Bundesministerium
Landwirtschaft, Regionen
und Tourismus

ERA-NETSUSAN

Universität für Bodenkultur Wien
Department für Wirtschafts- und
Sozialwissenschaften

ERA-NET SUSAN: NACHHALTIGE NUTZTIERHALTUNG

Abschlussbericht zum Forschungsprojekt Nr 101243

Animal Future

ERA-NET SUSAN: NACHHALTIGE NUTZTIERHALTUNG

Abschlussbericht zum Forschungsprojekt Nr 101243

Bundesministerium
Landwirtschaft, Regionen
und Tourismus

ERA-NET SUSAN

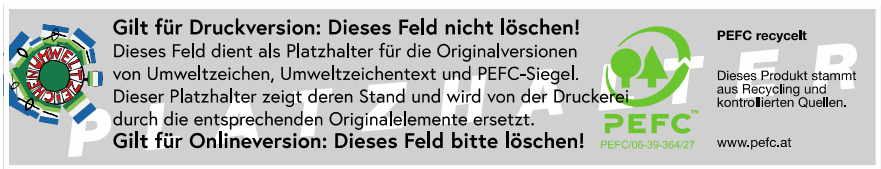
Universität für Bodenkultur Wien
Department für Wirtschafts- und
Sozialwissenschaften

Wien, 2020

Impressum

Projektnehmer: Institut für Soziale Ökologie, Universität für Bodenkultur Wien
Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
Adresse: Schottenfeldgasse 29, A-1070 Wien
Projektleiter: Dr. Karl-Heinz Erb
Tel. : +43 1 47654-73715
E-Mail: karlheinz.erb@boku.ac.at
ProjektmitarbeiterInnen: Dr. Michaela C. Theurl, Dr. Andreas Mayer, Lisa Kaufmann, Sarah Matej
Tel.: +43 1 47654-73715
E-Mail: karlheinz.erb@boku.ac.at
Kooperationspartner: INRA, LfL, CITA-IA2, IDELE, SRUC, IST-ID, WU
Finanzierungsstellen ERANET Susan
Projektlaufzeit (intl. Projektteil): 36 Monate, 05/2017 – 04/2020

Alle Rechte vorbehalten.



Wien, 2020. Stand: 7. Dezember 2020

ANIMAL FUTURE

is about steering animal production systems towards sustainable future

HTTPS://ANIMALFUTURE.EU/

PARTNERINSTITUTE

Inhalt

1 Einleitung 5

1.1 Beitrag des Instituts für Soziale Ökologie Wien 5

2 Aufbau einer regionalisierten Datenbank zur landwirtschaftlichen Produktion in Europa 7

2.1 Konzeptioneller Rahmen und Hintergrund 7

2.2 Die Europäische HANPP Datenbank 9

2.3 Geerntete Biomasse und Überreste 9

2.4 Charakterisierung von Tierhaltungssystemen 10

2.5 Daten zu Konsum und Handel 10

2.6 Status von Land- und Biomassefluss-Systemen in Österreichs Bundeländern 11

3 BioBaM 21

3.1 Szenarien (Kontrafaktische Analysen) 23

4 Implementierung der Innovation 25

4.1 Beschreibung des Basisjahres 26

4.2 Ergebnisse bei konstanten Produktionsmustern 28

4.3 Ergebnisse bei neuverteilten Produktionsmustern 31

4.4 Auswirkungen veränderter Nachfrage 34

4.5 Regionale Besonderheiten 38

5 Schlussfolgerungen 42

Tabellenverzeichnis 44

Abbildungsverzeichnis 45

Literaturverzeichnis 47

Abkürzungen 49

1 Einleitung

Ziel des Projekts AnimalFuture, beauftragt im Rahmen des ERA-NET Projekts „Susan“ (*Sustainable Animal Production*) und geleitet von Dr. Muriel Tichit am Inra in Paris, war die Entwicklung und Analyse von Strategien und Handlungsoptionen für zukünftige, nachhaltige Formen tierischer Produktionssysteme (animal production systems - APS) in Europa. Besonderer Fokus lag dabei auf der Berücksichtigung der komplexen sozio-ökonomischen und ökologischen Voraussetzungen der diversen Produktionssysteme sowie der Illustrierung und Abschätzung von Konsequenzen von möglichen Entwicklungsoptionen. Im Gesamtprojekt wurden im Rahmen von 9 Fallstudien in 5 europäischen Ländern Interviews mit ProduzentInnen durchgeführt, Primärdaten von Betrieben erhoben und innovative Praktiken im Bereich der Nutztierhaltung von Stakeholdern gesammelt. Komplementiert mit statistischen Daten konnten deren Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft in Form von Kosten-Nutzen-Portfolios dargestellt werden. Diese Analysen fanden Eingang in ein partizipativ entwickelten Multi-Akteur Entscheidungsinstruments (decision support system – DSS). Die Fallstudien auf lokaler Ebene wurden durch eine ganzheitliche Modellierung, die sich auf die Betrachtung der Auswirkungen auf dem Landschaftsniveau Europas konzentriert hat, komplementiert. Im Zentrum der Betrachtungen von AnimalFuture standen die Identifikation und Quantifizierung von trade-offs (etwa: „Zielkonflikten“) und Synergien im Bereich der Landnutzung und Nutztierhaltung, wodurch die Auswirkungen von landwirtschaftlichen Innovationen in den Kontext ökologischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Konsequenzen gesetzt werden konnten. Der landschafts-fokussierte Teil war Hauptaufgabe des österreichischen Projektpartners, des Instituts für Soziale Ökologie (zuerst Universität Klagenfurt, dann Universität für Bodenkultur) und wird in diesem Bericht beschrieben. Ziel des Projekts AnimalFuture war es, interessierten AkteurInnen ein online-Entscheidungsinstrument (decision support system – DSS) vorzulegen, mit dem sie basierend auf den Kosten-Nutzen-Portfolios und zusätzlichen in den Fallstudien gesammelten Daten innovative Praktiken der Nutztierhaltung nachvollziehen können.

1.1 Beitrag des Instituts für Soziale Ökologie Wien

Der wesentliche Beitrag des Instituts für Soziale Ökologie in Wien bestand in der systematischen Bewertung biophysischer Implikationen der Innovationen im Tiersektor Europas auf subnationaler-, europäischer- und globaler Ebene. Diese Umweltauswirkungen umfassen Treibhausgasemissionen, die Nutzung knapper natürlicher Ressourcen wie Land, Wasser, Nährstoffe und Energie sowie die Biodiversität. Diese Betrachtungsebene komplettiert und

flankiert die Fallstudien-basierten Analysen, denn nur durch die Berücksichtigung verschiedener räumlicher Skalen können die Konsequenzen von Innovationen und Strategien breit abgebildet und auf mögliche Problemverschiebungen aufmerksam gemacht werden. Diese Bewertung wiederum ist ein integraler Bestandteil des Projekts AnimalFuture. Es ermöglicht den AkteurInnen (ProduzentInnen, Weiterverarbeitungsbetrieben und BeraterInnen) zusätzlich Informationen darüber zu erhalten, welche Konsequenzen die Innovationen auf Aspekte der Nachhaltigkeit haben können. Zwei zentrale Entwicklungen ermöglichten die Erstellung dieser Kosten-Nutzen-Portfolios: die Erstellung einer umfassenden, hochdetaillierten Datenbank zur europäischen Landnutzung und Tierproduktion (siehe Kapitel 2) und eine substanzielle Erweiterung des Biomasse-Balance Modell BioBaM (Erb et al., 2016; Theurl et al., 2020) zur systematischen Quantifizierung von ökologischen Kosten (z. B. THG-Emissionen) und Nutzen (Biodiversität, verschiedene Ökosystemleistungen; siehe Kapitel 3) auf verschiedenen räumlichen Ebenen.

Im Folgenden werden zunächst die Vorgehensweise der Datensammlung und -zusammenstellung und die Weiterentwicklung des diagnostischen Werkzeugs BioBaM beschrieben und dann die Kosten-Nutzen-Portfolios ausgewählter Innovationen vorgestellt und diskutiert.

2 Aufbau einer regionalisierten Datenbank zur landwirtschaftlichen Produktion in Europa

Für die Erstellung der Kosten-Nutzen-Portfolios ausgewählter Innovationen mit Hilfe von BioBaM wurde zunächst eine Datenbank der Biomasseflüsse in der Landwirtschaft, mit besonderem Fokus auf tierische Produktionssysteme in Europa, etabliert. Diese Biomasseflüsse umfassen die Gesamtheit der agrarischen Flüsse von Produktion bis Konsum unter besonderer Berücksichtigung des Nutztiersektors, um Auswirkungen von Veränderungen an verschiedenen Schrauben des Systems ganzheitlich abbilden zu können. Die entwickelte BioBaM Datenbank beinhaltet daher die Gesamtheit der europäischen Biomasseflüsse in der landwirtschaftlichen Produktion, mit besonderem Detailierungsgrad in der Tierproduktion, sowie des menschlichen Biomassebedarfs auf verschiedenen räumlichen Ebenen. Sie umfasst Daten für 26 Länder der Europäischen Union differenziert in 227 NUTS-2-Regionen. Die NUTS-2 Ebene entspricht in Österreich den neun Bundeländern. Vereinzelt musste aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit auf eine höher aggregierte Ebene ausgewichen werden, wie beispielsweise im Falle von Großbritannien, wo die räumliche Differenzierung der NUTS-1-Ebene entspricht. Die Daten beziehen sich auf das Jahr 2012.

2.1 Konzeptioneller Rahmen und Hintergrund

Der methodologische Rahmen für die Erstellung der Datenbank ist die Material- und Energieflussanalyse (Fischer-Kowalski et al., 2011; Haberl et al., 2004; Krausmann et al., 2004). Dieses Rahmenwerk baut auf dem Massenerhaltungssatz auf und erfasst alle Materialströme (einschließlich Biomasse) zwischen der Gesellschaft und den natürlichen Systemen sowie zwischen den sozialen Sub-Systemen (z.B. Wirtschaftssektoren). Damit berücksichtigt sie jedoch nur sozioökonomische Flüsse und lässt ökosystemare Flüsse außer Acht. Mit Hilfe des Konzepts der gesellschaftlichen Aneignung von Nettoprimärproduktion (Human Appropriation of Net Primary Production; HANPP) - einer Erweiterung aus den Landsystemwissenschaften – können Ökosystemare Material- und Energieflüsse mit den gesellschaftlichen verbunden werden (Erb et al., 2009; Haberl et al., 2016, 2014, 2009). Dieses Konzept basiert auf der Erfassung der ökologischen Produktivität - gemessen an der Nettoprimärproduktion (NPP) - die das Fundament der landwirtschaftlichen Produktion und anderer Ökosystem-Dienstleistungen (Ecosystem services) ist. NPP ist die Differenz zwischen der Bruttoprimärproduktion (GPP) und

der Atmung der Pflanzen und ist der Ursprung aller vom Menschen konsumierten Biomasse. Eine solche Betrachtung der sozial-ökologischen Prozesse und Flüsse ist von entscheidender Bedeutung für die Analyse landwirtschaftlicher Systeme oder allgemeiner der Landsysteme und ihrer Dynamik (Haberl et al., 2014). Das HANPP-Konzept berücksichtigt dies und quantifiziert die Auswirkungen der Landnutzung auf die Verfügbarkeit von Energie in Ökosystemen.

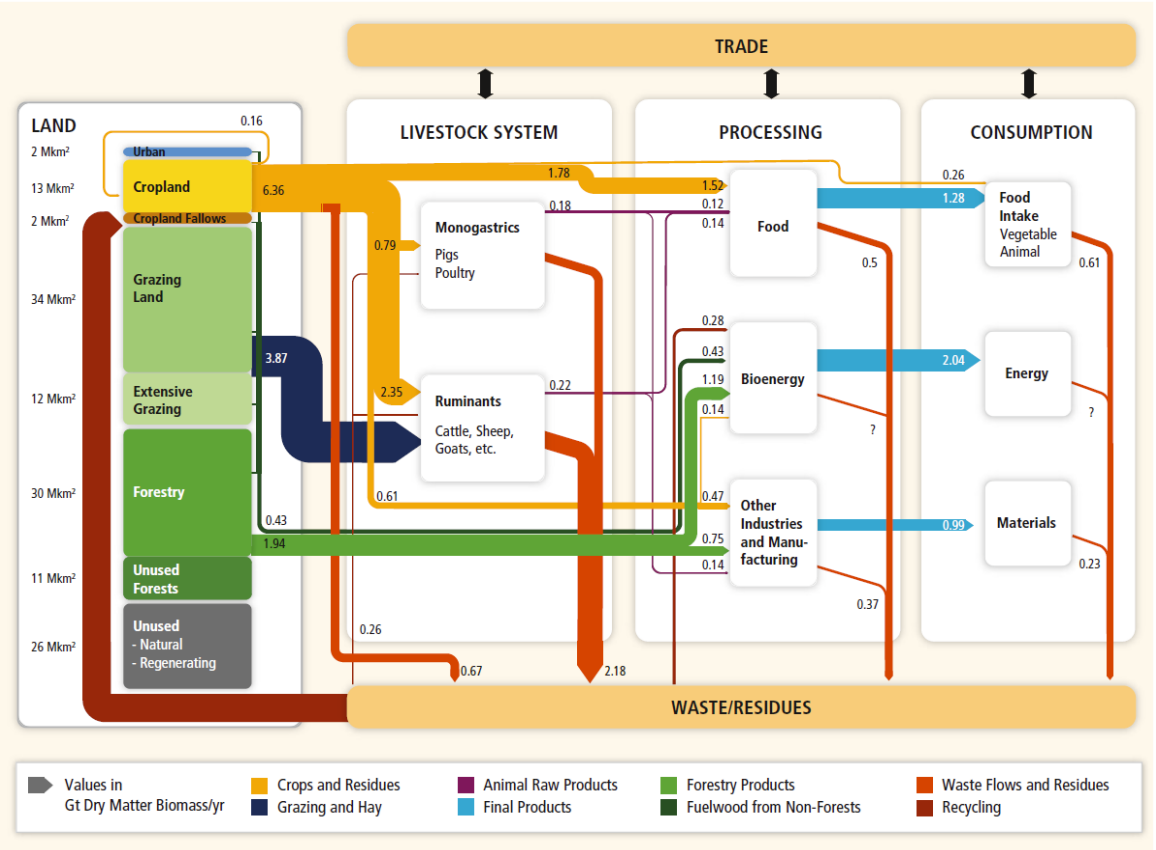


Abbildung 1: Schematische Darstellung der sozio-ökologischen Biomasseflüsse von Produktion zu Konsum am Beispiel globaler Kohlenstoffflüsse.
Quelle: (Smith et al., 2014). Nach dem gleichen Konzept, wenn auch in höherer thematischer Auflösung für Ackerland, wurden Daten für alle NUTS-2 Regionen zusammengestellt (unter Ausschluss des Forstsektors).

Diese konsistente Zusammenführung von ökonomischen und ökologischen Flüssen ist die Basis der Beschreibung des aktuellen biophysischen Zustandes der Landnutzung und Landwirtschaft Europas sowie der Analyse der möglichen Umsetzung von landwirtschaftlichen Innovationen auf verschiedenen räumlichen Ebenen.

2.2 Die Europäische HANPP Datenbank

Ausgangspunkt der HANPP Datenbank für dieses Projekt lag in einem räumlich expliziten Datensatz für die Europäische Union (Plutzar et al., 2016). Er enthält Daten für das Flächenausmaß der Landnutzungskategorien Wildnis und unproduktive Flächen, Siedlungsgebiete, Ackerland, Wälder, Grünland und Land unter sporadischer Beweidung auf einer räumlichen Auflösung von 1km sowie die HANPP-Flüsse für das Jahr 2006. In einem ersten Schritt wurde dieser Datensatz auf das Untersuchungsjahr 2012 angepasst. Für jede dieser Landnutzungskategorien wurde die potentielle NPP - die ökologische Produktivität der Ökosysteme, die hypothetisch ohne menschliche Landnutzung vorhanden wäre - sowie die aktuelle NPP (tatsächliche, unter menschlicher Landnutzung vorhandene Produktivität) ergänzt. HANPP, als Maß der gesellschaftlichen Aneignung der Produktivität von Ökosystemen setzt sich aus zwei Aspekten zusammen: HANPPharv beschreibt die Entnahme von Biomasseflüssen aus ökosystemaren Zusammenhängen, welche genutzt, aber auch ungenutzt bleiben kann. Zentral für die Größe ist die geerntete Biomasse (siehe Kap. 2.3.). Der zweite Aspekt der HANPP ist die Änderung der Produktivität der Ökosysteme durch jene menschlichen Eingriffe, welche zu einer Änderung der Produktivität von Ökosystemen führen, häufig auch als Konversion natürlicher Ökosysteme beschrieben (HANPPluc). Sie wird definiert als Differenz zwischen der potentiellen NPP und aktuellen NPP.

2.3 Geerntete Biomasse und Überreste

Daten zur geernteten Biomasse in 2012 wurden dem CAPRI Modell (Britz et al., 2008; Britz and Witzke, 2008; Weiss and Leip, 2012) entnommen. Das CAPRI Modell ist ein umfangreiches Modell, das versucht, die Auswirkungen und Dynamiken der Gemeinsamen Agrarpolitik abzuschätzen. Die Input-Daten beruhen dabei hauptsächlich auf Daten der Statistik-Datenbank der Europäischen Union, wobei fehlende Daten durch einerseits nationale Statistiken sowie andrerseits durch aufwändige Modellierarbeit ergänzt (www.capri-model.org) werden. Der für dieses Forschungsvorhaben vorliegende Datensatz umfasst Informationen zur Fläche und geernteten Biomasse in Frischegewicht pro Jahr für 40 Ackerlandfrüchte für 227 EU-NUTS-2 bzw. NUTS-1- Regionen. Statistisch nicht erfasste Ernteüberreste wurden anhand von Ernte-Indices nach (Krausmann et al., 2013) hinzugeschätzt.

2.4 Charakterisierung von Tierhaltungssystemen

Neben den Daten zur Ackerlandproduktion beinhaltet der CAPRI-Datensatz konkretere Informationen zu tierischen Produktionssystemen und deren Input- und Output-Flüssen auf NUTS-2 Ebene. Der zugrundeliegende Datensatz beschreibt die Verwendung von landwirtschaftlichen Produkten zur Fütterung von Nutztieren. Er differenziert dabei zwischen 12 Futtermittelkategorien, 18 Nutztiergruppen und 10 tierischen Produkten. Zur Charakterisierung der Tierhaltungssysteme in der Europäischen Union wurden nun mit Hilfe dieses umfangreichen Datensatzes Effizienzen verschiedener Produktionssysteme der diversen Regionen berechnet. Dafür wurden zunächst die CAPRI - Futtermittelkategorien den der BioBaM Aggregation angepasst, wodurch im weiteren Verlauf 6 verschiedene Gruppen beschrieben werden (Getreide, Zuckerrüben, Ölfrüchte, Grünfutter, Stroh, Gras). In einem nächsten Schritt wurden die Nutztiergruppen den Produkten zugeordnet. Während dies für Produkte wie Eier oder Schweinefleisch recht eindeutig möglich ist, ist diese Trennung bei den Koppelprodukten Milch und Rindfleisch etwas weniger eindeutig. Um eine möglichst konsistente, aber gleichzeitig wirklichkeitsnahe Differenzierung zu erreichen, wurde die Futtermittelaufnahme der verschiedenen Rindergruppen analog dem von CAPRI verwendeten Herdenflussmodell zugeordnet. Neben dem umfangreichen Datensatz zur Tierhaltung auf NUTS-2-Ebene können die Systeme nun als Ergebnis anhand ihrer Effizienzen für 7 verschiedene Produkte charakterisiert werden (Kuhmilch, Rindfleisch, Schaf- und Ziegenmilch, Schaf- und Ziegenfleisch, Schweinefleisch, Hühnerfleisch und Eier). Letztendlich beinhaltet der Datensatz sämtliche Biomasseflüsse von der Nettoprimärproduktion im Ökosystem bis hin zum Konsum (Haushalte) und dokumentiert alle Biomasseflüsse wie Wirtschaftsdünger, Abfälle, quer über alle landwirtschaftlichen Landnutzungstypen.

2.5 Daten zu Konsum und Handel

Eine Besonderheit dieses Berechnungsansatzes ist, dass der oben charakterisierte Datensatz auch Nettohandelsflüsse von Tierfutter, menschlichen Nahrungsmitteln und tierischen Erzeugnissen auf der NUTS-2 Ebene konsistent darstellen kann. Die Daten zum Konsum landwirtschaftlicher Produkte wurden den Versorgungsbilanzen (Commodity Balances) der FAOSTAT entnommen. Da diese Daten jedoch nur auf Länderebene zur Verfügung stehen, wurden sie anhand von Bevölkerungszahlen auf die NUTS-2 Ebene skaliert. Um eine Doppelrechnung von Sekundärprodukten zu vermeiden, wurde wenn notwendig eine Konversion zu Primäräquivalenten durchgeführt.

Ein wesentlicher Faktor der Biomasseflüsse interagierend mit Produktion und Konsum ist der intra- und internationale Handel, für den allerdings keine Daten auf NUTS-2 Ebene existieren. Deshalb wurden die Netto-Handelsflüsse als Differenz zwischen Produktion und Konsum je Ware auf NUTS-2 Ebene approximiert.

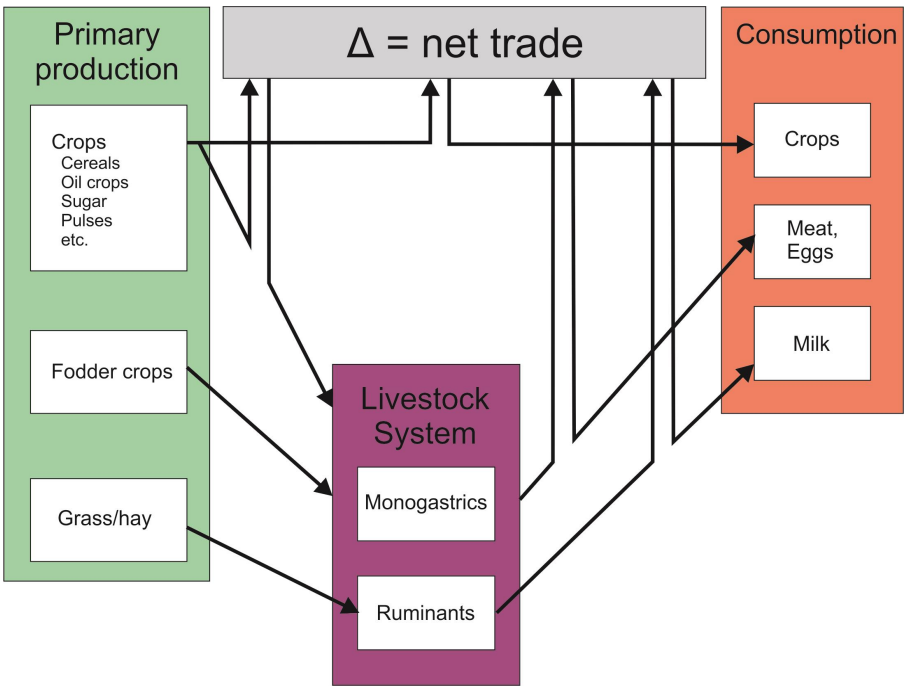


Abbildung 2: Konzeptionelle Darstellung der Integration von Produktion (primary production), Konsum (consumption) und Netto-Handel (net trade) auf NUTS-2-Ebene.
Konsum bezeichnet hier den menschlichen Konsum von Endprodukten. ‚Monogastrics' (Monogastrier) sind Tiere mit Verdauungssystemen mit einem Magen wie Schweine und Geflügel und ‚Ruminants' bezeichnet Wiederkäuer wie Rinder, Schafe und Ziegen.

2.6 Status von Land- und Biomassefluss-Systemen in Österreichs Bundeländern

Im Folgenden wird ein Überblick über den Status-Quo in 2012 der landwirtschaftlichen Produktion und der Landsysteme in Österreich anhand von Datensheets für jedes Bundesland gegeben.

Das Datenblatt für Niederösterreich (Abbildung 3), zeigt beispielsweise die flächenmäßige Dominanz von Ackerland und Wald bei der Flächenausweitung und bei der Produktionsmenge von Getreide. Man erkennt die hohe Exportfähigkeit der Region für Getreide und Zuckerrüben und daher die große Bedeutung des Ackerbaus. Bei den Futtermitteln der

fleischproduzierenden Rinder zeigt sich die große Bedeutung der Weidehaltung bzw. Grassilage- und Heufütterung. Die Ergebnisse zeigen, dass Niederösterreich sehr viel an Obst und tierischen Fasern importiert.

Im Burgenland finden wir einen Mix aus Tierhaltungssystemen, bei dem Milchwirtschaft, Rinder- und Schweinemast, Lege- und Masthühner jeweils einen deutlichen Beitrag zur gesamten Tierproduktion des Bundeslandes leisten. Die gesamte tierische Produktion ist jedoch mit ca. 12.000 t DM die niedrigste in Österreich, im Vergleich zu Oberösterreich mit ca. 282.000 t DM.

Hinsichtlich der Produktion ist die Dominanz von Milchviehhaltung im Osten und Süden Österreichs (Tirol, Salzburg, Vorarlberg und Kärnten) erkennbar, während die Schweinemast im Burgenland und der Steiermark dominiert. Ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Milchviehhaltung und Schweinemast gibt es in Niederösterreich und Oberösterreich. Eier stammen vorwiegend aus Burgenland, gefolgt von Kärnten, Steiermark und Niederösterreich.

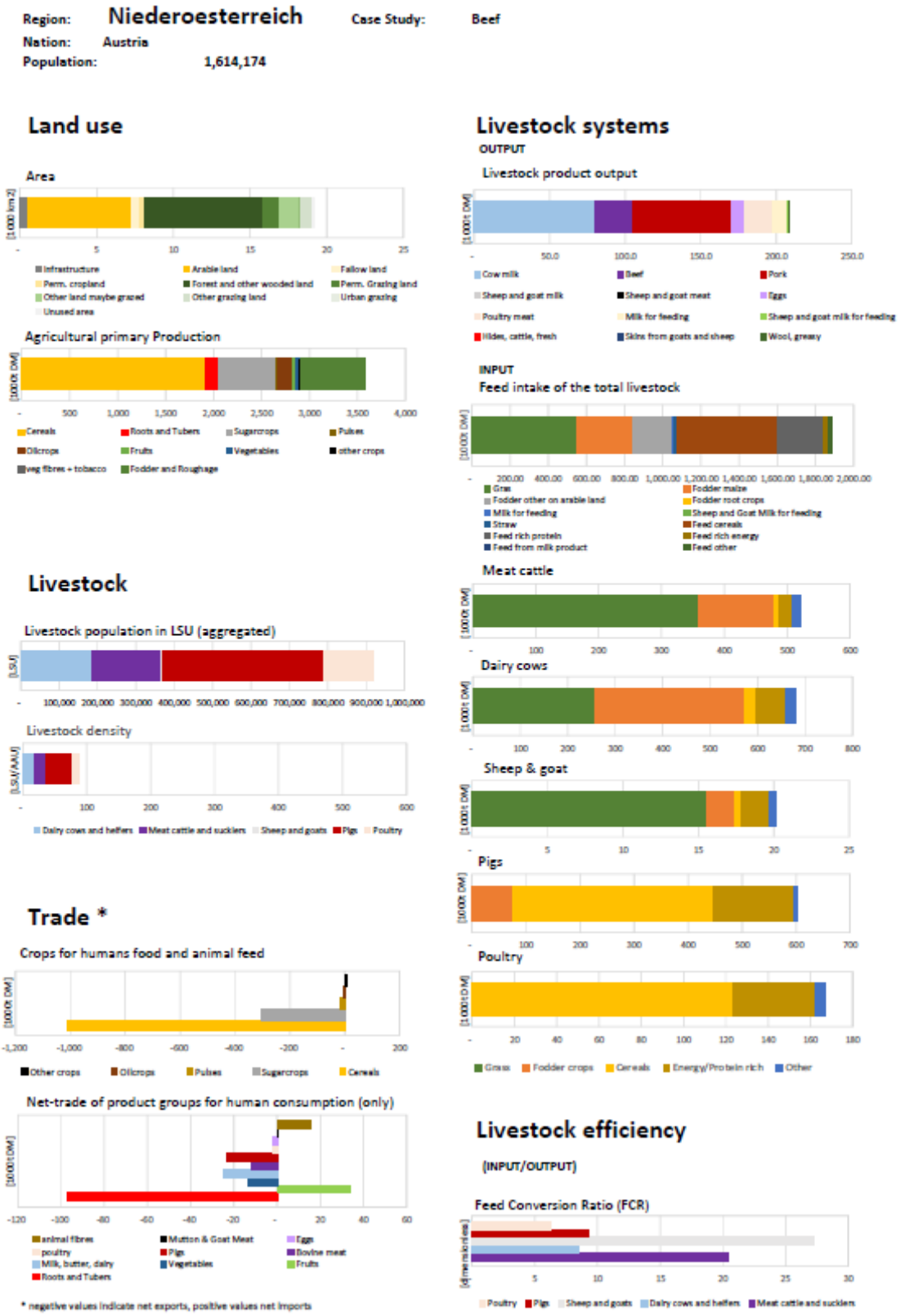


Abbildung 3: Datenblatt über Landnutzung, Biomasseflüsse und Tiersysteme in Niederösterreich.

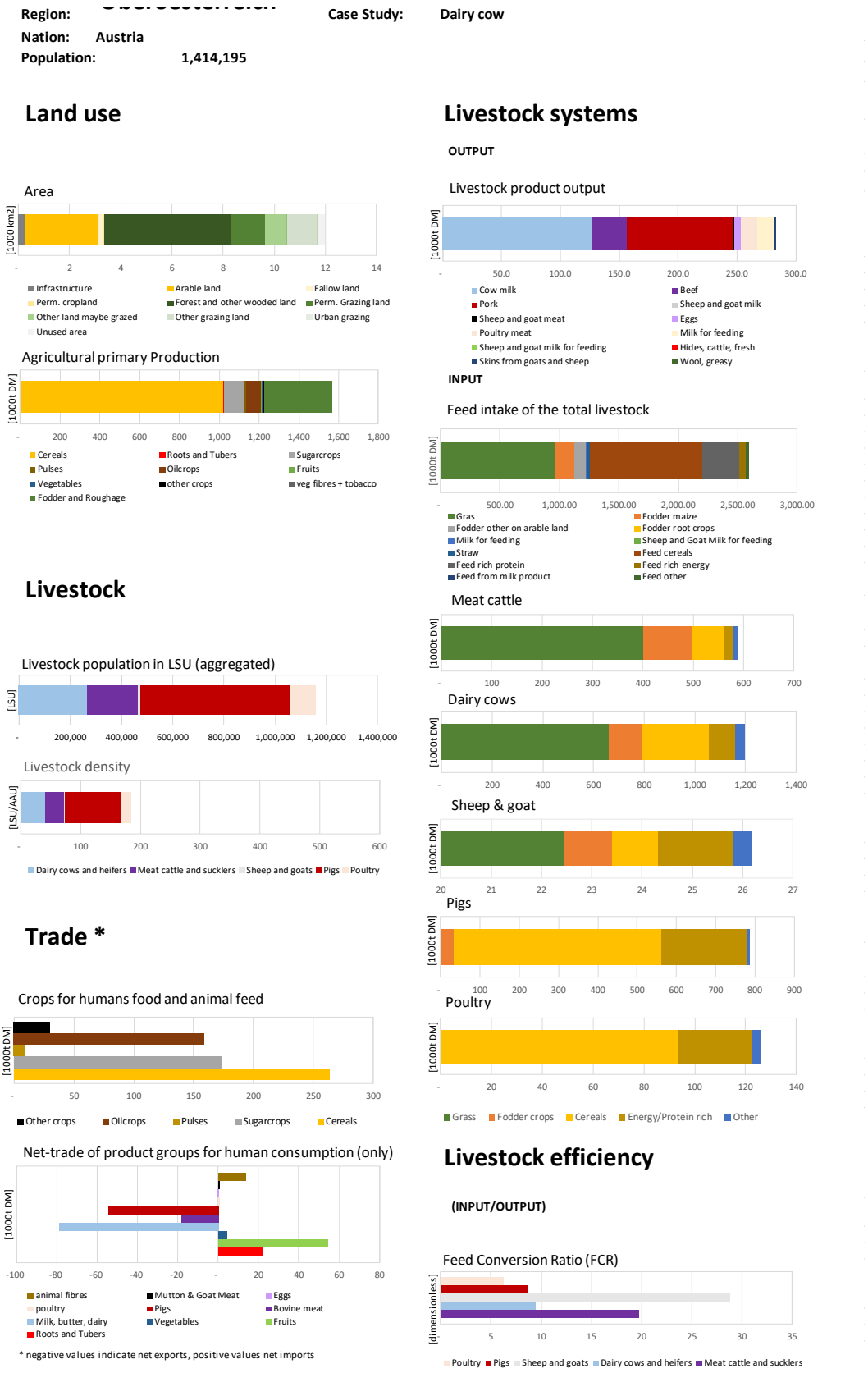


Abbildung 4: Datenblatt über Landnutzung, Biomasseflüsse und Tiersysteme in Oberösterreich.

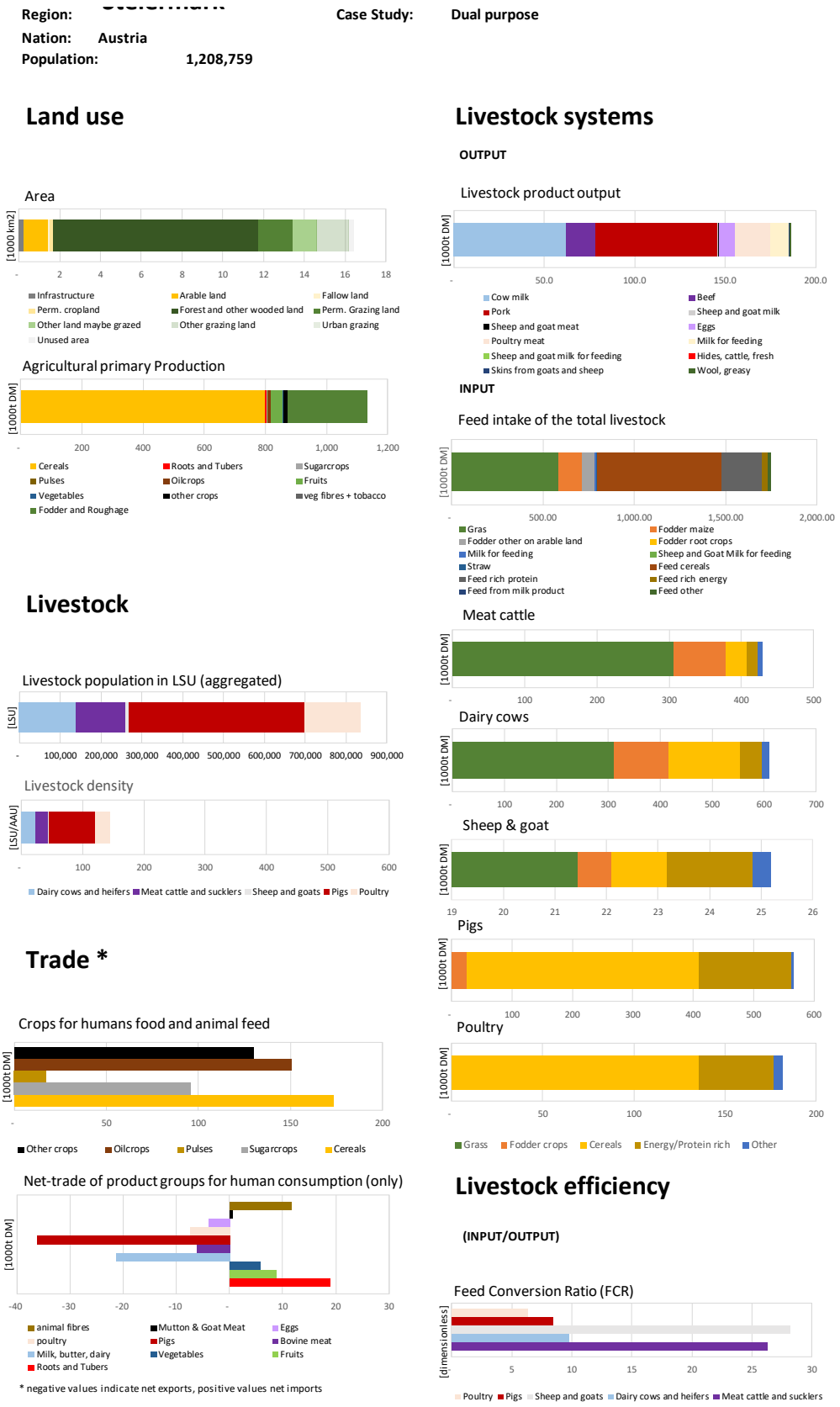


Abbildung 5: Datenblatt über Landnutzung, Biomasseflüsse und Tiersysteme in Steiermark.

Abbildung 6: Datenblatt über Landnutzung, Biomasseflüsse und Tiersysteme in Burgenland.

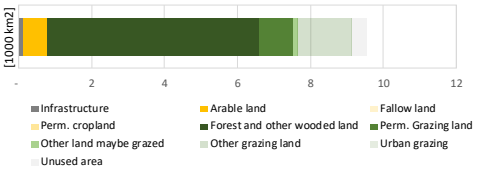
Region: [redacted] **Case Study:** **Dual purpose**

Nation: **Austria**

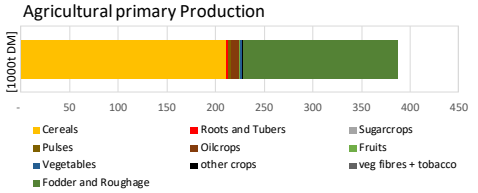
Population: **556,073**

Land use

Area

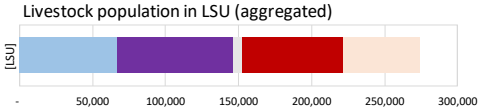


Agricultural primary Production

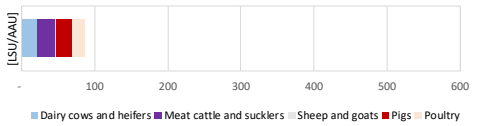


Livestock

Livestock population in LSU (aggregated)

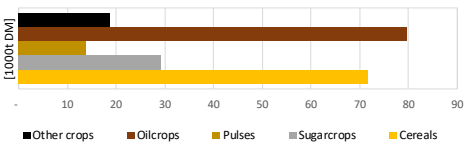


Livestock density

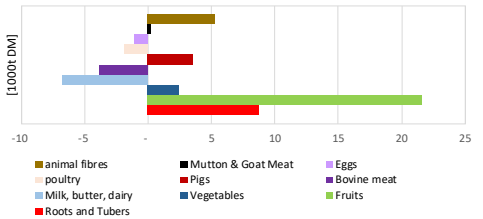


Trade *

Crops for humans food and animal feed



Net-trade of product groups for human consumption (only)

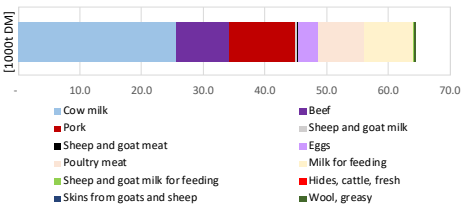


* negative values indicate net exports, positive values net imports

Livestock systems

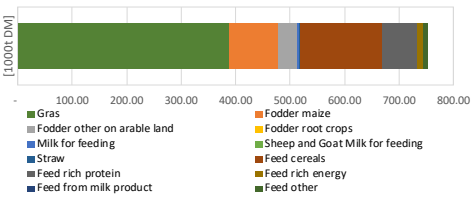
OUTPUT

Livestock product output

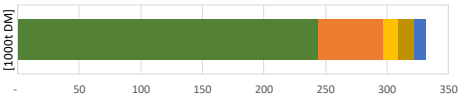


INPUT

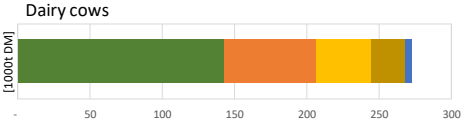
Feed intake of the total livestock



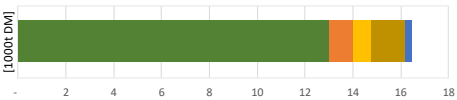
Meat cattle



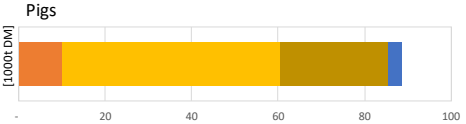
Dairy cows



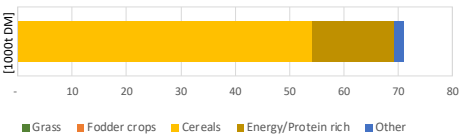
Sheep & goat



Pigs



Poultry



Livestock efficiency

(INPUT/OUTPUT)

Feed Conversion Ratio (FCR)

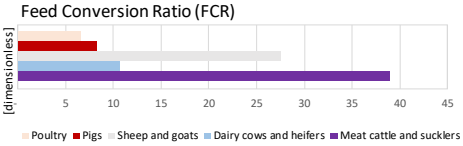


Abbildung 7: Datenblatt über Landnutzung, Biomasseflüsse und Tiersysteme in Kärnten.

Abbildung 8: Datenblatt über Landnutzung, Biomasseflüsse und Tiersysteme in Salzburg.

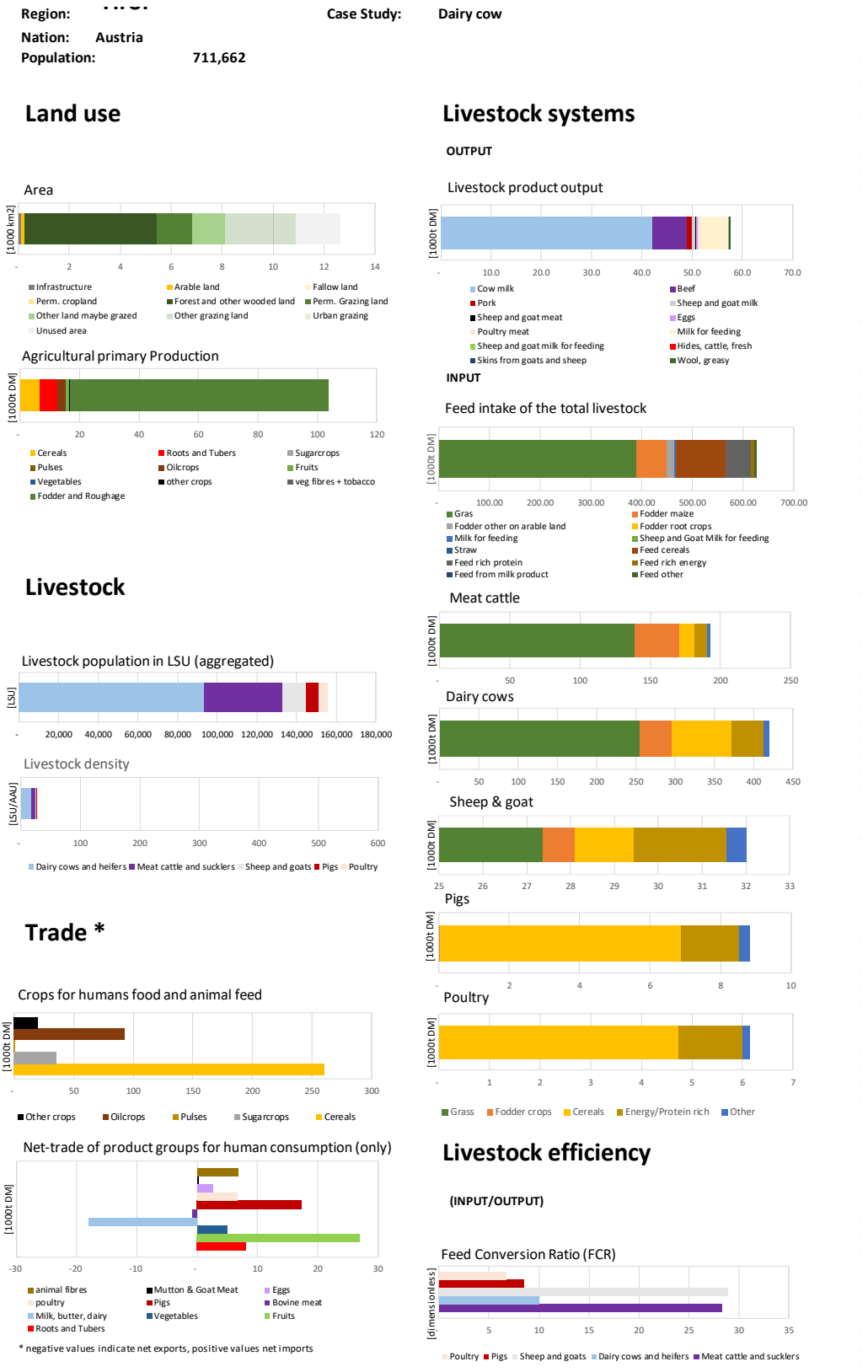


Abbildung 9: Datenblatt über Landnutzung, Biomasseflüsse und Tiersysteme in Tirol.

Abbildung 10: Datenblatt über Landnutzung, Biomasseflüsse und Tiersysteme in Vorarlberg.

3 BioBaM

Das Model BioBaM ist ein diagnostisches, biophysisches Modell, das eine Vielzahl an möglichen Variationen in Angebot und Nachfrage im Ernährungssystem kombiniert und im Rahmen kontrafaktischer Szenarien in den Kontext von Umweltauswirkungen setzt (Erb et al., 2016; Theurl et al., 2020). In AnimalFuture wurde das Modell für europäische Szenarien auf NUTS-2 Ebene angepasst und aktualisiert und erlaubt nun eine umfassende Bewertung von Innovationen auf Pan-Europäischer Ebene im Kontext globaler Entwicklungen.

Die zuvor beschriebene Datenbank biophysischer Produktions- und Konsumflüsse ist die Grundlage für BioBaM, um damit verbundene Landnutzung und Treibhausgasflüsse zu quantifizieren.

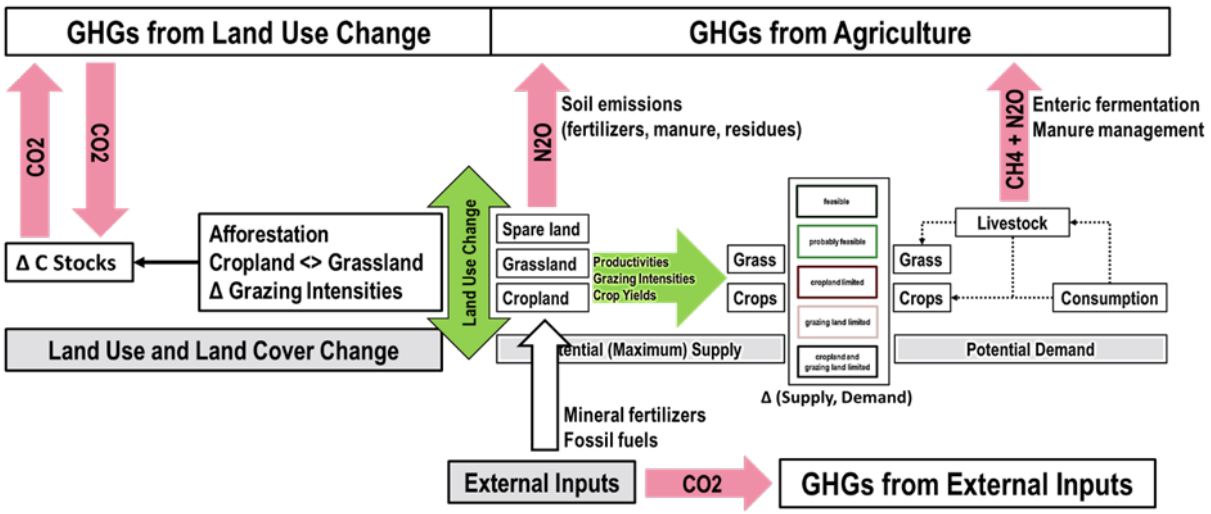


Abbildung 11: Schematische Darstellung der Zusammenhänge zwischen Biomasseflüssen aus Produktion und Konsum sowie der damit verbundenen Treibhausgasemissionen im Modell BioBaM. (Theurl et al., 2020)

Auf der Seite des Angebots werden im Modell die möglichen Mengen and Futter- und Nahrungsmittel von Ackerland sowie die möglichen Mengen an Weidegras von Weideland anhand von Flächen und Produktivität berechnet. In Europa wurde dafür oben beschriebener Datensatz verwendet, für den Rest der Welt wurde auf (Erb et al., 2016, 2007; Haberl et al., 2007) zurückgegriffen. Auf der Seite des Konsums gehen die gesammelten Daten auf NUTS-2 Ebene in Europa sowie globale Daten von (FAOSTAT, 2018) ein.

In dem hier verfolgten Ansatz erlaubt BioBaM keine Entwaldung und keine Ausweitung der landwirtschaftlichen Fläche. Weideland kann sich ausweiten, aber nur auf Kosten von Ackerland. Bei einer Abnahme von Ackerland oder Weideland wird ein Nachwachsen der natürlichen Vegetation (natürliche Sukzession) und damit die Etablierung einer entsprechenden Kohlenstoffsenke angenommen.

Die in BioBaM eingehenden Weidelanddaten unterscheiden außerdem zwischen vier Güteklassen, auf denen jeweils unterschiedliche maximale Weideintensitäten zulässig sind (siehe z.B. Haberl et al. 2007; Fetzel et al., 2017). Diese maximalen Weideintensitäten sind mit 70%, 55%, 40% und 20% der aktuellen NPP für die vier Güteklassen festgelegt. Eine Überschreitung dieser Intensitäten ist im Modell nicht möglich und führt gegebenenfalls zu einem Unterangebot an Weideflächen und damit zu der Undurchführbarkeit einer Innovation. Tabelle 1 beschreibt alle in BioBaM berechneten Indikatoren.

Tabelle 1: In BioBaM berechnete Parameter und Indikatoren

Parameter	Spezifikation
Landnutzung [Mha]	Ackerland (ohne Brache) Grünland (vier Grünlandklassen) Ackerbrache Ackerland umgewandelt zu Grünland Aufgelassenes Ackerland (natürliche Sukzession) Grünland umgewandelt in Ackerland Aufgelassenes Grünland (natürliche Sukzession)
Netto-Außenhandel [Mt]	Ebene der Ackerproduktgruppen
Ackerproduktion [Mt]	Ebene der Ackerproduktgruppen
Ackerprodukte für direkte Ernährung [Mt]	Ebene der Ackerproduktgruppen
Ackerprodukte für Tierfutter [Mt]	Ebene der Ackerproduktgruppen
Ackernebenprodukte als Tierfutter [Mt]	Ebene der Ackerproduktgruppen
Ackerprodukte für andere Nutzungen [Mt]	Ebene der Ackerproduktgruppen
Gras Angebot [Mt]	Alle vier Grünlandklassen
Gras Nachfrage [Mt]	Summe aller vier Grünlandklassen
Grünland-Nutzungsintensität	Alle vier Grünlandklassen
Selbstversorgungsgrad	NUTS2-Ebene, national, EU

Parameter	Spezifikation
Treibhausgasemissionen durch Landbedeckungsveränderungen [Mt CO2-eq]	kumulativ
Treibhausgasemissionen durch Wirtschaftsdünger [Mt CO2-eq]	
Treibhausgasemissionen durch enterische Fermentation [Mt CO2-eq]	
Treibhausgasemissionen durch Vorleistungsketten [Mt CO2-eq]	
Gesamte Biomasse-ernte im Verhältnis zur potenziellen Nettoprimärproduktion (NPPpot)	Proxy für Druck auf Biodiversität in Ökosystemen

Aus diesen Parametern wurden folgende Hauptindikatoren ausgewählt: 1) Weidelandintensität, 2) Summe der Treibhausgasemissionen, 3) Gesamtaneignung von Biomasse als Indikator für Druck auf Biodiversität und 4) der Selbstversorgungsgrad für Ackerland- und tierische Produkte.

3.1 Szenarien (Kontrafaktische Analysen)

Das Hauptinteresse dieses Projekts ist die Modellierung und Analyse von Umwelteinflüssen von Innovationen in der Nutztierhaltung Europas. Die Konsequenzen einer in Europa durchgeführten Innovation können aber auch den Rest der Welt beeinflussen, da im Sinne der Ernährungssicherheit der globale Konsum ja weiterhin durch die globale Produktion abgedeckt werden muss. Aus diesem Grund ist BioBaM ein Modell, das in erster Linie auf globaler Ebene Konsum und Produktion von Biomasseprodukten bilanziert. Sollte der globale Konsum nicht abgedeckt werden können, wird ein Szenario als undurchführbar bezeichnet und fällt somit aus dem Rahmen der Analyse. Sollte die globale Produktion größer sein als der Konsum, wird die Produktion entsprechend anhand bestimmter Annahmen reduziert (siehe unten). Im nächsten Schritt werden dann die Europäischen Bilanzen errechnet.

BioBaM arbeitet diagnostisch und nach einem ceteris paribus Ansatz, was der Veränderung nur eines Parameters bedeutet, während alle anderen nicht verändert werden. Das Basisjahr in dieser Analyse ist 2012, und auch die Szenarien beziehen sich auf dieses Jahr, ausgenommen der Kohlenstoffsenke durch Vegetationsnachwuchs, für welche ein Zeitrahmen von 50 Jahren angenommen wurde.

Verschiedene kontrafaktische Szenarien wurden angenommen. Für die Analyse der Auswirkungen von Änderungen im Konsum wurde die sogenannte „EAT-Lancet-Diet“ (Willett et al., 2019) implementiert, die als empfohlene Ernährungsweise unter Einbeziehung sowohl der menschlichen Gesundheit als auch einer reduzierten Umweltbelastung entwickelt wurde. Darin steht eine Reduktion des Konsums von tierischen Produkten und eine Erhöhung des Konsums von Hülsenfrüchten im Zentrum. Weiters wurden Szenarien für veränderte Produktionsmuster der Landwirtschaft entworfen. Neben der 2012 vorherrschenden Produktionsverteilung wurde eine kontrafaktische Produktionsverteilung der tierischen Produkte, die sich an den Weidelandpotentialen und der Effizienz unterschiedlicher Tierhaltungssysteme orientiert, implementiert. Diese potentielle Produktionsverteilung kann auf verschiedenen Ebenen stattfinden –national, europaweit oder global.

4 Implementierung der Innovation

Die Innovation, die im Laufe von AnimalFuture als zentraler Diskussionspunkt der Tierhaltung in Europa identifiziert wurde, ist die Substitution von Kraftfutter durch Raufutter, in erster Linie durch Grasbiomasse. Diese Innovation betrifft die Tierhaltung von Wiederkäuern, also Rindern, Schafen und Ziegen im Rahmen unserer Modellierung. Die Haltung von Wiederkäuern hatte sich in den letzten Jahrzehnten im Sinne einer „high input agriculture“ in Richtung einer Zunahme an Kraftfutter und Hochleistungsarten bewegt. Jüngere Debatten richten sich aber vermehrt auf Grünland-basierte Fütterung und der Konkurrenz von menschlicher Ernährung und Futtermittel für tierische Produkte. In Österreich beispielsweise konsumieren Wiederkäuer mehr als 10% des auch von Menschen verdaubaren Proteins, während 40-50% direkt an Schweine und Hühner verfüttert werden (Ertl et al., 2016). Die Nutzung der Fähigkeit der Wiederkäuer auch ballaststoffreiches, für den Menschen unverdauliches Gras zu verdauen, steht im Zentrum der hier modellierten Innovation.

Für die Implementierung dieser Innovation wurde basierend auf den unterschiedlichen Beitrag der Futtermittel zur Milch- bzw. Fleischproduktion ein Kompensationsmenge berechnet. Sie beruht aus der Annahme, dass für eine bestimmte Menge an Kraftfutter eine gewisse Aufnahme an zusätzlichem Gras notwendig ist, um die gleiche Menge an Output zu bekommen. Die in der Nutztierhaltung eingesetzten Futtermittel teilen sich in 6 Kategorien auf, die jeweils einen Substitutionsfaktor für die Ersetzung durch Gras zugewiesen bekommen. Dieser Substitutionsfaktor berücksichtigt den durchschnittlichen Energie- und Nährstoffgehalt (INRAE CIRAD AFZ, 2020.; Sauvant et al., 2017) der jeweiligen Kategorie im Vergleich zu Gras (siehe Tabelle 3), bei dem außerdem Qualitätsunterschiede berücksichtigt wurden (siehe Tabelle 3).

Tabelle 2: Substitutionsfaktoren der Futtermittelkategorien für Wiederkäuer bei Ersatz durch Gras. Quelle: (INRAE CIRAD AFZ, 2020.; Sauvant et al., 2017)

BioBaM Futterkategorie	Milch	Fleisch
Getreide	**1.3**	**1.3**
Zucker	**1.1**	**1.2**
Ölfruchtkulturen	**1.8**	**1.9**
Futterpflanzen	**1.3**	**1.5**
Stroh	**0.5**	**0.4**
Gras	**1.0**	**1.0**

Tabelle 3: Qualitätsfaktoren für Gras von verschiedenen Weidelandkategorien. Quelle: eigenen Annahmen nach (van Hal et al., 2019)

Weidelandkategorien	Qualitätsfaktor
Weideland Kategorie 1	**1.0**
Weideland Kategorie 2	**0.7**
Weideland Kategorie 3	**0.6**
Weideland Kategorie 4	**0.6**

Die Substitution von auf Ackerland produzierten Kraftfutter (z.B. Getreide und Ölkuchen) wurde in zwei Varianten modelliert.

- eine komplette Substitution von Getreide, Ölfruchtkulturen und Zuckerkulturen durch Gras
- eine partielle Substitution, in der für den Menschen sonst unbrauchbare Nebenprodukte der Ackerlandproduktion weiterhin für die Tierfütterung verwendet werden. In dieser Version wurde Getreide zu 100% und Ölfruchtkulturen zu 54% (abgeleitet aus den Versorgungsbilanzen der FAO (FAOSTAT 2018)) durch Gras substituiert.

Diese zwei Innovationen betreffen nur Wiederkäuer, die Futtermittelzusammensetzung von Schweinen und Hühnern wurde nicht verändert.

4.1 Beschreibung des Basisjahres

Als wesentliche Indikatoren zur Bewertung der Auswirkungen einer Innovation wurden die Weideintensität, der Eigenversorgungsgrad bei Ackerlandprodukten, die Gesamtaneignung von Biomasse und die Treibhausgasemissionen herangezogen.

Der Median der Weideintensität liegt in Europa bei knapp über 10% der aktuellen NPP, also war im Basisjahr 2012 noch recht gering. Es zeigt sich aber eine generell höhere Intensität bei ca. 50% in Deutschland, Frankreich und Großbritannien, während die geringen Intensitäten vor allem in Nord-, Süd- und Osteuropa überwiegen.

Der Eigenversorgungsgrad bei Ackerlandprodukten liegt im Median über 100%, wobei im Norden und Süden Europas vermehrt der Eigenbedarf nicht komplett durch eigene Produktion in der NUTS-2 Region gedeckt werden kann.

Bei der Gesamtaneignung von Biomasse finden wir ähnliche Muster vor wie bei der Weideintensität, mit erhöhten Werten in Deutschland, Frankreich und Großbritannien.

Die Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft unter Berücksichtigung von Landnutzungswandel pro NUTS-2 Region reichen bis maximal 15,8 Mt CO2-Äquivalente pro Jahr in der Region Süd- und Ostirland. Irland, Großbritannien, Dänemark und Frankreich haben jeweils Regionen mit sehr hohen Emissionen. Die Größer der Regionen ist in dieser Darstellung natürlich relevant.

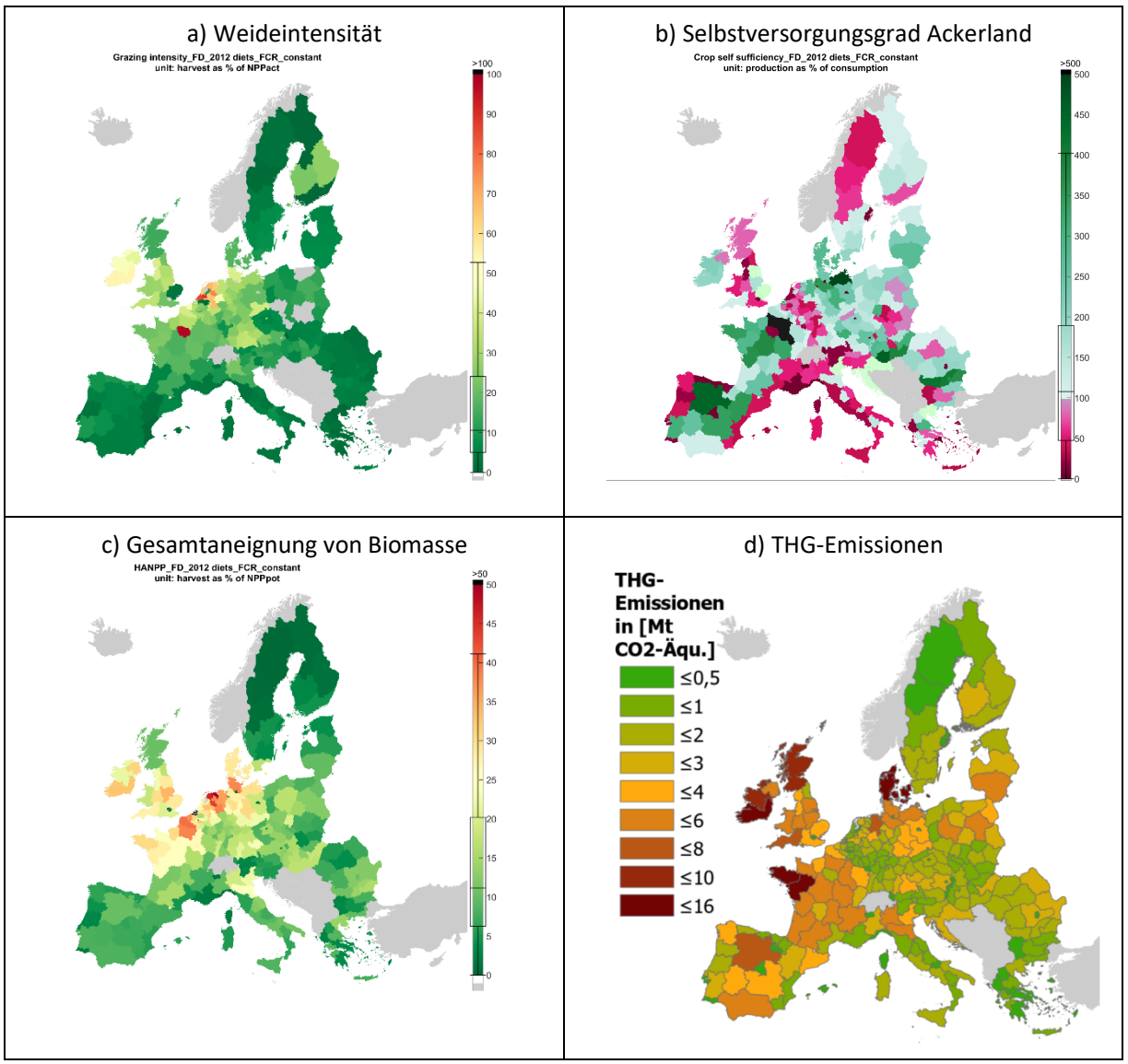


Abbildung 12: Darstellung ausgewählter Indikatoren der Biomasseflüsse in Europa im Basisjahr.

4.2 Ergebnisse bei konstanten Produktionsmustern

In diesem Szenario wurden die zwei Innovationen unter Beibehaltung der relativen Produktionsmuster der Tierischen Produktion von 2012 implementiert.

Die Kosten-Nutzen-Portfolios für Europa (siehe Abbildung 13) zeigen ein sehr ähnliches Bild für beide Innovationsvarianten. Die größte Veränderung ist jeweils im Anstieg der Weideintensität zu verzeichnen, die in Osteuropa am stärksten (auf 386% des Basisjahres bei kompletter Substitution) und in Nordeuropa am wenigsten (auf 168% des Basisjahres bei kompletter Substitution) ansteigt.

Der Eigenversorgungsgrad mit Ackerlandprodukten steigt bei Implementierung der Innovation ebenfalls an, auf 136% des Basisjahres bei kompletter Substitution und auf 131% bei partieller Substitution im europäischen Durchschnitt.

Auch die Gesamtaneignung von Biomasse (hier mit HANPP bezeichnet) steigt, sowie die THG-Emissionen (auf ca. 110% des europäischen Durchschnitts bei beiden Innovationsvarianten).

Da der Unterschied in den Auswirkungen der beiden Varianten der Innovation so gering ist, wird im Weiteren nur noch auf die komplette Substitution von Kraftfutter eingegangen.

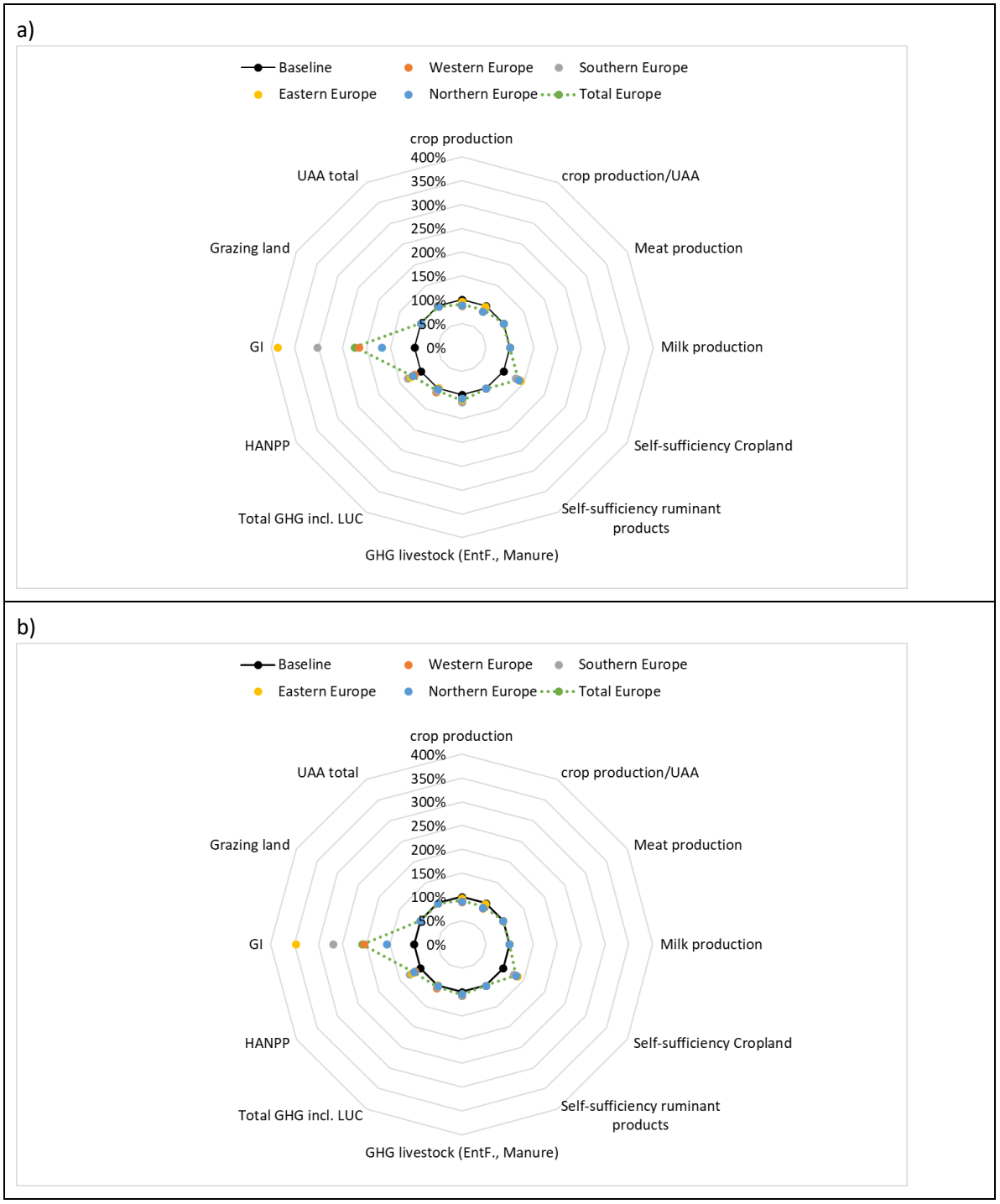


Abbildung 13: Kosten-Nutzen-Portfolio für die Innovationen a) komplette Substitution von Kraftfutter und b) partielle Substitution von Kraftfutter. Base year = 2012 == 100%.

Abbildung 14 zeigt die Veränderung ausgewählter Indikatoren für alle Regionen Europas, was die regionalen Unterschiede in den Auswirkungen verdeutlicht. Während die Weideintensität, der Eigenversorgungsgrad bei Ackerlandprodukten und die Gesamtaneignung von Biomasse in fast allen Regionen steigt, sehen wir bei den Treibhausgasemissionen ein geteiltes Feld. In ca.

70% der Regionen führt die komplette Substitution von Kraftfutter durch Gras zu einem Anstieg der THG-Emissionen.

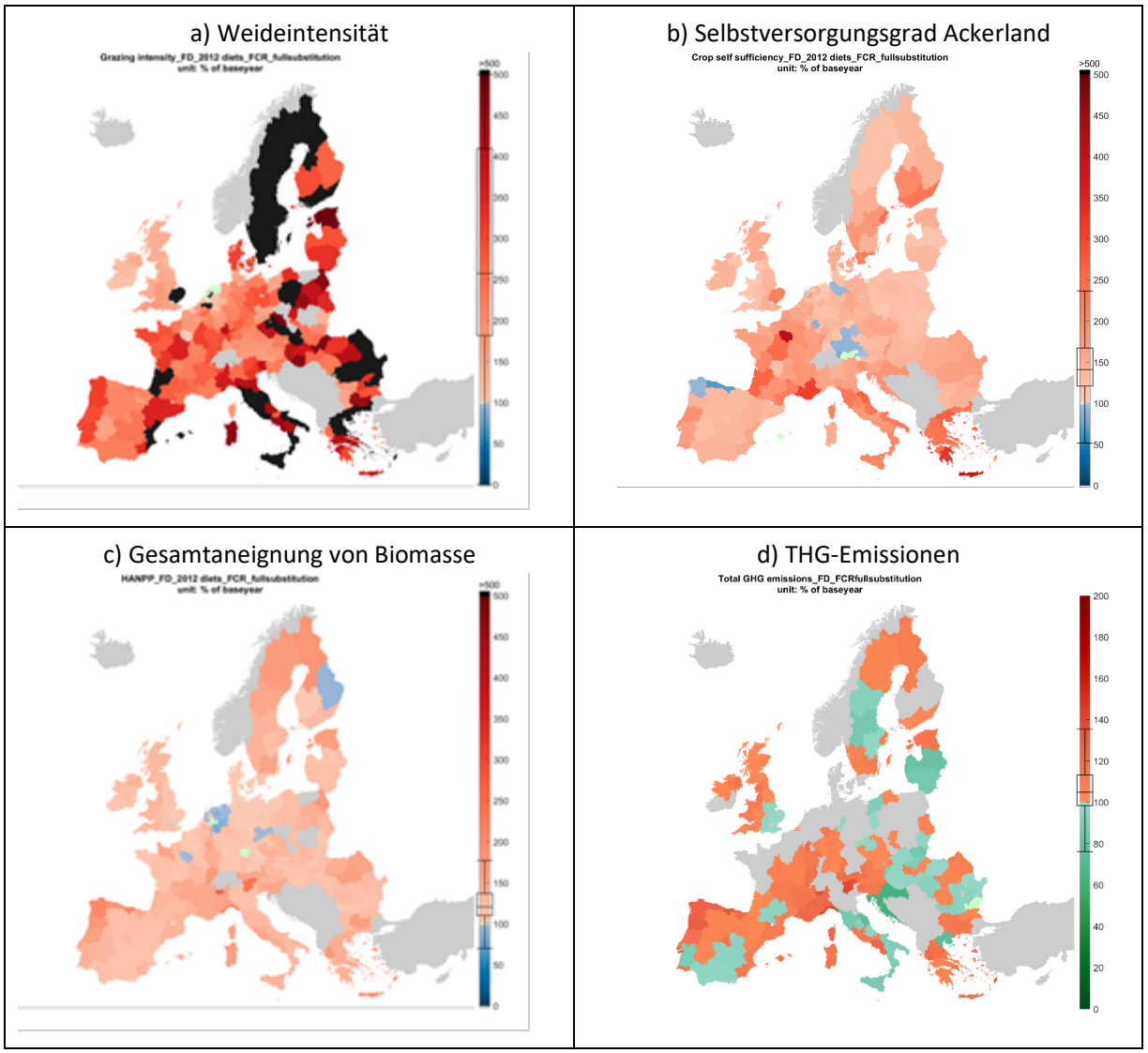


Abbildung 14: Veränderung ausgewählter Indikatoren in Europa als Folge der kompletten Substitution von Kraftfutter in [% des Basisjahres].

Die Veränderung der THG-Emissionen ergibt sich durch die Balance zwischen zwei Prozessen. Einerseits kann durch die reduzierte Kraftfutterbeigabe Ackerland frei werden, auf dem Vegetation nachwachsen und als Kohlenstoffsenke wirken kann. Gleichzeitig steigen die Methan-Emissionen in der Tierhaltung, aufgrund von Gärungs- und Verdauungsprozessen bei erhöhtem Raufutteranteil. Die regionalen Gegebenheiten bezüglich natürlicher Produktivität und Menge an ersetztem Kraftfutter bestimmen, ob diese Innovation schlussendlich zu einer Erhöhung oder Reduktion der THG-Emissionen aus der Landwirtschaft führt.

In Österreich zeigt sich ein genereller Anstieg der Hauptindikatoren, jedoch mit Ausnahmen. Während die Abnahme des Eigenversorgungsgrades (Ackerland) in Vorarlberg nur minimal ist, verringern sich die THG-Emissionen im Burgenland auf 90% des Basisjahres.

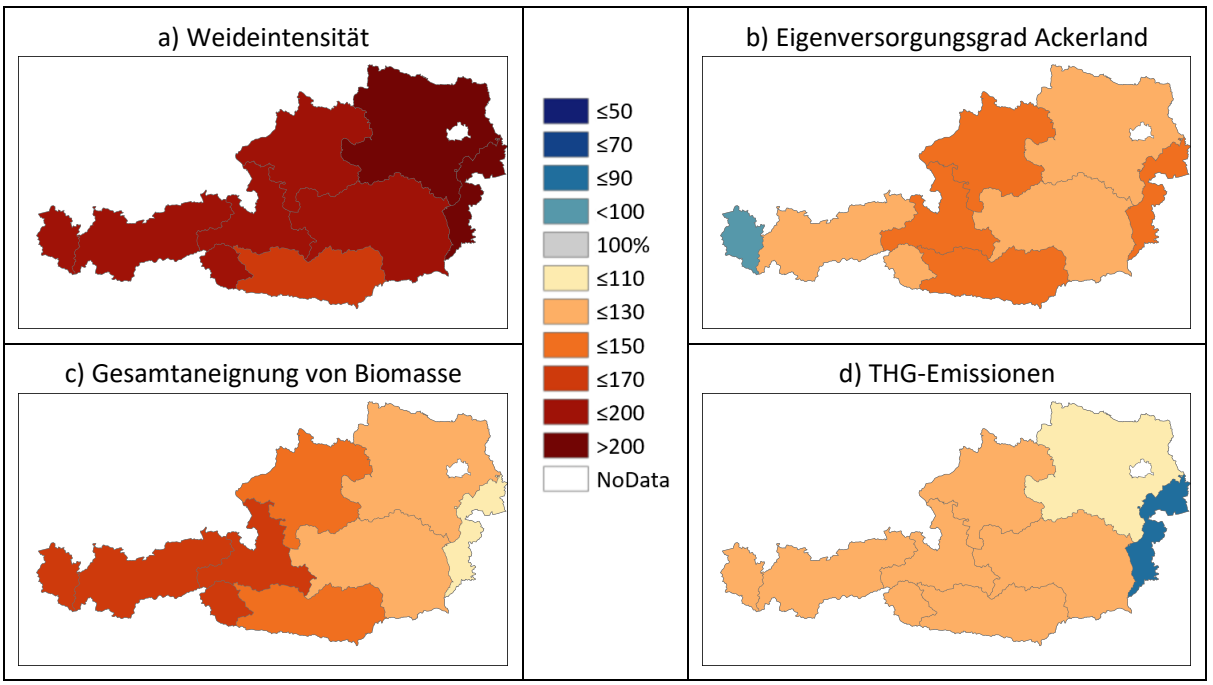


Abbildung 15: Veränderung ausgewählter Indikatoren in Österreich als Folge der kompletten Substitution von Kraftfutter in [% des Basisjahres].

4.3 Ergebnisse bei neuverteilten Produktionsmustern

Eine Umverteilung der Produktion von Tierprodukten innerhalb Europas anhand der Grünlandpotentiale führt dazu, dass die Fleischproduktion von West- und Nordeuropa nach Süd- und Osteuropa und die Milchproduktion nach Südeuropa verlagert wird. Diese Intervention führt im gesamteuropäischen Bild zu einer Abnahme der Treibhausgasemissionen, der Gesamtaneignung von Biomasse und der Weideintensität. In Nordeuropa könnte dadurch sogar eine Kohlenstoffsenke geschaffen werden (Abbildung 16a).

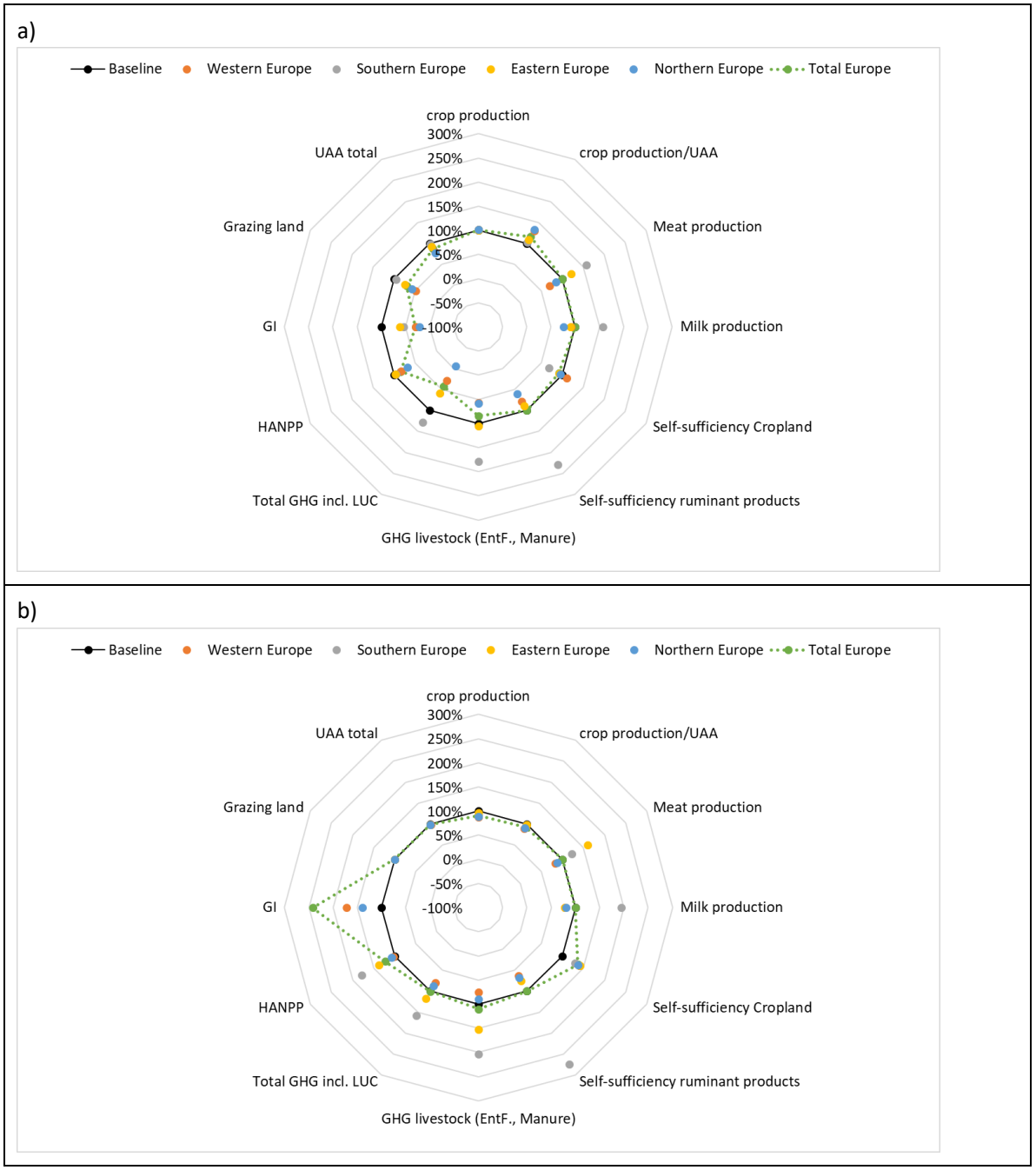


Abbildung 16: Kosten-Nutzen-Portfolio für a) eine Produktionsumverteilung entlang von Graslandpotentialen und b) die komplette Substitution von Kraftfutter bei neuen Produktionsmustern. Base year = 2012 == 100%.

Führt man bei diesen verschobenen Produktionsmustern allerdings die Innovation der kompletten Substitution von Kraftfutter durch Gras ein ähnelt das Bild der Einführung dieser Innovation bei konstanten Produktionsmustern. Es kommt in diesem hypothetischen Szenario abermals zu einem starken Anstieg der Weideintensität, in Süd- und Osteuropa, teilweise auf

über 500% des Basisjahres. Auf europäischer Ebene würden sich unter diesen Bedingungen die Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft jedoch kaum verändern.

Unter veränderten Produktionsmustern führt die Substitution von Kraftfutter wiederum zu regional sehr unterschiedlichen Auswirkungen. Die Ergebnisse für alle europäischen Regionen sind in Abbildung 17 zu sehen. Es ist zu erkennen, dass die Verlagerung der Produktion zu einer relativen Entlastung von Weideintensität und Gesamtaneignung von Biomasse in Deutschland, Frankreich und Großbritannien führt, wo auch die Treibhausgasemissionen aufgrund der verringerten Produktion abnehmen.

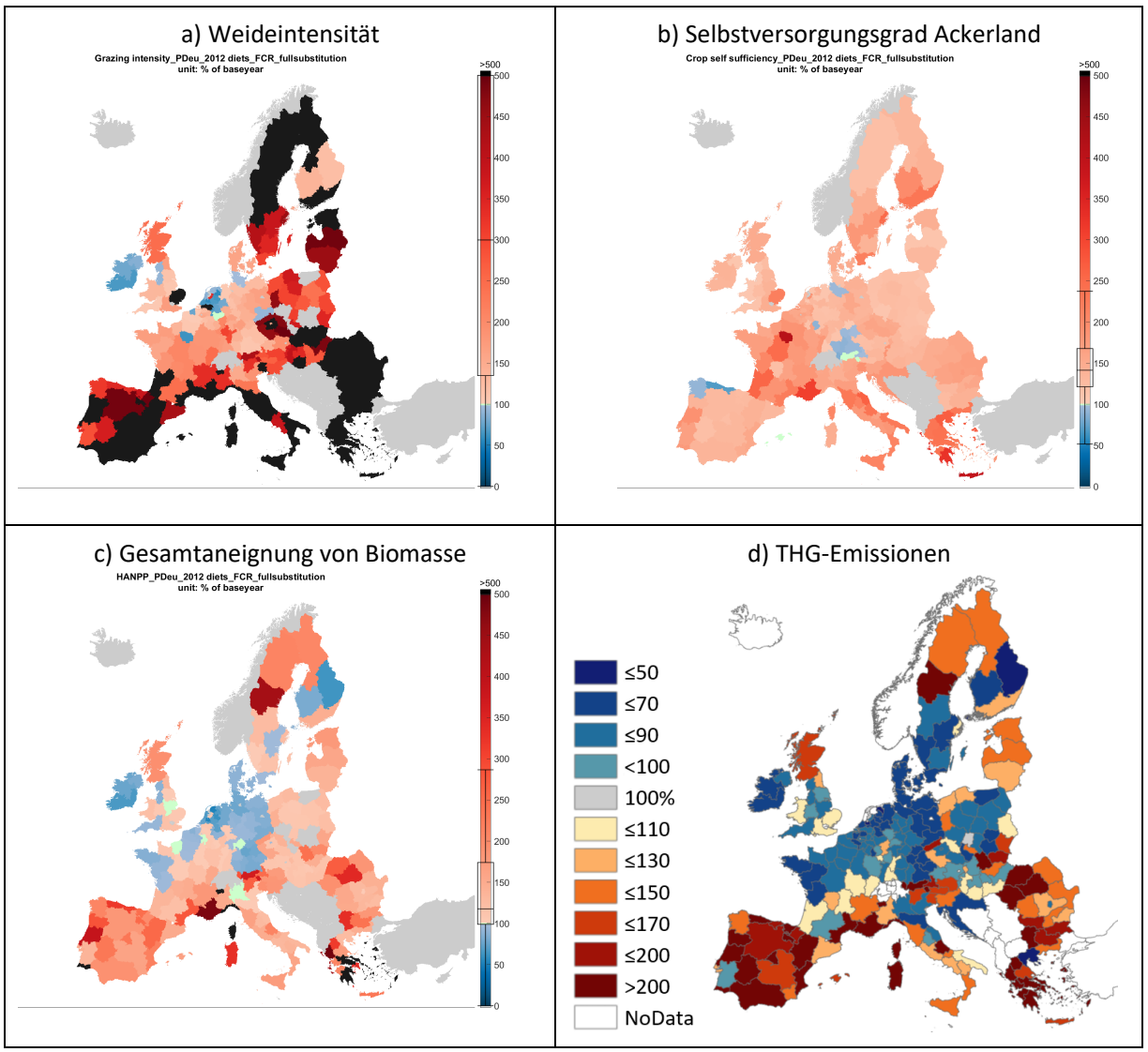


Abbildung 17: Veränderung ausgewählter Indikatoren in Europa als Folge der kompletten Substitution von Kraftfutter bei gleichzeitig veränderten Produktionsmustern innerhalb Europas in [% des Basisjahres].

In Österreich führt die Neuverteilung der tierischen Produktion innerhalb Europas generell zu einer Abnahme der Produktion, am stärksten in Oberösterreich, wo unter diesen Bedingungen nur noch 41% des Basiswertes produziert werden. Die komplette Substitution von Kraftfutter führt auch bei neuverteilten Produktionsmustern zu einem Anstieg der Weideintensität, jedoch diesmal vermehrt im Westen und Süden Österreichs, wo auch die Gesamtaneignung von Biomasse stärker ansteigt. Allerdings ergeben sich unter diesen neuverteilten Produktionsmustern bei Einführung der Innovation in drei Bundeländern verminderte Treibhausgasemissionen, in Ober- und Niederösterreich und im Burgenland.

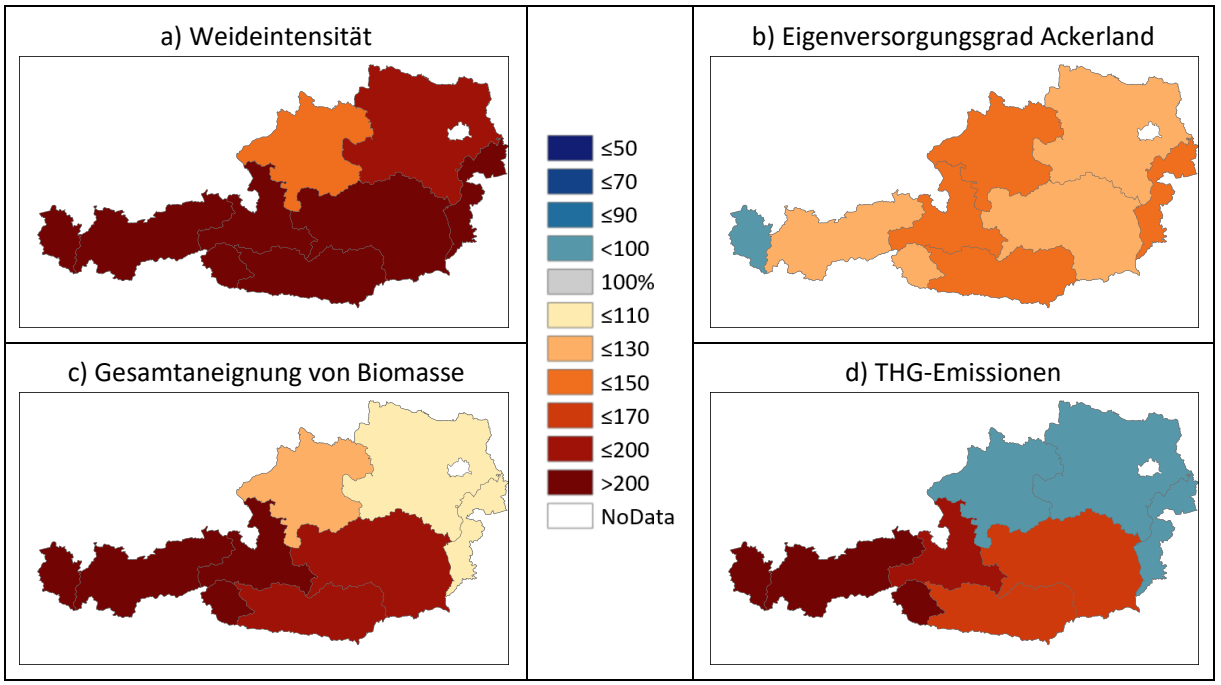


Abbildung 18: Veränderung ausgewählter Indikatoren in Österreich als Folge der kompletten Substitution von Kraftfutter bei gleichzeitig veränderten Produktionsmustern innerhalb Europas in [% des Basisjahres].

4.4 Auswirkungen veränderter Nachfrage

Begleitet man die Umverteilung der Produktion mit einer Verringerung der globalen Nachfrage nach Tierprodukten im Rahmen der EAT-Lancet-diet verändert sich das Bild nochmals drastisch.

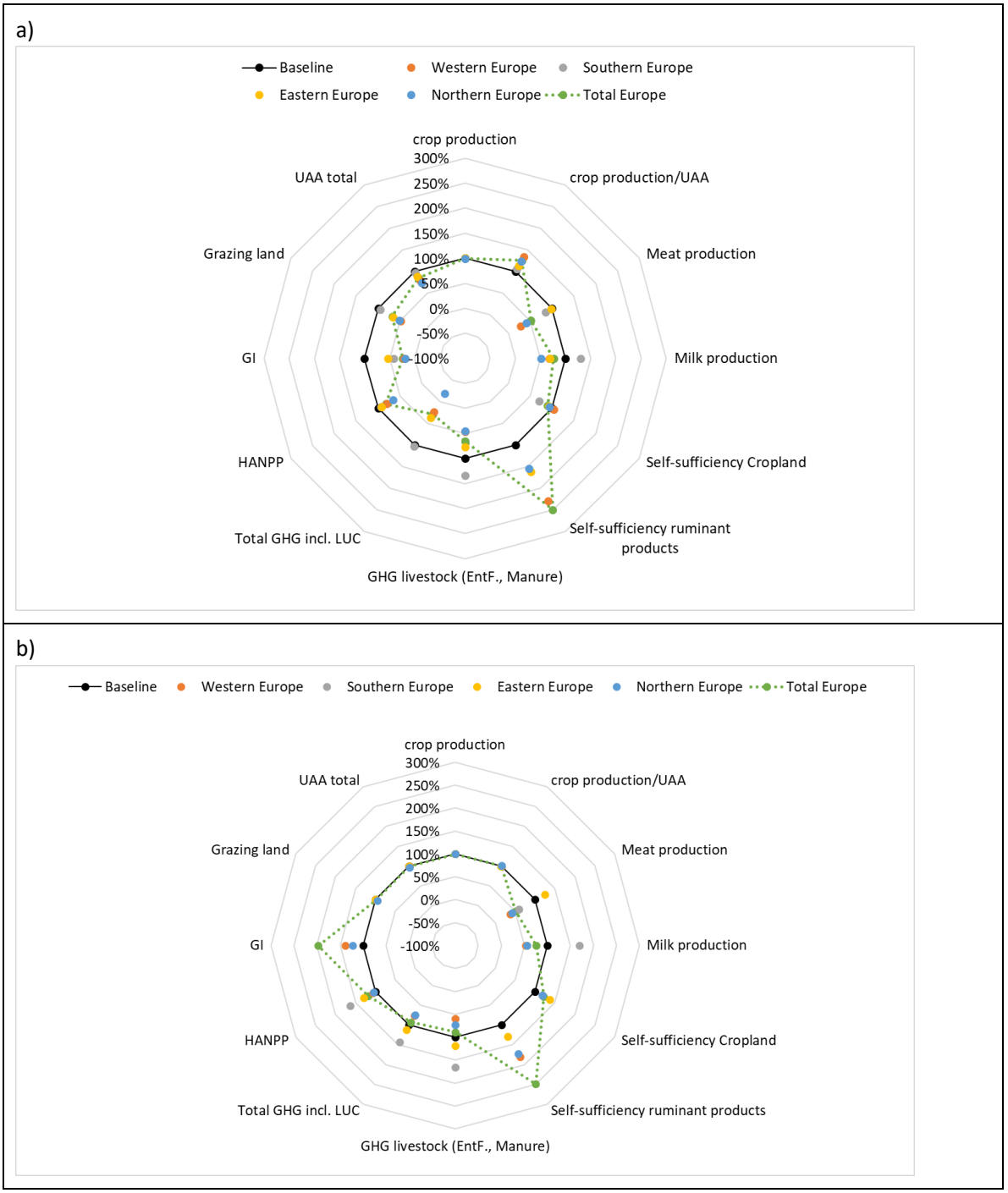


Abbildung 19: Nutzen-Kosten-Portfolio für a) Auswirkungen einer veränderten Ernährungsweise (EAT-Lancet-diet) und b) einer zusätzliche komplette Substitution von Kraftfutter, beides nach einer Umverteilung der Produktion entlang von Graslandpotentialen in Europa. Base year = 2012 == 100%.

Im europäischen Durchschnitt wäre dies mit einer Reduktion der Fleischproduktion auf 51%, der Milchproduktion auf 76%, der Weideintensität auf 24% und der Gesamtaneignung von Biomasse auf 82% des Basisjahres verbunden. Der Eigenversorgungsgrad mit Ackerlandprodukten allerdings würde sinken, während der Eigenversorgungsgrad mit Tierprodukten von Wiederkäuern auf 249% des Basisjahres zunehmen würde.

Die komplette Substitution von Kraftfutter unter diesen Bedingungen hat wiederum die Auswirkung einer Steigerung von Weideintensität, Eigenversorgungsgrad mit Ackerlandprodukten und Gesamtaneignung von Biomasse. Durch die Reduktion des Konsums tierischer Produkte bleiben jedoch die Treibhausgasemissionen für Gesamteuropa auch bei Einführung der Innovation unter dem Niveau des Basisjahres (93%).

Abbildung 20 zeigt generell, dass für die einzelnen NUTS-2 Regionen das Muster der neuverteilten Produktion weiterhin bestimmend für die Auswirkungen der Innovation ist. Verglichen mit Abbildung 17 sticht vor allem die zusätzliche Verminderung der Umweltbelastungen aufgrund der reduzierten Nachfrage nach tierischen Produkten im Rahmend er EAT-Lancet-diet hervor.

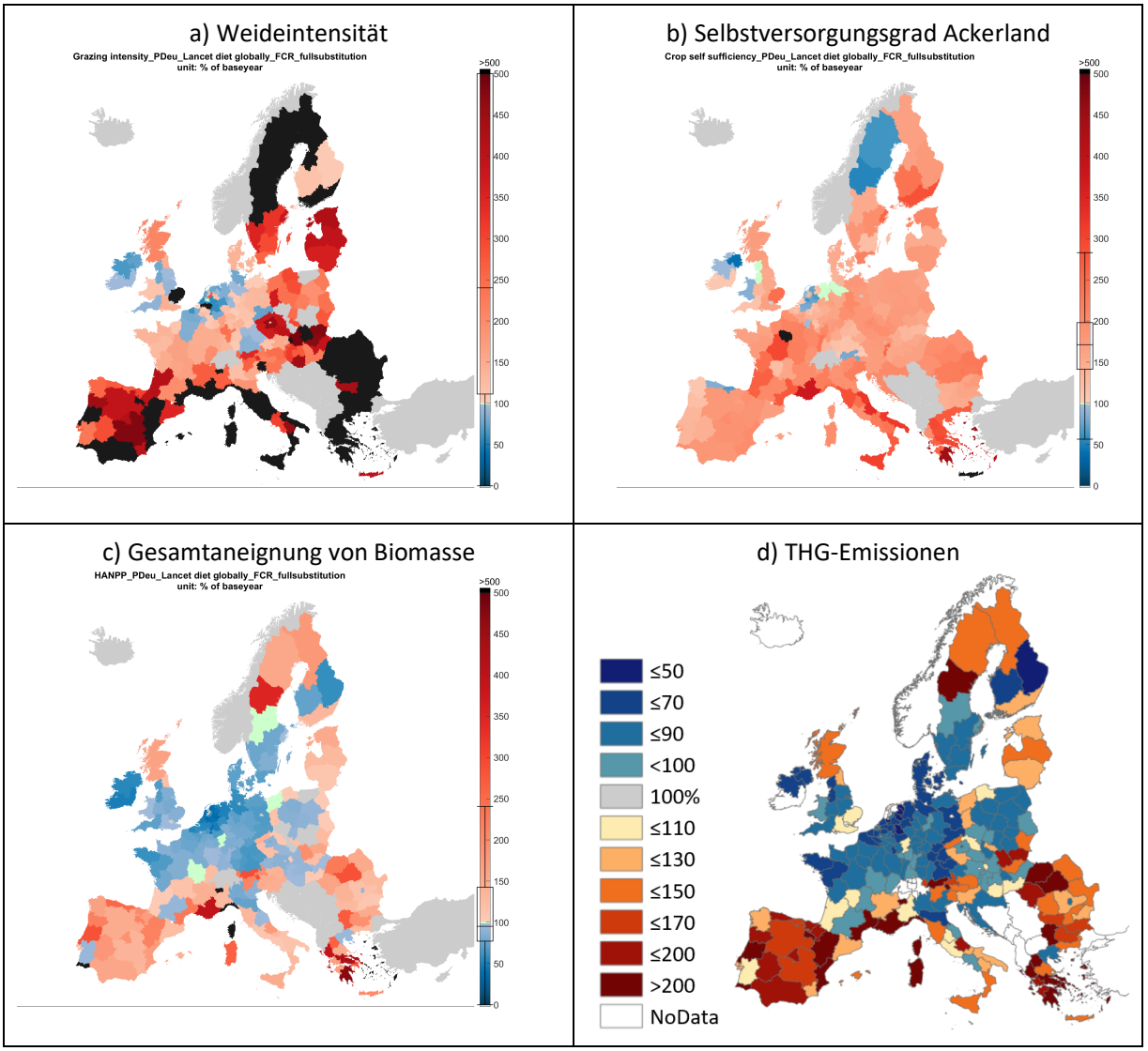


Abbildung 20: Veränderung ausgewählter Indikatoren in Europa als Folge der kompletten Substitution von Kraftfutter bei gleichzeitig veränderten Produktionsmustern innerhalb Europas und einem Umstieg auf die EAT-Lancet-diet in [% des Basisjahres].

Für Österreich bedeutet die komplette Substitution von Kraftfutter auch bei neuverteilten Produktionsmustern und verringertem Fleischkonsum eine Erhöhung der Weideintensität auf bis zu 290% des Basisjahres im Burgenland. Der Eigenversorgungsgrad mit Ackerlandprodukten nimmt unter diesen Bedingungen – die Verteilung der Tiere gemäß den Grünlandpotentialen und der globalen Einführung der EAT-Lancet-diet - im Westen Österreichs ab, wo die Gesamtaneignung von Biomasse auch am stärksten ansteigt. Die Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft nehmen im Burgenland, Niederösterreich und Oberösterreich ab.

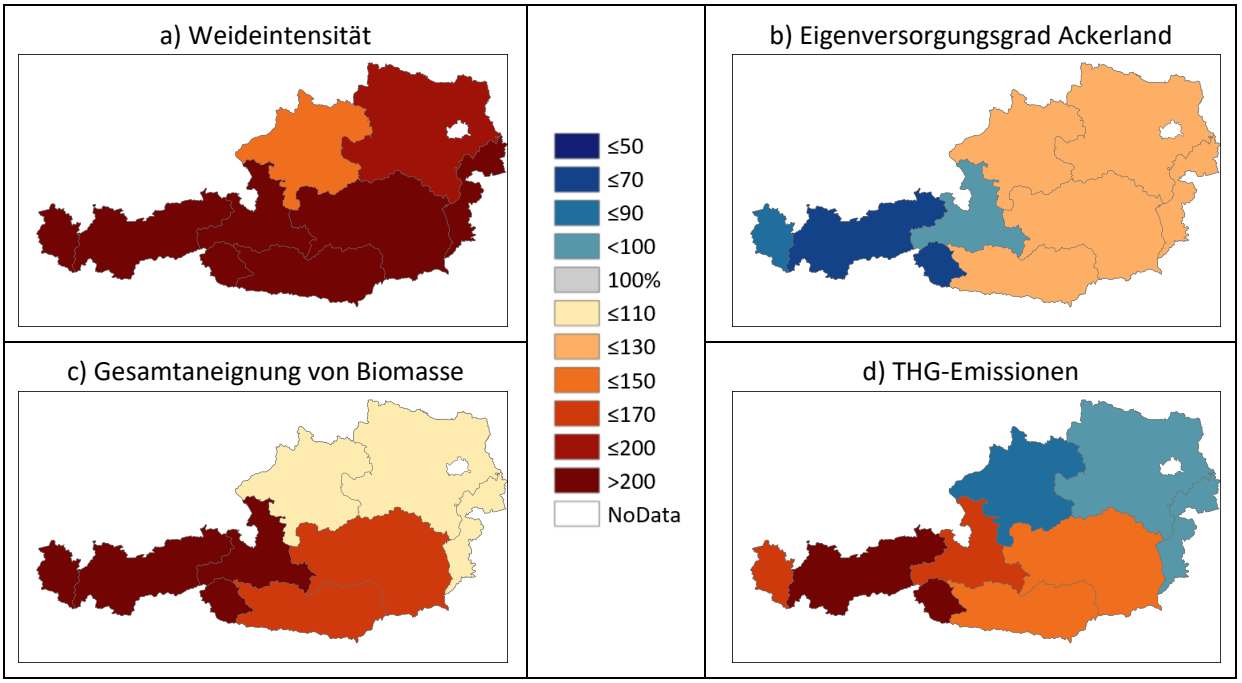


Abbildung 21: Veränderung ausgewählter Indikatoren in Österreich als Folge der kompletten Substitution von Kraftfutter bei gleichzeitig veränderten Produktionsmustern innerhalb Europas und einem Umstieg auf die EAT-Lancet-diet in [% des Basisjahres].

4.5 Regionale Besonderheiten

Bei der Umsetzung und den Auswirkungen der Innovation zeigten sich regionale Unterschiede, die wir ebenfalls genauer beleuchten wollten. Zunächst wurde deutlich, dass ausgehend vom Basisjahr 2012 nicht in allen Regionen eine Implementierung der Innovation möglich ist. In Abbildung 22b wird gezeigt, dass die Umsetzung in ca. 30% der NUTS-2 Regionen in Europa nicht zur Gänze möglich ist (in schwarz). Abgeleitet von der Weideintensität (Abbildung 8a) und dem verbleibenden Graslandpotential (Abbildung 22c) ist erkenntlich, dass sich Regionen, in denen die Innovation bei gleichbleibenden Produktionsmengen nicht umsetzbar ist hauptsächlich durch eine bereits bestehende hohe Weideintensität und geringe verbleibende Produktivitätspotentiale auf Grasland auszeichnen.

In jenen Regionen, in denen eine Umsetzung der Innovation möglich ist, war dies in ca. 70% der Regionen allerdings mit einer Steigerung der THG-Emissionen verbunden. Nur in 46 Regionen sinken die THG-Emissionen bei Implementierung der kompletten Substitution (siehe Abbildung 23). Allerdings zeigt sich, dass in einem Großteil dieser Regionen die THG-Emissionen nur um weniger als 0,1 Mt CO2-Äquivalente sinken, bei zum Teil beträchtlichen Mengen an Kraftfutter, die ersetzt werden müssen. Die optimale Kombination von hohen THG-Emissionsreduktionen bei geringer Kraftfuttersubstitution findet sich nur in 10 Regionen, die über ganz Europa

verstreut sind (siehe Abbildung 23b in grün). In Österreich hätte die komplette Substitution von Kraftfutter bei beibehaltenen Produktionsmustern nur im Burgenland eine reduzierende Wirkung auf die THG-Emissionen, jedoch um nur ~29000 t CO2-Äquivalente bei einer Substitution von ~62000 t Kraftfutter in Trockenmasse. Eine Umsetzung der Innovation wäre aber prinzipiell in ganz Österreich machbar.

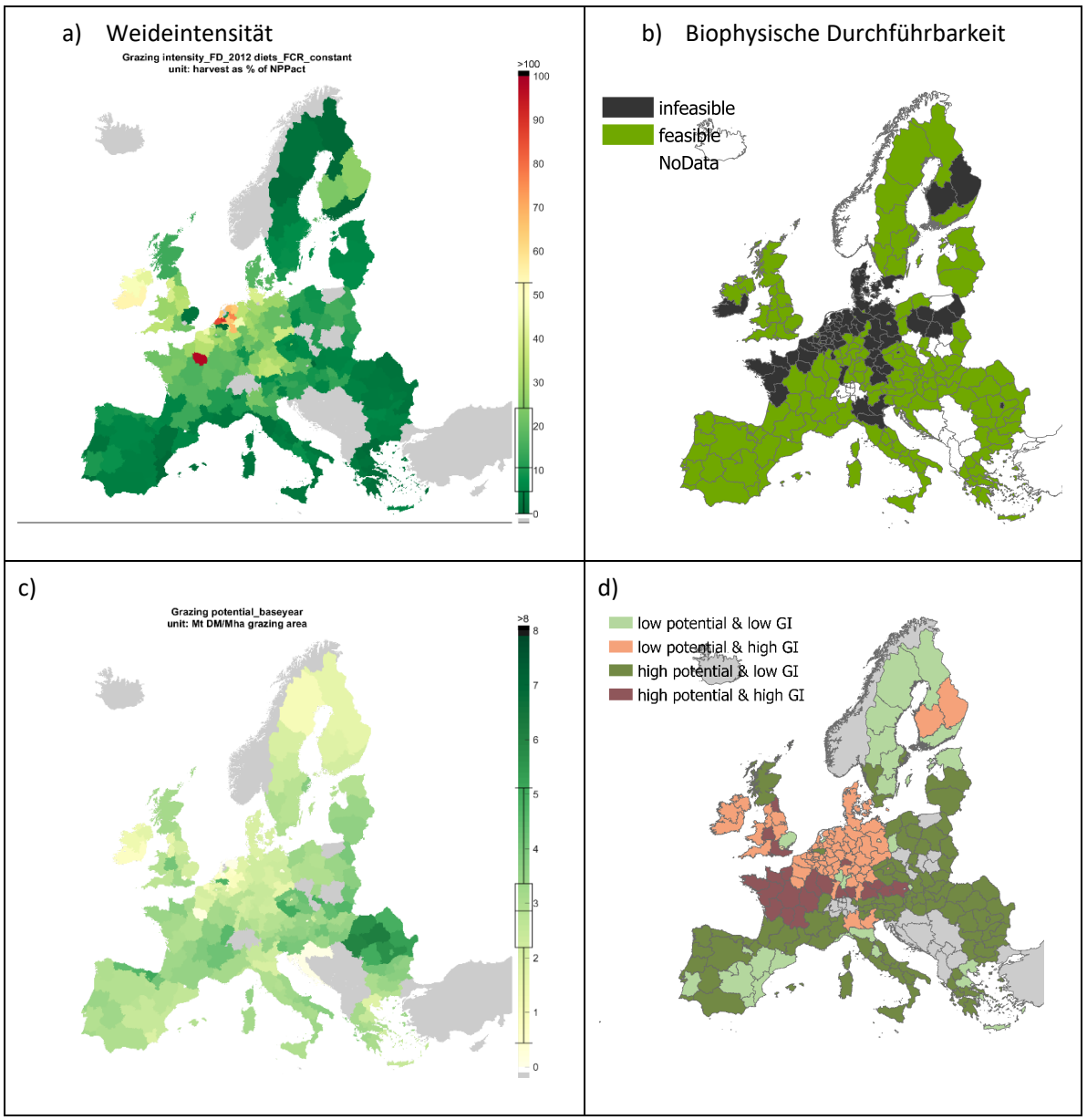


Abbildung 22: Gaslandpotentiale in Europa.
Zu sehen ist a) die Weideintensität im Basisjahr 2012 in [Ernte/aktueller NPP], b) Regionen, in denen die Innovation der kompletten Substitution von Kraftfutter durchführbar (grün = feasible) und undurchführbar (schwarz=infeasible) ist, c) das bei Weideintensität des Basisjahres noch verbleibende Graslandpotential in [Mt Trockenmasse/Weidefläche] und d) eine Klassifizierung der Potentiale und Weideintensitäten.

Insgesamt ist mit der kompletten Substitution von Kraftfutter in nur den vorteilhaften Regionen (wo das zu einer THG-Emissionsreduktion führen würde) nur eine Reduktion der THG-Emissionen von deutlich unter 1% (ca. 8 Mt CO2-Äquivalente) zu erreichen.

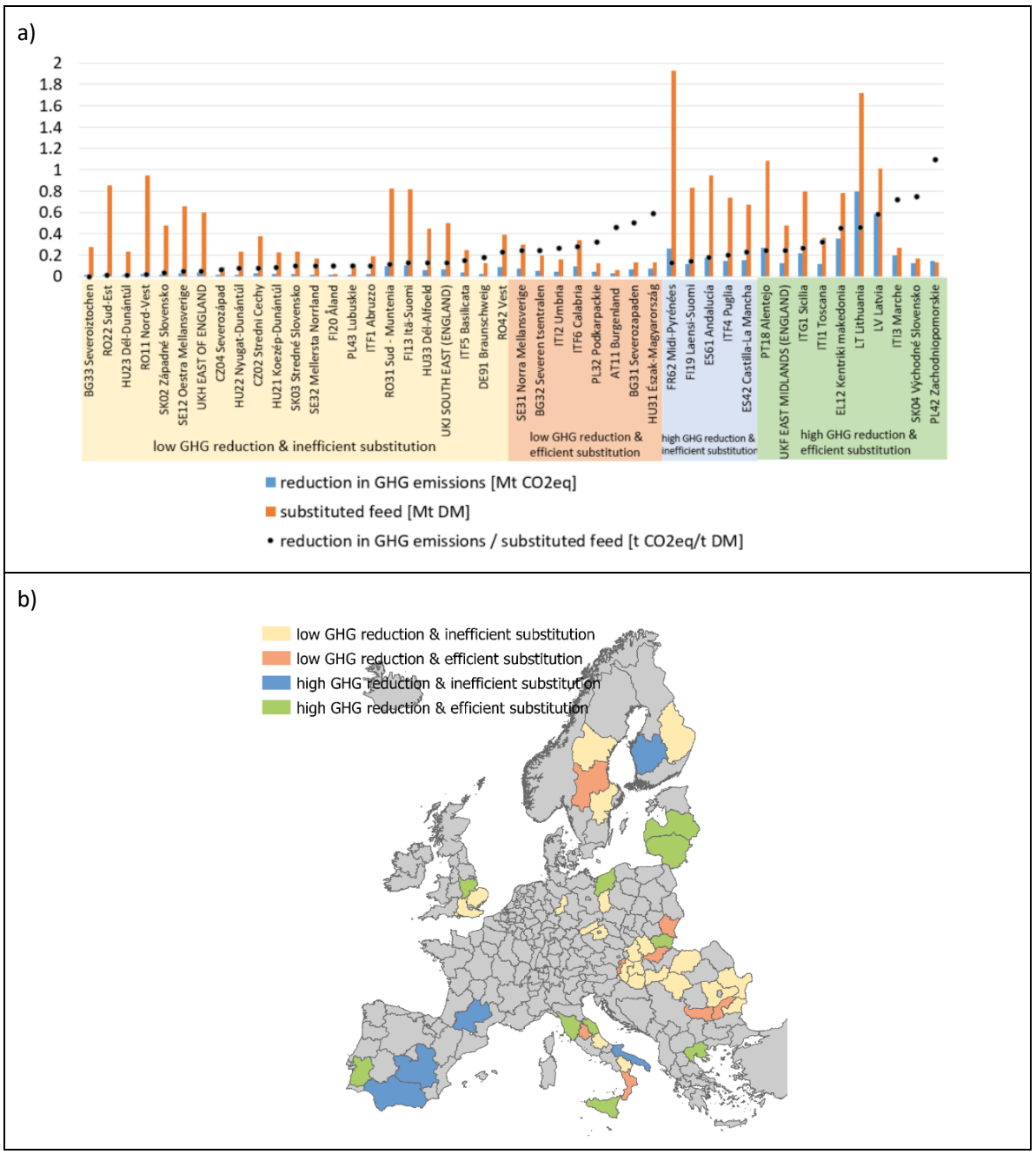


Abbildung 23: Reduktion von THG-Emissionen in Zusammenhang mit ersetztem Kraftfutter für Regionen, in denen die Innovation umsetzbar ist und zur Reduktion von THG-Emissionen führt bei beibehaltenen Produktionsmengen.

Zu sehen ist in a) die THG-Emissions-Reduktion und das zu ersetzende Kraftfutter für alle Regionen und in b) die Verteilung dieser Regionen in Europa. Zur Unterscheidung der 4 Typen wurde der Mittelwert der THG-Emissionsreduktionen (0,11 Mt CO2-Äquivalente) und jener der

Substitutionseffizienz (Reduktion von 0,24 t CO2-Äquivalente/t Trockenmasse Kraftfutter) verwendet.

Weitere Analysen zur Feststellung einer Strategie, die alle Optionen von konstanten und veränderten Produktionsmustern sowie partieller Innovationsimplementierung optimal kombiniert, um eine größtmögliche Reduktion der THG-Emissionen zu erreichen, zeigten ebenfalls, dass bei gleichbleibenden Produktionsniveaus auf europäischer Ebene eine Reduktion der Umweltbelastung nicht möglich ist.

5 Schlussfolgerungen

Bei der Bewertung von Innovationen im Nutztiersektor müssen viele Faktoren bezüglich Ernährungssicherheit, Tierwohl und Umweltauswirkungen berücksichtigt werden. Mit BioBaM konnten Kosten-Nutzen-Portfolios erstellt werden, die die Ergebnisse von 227 NUTS Regionen Europas aggregieren und in denen eine Vielzahl an Indikatoren vereint werden.

Es zeigte sich, dass die hier untersuchte Innovation einer Umstellung auf Grasland-basierte Fütterung von Wiederkäuern bei beibehaltener Produktionsverteilung in Europe in ca. 70% aller NUTS-2 Regionen möglich ist, in den anderen reicht die vorhandene Produktivität auf Weideländern nicht aus, um den berechneten Bedarf an Gras zu decken. Der Unterschied zwischen der kompletten und der partiellen Substitution von Kraftfutter war gering und lässt darauf schließen, dass zwar ein Potential für die Nutzung von Nebenprodukten und Überresten als Tierfutter vorhanden ist, aber das Bild nicht wesentlich hinsichtlich einer Reduktion der Umweltbelastung verändert. Damit muss die Nutzung von Reststoffen als wichtiger, aber im Potenzial beschränkter Weg gesehen werden. Der Grund dafür ist, dass Reststoffe bereits heute relativ effizient genutzt werden.

Die Analyse der Kosten-Nutzen Portfolios zeigte, dass die Innovation generell eine Verbesserung des Eigenversorgungsgrades in Bezug auf Ackerlandprodukte bringt. Die Umweltbelastungen verschoben sich von Ackerland, das zum Teil auch freigesetzt werden konnte, auf Weideland, wo die Intensität beträchtlich zunahm. Allerdings blieb die Weideintensität zumeist trotzdem deutlich unter der ökologisch maximal möglichen Weideintensität (im Durchschnitt lag die Intensität bei 50% der technisch maximalen nachhaltigen Intensität). Das Level der Gesamtaneignung von Biomasse erhöhte sich, allerdings verteilte sich der Druck ausgeglichener über Ackerland und Weideland. Die Entlastung des Ackerlands und die reduzierte Nachfrage nach besonders fruchtbaren Böden kann als positiv im Sinne der globalen Ernährungssicherheit bewertet werden.

Eine Umverteilung der Produktionsmuster tierischer Produkte nach Graslandpotentialen und die komplette Substitution von Kraftfutter führte zu einer massiven Veränderung von Produktionsmustern und resultierte in einer minimalen Erhöhung der THG-Emissionen, jedoch abermals in einer deutlichen Erhöhung der Weideintensität.

Man kann also schlussfolgern, dass die Implementierung von Grasland-basierten Tierhaltungssystemen auf europäischer Ebene in einer Verschiebung, aber keiner grundlegenden Reduktion der Umweltbelastungen resultiert. Der Druck wird von Ackerland auf

Weideland verschoben, während gleichzeitig ein Ausgleich zwischen der Etablierung von Kohlenstoffsenken (durch Vegetationswachstum auf freiwerdendem Ackerland) und den erhöhten Methan-Emissionen, aufgrund von Gärungs- und Verdauungsprozessen bei erhöhten ballaststoffreichen Futter, stattfindet.

Ein eigens auf regionale Besonderheiten gelegtes Augenmerk ließ erkennen, dass jene Regionen Europas in denen ein großes Graslandpotential bei gleichzeitiger geringer Weideintensität festgestellt werden konnte, sich als günstig für die Implementierung der hier besprochenen Innovation erwiesen. Jedoch konnte auch mit einer Produktionsumverteilung in besonders geeignete Regionen der zuvor beschriebene Kommunikationseffekt im THG-Budget nicht vermieden werden. Eine Schlüsselerkenntnis ist deshalb, dass eine großräumige Umverteilung der Produktion entlang der Graslandpotentiale Europas und ein Umstieg auf Graslandbasierte Fütterung in manchen Bereichen zwar positive Auswirkungen hat, der Effekt aber deutlich geringer ist als jener einer Reduktion des Konsums und dementsprechend des Produktionsniveaus. Bei gleichbleibenden Produktionsniveaus erwies sich die hier besprochene Innovation, auch bei Kombination verschiedener Implementierungsoptionen, als kaum relevant für die Verringerung der Umweltbelastungen, welche als streng größenabhängig bezeichnet werden können.

Eine veränderte menschliche Ernährung, mit verringertem Konsum von Tierprodukten, ist also ein mächtigerer Ansatzpunkt, um Umweltbelastungen zu reduzieren, als die hier besprochene Innovation im Produktionssystem.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: In BioBaM berechnete Parameter und Indikatoren 22
Tabelle 2: Substitutionsfaktoren der Futtermittelkategorien für Wiederkäuer bei Ersatz durch Gras. Quelle: (INRAE CIRAD AFZ, 2020.; Sauvant et al., 2017) 25
Tabelle 3: Qualitätsfaktoren für Gras von verschiedenen Weidelandkategorien. Quelle: eigenen Annahmen nach (van Hal et al., 2019) 26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der sozio-ökologischen Biomasseflüsse von Produktion zu Konsum am Beispiel globaler Kohlenstoffflüsse. 8
Abbildung 2: Konzeptionelle Darstellung der Integration von Produktion (primary production), Konsum (consumption) und Netto-Handel (net trade) auf NUTS-2-Ebene. 11
Abbildung 3: Datenblatt über Landnutzung, Biomasseflüsse und Tiersysteme in Niederösterreich. 13
Abbildung 4: Datenblatt über Landnutzung, Biomasseflüsse und Tiersysteme in Oberösterreich. 14
Abbildung 5: Datenblatt über Landnutzung, Biomasseflüsse und Tiersysteme in Steiermark. 15
Abbildung 6: Datenblatt über Landnutzung, Biomasseflüsse und Tiersysteme in Burgenland. 16
Abbildung 7: Datenblatt über Landnutzung, Biomasseflüsse und Tiersysteme in Kärnten. 17
Abbildung 8: Datenblatt über Landnutzung, Biomasseflüsse und Tiersysteme in Salzburg. 18
Abbildung 9: Datenblatt über Landnutzung, Biomasseflüsse und Tiersysteme in Tirol. 19
Abbildung 10: Datenblatt über Landnutzung, Biomasseflüsse und Tiersysteme in Vorarlberg. 20
Abbildung 11: Schematische Darstellung der Zusammenhänge zwischen Biomasseflüssen aus Produktion und Konsum sowie der damit verbundenen Treibhausgasemissionen im Modell BioBaM. (Theurl et al., 2020) 21
Abbildung 12: Darstellung ausgewählter Indikatoren der Biomasseflüsse in Europa im Basisjahr. 27
Abbildung 13: Kosten-Nutzen-Portfolio für die Innovationen a) komplette Substitution von Kraftfutter und b) partielle Substitution von Kraftfutter. Base year = 2012 == 100%. 29
Abbildung 14: Veränderung ausgewählter Indikatoren in Europa als Folge der kompletten Substitution von Kraftfutter in [% des Basisjahres]. 30
Abbildung 15: Veränderung ausgewählter Indikatoren in Österreich als Folge der kompletten Substitution von Kraftfutter in [% des Basisjahres]. 31
Abbildung 16: Kosten-Nutzen-Portfolio für a) eine Produktionsumverteilung entlang von Graslandpotentialen und b) die komplette Substitution von Kraftfutter bei neuen Produktionsmustern. Base year = 2012 == 100%. 32
Abbildung 17: Veränderung ausgewählter Indikatoren in Europa als Folge der kompletten Substitution von Kraftfutter bei gleichzeitig veränderten Produktionsmustern innerhalb Europas in [% des Basisjahres]. 33
Abbildung 18: Veränderung ausgewählter Indikatoren in Österreich als Folge der kompletten Substitution von Kraftfutter bei gleichzeitig veränderten Produktionsmustern innerhalb Europas in [% des Basisjahres]. 34

Abbildung 19: Nutzen-Kosten-Portfolio für a) Auswirkungen einer veränderten Ernährungsweise (EAT-Lancet-diet) und b) einer zusätzliche komplette Substitution von Kraftfutter, beides nach einer Umverteilung der Produktion entlang von Graslandpotentialen in Europa. Base year = 2012 == 100%. 35
Abbildung 20: Veränderung ausgewählter Indikatoren in Europa als Folge der kompletten Substitution von Kraftfutter bei gleichzeitig veränderten Produktionsmustern innerhalb Europas und einem Umstieg auf die EAT-Lancet-diet in [% des Basisjahres]. 37
Abbildung 21: Veränderung ausgewählter Indikatoren in Österreich als Folge der kompletten Substitution von Kraftfutter bei gleichzeitig veränderten Produktionsmustern innerhalb Europas und einem Umstieg auf die EAT-Lancet-diet in [% des Basisjahres]. 38
Abbildung 22: Gaslandpotentiale in Europa. 39
Abbildung 23: Reduktion von THG-Emissionen in Zusammenhang mit ersetztem Kraftfutter für Regionen, in denen die Innovation umsetzbar ist und zur Reduktion von THG-Emissionen führt bei beibehaltenen Produktionsmengen. 40

Literaturverzeichnis

Britz, W., Heckelei, T., Kempen, M., 2008. Description of the CAPRI Modeling System. Final Report. Universität Bonn, Bonn.

Britz, W., Witzke, P., 2008. CAPRI model documentation 2008: Version 2. Inst. Food Resour. Econ. Univ. Bonn Bonn.

Erb, K.H., Gaube, V., Krausmann, F., Plutzar, C., Bondeau, A., Haberl, H., 2007. A comprehensive global 5min resolution land-use dataset for the year 2000 consistent with national census data. J. Land Use Sci. 2, 191–224.

Erb, K.H., Krausmann, F., Lucht, W., Haberl, H., 2009. Embodied HANPP: Mapping the spatial disconnect between global biomass production and consumption. Ecol. Econ. 69, 328–334.

Erb, K.H., Lauk, C., Kastner, T., Mayer, A., Theurl, M.C., Haberl, H., 2016. Exploring the biophysical option space for feeding the world without deforestation. Nat. Commun. 7, 1–11. https://doi.org/10.1038/ncomms11382

Ertl, P., Steinwidder, A., Schönauer, M., Krimberger, K., Knaus, W., Zollitsch, W., 2016. Net food production of different livestock: A national analysis for austria including relative occupation of different land categories / Netto-Lebensmittelproduktion der Nutztierhaltung: Eine nationale Analyse für Österreich inklusive relativer Flächenbeanspruchung. Bodenkult. J. Land Manag. Food Environ. 67. https://doi.org/10.1515/boku-2016-0009

FAOSTAT, 2018. Statistical Databases. http://faostat.fao.org [WWW Document]. URL http://faostat.fao.org

Fetzel, T., Havlik, P., Herrero, M., Erb, K.H., 2017. Seasonality constraints to livestock grazing intensity. Glob. Change Biol. 23, 1636–1647. https://doi.org/10.1111/gcb.13591

Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Giljum, S., Lutter, S., Mayer, A., Bringezu, S., Moriguchi, Y., Schütz, H., Schandl, H., Weisz, H., 2011. Methodology and indicators of economy wide material flow accounting. State of the art and reliablity across sources. J. Ind. Ecol. 15, 855–876.

Haberl, H., Erb, K.H., Krausmann, F., 2014. Human Appropriation of Net Primary Production: Patterns, Trends, and Planetary Boundaries. Annu. Rev. Environ. Resour. 39, 363–391. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-121912-094620

Haberl, H., Erb, K.H., Krausmann, F., Berecz, S., Ludwiczek, N., Musel, A., Schaffartzik, A., Martinez-Alier, J., 2009. Using embodied HANPP to analyze teleconnections in the global land system: Conceptual considerations. Geogr. Tidsskr. - Dan. J. Geogr. 109, 119–130.

Haberl, H., Erb, K.H., Krausmann, F., Gaube, V., Bondeau, A., Plutzar, C., Gingrich, S., Lucht, W., Fischer-Kowalski, M., 2007. Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 104, 12942–12947.

Haberl, H., Kastner, T., Schaffartzik, A., Erb, K.H., 2016. How Far Does the European Union Reach? Analyzing Embodied HANPP, in: Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Winiwarter, V. (Eds.), Social Ecology. Society-Nature Relations across Time and Space. Springer International Publishing, Cham, pp. 319–360. https://doi.org/10.1007/978-3-319-33326-7_16

Haberl, H., Wackernagel, M., Wrbka, T., 2004. Land Use and Sustainability Indicators. An introduction. Land Use Policy 21, 193–198.

INRAE CIRAD AFZ, n.d. Tables of composition and nutritional values of feed materials INRA CIRAD AFZ [WWW Document]. URL https://www.feedtables.com/ (accessed 11.30.20).

Krausmann, F., Erb, K.H., Gingrich, S., Haberl, H., Bondeau, A., Gaube, V., Lauk, C., Plutzar, C., Searchinger, T., 2013. Global human appropriation of net primary production doubled in the 20th century. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 110, 10324–10329. https://doi.org/10.1073/pnas.1211349110

Krausmann, F., Haberl, H., Erb, K.H., Wackernagel, M., 2004. Resource flows and land use in Austria 1950-2000: Using the MEFA framework to monitor society-nature interaction for sustainability. Land Use Policy 21, 215–230.

Plutzar, C., Kroisleitner, C., Haberl, H., Fetzel, T., Bulgheroni, C., Beringer, T., Hostert, P., Kastner, T., Kuemmerle, T., Lauk, C., Levers, C., Lindner, M., Moser, D., Mueller, D., Niedertscheider, M., Paracchini, M.L., Schaphoff, S., Verburg, P.H., Verkerk, P.J., Erb, K.H., 2016. Changes in the spatial patterns of human appropriation of net primary production (HANPP) in Europe 1990-2006. Reg. Environ. Change 1225–1238. https://doi.org/10.1007/s10113-015-0820-3

Sauvant, D., Delaby, L., Nozière, P., 2017. INRA feeding system for ruminants. INRA Feed. Syst. Rumin.

Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsidding, E.A., Haberl, H., Harper, R., House, J., Jafari, M., Masera, O., Mbow, C., Ravindranath, N.H., Rice, C.W., Abad, C.R., Romanovskaya, A., Sperling, F., Tubiello, F.N., 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU), in: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, pp. 811–922.

Theurl, M.C., Lauk, C., Kalt, G., Mayer, A., Kaltenegger, K., Morais, T.G., Teixeira, R.F.M., Domingos, T., Winiwarter, W., Erb, K.H., Haberl, H., 2020. Food systems in a zero-deforestation world: Dietary change is more important than intensification for climate targets in 2050. Sci. Total Environ. 735, 139353. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139353

van Hal, O., de Boer, I.J.M., Muller, A., de Vries, S., Erb, K.H., Schader, C., Gerrits, W.J.J., van Zanten, H.H.E., 2019. Upcycling food leftovers and grass resources through livestock: Impact of livestock system and productivity. J. Clean. Prod. 219, 485–496. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.329

Weiss, F., Leip, A., 2012. Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector: A life cycle assessment carried out with the CAPRI model. Agric. Ecosyst. Environ. 149, 124–134. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.12.015

Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L.J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J.A., De Vries, W., Majele Sibanda, L., Afshin, A., Chaudhary, A., Herrero, M., Agustina, R., Branca, F., Lartey, A., Fan, S., Crona, B., Fox, E., Bignet, V., Troell, M., Lindahl, T., Singh, S., Cornell, S.E., Srinath Reddy, K., Narain, S., Nishtar, S., Murray, C.J.L., 2019. Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. The Lancet 393, 447–492. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4

Abkürzungen

APS	Animal production systems
DSS	decision support system
BioBaM	Biomasse-Balance Modell
NUTS	Nomenclature des unités territoriales statistiques
HANPP	Human Appropriation of Net Primary Production
$HANPP_{luc}$	HANPP land use change
$HANPP_{harv}$	HANPP harvest
CAPRI	Common Agricultural Policy Regionalised Impact

Projektnehmer
Institute für Soziale Ökologie Wien (Boku)
Schottenfeldgasse 29, 1070 Wien
https://boku.ac.at/en/wiso/sec