-Security-in-the-Years-of-Crisis.pdf>.
- Navratil, Gerhard. 2006. „Ausgleichsrechnung I oder Die Anwendung statistischer Methoden in Vermessungswesen und GIS“. <ftp://ftp.geoinfo.tuwien.ac.at/navratil/Ausgleich1.pdf>.
- Pfeiffer, Dale Allen. 2006. *Eating Fossil Fuels - Oil, Food and the Coming Crisis in Agriculture*. New Society Publishers.

- Planungsamt der Bundeswehr. 2012. „Peak Oil - Sicherheitspolitische Implikationen knapper Ressourcen“. Planungsamt der Bundeswehr, Dezernat Zukunftsanalyse.
- Rosset, Peter, und Medea Benjamin. 1994. *The Greening of the Revolution - Cuba's Experiment with Organic Agriculture*. 1. Aufl. Melbourne: Ocean Press.
http://www.trabal.org/courses/pdf/rosset_cuba_entire.pdf.
- Rumpler, Helmut, und Martin Seger (Hg.). 2010. *Die Habsburgermonarchie 1848-1918, Band IX/2: Soziale Strukturen*. Bd. IX/2. Die Habsburgermonarchie 1848-1918. VÖAW.
- Sandgruber, Roman. 1978. *Österreichische Agrarstatistik 1750-1918. Wirtschafts- und Sozialstatistik Österreich-Ungarns T. 2*. Wien: Verlag für Geschichte und Politik.
- Schaschl, Elisabeth. 2007. „Rekonstruktion der Arbeitszeit in der Landwirtschaft im 19. Jahrhundert am Beispiel von Theyern in Niederösterreich“. <https://www.uni-klu.ac.at/socec/downloads/WP96.pdf>.
- Schmidt, H. 1997. „Was ist Genauigkeit? - Zum Einfluß systematischer Abweichungen auf Meß- und Ausgleichungsergebnisse“. *Vermessungswesen und Raumordnung*, Nr. 59. Jahrgang(4): 212–28.
- STATISTIK AUSTRIA. 2015. „STATISTIK AUSTRIA“. *Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktion, endgültiges Ergebnis 2014*. März 27.
http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/080350.html.
- . 2016a. „Bevölkerung seit 1869 nach Geschlecht bzw. breiten Altersgruppen“. *STATISTIK AUSTRIA*. Juni 14.
https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/bevoelkerungsstruktur/bevoelkerung_nach_alter_geschlecht/031384.html.
- . 2016b. „Regionalstatistische Rastereinheiten“. Dezember 31.
http://www.statistik.at/web_de/klassifikationen/regionale_gliederungen/regionalstatistische_rastereinheiten/index.html.
- Statistisches Amt der Europäischen Union. 2016. „GEOSTAT“. *eurostat*.
<http://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/reference-data/population-distribution-demography/geostat>.
- . 2017. „GEOSTAT-INITIATIVE“. *eurostat*. <http://ec.europa.eu/eurostat/de/web/gisco/gisco-activities/integrating-statistics-geospatial-information/geostat-initiative>.
- Steinmann, Matthias Schulze, und Karin Holm-Müller. 2010. „Thünensche Ringe der Biogaserzeugung - der Einfluss der Transportwürdigkeit nachwachsender Rohstoffe auf die Rohstoffwahl von Biogasanlagen“ *German Journal of Agricultural Economics* (Nr. 59/1).
- The AnyLogic Company. 2017. „Agentenbasierter Ansatz“. *AnyLogic - Mehr-Methoden Simulationssoftware*. Zugegriffen August 28. <http://www.anylogic.de/agent-based-modeling>.
- Twaroch, Christoph, Michael Hiermanseder, Reinfried Mansberger, und Gerhard Navratil. 2016. „Der Weg zum Grundsteuerpatent“. *Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation*, 118–27.
- Umweltbundesamt Österreich. 2016. „Emissionskennzahlen und Verbrauch in kWh“.
- . 2017a. „CORINE Land Cover“. Zugegriffen August 23.
http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/raumordnung/rp_projekte/rp_corine/.
- . 2017b. „CORINE Landcover Nomenklatur (deutsch)“. Zugegriffen März 8.
http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/raumplanung/1_flaechennutzung/corine/CORINE_Nomenklatur.pdf.
- United States Department of Agriculture. 2016. „National Nutrient Database for Standard Reference Release 28“. *National Nutrient Database for Standard Reference Release 28*. Mai.
<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list>.
- Weißbach, D., G. Ruprecht, A. Huke, K. Czerski, S. Gottlieb, und A. Hussein. 2013. „Energy intensities, EROIs (energy returned on invested), and energy payback times of electricity generating power plants“. *Energy*, Nr. 52: 210–21.

- Wikimedia Commons. 2014. „Legende zu den Kartenblättern des Franziszeischen Katasters“. *Wikimedia Commons*. Dezember 14.
https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Legend_for_Franciscan_Cadastral_Maps_1824.jpg.
- Wikimedia Commons (Martin Krčma). 2016. „Franziszeischer Kataster von Bílany aus dem Jahr 1830“. *Wikimedia Commons*. Jänner 14.
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:B%C3%ADlany,_v%C3%BD%C5%99ez_listu_mapy_indika%C4%8Dn%C3%AD_skizi_Stabiln%C3%ADho_katastru_\(1830\).JPG?uselang=de](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:B%C3%ADlany,_v%C3%BD%C5%99ez_listu_mapy_indika%C4%8Dn%C3%AD_skizi_Stabiln%C3%ADho_katastru_(1830).JPG?uselang=de).
- Wikipedia. 2011a. „Österreich-Ungarn 1910“. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Austria-Hungary_map_de.svg.
- . 2011b. „Ebene (GIS)“. *Wikipedia*. August 21. [https://de.wikipedia.org/wiki/Ebene_\(GIS\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Ebene_(GIS)).
- . 2017a. „Agrarstruktur“. *Wikipedia*. Zugegriffen April 11.
<https://de.wikipedia.org/wiki/Agrarstruktur#Europa>.
- . 2017b. „Burgenland“. *Wikipedia*. Zugegriffen Juni 7.
<https://de.wikipedia.org/wiki/Burgenland#Bev.C3.B6lkerungsentwicklung>.
- . 2017c. „Dieselkraftstoff“. *Wikipedia*. Zugegriffen April 12.
<https://de.wikipedia.org/wiki/Dieselmkraftstoff>.
- . 2017d. „Hausrind“. *Wikipedia*. Zugegriffen April 8.
<https://de.wikipedia.org/wiki/Hausrind#Merkmale>.
- . 2017e. „Kalorie“. *Wikipedia*. Zugegriffen April 8.
https://de.wikipedia.org/wiki/Kalorie#Verwendung_als_N.C3.A4hrwertangabe.
- . 2017f. „Kronland (Österreich)“. *Wikipedia*. Zugegriffen April 11.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Kronland_\(%C3%96sterreich\)#Die_17_.C3.B6sterreichischen_Kronl.C3.A4nder_von_1867_bis_1918](https://de.wikipedia.org/wiki/Kronland_(%C3%96sterreich)#Die_17_.C3.B6sterreichischen_Kronl.C3.A4nder_von_1867_bis_1918).
- . 2017g. „Rinderproduktion“. *Wikipedia*. Zugegriffen April 7.
<https://de.wikipedia.org/wiki/Rinderproduktion#Haltung>.
- . 2017h. „Tirol (Bundesland)“. *Wikipedia*. Zugegriffen Juni 7.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Tirol_\(Bundesland\)#Bev.C3.B6lkerungsentwicklung](https://de.wikipedia.org/wiki/Tirol_(Bundesland)#Bev.C3.B6lkerungsentwicklung).
- . 2017i. „Viehbesatz“. *Wikipedia*. Zugegriffen April 8.
<https://de.wikipedia.org/wiki/Viehbesatz#Gro.C3.9Fvieheinheit>.
- Wright, Julia. 2009. *Sustainable Agriculture and Food Security in an Era of Oil Scarcity*. Earthscan.

ArcPy Verteilungsroutine

Pfade, Parameter und Hauptmodell

```
1 # DA 2016/2017 Rafael MILOS
2 # Pfade
3
4 def Eingabe():
5
6     g100_06_tif_pfad = "c:\\_Daten\\MA_2016_Eingangsdaten\\g100_06\\g100_06.tif"
7
8     return g100_06_tif_pfad
9
10 def Transfor():
11
12     hws_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\01_Transfor\\hws_etrsh.shp"
13
14     return hws_pfad
15
16 def Darstellung():
17
18     tmp = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\02_Darstellung\\tmp"
19     n_nutzb_fl_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\02_Darstellung\\n_nutzb_fl"
20     ew_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\03_Eingangsdaten\\e15b64_0"
21
22     return tmp, n_nutzb_fl_pfad, ew_pfad
23
24 def Ausgabe1(anz_durchlaeufer):
25
26     wegkoste_pfad =
27     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\01_Wegkosten\\wegkosteT"
28     ak_wegkoT_pfad =
29     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\01_ZusaSchr1\\03_ak_wegkoT\\
30     ak_wegkoT"
31     outBkLinkRaster =
32     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\01_ZusaSchr1\\04_outbklink\\
33     outbklink"
34     ak_defiz_pfad =
35     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\01_ZusaSchr1\\01_DefizUeber\\
36     ak_defiz"
37     ak_def_0_pfad =
38     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\01_ZusaSchr1\\ak_def_0"
39     ak_ueber_pfad =
40     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\01_ZusaSchr1\\ak_ueber"
41     ak_ueb_0_pfad =
42     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\01_ZusaSchr1\\ak_ueb_0"
43     ak_w_gew_pfad =
44     "c:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\01_ZusaSchr1\\ak_w_gew"
45     akud_d01T_pfad =
46     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\akud_d01T"
47
48     return wegkoste_pfad, ak_wegkoT_pfad, outBkLinkRaster, ak_defiz_pfad, ak_def_0_pfad, ak_ueber_pfad,
49     ak_ueb_0_pfad, ak_w_gew_pfad, akud_d01T_pfad
50
51 def Ausgabe2(anz_durchlaeufer):
52
53     ak_g_w_0T_pfad =
54     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\ak_g_w_0T"
55     ak_ge_wkT_pfad =
56     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\02_ZusaSchr2\\ak_ge_wkT"
57     ak_w_g_eT_pfad =
58     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\02_ZusaSchr2\\ak_w_g_eT"
59     ak_wge_0T_pfad =
60     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\02_ZusaSchr2\\ak_wge_0T"
61     a_wgelkm_pfad =
62     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\02_ZusaSchr2\\a_wgelkmT"
63     akud_d01T_pfad =
64     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\akud_d01T"
65     ak_d01_r_pfad =
66     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\02_ZusaSchr2\\ak_d_r"
67
68     return ak_g_w_0T_pfad, ak_ge_wkT_pfad, ak_w_g_eT_pfad, ak_wge_0T_pfad, a_wgelkm_pfad, akud_d01T_pfad
69     , ak_d01_r_pfad
70
71 def Bedarfsmodell():
72
73     acker_ha_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\03_Ertragsmodell\\00_Bedarf\\acker_ha"
74     wies_wei_ha_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\03_Ertragsmodell\\00_Bedarf\\wies_wei_ha"
75     einwohner_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\einwohner.shp"
76     bedarf_ertrag_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\03_Ertragsmodell\\00_Bedarf\\bedarf_ertrag"
77
78     return acker_ha_pfad, wies_wei_ha_pfad, einwohner_pfad, bedarf_ertrag_pfad
```

```

59 def AusgabeErtragsmodell (anz_durchlaeufer):
60
61     ak_ud_oe_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\03_Ertragsmodell\\00_Bedarf\\ak_ud_oe"
62
63     bewi_fla_pfad =
64     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\03_Ertragsmodell\\01_Real_ertrag\\bewi_fla"
65     ertrag_pfad =
66     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\03_Ertragsmodell\\01_Real_ertrag\\ertrag " + str(anz_durchlaeufer)
67     ueber_defiz_ert_pfad =
68     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\03_Ertragsmodell\\02_defi_ueber_ertrag\\ueb_def_ert"
69
70     return ak_ud_oe_pfad, bewi_fla_pfad, ertrag_pfad, ueber_defiz_ert_pfad
71
72 def AusgabeVerteilungsmodell (anz_durchlaeufer):
73
74     ak_wg_su_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\ak_wg_su"
75     uebe_sum_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\uebe_sum"
76     defi_sum_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\defi_sum"
77     ver_ak_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\07_lAK\\ver_ak_"
78     ver_er_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\08_lEe\\ver_er_"
79
80     return ak_wg_su_pfad, uebe_sum_pfad, defi_sum_pfad, ver_ak_pfad, ver_er_pfad
81
82 def AusgabeUrsprWer():
83
84     negati_1_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\negati_1"
85     positiv_1_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\positiv_1"
86     ur_ne_nd_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\ur_ne_nd"
87     ur_po_nd_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\ur_po_nd"
88     ur_we_ne_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\ur_we_ne"
89     ur_we_po_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\ur_we_po"
90     zelle_ne_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\zelle_ne"
91     zelle_po_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\zelle_po"
92     anz_nega_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\anz_nega"
93     max_w_nd_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\max_w_nd"
94
95     return negati_1_pfad, positiv_1_pfad, ur_ne_nd_pfad, ur_po_nd_pfad, ur_we_ne_pfad, ur_we_po_pfad,
96     zelle_ne_pfad, zelle_po_pfad, anz_nega_pfad, max_w_nd_pfad
97
98 def AusgabeUrsprWer2():
99
100     block_ne_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\block_ne"
101     min_w_nd_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\min_w_nd"
102     anz_posi_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\anz_posi"
103     block_po_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\block_po"
104
105     return block_ne_pfad, min_w_nd_pfad, anz_posi_pfad, block_po_pfad
106
107 def ZusaSchr2():
108
109     ak_redfaT_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\ak_redfaT_"
110     ak_wande_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\ak_wande_"
111     ak_bedar_pfad = "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\03_Zusammenfa\\ak_bedar_"
112
113     return ak_redfaT_pfad, ak_wande_pfad, ak_bedar_pfad
114
115 def AusgabeZersSchr2():
116
117     fixe_neg_pfad =
118     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\05_ZersSchr2\\fixe_neg"
119     fixe_pos_pfad =
120     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\05_ZersSchr2\\fixe_pos"
121     oh_fla_n_pfad =
122     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\05_ZersSchr2\\oh_fla_n"
123     oh_fla_p_pfad =
124     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\05_ZersSchr2\\oh_fla_p"
125     ne_o_anz_pfad =
126     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\05_ZersSchr2\\ne_o_anz"
127     sum_fw_n_pfad =
128     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\05_ZersSchr2\\sum_fw_n"
129     sum_fw_p_pfad =
130     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\05_ZersSchr2\\sum_fw_p"
131     po_o_anz_pfad =
132     "C:\\_Daten\\MA_2016_Ergebnisdaten\\09_Verteilungsmodell\\05_Zerstreuung\\05_ZersSchr2\\po_o_anz"
133
134     return fixe_neg_pfad, fixe_pos_pfad, oh_fla_n_pfad, oh_fla_p_pfad, ne_o_anz_pfad, sum_fw_n_pfad,
135     sum_fw_p_pfad, po_o_anz_pfad

```

```

1 # DA 2016/2017 Rafael MILOS
2 # Parameter
3
4 def iterationsschritte():
5
6     import parameter
7
8     km_zu_m, ha_zu_m2 = parameter.allg_gueltig()
9     zellgr, zellgr_ha = parameter.techn_modelleigenschaften()
10    raumwi_stadt, raumwi_land, raumwi_land_unwegs, raumwi_wildnis, redu_fak_lak, redu_fak_ernte =
parameter.modellan_verkehr()
11
12    anz_durchlaeufer_ak = 0 # Standard: 0
13    anz_durchlaeufer_ee = 0 # Standard: 0
14
15    #####
16    # ARBEIT
17    # Rechnerische "Maximaliteration"
18    max_dist = 1 / redu_fak_lak # [ km ] Maximale Distanz die eine LAK
zuruecklegen kann
19    laenge_zelle = km_zu_m / zellgr # [ km ]
20    anz_zellen = max_dist * laenge_zelle # [ Anzahl ]
21    sicher_reserve = anz_zellen * 1.5 # [ Anzahl ]
22    limit_durchlaeufer_ak = sicher_reserve * 3 # [ Anzahl ] *3 da Algorithmus ca. 3
Iterationen je einmal +1 braucht
23
24    #####
25    # ERNTE
26    # Rechnerische "Maximaliteration"
27    max_dist = 1 / redu_fak_ernte # [ km ] Maximale Distanz die eine LAK
zuruecklegen kann
28    laenge_zelle = km_zu_m / zellgr # [ km ]
29    anz_zellen = max_dist * laenge_zelle # [ Anzahl ]
30    sicher_reserve = anz_zellen * 1.5 # [ Anzahl ]
31    limit_durchlaeufer_ee_max = sicher_reserve * 3 # [ Anzahl ] *3 da Algorithmus ca. 3
Iterationen je einmal +1 braucht
32
33    # Rechnerische "Maximaliteration" fuer groesse Oesterreichs
34    max_dist = 600 # [ km ] Maximale Ost-West Ausdehnung
Oesterreichs
35    laenge_zelle = km_zu_m / zellgr # [ km ]
36    anz_zellen = max_dist * laenge_zelle # [ Anzahl ]
37    sicher_reserve = anz_zellen * 1.5 # [ Anzahl ]
38    limit_durchlaeufer_ee_oes = sicher_reserve * 3 # [ Anzahl ] *3 da Algorithmus ca. 3
Iterationen je einmal +1 braucht
39
40    # Oesterreichs Ost-West Ausdehnung stellt das defakto Iterationsmaximum dar
41    limit_durchlaeufer_ee = limit_durchlaeufer_ee_max
42    if (limit_durchlaeufer_ee_oes < limit_durchlaeufer_ee_max):
43        limit_durchlaeufer_ee = limit_durchlaeufer_ee_oes
44
45    #####
46    # float zu int
47    limit_durchlaeufer_ak = int(limit_durchlaeufer_ak)
48    limit_durchlaeufer_ee = int(limit_durchlaeufer_ee)
49
50    return anz_durchlaeufer_ak, anz_durchlaeufer_ee, limit_durchlaeufer_ak, limit_durchlaeufer_ee
51
52 def modellan_verkehr():
53
54    # Modellannahmen - Verkehr
55
56    # Raumwiderstaende
57    raumwi_stadt = 1.1724 # Siehe DA Kapitel Parameterermittlung
58    raumwi_land = 1.3783 # Siehe DA Kapitel Parameterermittlung
59    raumwi_land_unwegs = 1.6882 # Siehe DA Kapitel Parameterermittlung
60    raumwi_wildnis = 8.9047 # Siehe DA Kapitel Parameterermittlung
61
62    # Reduktionsfaktoren
63    redu_fak_lak = 0.03333 # Siehe DA Kapitel Parameterermittlung
64    redu_fak_ernte = 0.00023 # Siehe DA Kapitel Parameterermittlung
65
66    return raumwi_stadt, raumwi_land, raumwi_land_unwegs, raumwi_wildnis, redu_fak_lak, redu_fak_ernte
67

```

```

68 def modellan_landw():
69
70     import parameter
71
72     zellgr, zellgr_ha = parameter.techn_modelleigenschaften()
73
74     # Modellannahmen - Landwirtschaft
75
76     # Bewirtschaftbare Flaeche je lAk [ ha / lAk ]
77     ack_bewi = 1.6089 # Siehe DA Kapitel Parameterermittlung
78     wie_bewi = 2.9917 # Siehe DA Kapitel Parameterermittlung
79
80     # Umrechnung in lAk je Flaecheneinheit [ lAk / ha ]
81     ack_arbe = zellgr_ha / ack_bewi # Anzahl lAk die fuer Acker benoetigt werden
82     wie_arbe = zellgr_ha / wie_bewi # Anzahl lAk die fuer Wiese oder Weide benoetigt werden
83
84     # Bedarf an bewirtschafteter Ackerflaeche je EW [ ha / EW ]
85     ack_beda = 0.1913 # Siehe DA Kapitel Parameterermittlung
86     wie_beda = 1.8448 # Siehe DA Kapitel Parameterermittlung
87
88     return ack_bewi, wie_bewi, ack_arbe, wie_arbe, ack_beda, wie_beda
89
90 def berechnungsraum():
91
92     # Berechnungsraum
93     #
94     # West      Sued      Ost      Nord
95     rahmen_testgeb_10km = "4800000 2790000 4810000 2800000" # Rahmen fuer Testgebiet (Teil d.
    Industrieviertels) - ca. 10 km2
96     rahmen_testgeb_20km = "4810000 2810000 4830000 2830000" # Rahmen fuer Testgebiet (Teil d.
    Industrieviertels) - ca. 20 km2
97     rahmen_testgeb_30km = "4790000 2780000 4820000 2820000" # Rahmen fuer Testgebiet (Teil d.
    Industrieviertels) - ca. 30 km2
98     rahmen_testgeb_200 = "4750000 2780000 4820000 2830000" # Rahmen fuer Testgebiet (Wien mit
    westlichem Umland) - kleiner Ausschnitt
99     rahmen_60km = "4750000 2780000 4820000 2840000" # Rahmen fuer Testgebiet (Wien mit
    westlichem Umland)
100    rahmen_testgeb_300 = "4720000 2780000 4820000 2850000" # Rahmen fuer Testgebiet (Wien mit
    westlichem Umland) - grosser Ausschnitt
101    rahmen_100km = "4700000 2760000 4800000 2860000" # Rahmen fuer Testgebiet (Wien mit
    westlichem Umland) - grosser Ausschnitt
102    rahmen_120km = "4680000 2740000 4800000 2860000" # Rahmen fuer Testgebiet (Wien mit
    westlichem Umland) - grosser Ausschnitt
103    rahmen_150km = "4710000 2750000 4860000 2900000"
104    rahmen_170km = "4600000 2650000 4770000 2820000"
105    rahmen_190x180km = "4580000 2640000 4770000 2820000"
106    rahmen_200km = "4660000 2700000 4860000 2900000"
107    rahmen_300km = "4560000 2600000 4860000 2900000"
108    rahmen_400km = "4460000 2550000 4860000 2950000"
109    rahmen_600x400km = "4270000 2550000 4870000 2950000"
110    rahmen_eber = "4770000 2750000 4840000 2810000" # Rahmen fuer Ebergassing inkl.
    grossraeumiger Umgebung
111    rahmen_glei = "4720000 2660000 4790000 2710000" # Rahmen fuer Gleisdorf inkl.
    grossraeumiger Umgebung
112    rahmen_bad_i = "4560000 2720000 4630000 2760000" # Rahmen fuer Bad Ischl inkl.
    grossraeumiger Umgebung
113    rahmen_oest_teil = "4470000 2610000 4880000 2890000" # Rahmen fuer einen Teil Oesterreichs
    grossraeumiger Umgebung
114    rahmen_oest_klein = "4250000 2550000 4900000 2950000" # Rahmen fuer Oesterreich ohne
    grossraeumiger Umgebung
115    rahmen_oest = "3630000 1710000 5290000 3360000" # Rahmen fuer Oesterreich inkl.
    grossraeumiger Umgebung
116
117    #rahmen = rahmen_testgeb_10km
118    #rahmen = rahmen_testgeb_20km
119    #rahmen = rahmen_testgeb_30km
120    #rahmen = rahmen_testgeb_300
121    #rahmen = rahmen_100km
122    #rahmen = rahmen_120km
123    #rahmen = rahmen_150km
124    #rahmen = rahmen_170km
125    #rahmen = rahmen_190x180km
126    #rahmen = rahmen_200km
127    #rahmen = rahmen_300km
128    #rahmen = rahmen_400km
129    rahmen = rahmen_600x400km
130    #rahmen = rahmen_eber
131    #rahmen = rahmen_glei
132    #rahmen = rahmen_bad_i
133    #rahmen = rahmen_oest_teil
134    #rahmen = rahmen_oest_klein
135    #rahmen = rahmen_oest
136
137    return rahmen
138
139 def allg_queltig():
140
141     km_zu_m = 1000
142     ha_zu_m2 = 10000
143
144     return km_zu_m, ha_zu_m2

```

```

145 def techn_modelleigenschaften():
146
147     import parameter
148
149     km_zu_m, ha_zu_m2 = parameter.allg_gueltig()
150
151     zellgr = 100 # Laenge Zelle in m
152     zellgr_m2 = zellgr * zellgr # Flaechе Zelle in m2
153     zellgr_ha = zellgr_m2 / ha_zu_m2 # Flaechе Zelle in ha
154
155     return zellgr, zellgr_ha
156
157 def cor_codes():
158
159     # CORINE Land Cover Codes
160     cor_stadt_dicht = 1 # 1,230,000,077,255, 111 - Continuous urban fabric
161     cor_stadt_duenn = 2 # 2,255,000,000,255, 112 - Discontinuous urban fabric
162     cor_indu_gewe = 3 # 3,204,077,242,255, 121 - Industrial or commercial units
163     cor_stras_schie = 4 # 4,204,000,000,255, 122 - Road and rail networks and associated land
164     cor_hafen = 5 # 5,230,204,204,255, 123 - Port areas
165     cor_flugh = 6 # 6,230,204,230,255, 124 - Airports
166     cor_min_abbau = 7 # 7,166,000,204,255, 131 - Mineral extraction sites
167     cor_muelldepon = 8 # 8,166,077,000,255, 132 - Dump sites
168     cor_baustellen = 9 # 9,255,077,255, 255,133 - Construction sites
169     cor_grue_urban = 10 # 10,255,166,255,255,141 - Green urban areas
170     cor_sport_freiz = 11 # 11,255,230,255,255,142 - Sport and leisure facilities
171     cor_nicht_bew_l = 12 # 12,255,255,168,255,211 - Non-irrigated arable land
172     cor_bewaes_land = 13 # 13,255,255,000,255,212 - Permanently irrigated land
173     cor_reis = 14 # 14,230,230,000,255,213 - Rice fields
174     cor_weingarten = 15 # 15,230,128,000,255,221 - Vineyards
175     cor_streuobstw = 16 # 16,242,166,077,255,222 - Fruit trees and berry plantations
176     cor_olivenhain = 17 # 17,230,166,000,255,223 - Olive groves
177     cor_weiden = 18 # 18,230,230,077,255,231 - Pastures
178     cor_dauer_kul = 19 # 19,255,230,166,255,241 - Annual crops associated with permanent crops
179     cor_komplex_kul = 20 # 20,255,230,077,255,242 - Complex cultivation patterns
180     cor_agrar_natur = 21 # 21,230,204,077,255,243 - Land principally occupied by agriculture with
    significant areas of natural vegetation
181     cor_agr_forst = 22 # 22,242,204,166,255,244 - Agro-forestry areas
182     cor_laubwald = 23 # 23,128,255,000,255,311 - Broad-leaved forest
183     cor_nadelwald = 24 # 24,000,166,000,255,312 - Coniferous forest
184     cor_mischwald = 25 # 25,077,255,000,255,313 - Mixed forest
185     cor_grasland = 26 # 26,204,242,077,255,321 - Natural grasslands
186     cor_moor_heide = 27 # 27,166,255,128,255,322 - Moors and heathland
187     cor_hartlaubveg = 28 # 28,166,230,077,255,323 - Sclerophyllous vegetation
188     cor_strauch = 29 # 29,166,242,000,255,324 - Transitional woodland-shrub
189     cor_sand = 30 # 30,230,230,230,255,331 - Beaches - dunes - sands
190     cor_felsen = 31 # 31,204,204,204,255,332 - Bare rocks
191     cor_veg_schwach = 32 # 32,204,255,204,255,333 - Sparsely vegetated areas
192     cor_verbrannt = 33 # 33,000,000,000,255,334 - Burnt areas
193     cor_gletscher = 34 # 34,166,230,204,255,335 - Glaciers and perpetual snow
194     cor_sumpf = 35 # 35,166,166,255,255,411 - Inland marshes
195     cor_torfmoore = 36 # 36,077,077,255,255,412 - Peat bogs
196     cor_salzwiese = 37 # 37,204,204,255,255,421 - Salt marshes
197     cor_saline = 38 # 38,230,230,255,255,422 - Salines
198     cor_kuest_watt = 39 # 39,166,166,230,255,423 - Intertidal flats
199     cor_fluesse = 40 # 40,000,204,242,255,511 - Water courses
200     cor_wasserfl = 41 # 41,128,242,230,255,512 - Water bodies
201     cor_kuest_lag = 42 # 42,000,255,166,255,521 - Coastal lagoons
202     cor_aestuar = 43 # 43,166,255,230,255,522 - Estuaries
203     cor_meer = 44 # 44,230,242,255,255,523 - Sea and ocean
204     cor_nodata = 48 # 48,255,255,255,255,999 - NODATA
205     cor_unklas_lan = 49 # 49,255,255,255,255,990 - UNCLASSIFIED LAND SURFACE
206     cor_unklas_was = 50 # 50,230,242,255,255,995 - UNCLASSIFIED WATER BODIES
207     cor_unklas = 255 # 255,255,255,255,255,990 - UNCLASSIFIED
208
209     # Klassifizierung fuer Berechnungsmodell
210     cor_stadt = cor_sport_freiz # <= ist cor_stadt
211     cor_land = cor_agr_forst # <= ist cor_land
212     cor_land_unwegs = cor_mischwald # <= ist cor_land_unwegs
213     cor_wildnis = cor_unklas # <= ist cor_wildnis
214
215     return cor_stadt, cor_land, cor_land_unwegs, cor_wildnis, cor_nicht_bew_l, cor_weiden

```

```

1 # DA 2016/2017 Rafael MILOS
2 # Hauptmodell
3
4 import pfade
5 import parameter
6 import funktionen
7
8 anz_durchlaeufer_ak, anz_durchlaeufer_ee, limit_durchlaeufer_ak, limit_durchlaeufer_ee = parameter.
iterationsschritte()
9 raumwi_stadt, raumwi_land, raumwi_land_unwegs, raumwi_wildnis, redu_fak_lak, redu_fak_ernte = parameter.
modell_an_verkehr()
10 rahmen = parameter.berechnungsraum()
11 zellgr, zellgr_ha = parameter.techn_modelleigenschaften()
12
13 ak_ud_oe_pfad, bewi_fla_pfad, ertrag_pfad, ueber_defiz_ert_pfad = pfade.AusgabeErtragsmodell(
anz_durchlaeufer_ak)
14 ak_wg_su_pfad, uebe_sum_pfad, defi_sum_pfad, ver_ak_pfad, ver_er_pfad = pfade.AusgabeVerteilungsmodell(
anz_durchlaeufer_ak)
15
16 # Check out any necessary licenses
17 arcpy.CheckOutExtension("spatial")
18
19 #Extent und CellSize
20 arcpy.env.extent = rahmen
21 arcpy.env.cellSize = zellgr
22
23 # Info-Ausgabe Iterationsschritt
24 arcpy.AddMessage(str('\nAktueller Iterationsschritt lAk: ') + str(anz_durchlaeufer_ak))
25 arcpy.AddMessage(str('Maximaler Iterationsschritt lAk: ') + str(limit_durchlaeufer_ak))
26 arcpy.AddMessage(str('---'))
27 arcpy.AddMessage(str('Aktueller Iterationsschritt Ee: ') + str(anz_durchlaeufer_ee))
28 arcpy.AddMessage(str('Maximaler Iterationsschritt Ee: ') + str(limit_durchlaeufer_ee))
29
30 # Berechnung von verfuegbaren und notwendigen lAk erfolgt im ArcCatalog Modell
31
32 # Verteilung der landwirtschaftlichen Arbeitskraefte
33 arcpy.AddMessage(str('\n~~~~~ Verteilung landwirtschaftlicher Arbeitskraefte ~~~~~'))
34
35 funktionen.Verteilungsmodell(ak_ud_oe_pfad, ver_ak_pfad, anz_durchlaeufer_ak, limit_durchlaeufer_ak,
redu_fak_lak)
36
37 # Berechnung (realisierter) landwirtschaftlicher Ertrag, Ertragsbedarf sowie Ertragsverteilung
38 arcpy.AddMessage(str('\n~~~~~ Ermittlung realisierter Ernteertraege und Verteilung Ernteertraege ~~~~~'))
39 ver_ak_pfad = ver_ak_pfad + str(limit_durchlaeufer_ak)
40
41 funktionen.Ertragsmodell(ver_ak_pfad, anz_durchlaeufer_ee, limit_durchlaeufer_ee, limit_durchlaeufer_ak)
42
43 arcpy.AddMessage(str(' '))

```

Funktionen

Verteilungsmodell

```
1 # DA 2016/2017 Rafael MILOS
2 # Funktionen
3
4 def Verteilungsmodell(input_pfad, output_pfad, anz_durchlaeufe, limit_durchlaeufe, redu_fak):
5
6     import arcpy
7     from time import *
8     import funktionen
9     import unterfunktionen
10
11     #####
12     # Wegkosten
13     unterfunktionen.Wegkosten(anz_durchlaeufe)
14
15     #####
16     # Zusammenfassen und Zerstreuen
17
18     zellen_breite = 1
19     zellen_hoehe = 2
20
21     # *****
22     # Ermittlung der zuletzt verwendeten Rectangle-Form (... , 3 4, 4 3, 4 4, ...)
23     i = 0
24     wachstums_schritt = i % 3
25     while i < anz_durchlaeufe:
26         i = i + 1
27         wachstums_schritt = i % 3
28         if wachstums_schritt == 1:
29             zellen_breite = zellen_breite + 1
30             zellen_hoehe = zellen_hoehe - 1
31         if wachstums_schritt == 0:
32             zellen_breite = zellen_breite + 0
33             zellen_hoehe = zellen_hoehe + 1
34         if wachstums_schritt == 2:
35             zellen_breite = zellen_breite + 0
36             zellen_hoehe = zellen_hoehe + 1
37     # *****
38
39     einzug = str('Rectangle') + str(' ') + str(zellen_breite) + str(' ') + str(zellen_hoehe) + str(' ')
40     + str('CELL')
41
42     while anz_durchlaeufe < limit_durchlaeufe:
43
44         lt = localtime()
45         anz_durchlaeufe = anz_durchlaeufe + 1
46         ausgabe = "Durchlauf Nr.: " + str(anz_durchlaeufe) + strftime(" (Start erfolgte um %H:%M:%S)",
47             lt)
48         arcpy.AddMessage(ausgabe)
49         arcpy.AddMessage(str('Einzug: ') + str(einzug))
50
51         # Gelesen wird immer nur aus den tmp Speicherungen; die 100er Schritte dienen nur als
52         # Ausgabedateien
53         if anz_durchlaeufe > 1:
54             nr_letzter_durchlauf = anz_durchlaeufe - 1
55             rest = nr_letzter_durchlauf % 2
56             input_pfad = output_pfad + str('tmp_') + str(rest) #str(nr_letzter_durchlauf)
57
58         unterfunktionen.Zusammenfassen(einzug, anz_durchlaeufe, input_pfad, redu_fak)
59         unterfunktionen.Zerstreuen(einzug, anz_durchlaeufe, input_pfad, output_pfad)
60
61         # Erzeugt kein quadratisches sondern "Schrittweise-Rechteckiges" Wachstum des BlockStatistics
62         # Rahmens
63         wachstums_schritt = anz_durchlaeufe % 3
64         arcpy.AddMessage(str('Wachstums-Schritt: ') + str(wachstums_schritt) + str('; Anzahl
65         Durchlaeufe: ') + str(anz_durchlaeufe))
66         arcpy.AddMessage(str('----'))
67         if wachstums_schritt == 1:
68             zellen_breite = zellen_breite + 1
69             zellen_hoehe = zellen_hoehe - 1
70         if wachstums_schritt == 0:
71             zellen_breite = zellen_breite + 0
72             zellen_hoehe = zellen_hoehe + 1
73         if wachstums_schritt == 2:
74             zellen_breite = zellen_breite + 0
75             zellen_hoehe = zellen_hoehe + 1
76
77         einzug = str('Rectangle') + str(' ') + str(zellen_breite) + str(' ') + str(zellen_hoehe) + str(' ')
78         + str('CELL')
79
80     return 0
```

Weitere Funktionen

```
76 def Ertragsmodell(input_pfad, anz_durchlaeufer, limit_durchlaeufer, limit_durchlaeufer_ak):
77
78     import pfade
79     import parameter
80     import funktionen
81     import unterfunktionen
82
83     raumwi_stadt, raumwi_land, raumwi_land_unwegs, raumwi_wildnis, redu_fak_lak, redu_fak_ernte =
parameter.modellan_verkehr()
84
85     ak_ud_oe_pfad, bewi_fla_pfad, ertrag_pfad, ueber_defiz_ert_pfad = pfade.AusgabeErtragsmodell(
anz_durchlaeufer)
86
87     ak_wg_su_pfad, uebe_sum_pfad, defi_sum_pfad, ver_ak_pfad, ver_er_pfad = pfade.
AusgabeVerteilungsmodell(anz_durchlaeufer)
88
89     # Realisierter landwirtschaftlicher Ertrag
90     if anz_durchlaeufer == 0:
91         unterfunktionen.Real_ertrag(input_pfad, limit_durchlaeufer_ak)
92
93     # Von EW benötigter landwirtschaftlicher Ertrag --> Ertragsbedarf
94     # Wird in ArcCatalog erledigt
95     # Da auch der Ernteertrag in Personen umgerechnet wird (Personen die von dieser Zelle
ernaehrt werden koennen),
96     # entspricht der Erntebedarf einfach den Einwohnern
97
98     # Ertrag Defizit/Ueberschuss
99     unterfunktionen.defi_ueber_ertrag(limit_durchlaeufer_ak)
100
101     # Verteilung von Rasterzellen untereinander Def<->Ueb
102     funktionen.Verteilungsmodell(ueber_defiz_ert_pfad, ver_er_pfad, anz_durchlaeufer, limit_durchlaeufer,
redu_fak_ernte)
103
104     return 0
```

Unterfunktionen

```
1 # DA 2016/2017 Rafael MILOS
2 # Unterfunktionen
3
4 def Wegkosten(anz_durchlaeufer): # Raster mit raeumlichen Widerstaenden
5
6     import arcpy
7     from arcpy.sa import *
8     import pfade
9     import parameter
10
11     raumwi_stadt, raumwi_land, raumwi_land_unwegs, raumwi_wildnis, redu_fak_lak, redu_fak_ernte =
parameter.modellan_verkehr()
12     cor_stadt, cor_land, cor_land_unwegs, cor_wildnis, cor_nicht_bew_1, cor_weiden = parameter.cor_codes
()
13
14     g100_06_tif_pfad = pfade.Eingabe()
15
16     wegkoste_pfad, ak_wegkoT_pfad, outBkLinkRaster, ak_defiz_pfad, ak_def_0_pfad, ak_ueber_pfad,
ak_ueb_0_pfad, ak_w_gew_pfad, akud_d01T_pfad = pfade.Ausgabe1(anz_durchlaeufer)
17
18     ras = Raster(g100_06_tif_pfad)
19     wegkoste = Con(ras <= cor_stadt, raumwi_stadt, Con(ras <= cor_land, raumwi_land, Con(ras <=
cor_land_unwegs, raumwi_land_unwegs, raumwi_wildnis)))
20     wegkoste.save(wegkoste_pfad)
21
22     return 0
23
```

Zusammenfassen / Aggregieren

```
24 def Zusammenfassen(einzug, anz_durchlaeufer, input_pfad, redu_fak):
25
26     import arcpy
27     import pfade
28     import parameter
29     import unterfunktionen
30
31     zellgr, zellgr_ha = parameter.techn_modelleigenschaften()
32
33     wegkoste_pfad, ak_wegkoT_pfad, outBkLinkRaster, ak_defiz_pfad, ak_def_0_pfad, ak_ueber_pfad,
34     ak_ueb_0_pfad, ak_w_gew_pfad, akud_d01T_pfad = pfade.Ausgabel(anz_durchlaeufer)
35     ak_wg_su_pfad, uebe_sum_pfad, defi_sum_pfad, ver_ak_pfad, ver_er_pfad = pfade.
36     AusgabeVerteilungsmodell(anz_durchlaeufer)
37
38     # Zusammenfassen Schritt 1
39     unterfunktionen.ZusaSchr1(anz_durchlaeufer, input_pfad)
40
41     arcpy.gp.BlockStatistics_sa(ak_w_gew_pfad, ak_wg_su_pfad, einzug, "SUM", "DATA")
42     arcpy.gp.BlockStatistics_sa(ak_ueb_0_pfad, uebe_sum_pfad, einzug, "SUM", "DATA")
43     arcpy.gp.BlockStatistics_sa(ak_def_0_pfad, defi_sum_pfad, einzug, "SUM", "DATA")
44
45     # Zusammenfassen Schritt 2
46     unterfunktionen.ZusaSchr2(anz_durchlaeufer, redu_fak)
47
48     return 0
49
50 # Zusammenfassen Schritt 1
51 def ZusaSchr1(anz_durchlaeufer, input_pfad):
52
53     import arcpy
54     from arcpy.sa import *
55     import pfade
56     import unterfunktionen
57
58     wegkoste_pfad, ak_wegkoT_pfad, outBkLinkRaster, ak_defiz_pfad, ak_def_0_pfad, ak_ueber_pfad,
59     ak_ueb_0_pfad, ak_w_gew_pfad, akud_d01T_pfad = pfade.Ausgabel(anz_durchlaeufer)
60
61     # Defizite und Ueberschuesse
62     de_or_ue = 0
63     unterfunktionen.DefizUeber(de_or_ue, ak_defiz_pfad, ak_def_0_pfad, anz_durchlaeufer, input_pfad)
64     # Defizite und Ueberschuesse
65     de_or_ue = 1
66     unterfunktionen.DefizUeber(de_or_ue, ak_ueber_pfad, ak_ueb_0_pfad, anz_durchlaeufer, input_pfad)
67
68     outCostDist = CostDistance(ak_defiz_pfad, wegkoste_pfad, "", outBkLinkRaster)
69     outCostDist.save(ak_wegkoT_pfad)
70
71     ak_w_gew = Raster(input_pfad) * Raster(ak_wegkoT_pfad)
72     ak_w_gew.save(ak_w_gew_pfad)
73
74     return 0
75
76 # Defizite und Ueberschuesse
77 def DefizUeber(schalter, d_or_u_pfad, d_or_u_0_pfad, anz_durchlaeufer, input_pfad):
78
79     import arcpy
80     from arcpy.sa import *
81
82     de_or_ue = schalter
83
84     ras = Raster(input_pfad)
85     d_or_u = Con(de_or_ue == 0, Con(ras < 0, ras), Con(de_or_ue == 1, Con(ras > 0, ras)))
86     d_or_u.save(d_or_u_pfad)
87
88     ras = Raster(d_or_u_pfad)
89     d_or_u_0 = Con(IsNull(d_or_u), 0, d_or_u)
90     d_or_u_0.save(d_or_u_0_pfad)
91
92     return 0
```

```

91 # Zusammenfassen Schritt 2
92 def ZusaSchr2(anz_durchlaeufer, redu_fak):
93
94     import arcpy
95     from arcpy.sa import *
96     import pfade
97
98     ak_g_w_0T_pfad, ak_ge_wkT_pfad, ak_w_g_eT_pfad, ak_wge_0T_pfad, a_wgelkm_pfad, akud_d01T_pfad,
99     ak_d01_r_pfad = pfade.Ausgabe2(anz_durchlaeufer)
100     ak_wg_su_pfad, uebe_sum_pfad, defi_sum_pfad, ver_ak_pfad, ver_er_pfad = pfade.
101     AusgabeVerteilungsmodell(anz_durchlaeufer)
102     ak_redfaT_pfad, ak_wande_pfad, ak_bedar_pfad = pfade.ZusaSchr2()
103
104     m_zu_km = 1000
105
106     uebe_sum = Raster(uebe_sum_pfad)
107     ak_wg_su = Raster(ak_wg_su_pfad)
108
109     ak_w_g_eT = Con(uebe_sum == 0, 0, ak_wg_su / uebe_sum)
110     ak_wge_0T = Con(IsNull(ak_w_g_eT), 0, ak_w_g_eT)
111     a_wgelkm = ak_wge_0T / m_zu_km
112     ak_redfaT_pfad = ak_redfaT_pfad + str(anz_durchlaeufer)
113     ak_redfaT = a_wgelkm * redu_fak
114
115     defi_sum = Raster(defi_sum_pfad)
116
117     ak_bedar = defi_sum + defi_sum * ak_redfaT
118     ak_bedar_pfad = ak_bedar_pfad + str(anz_durchlaeufer)
119
120     uebe_sum = Raster(uebe_sum_pfad)
121
122     ak_wande = Con(Abs(ak_bedar) > uebe_sum, uebe_sum, ak_bedar)
123     ak_wande_pfad = ak_wande_pfad + str(anz_durchlaeufer)
124     pos_neg = Con(ak_wande >= 0, -1, 1) # +/- Problem bei Wegkosten
125     ak_ge_wkT = ak_wande * ak_redfaT * pos_neg
126     ak_g_w_0T = Con(IsNull(ak_ge_wkT), 0, ak_ge_wkT)
127     akud_d01T = defi_sum + Con((uebe_sum + ak_g_w_0T) > 0, uebe_sum + ak_g_w_0T, 0)
128
129     akud_d01T.save(ak_d01_r_pfad)
130
131     return 0

```

Zerstreuen / Disaggregieren

```

131 def Zerstreuen(einzug, anz_durchlaeufer, input_pfad, output_pfad):
132
133     import arcpy
134     from arcpy.sa import *
135     import unterfunktionen
136     import pfade
137
138     ak_g_w_0T_pfad, ak_ge_wkT_pfad, ak_w_g_eT_pfad, ak_wge_0T_pfad, a_wgelkm_pfad, akud_d01T_pfad,
139     ak_d01_r_pfad = pfade.Ausgabe2(anz_durchlaeufer)
140     negati_1_pfad, positiv_1_pfad, ur_ne_nd_pfad, ur_po_nd_pfad, ur_we_ne_pfad, ur_we_po_pfad,
141     zelle_ne_pfad, min_w_nd_pfad, anz_posi_pfad, block_po_pfad = pfade.AusgabeUrsWer2()
142     fixe_neg_pfad, fixe_pos_pfad, oh_fla_n_pfad, oh_fla_p_pfad, ne_o_anz_pfad, sum_fw_n_pfad,
143     sum_fw_p_pfad, po_o_anz_pfad = pfade.AusgabeZersSchr2()
144
145     arcpy.env.extent = ak_d01_r_pfad
146
147     unterfunktionen.ZersSchr1(anz_durchlaeufer, input_pfad)
148
149     arcpy.gp.BlockStatistics_sa(negati_1_pfad, anz_nega_pfad, einzug, "SUM", "DATA")
150     arcpy.gp.BlockStatistics_sa(positiv_1_pfad, anz_posi_pfad, einzug, "SUM", "DATA")
151     arcpy.gp.BlockStatistics_sa(ur_ne_nd_pfad, max_w_nd_pfad, einzug, "MAXIMUM", "DATA")
152     arcpy.gp.BlockStatistics_sa(ur_po_nd_pfad, min_w_nd_pfad, einzug, "MINIMUM", "DATA")
153     arcpy.gp.BlockStatistics_sa(zelle_ne_pfad, block_ne_pfad, einzug, "SUM", "DATA")
154     arcpy.gp.BlockStatistics_sa(zelle_po_pfad, block_po_pfad, einzug, "SUM", "DATA")
155
156     unterfunktionen.ZersSchr2(anz_durchlaeufer)
157
158     arcpy.gp.BlockStatistics_sa(oh_fla_n_pfad, ne_o_anz_pfad, einzug, "SUM", "DATA")
159     arcpy.gp.BlockStatistics_sa(fixe_neg_pfad, sum_fw_n_pfad, einzug, "SUM", "DATA")
160     arcpy.gp.BlockStatistics_sa(fixe_pos_pfad, sum_fw_p_pfad, einzug, "SUM", "DATA")
161     arcpy.gp.BlockStatistics_sa(oh_fla_p_pfad, po_o_anz_pfad, einzug, "SUM", "DATA")
162
163     unterfunktionen.ZersSchr3(anz_durchlaeufer, output_pfad)
164
165     return 0
166
167 # Zerstreuen Schritt 1
168 def ZersSchr1(anz_durchlaeufer, input_pfad):
169
170     import arcpy
171     from arcpy.sa import *
172     import unterfunktionen
173
174     unterfunktionen.UrsWer(anz_durchlaeufer, input_pfad)
175
176     return 0

```

```

176 # Beruecksichtigung der urspruenglichen Werte
177 def UrsprWer(anz_durchlaeufer, input_pfad):
178
179     import arcpy
180     from arcpy.sa import *
181     import pfade
182
183     negati_1_pfad, positiv_1_pfad, ur_ne_nd_pfad, ur_po_nd_pfad, ur_we_ne_pfad, ur_we_po_pfad,
184     zelle_ne_pfad, zelle_po_pfad, anz_nega_pfad, max_w_nd_pfad = pfade.AusgabeUrsprWer()
185
186     ak_ud_oe = Raster(input_pfad)
187
188     negati_1 = Con(ak_ud_oe < 0, 1)           # < 0 --> 1
189     positiv_1 = Con(ak_ud_oe > 0, 1)         # > 0 --> 1
190     ur_ne_nd = Con(ak_ud_oe < 0, ak_ud_oe)   # < 0 --> ak_ud_oe
191     ur_po_nd = Con(ak_ud_oe > 0, ak_ud_oe)   # > 0 --> ak_ud_oe
192     ur_we_ne = Con(IsNull(ur_ne_nd), 0, ur_ne_nd) # NoData zu 0ern
193     ur_we_po = Con(IsNull(ur_po_nd), 0, ur_po_nd) # NoData zu 0ern
194     zelle_ne = Con(ak_ud_oe <= 0, 0, 1) # Ueberprueft ob alle Werte eines Blocks negativ sind (, weil
195     dann keine weitere Zerstreung noetig ist)
196     zelle_po = Con(ak_ud_oe >= 0, 0, 1) # Ueberprueft ob alle Werte eines Blocks positiv sind (, weil
197     dann keine weitere Zerstreung noetig ist)
198
199     negati_1.save(negati_1_pfad)
200     positiv_1.save(positiv_1_pfad)
201     ur_ne_nd.save(ur_ne_nd_pfad)
202     ur_po_nd.save(ur_po_nd_pfad)
203     ur_we_ne.save(ur_we_ne_pfad)
204     ur_we_po.save(ur_we_po_pfad)
205     zelle_ne.save(zelle_ne_pfad)
206     zelle_po.save(zelle_po_pfad)
207
208     return 0

```

```

207 # Zerstreuen Schritt 2
208 def ZersSchr2(anz_durchlaeufer):
209
210     import arcpy
211     from arcpy.sa import *
212     import pfade
213
214     ak_g_w_0T_pfad, ak_ge_wkT_pfad, ak_w_g_eT_pfad, ak_wge_0T_pfad, a_wgelkm_pfad, akud_d01T_pfad,
215     ak_d01_r_pfad = pfade.Ausgabe2(anz_durchlaeufer)
216     negati_1_pfad, positiv_1_pfad, ur_ne_nd_pfad, ur_po_nd_pfad, ur_we_ne_pfad, ur_we_po_pfad,
217     zelle_ne_pfad, zelle_po_pfad, anz_nega_pfad, max_w_nd_pfad = pfade.AusgabeUrsprWer()
218     block_ne_pfad, min_w_nd_pfad, anz_posi_pfad, block_po_pfad = pfade.AusgabeUrsprWer2()
219     fixe_neg_pfad, fixe_pos_pfad, oh_fla_n_pfad, oh_fla_p_pfad, ne_o_anz_pfad, sum_fw_n_pfad,
220     sum_fw_p_pfad, po_o_anz_pfad = pfade.AusgabeZersSchr2()
221
222     ak_d01_r = Raster(ak_d01_r_pfad)
223     anz_nega = Raster(anz_nega_pfad)
224     anz_posi = Raster(anz_posi_pfad)
225     max_w_nd = Raster(max_w_nd_pfad)
226     min_w_nd = Raster(min_w_nd_pfad)
227     block_po = Raster(block_po_pfad)
228     block_ne = Raster(block_ne_pfad)
229     ur_we_ne = Raster(ur_we_ne_pfad)
230     ur_we_po = Raster(ur_we_po_pfad)
231
232     gl_ant_ne = Con(ak_d01_r < 0, ak_d01_r / anz_nega, 0) # ak_d01_r < 0 --> ak_d01_r / anz_nega
233     gl_ant_po = Con(ak_d01_r > 0, ak_d01_r / anz_posi, 0) # ak_d01_r > 0 --> ak_d01_r / anz_posi
234
235     max_w_bl = Con(IsNull(max_w_nd), 0, max_w_nd) # NoData zu 0ern
236     min_w_bl = Con(IsNull(min_w_nd), 0, min_w_nd) # NoData zu 0ern
237
238     prob_neg = Con(gl_ant_ne >= max_w_bl, 1, 0) # Ist groesster alter Wert, kleiner-gleich als neuer
239     prob_pos = Con(gl_ant_po <= min_w_bl, 1, 0) # Ist kleinster alter Wert, groesser-gleich als neuer
240     gleichverteilter Wert?
241
242     # Schreibe jene Werte, welche negativ sind, den gleichverteilten Anteil nicht aufnehmen koennen und
243     dem Block-Maximum entsprechen
244     fixe_neg = Con(block_ne == 0, ur_we_ne, Con(prob_neg == 0, Con(ur_we_ne == max_w_bl, ur_we_ne, 0), 0)
245     ))
246     # Schreibe jene Werte, welche positiv sind, den gleichverteilten Anteil nicht aufnehmen koennen und
247     dem Block-Minimum entsprechen
248     fixe_pos = Con(block_po == 0, ur_we_po, Con(prob_pos == 0, Con(ur_we_po == min_w_bl, ur_we_po, 0), 0)
249     ))
250
251     ne_oh_fi = Con(fixe_neg != 0, 0, 1) # Ermittlung der Anzahl an NICHT fixen negativen Werten
252     po_oh_fi = Con(fixe_pos != 0, 0, 1) # Ermittlung der Anzahl an NICHT fixen positiven Werten
253
254     ohn_fi_n = Con(ne_oh_fi == 1, ur_we_ne, 0) # Ermittlung der Anzahl an NICHT fixen negativen Werten
255     ohn_fi_p = Con(po_oh_fi == 1, ur_we_po, 0) # Ermittlung der Anzahl an NICHT fixen positiven Werten
256
257     oh_fla_n = Con(ohn_fi_n != 0, 1, 0) # Ermittlung der Anzahl an NICHT fixen negativen Werten
258     oh_fla_p = Con(ohn_fi_p != 0, 1, 0) # Ermittlung der Anzahl an NICHT fixen positiven Werten
259
260     fixe_neg.save(fixe_neg_pfad)
261     fixe_pos.save(fixe_pos_pfad)
262
263     oh_fla_n.save(ohn_fla_n_pfad)
264     oh_fla_p.save(ohn_fla_p_pfad)
265
266     return 0

```

```

260 # Zestreuen Schritt 3
261 def ZersSchr3(anz_durchlaeufe, output_pfad):
262
263     import arcpy
264     from arcpy.sa import *
265     from time import *
266     import pfade
267
268     tmp, n_nutzb_fl_pfad, ew_pfad = pfade.Darstellung()
269     ak_g_w_0T_pfad, ak_ge_wkT_pfad, ak_w_g_eT_pfad, ak_wge_0T_pfad, a_wge1km_pfad, akud_d01T_pfad,
270     ak_d01_r_pfad = pfade.Ausgabe2(anz_durchlaeufe)
271     negati_l_pfad, positiv_l_pfad, ur_ne_nd_pfad, ur_po_nd_pfad, ur_we_ne_pfad, ur_we_po_pfad,
272     zelle_ne_pfad, zelle_po_pfad, anz_neg_pfad, max_w_nd_pfad = pfade.AusgabeUrsprwEr()
273     fixe_neg_pfad, fixe_pos_pfad, oh_fla_n_pfad, oh_fla_p_pfad, ne_o_anz_pfad, sum_fw_n_pfad,
274     sum_fw_p_pfad, po_o_anz_pfad = pfade.AusgabeZersSchr2()
275
276     ak_d01_r = Raster(ak_d01_r_pfad)
277     sum_fw_n = Raster(sum_fw_n_pfad)
278     sum_fw_p = Raster(sum_fw_p_pfad)
279     ne_o_anz = Raster(ne_o_anz_pfad)
280     po_o_anz = Raster(po_o_anz_pfad)
281     ur_we_ne = Raster(ur_we_ne_pfad)
282     ur_we_po = Raster(ur_we_po_pfad)
283     fixe_neg = Raster(fixe_neg_pfad)
284     fixe_pos = Raster(fixe_pos_pfad)
285
286     a_o_fi_n = ak_d01_r - sum_fw_n # Arbeitskraefte Defizit/Ueberschuss abzueglich der negativen fixen
287     Werte je Block
288     a_o_fi_p = ak_d01_r - sum_fw_p # Arbeitskraefte Defizit/Ueberschuss abzueglich der positiven fixen
289     Werte je Block
290
291     gle_oh_n = Con(a_o_fi_n < 0, a_o_fi_n / ne_o_anz, 0)
292     gle_oh_p = Con(a_o_fi_p > 0, a_o_fi_p / po_o_anz, 0)
293     v_glei_n = Con(ur_we_ne < 0, gle_oh_n, 0)
294     v_glei_p = Con(ur_we_po > 0, gle_oh_p, 0)
295     ver_we_n = Con(fixe_neg != 0, fixe_neg, v_glei_n)
296     ver_we_p = Con(fixe_pos != 0, fixe_pos, v_glei_p)
297     ver_we = Con(ver_we_n < 0, ver_we_n, ver_we_p)
298
299     # Nur die Ersten 10 Durchlaeufe und dann jeder 100. Durchlauf werden gespeichert
300     # Speichern tmp
301     rest = anz_durchlaeufe % 2
302     output_pfad_tmp = output_pfad + str('tmp_') + str(rest) #str(anz_durchlaeufe)
303     ver_we.save(output_pfad_tmp)
304
305     # Speichern alle 100 Durchlaeufe
306     rest = anz_durchlaeufe % 100
307
308     if (anz_durchlaeufe <= 10 or rest == 0 or anz_durchlaeufe == 1350):
309         # Kennzeichnung von landwirtschaftlich nicht nutzbaren Flaechen
310         n_nutzb_fl = Raster(n_nutzb_fl_pfad)
311         ver_we = n_nutzb_fl + ver_we
312         # Speicherung
313         output_pfad = output_pfad + str(anz_durchlaeufe)
314         ver_we.save(output_pfad)
315         output_pfad_tmp = output_pfad
316
317     # Ausgabe Pfad Datei
318     lt = localtime()
319     ausgabe = "Werte aus Variable ver_we wurden als Datei im Ordner " + str(output_pfad_tmp) + " um" +
320     strftime(" %H:%M:%S", lt) + " gespeichert "
321     arcpy.AddMessage(ausgabe)
322
323     return 0

```

Weitere Unterfunktionen

```
319 # Ermittlung des realisierbaren Ernteertrags
320 def Real_ertrag(input_pfad, anz_durchlaeufer):
321
322     import arcpy
323     from arcpy.sa import *
324     import pfade
325     import parameter
326
327     ack_bewi, wie_bewi, ack_arbe, wie_arbe, ack_beda, wie_beda = parameter.modellan_landw()
328     zellgr, zellgr_ha = parameter.techn_modelleigenschaften()
329
330     g100_06_tif_pfad = pfade.Eingabe()
331
332     acker_ha_pfad, wies_wei_ha_pfad, einwohner_pfad, bedarf_ertrag_pfad = pfade.Bedarfsmodell()
333     ak_ud_oe_pfad, bewi_flg_pfad, ertrag_pfad, ueber_defiz_ert_pfad = pfade.AusgabeErtragsmodell(
334         anz_durchlaeufer)
335
336     # Raster laden
337     ver_ak = Raster(input_pfad) # Zellen mit bereits verteilten lAK
338     acker_ha = Raster(acker_ha_pfad) # Zellen die Acker sind
339     wies_wei_ha = Raster(wies_wei_ha_pfad) # Zellen die Wiese oder Weide sind
340
341     # Raster initialisieren
342     agra_flg = ver_ak # Agrarflaechen
343     not_arbe = ver_ak # notwendige Arbeitskraefte
344     defiz_ar = ver_ak
345     verfu_ar = ver_ak
346     verfue_a = ver_ak
347     verf_ack = ver_ak
348     verf_wie = ver_ak
349     bewi_flg_ha = ver_ak
350     ertrag = ver_ak
351
352     not_arbe = Con(acker_ha == 1, ack_arbe, Con(wies_wei_ha == 1, wie_arbe, 0)) # notwendige
353     Arbeitskraefte
354     agra_flg = Con((acker_ha == 1) | (wies_wei_ha == 1), 1, 0) # Agrarzellen
355     defiz_ar = Con((agra_flg == 1) & (ver_ak < 0), ver_ak, 0) # Agrarzellen mit lAK
356     Defizit
357     verfu_ar = not_arbe + defiz_ar # verfuegbare Arbeitskraefte (inkl. Defizit)
358     verfue_a = Con(verfu_ar > 0, verfu_ar, 0) # verfuegbare Arbeitskraefte (ohne Defizit)
359     verf_ack = Con(acker_ha == 1, verfue_a) # verfuegbare Arbeitskraefte Acker
360     verf_wie = Con(wies_wei_ha == 1, verfue_a) # verfuegbare Arbeitskraefte Wiese und Weide
361
362     # %-Anteil der bewirtschafteten Flaeche
363     # bei Defizit an lAK liegt der Wert zwischen 0-100% der Flaeche
364     bewi_flg = Con((agra_flg == 1) & (ver_ak >= 0), 1, Con(acker_ha == 1, verf_ack / ack_arbe, Con(
365         wies_wei_ha == 1, verf_wie / wie_arbe, 0)))
366
367     bewi_flg_ha = bewi_flg * zellgr_ha # Aus %-Anteil der bewirtschafteten Flaeche kann bewirtschaftete
368     Flaeche in ha ausgerechnet werden
369     ertrag = Con(acker_ha == 1, bewi_flg_ha / ack_beda, Con(wies_wei_ha == 1, bewi_flg_ha / wie_beda, 0
370     )) # Wieviele Menschen koennen von Ertrag ernaeht werden
371
372     ertrag.save(ertrag_pfad)
373
374     # Ausgabe Pfad Datei
375     lt = localtime()
376     ausgabe = "Werte aus Variable ertrag wurden als Datei im Ordner " + str(ertrag_pfad) + " um" +
377     strftime("%H:%M:%S", lt) + " gespeichert "
378     arcpy.AddMessage(ausgabe)
379     arcpy.AddMessage(str('-----'))
380
381     return 0
382
383 def defi_ueber_ertrag(anz_durchlaeufer):
384
385     import arcpy
386     from arcpy import env
387     from arcpy.sa import *
388     from time import *
389     import unterfunktionen
390     import pfade
391     import parameter
392
393     acker_ha_pfad, wies_wei_ha_pfad, einwohner_pfad, bedarf_ertrag_pfad = pfade.Bedarfsmodell()
394     ak_ud_oe_pfad, bewi_flg_pfad, ertrag_pfad, ueber_defiz_ert_pfad = pfade.AusgabeErtragsmodell(
395         anz_durchlaeufer)
396
397     real_ert = Raster(ertrag_pfad) # realisierter Ertrag
398     bedarf_ert = Raster(bedarf_ertrag_pfad) # benoetigter Ertrag
399     ueber_defiz_ert = real_ert - bedarf_ert # Ueberschuss / Defizit an Ertraegen
400
401     ueber_defiz_ert.save(ueber_defiz_ert_pfad)
402
403     return 0
```