

StartClim2016.C

StartClim2016.C: BioRoh – Biogene Rohstoffe im Spannungsdreieck Flächenverfügbarkeit, Klimawandel und künftige Ertragsverhältnisse

Bundeforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft



Umweltbundesamt

PERSPEKTIVEN FÜR
UMWELT & GESELLSCHAFT **umwelt**bundesamt^U

ProjektmitarbeiterInnen

DI Dr Michael Englisch, BFW, Abt. Standort und Vegetation, Seckendorff-Gudentweg 8, 1130 Wien

Univ. Doz. DI Dr. Robert Jandl, BFW, Fachbereich Klima-Forschungskoordination, Seckendorff-Gudentweg 8, 1130 Wien

DI Rainer Reiter, BFW, Abt. Standort und Vegetation, Seckendorff-Gudentweg 8, 1130 Wien,

Dipl. Biol. Andreas Bartel, Umweltbundesamt Abt. Landnutzung & Biologische Sicherheit Spittelauer Lände 5, 1090 Wien, Tel. 01/31304-3620, andreas.bartel@umweltbundesamt.at

DI Dr. Helmut Gaugitsch, Umweltbundesamt Abt. Landnutzung & Biologische Sicherheit Spittelauer Lände 5, 1090 Wien, Tel. 01/31304-3133, helmut.gaugitsch@umweltbundesamt.at

Univ.-Prof. DI Dr. Rosemarie Stangl, Umweltbundesamt Abt. Nachhaltige Entwicklung, Spittelauer Lände 5, 1090 Wien, bzw. Universität für Bodenkultur, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau.

Diese Publikation sollte folgendermaßen zitiert werden:

Englisch M., Bartel A., Jandl R. (2017): StartClim2016.C: BioRoh- Biogene Rohstoffe im Spannungsdreieck Flächenverfügbarkeit, Klimawandel und künftige Ertragsverhältnisse. Endbericht von StartClim2016.C in StartClim2016: Weitere Beiträge zur Umsetzung der österreichischen Anpassungsstrategie, Auftraggeber: BMLFUW, BMWF, ÖBf, Land Oberösterreich

Wien, im Juni 2017

StartClim2016.C

Teilprojekt von StartClim2016

Projektleitung von StartClim2016:

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt

Institut für Meteorologie, Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien

URL: www.startclim.at

StartClim2016 wurde aus Mitteln des BMLFUW, des BMWF, der ÖBf, und des Landes Oberösterreich gefördert.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
Abstract	5
C-1 Einleitung	6
C-1.1 Problemstellung	6
C-2 Material und Methoden	7
C-2.1 Methoden	7
C-2.2 Material	7
C-2.3 Begriffsabgrenzungen	8
C-2.4 Methodische Vorbemerkungen	9
C-3 Primärproduktion und Erträge	11
C-3.1 Ausgangslage	11
<i>C-3.1.1 Fläche</i>	<i>11</i>
<i>C-3.1.2 Mengen</i>	<i>12</i>
C-3.2 Zusammenstellung der Erkenntnisse in den Bereichen Wachstums- und Zuwachsveränderungen, Ernteerträge	12
<i>C-3.2.1 Landwirtschaft</i>	<i>12</i>
<i>C-3.2.2 Forstwirtschaft</i>	<i>18</i>
C-3.3 Risiko für Schadereignisse und Ernteauffälle, Schadholzanfall	21
C-3.4 Wasser- und Bewässerungsbedarf	23
C-4 Flächenbedarf, Flächenänderungen	24
C-4.1 Flächenbedarf und klimabedingte Flächenpotenziale für biogene Rohstoffe	24
C-4.2 Erwartete wetter-/klimabedingte Verschiebungen von Anbauarealen, Veränderung von Hauptkulturen oder Fruchtfolgen	34
C-5 Nutzungspfade und Rohstoffqualitäten	37
C-5.1 Perspektiven stofflich-chemischer und energetischer Nutzungspfade unter Klimawandelbedingungen	37
C-5.2 Klimabedingte Einflüsse auf Materialeigenschaften, die für technische Nutzung relevant erscheinen (z.B. Eiweißgehalte, Mineralstoffgehalte, physikalische Eigenschaften)	37
C-6 Verfügbarkeit, Markt und Bedarf	39

C-6.1	Produktverfügbarkeiten: Produktionspotenziale, Hochrechnungen für Hauptkulturen	39
C-6.2	Markt und Bedarfsentwicklungen	42
	<i>C-6.2.1 Rahmenfaktoren für die Produktion und Flächennutzung, vor deren Hintergrund nationale Produktions- und Nutzungsentscheidungen gefällt werden</i>	<i>42</i>
C-7	Synthese	46
C-7.1	Handlungsoptionen und Gegenstrategien	47
C-7.2	Forschungsbedarf, Wissenslücken und Aufriss möglicher Forschungsfelder	49
C-8	Literaturverzeichnis	50
	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	57

Kurzfassung

Das Spannungsdreieck Klimawandel, künftige Ertragsverhältnisse und Flächenverfügbarkeit wird durch die das gesamte Bundesgebiet umfassenden Studien, welche Produktionsverhältnisse auf den landwirtschaftlichen bzw. den forstlichen Flächen behandeln, umrissen.

Szenarien mit „starkem“ Klimasignal, lassen in der Ackerfläche starke Ertragseinbrüche erwarten und daraus folgernd erhöhte Flächenkonkurrenz. Simulationen mit einem „moderaten“ Klimasignal bezüglich Temperaturanstieg kommen mehrheitlich zum Ergebnis, dass es in Österreich dann zu steigender Biomasseproduktion kommt, wobei es im Ackerland insgesamt zu Produktionseinbußen kommt, im Grünland jedoch zu teilweise erheblichen Produktionsgewinnen. In Szenarien, die sowohl die Beendigung von Agrarumweltzahlungen als auch Zahlungen für benachteiligte Gebiete umfassen, kommt es zu flächenhaften Aufforstungen. Sowohl in Szenarien mit einem „moderaten“ aber auch mit „starkem“ Klimasignal ist die Versorgung mit Holz für die energetische als auch stofflich-chemische Nutzung gegeben. Die höchsten Ertragseinbrüche betreffen den sommerwarmen Osten. Wenn diese nicht durch Importe kompensiert werden, kommt es zu starker Flächenkonkurrenz. Bei der Bewirtschaftung von Boden leiten Markt- und Fördersituation für Agrarprodukte das Verhalten der Produzenten. Ein explizites Ziel der aktuellen Politik die Abhängigkeit von importierter fossiler Energie zu verringern, kann nicht erreicht werden, ohne die Nahrungs- und Futtermittelproduktion massiv zu beeinträchtigen oder Nahrungs- und Futtermittel oder die Rohstoffe für Biodiesel zu importieren.

Zur effizienten Verwendung begrenzter landwirtschaftlicher Flächen im Zuge verstärkter stofflich-chemischer und energetischer Nutzung werden daher in Zukunft eine mehrfache, kaskadische Nutzungen von entscheidender Bedeutung sein.

Abstract

The interactions of future climate change, future production in agriculture and forestry and availability of areas to grow renewable raw materials for material as well as for energetic uses are investigated by several modelling studies with national scope within the forestry and agricultural sectors.

Scenarios, which take into account a strong climate signal, anticipate a substantial production decline within arable land. Increased competition for different land uses seem to be a logical consequence. The majority of modelling studies taking into account a moderate climate signal in respect to temperature increase predict increasing biomass production in Austria. While production decreases within the arable land, production increases within the grassland. Scenarios, which additionally presume a stop of payments for less favored areas and ecological focus areas show major afforestations as a consequence. Supply of wood for material use and energetic use is even secured in scenarios taking into account a strong climate signal. Most severe production declines affect the eastern parts of Austria. If these production declines of food- and feedstuff are not compensated by imports, competition between different uses of agricultural goods will result according to the modelling studies.

The agricultural producers are mainly led by market situation and the policy on subsidies. The explicit goal of recent politics aiming on decreasing the dependency on imported fossil energy will not be reached without massively curtailing production of food- and feedstuff according to the simulations. For efficient use of limited agricultural area in the context of increasing material and energetic use of biomass future multiple cascading uses of renewable raw materials will be of decisive importance.

C-1 Einleitung

C-1.1 Problemstellung

Lexer et al. (2014) formulieren mit Exner (2011), dass die zunehmenden Ansprüche der menschlichen Gesellschaft durch den steigenden Bedarf an Nahrungsmitteln sowie stofflich und energetisch genutzter Biomasse zu stärkeren Flächenkonkurrenzen führen, die durch die Verknappung fossiler Ressourcen und insbesondere durch den Klimawandel noch verstärkt werden. Klimaveränderungen haben potentiell großen Einfluss auf die landwirtschaftliche Produktion und könnten eine bedeutsame Veränderung der Landnutzung erzwingen (u. a. Schaumberger et al., 2011).

Eine Vielzahl von Studien beschäftigt sich mit qualitativen und quantitativen Veränderungen der Ertragspotenziale von biogenen Rohstoffen unter veränderten klimatischen Verhältnissen, wie sie etwa ein Spezialbericht des IPCC (2012) zum Thema „Management von Extremereignissen“ umreißt (Intensivierung von Dürreepisoden auch in Mitteleuropa, medium confidence).

In Österreich sind diese Studien überwiegend sektoral in Bezug auf die Landnutzungsarten (Ackerwirtschaft, Grünland, Forstwirtschaft) oder spezifisch auf eine bestimmte Nutzung eines oder mehrerer biogener Rohstoffe ausgerichtet (Ernährung, Futtermittel, Bioenergie). Das Spannungsfeld zwischen Flächenverfügbarkeit und biogenen Rohstoffen speziell unter veränderten Klimaverhältnissen lässt sich daher oft nur indirekt durch den Vergleich der Studienergebnisse und der gewählten Annahmen, Randbedingungen und Systemgrenzen erschließen.

Ein weiteres Problem liegt in der Heterogenität der jeweils gewählten Systemgrenzen bzw. Randbedingungen innerhalb der Studien, die mit unterschiedlicher Eindringtiefe behandelt werden (u.a. Flächenverfügbarkeit und -verschiebungen, Steigerung von Schadensrisiko und Schwierigkeiten im Anbau, Auftreten neuer Pflanzenkrankheiten und Schädlingsorganismen u.a.m.).

Das Landwirtschaftsgesetz 1992 nennt als Ziel u.a. die bestmögliche Versorgung mit qualitativ hochwertigen Lebensmitteln und Rohstoffen zu sichern (LWG 1992 §1 Absatz 6b). Ein wachsender bioökonomischer Sektor mit seinem Rohstoffbedarf auch zur stofflichen Nutzung steht somit in (Flächen-)Konkurrenz zur Erzeugung von Lebens- und Futtermitteln. Unter dem Primärziel der Lebensmittelversorgung stehen also wenige Flächen zur Verfügung, die für Rohstoffproduktion genutzt werden könnten.

Strategiepapiere zur Entwicklung einer nationalen Bioökonomie-Strategie (z.B. bmvit & Klima- und Energiefonds (Hrsg.) 2015) erwarten (in Anlehnung an die Bioökonomiestrategie der Europäischen Kommission) zukünftiges Wachstum des Sektors. Potenzialabschätzungen sind jedoch vielfach auf aktuellen Flächen und Ertragsverhältnissen aufgebaut, während Bedingungen des Klimawandels und des Flächenangebotes nur in Teilbereichen angesprochen werden. Eine Auswertung und Zusammenschau ist für die weitere Strategieentwicklung dringend notwendig.

C-2 Material und Methoden

C-2.1 Methoden

Aufgrund der Heterogenität des Studien- und Referenzmaterials wird als Methode eine strukturierte Literaturstudie gewählt. Sie stützt sich auf die qualitative Auswertung reviewter, „grauer“ Literatur sowie Auftragsstudien zu den Studienobjekten.

Bei der Auswertung der Literatur werden folgende Leitfragen zur Orientierung dienen:

- I. Welche Klimawandel-Szenarios werden verwendet? Welche Szenarien bilden die künftigen Entwicklungen ab?
- II. Welche Kulturarten der Primärproduktion wurden betrachtet?
- III. Welche weiteren Nutzungspfade wurden betrachtet?
- IV. Mit welchem Zeithorizont wird gearbeitet/argumentiert und welche regionale Ebene wird betrachtet?
- V. Wie quantitativ sind die Aussagen und Ergebnisse?
- VI. Wird die Relevanz des Klimawandels gegenüber anderen Zukunfts-Faktoren, die Änderungen auslösen, abgeschätzt?
- VII. Welche Aussagen werden getroffen? Welche Empfehlungen und Vorschläge wurden abgeleitet?
- VIII. Gibt es Abschätzungen zur Verlässlichkeit der Ergebnisse, statistische Vertrauensbereiche oder ähnliches?

Als Benchmark für eine strukturierte Auswertung wurden die Ergebnisse relevanter Erhebungen, aber auch die Definitionen der Statistik Austria herangezogen. Hier sind insbesondere die auf ein jeweils Jahrfünft bezogenen „Versorgungsbilanzen“ für die jeweiligen nachwachsenden Rohstoffe zu nennen, die durch die Grünen Berichte 2015 und 2016 sowie aus der Statistik Austria abgeleiteten einschlägigen Publikationen der Agrarmarkt Austria ergänzt werden.

Dies erscheint vor dem Hintergrund verschiedenster Begrifflichkeiten und unterschiedlicher verwendeter Bezugsgrößen die einzige Möglichkeit, eine Synopsis aus der verwendeten Literatur zu erreichen.

C-2.2 Material

Das Referenzmaterial wurde über mehrere Teilschritte erhoben, wobei folgende Quellen der Desktop-Research zugrundegelegt wurden:

1. Inhouse-Studien und Berichte u.a. im BFW BFW (Holzmobilisierungsstudie HOBI; BFW Praxisinfo Nr 18, 2009; Treibhausgasbilanz der österreichischen Holzkette HOBI; BFW Praxisinfo Nr 38, 2015), im Umweltbundesamt, in der AGES (Leidwein et al. 2013). Die Ergebnisse des Projektes BEAT (Haslmayr et al., unpubl.) stehen dzt. nicht zur Verfügung, da der entsprechende Projektbericht durch den Auftraggeber noch nicht approbiert wurde..
2. Diplomarbeiten und Dissertationen insb. der BOKU Wien;
3. AAR14;

4. Literaturdatenbanken wie ScienceDirect, Springer und Wiley (nur aktuelle Arbeiten ab 2010)
5. im Internet zugängliche Veröffentlichungen;
6. Ein Screening der geförderten ACRP-Projekte im 1. bis 7. Call und der Klimafolgenforschung 2007 hat 29, das StartClim-Programm weitere 11 Projekte mit potenzieller Relevanz für die Fragestellung ergeben. Diese Reports und die aus ihnen abgeleiteten Publikationen bilden im dargestellten Vorhaben eine wesentliche Daten- und Quellengrundlage.

Weiters wurden diverse Übersichten und Publikationen der Statistik Austria unterstützend herangezogen (Agrarstrukturerhebung, Versorgungsbilanzen, landwirtschaftliche Produktion).

Eine zusätzliche wichtige Basis stellen bestehende Strategien oder Prozesse zur Strategieentwicklung, in denen das Umweltbundesamt federführend beteiligt ist, dar:

der Ressourceneffizienz Aktionsplan REAP (BMLFUW 2012);

der Aktionsplan zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe (Österreichische Energieagentur 2015);

die FTI-Strategie zur biobasierten Industrie in Österreich (bmvit 2014);

der Status Quo Report zur Bioökonomie und FTI-Aktivitäten in Österreich der FTI-AG2 Klimawandel und Ressourcenknappheit (2015) sowie die Workshops im Rahmen des geplanten Stakeholderprozesses zur Entwicklung der österreichischen FTI-Strategie Bioökonomie.

C-2.3 Begriffsabgrenzungen

In Anlehnung an Ganglberger & Sturm (2014) werden die Rohstoffe der biobasierten Industrie wie folgt gegliedert:

Agrarische Roh- und Reststoffe

Biomasse aus dem Ackerland

Biomasse aus dem Grünland

Landwirtschaftliche Reststoffe

Forstwirtschaftliche Roh- und Reststoffe

Bioenergie

Holz- und Papierindustrie

Weitere Roh- und Reststoffpotenziale zur stofflichen und/oder energetischen Verwertung

Einen Überblick zu den möglichen stofflichen Nutzungen von nachwachsenden Rohstoffen bietet Tabelle C-1 (Strimitzer et al. 2015).

Tabelle C-1: Mögliche stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen (Strimitzer et al. 2015).

ROHSTOFFE DER LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT	ZWISCHENPRODUKTE	ENDPRODUKTE
Flachs, Hanf, Schilf, Stroh, Lein	Fasern	Bau- und Dämmstoffe, Papier, Pappe, Textilien, Faserverbundwerkstoffe, Formpressteile, Vliese, Filter, chemische Grundstoffe
Verholzte Pflanzen	Zellulose, Lignin, Hemizellulose	Bau- und Dämmstoff, Holzwole, Holzfaser, Zellstoff, Zellulose und Zellulosederivate

		Kunststoffe, Chemische Grundstoffe, Lebensmittelzusatzstoffe, Textilien, Gerbstoffe, Farbstoffe, Harze, Fette, Wachse
Zuckerrüben	Zucker	Chemische Grundstoffe, Kosmetika, Waschmittel/Seifen/Tenside, Pharmaka, Kunststoffe/Polymere, Farbstoffe, Anstrich-/Lösungsmittel, Hilfsmittel für Gießereien und Betonindustrie, Futtermittel
Kartoffeln, Mais, Weizen, Roggen, etc.	Stärke	Papier und Pappe, Baustoffe, Klebstoffe, Kunststoffe, Waschmittel, Chemikalien, Kosmetika, Pharmaka, Futtermittel, chemische Grundstoffe
Sojabohne, Raps, Kartoffel, Milch, Wolle, Leder	Protein	Tenside, Technische Polymere, chemische Grundstoffe, Dünger, Leime, Kaseinfarben, Kosmetika, Pharmaka, Hilfsmittel für Papier, Textil-, Lederindustrie, Futtermittel
Raps, Sonnenblume, Lein, Soja, Rizinus, Mohn	Öle und Fette	Schmierstoffe, Hydrauliköle, Wasch- und Reinigungsmittel, Kosmetika, Pharmaka, chemische Grundstoffe, Baustoffe, Farben und Lacke, Futtermittel
Sonderkulturen und Nebenprodukte	Besondere Inhalts- und Wirkstoffe	Pharmaka, Kosmetika, Lebensmittelzusatzstoffe (Gewürze, Aromastoffe, Farbstoffe, Konservierungsstoffe) Gerbstoffe, chemische Grundstoffe, Kautschuk, Harze, Fette, Wachse, Futtermittel

Im Bereich der stofflich-chemischen Nutzung von biogenen Rohstoffen entstehen durch die kaskadische Nutzung von Rohstoffen einerseits Abgrenzungsprobleme zwischen stofflich-chemischer Nutzung sowie Nutzungen für den Futter-/Nahrungsmittelbereich sowie der energetischen Nutzung; andererseits werden unterschiedliche Begrifflichkeiten verwendet, welche die Auswertung von Potentialanalysen erschweren. So wird in Ganglberger & Sturm (2014) auf die stoffliche Nutzung in der biobasierten Industrie fokussiert, die dort wie folgt definiert wird: „Die biobasierte Industrie ist in ihrer Gesamtheit äußerst vielschichtig und umfasst aus Sicht der Rohstoffbereitstellung land- und forstwirtschaftliche Biomasse, organische Reststoffe und neue Rohstoffe wie etwa Algen. Auf Produktebene bietet die biobasierte Industrie Lebensmittel und Futtermittel, Energieträger, Chemikalien und Materialien, wobei die vorliegende FTI-Strategie insbesondere den Non-Food-Bereich berücksichtigt.“

In diesem Bericht werden aufgrund der Problemstellung die Kategorien „Lebensmittel und Futtermittel“ ausgeklammert.

Strimitzer et al. (2015) folgen Strasser et al. (2006) und Strasser et al. (2009) und fokussieren in ihrer Potentialanalyse auf ausgewählte Teilbereiche der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe unter weitgehender Ausklammerung „traditioneller“ industrieller Nutzung nachwachsender Rohstoffe (z.B. Stärke, Zitronensäure).

C-2.4 Methodische Vorbemerkungen

Weder im Aktionsplan zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe (Strimitzer et al. 2015) noch in der FTI-Strategie für die biobasierte Industrie (Ganglberger & Sturm, 2014),

den Schlüsselpublikationen zur stofflich-chemischen Verwertung biogener Rohstoffe, werden Überlegungen zur Veränderung der Anbauflächen, Verschiebung von Anbauflächen oder möglichen Veränderungen der Produktionsmengen unter den Verhältnissen des Klimawandels vertieft.

Ähnliches gilt auch für die meisten Studien im Bereich der Potentialabschätzung und Entwicklung in Bezug auf Bioenergie (ÖBMV 2013, Christian et al.2011, Streicher et al. 2010, BMLFUW 2008, Krutzler et al. 2016).

Daher müssen die oben angesprochenen Veränderungen aus Abschätzungen für die Gesamtbiomassenproduktion unter den Verhältnissen des Klimawandels extrahiert werden, bzw. indirekt aus Leidwein et al.(2013), welche auf die Verwendung von Biomasse im Nahrungs- und Futtermittelbereich fokussiert ist, abgeleitet werden.

C-3 Primärproduktion und Erträge

C-3.1 Ausgangslage

C-3.1.1 Fläche

Tabellen C-2 und C-3 bilden die Ausgangsdaten zur Abschätzung von möglicher Flächenkonkurrenz zwischen Nahrungs- und Futtermittelbedarf, sowie der stofflich-chemisch bzw. energetischen Nutzung auf der Kulturläche ab. Sie bilden in unterschiedlicher Auflösung die Datengrundlage für viele der im Folgenden zitierten Studien. Obwohl versucht wurde, nur Arbeiten zu verwenden, deren Publikationsjahr 2008 und jünger ist, liegen die verwendeten Basisjahre oder Basiszeiträume in einem weiten Bereich zwischen 2002 (z.B. Zessner et al. 2011) und 2013 (ÖBV 2015).

Die Daten zeigen den vielfach kommentierten Rückgang der Kulturläche sowie der landwirtschaftlich genutzten Fläche bei gleichzeitigen Flächengewinnen der forstwirtschaftlich genutzten Flächen, Sonstigen Flächen und Verbauten Flächen, Verkehrsflächen und Nicht landwirtschaftlich genutzten Grünlandflächen. Während die Einbußen der Ackerflächen vergleichsweise gering ist, liegt der Verlust von Grünlandflächen seit 1970 bei fast 40 %. Diese Trends bilden den Hintergrund der Studie zur Ressourcennutzung in Österreich (BMLFUW 2015), Stürmer et al. (2013), Leidwein et al. (2013) und werden in Ganglberger & Sturm (2014) sowie Strimitzer et al. (2015) thematisiert.

Tabelle C-2: Verteilung der Kulturarten im Zeitvergleich (Bundesanstalt für Agrarwirtschaft (2017))

	1970	2013
Kulturläche	6.757.443	6.156.068
Landwirtschaftlich genutzte Fläche	3.696.453	2.728.558
Forstwirtschaftlich genutzte Fläche	3.060.990	3.427.510
Sonstige Flächen	969.936	1.201.129
Gesamtfläche der land- und forstwirtschaftlichen Betriebe	7.727.379	7.357.197
Verbauten Flächen, Verkehrsflächen und nicht mehr in der Landwirtschaft genutzte Grünlandflächen	660.421	1.030.603
Staatsfläche	8.387.800	8.387.800

Tabelle C-3: Zusammensetzung der landwirtschaftlich genutzten Fläche (LF) (in ha) im Zeitvergleich (Bundesanstalt für Agrarwirtschaft (2017))

	1970	2013
Ackerland	1.458.503	1.364.057
Dauergrünland	2.097.178	1.297.110
Haus- und Nutzgärten	52.751	2.024
Obstanlagen (2)	41.670	15.197
Weingärten	45.579	45.319
Reb- und Baumschulen	772	1.296
Forstbaumschulen (3)		949
Christbaumkulturen (4) (5)		2.608
LF	3.696.453	2.728.560

LF (ohne Almen u. Bergmähder) 2.848.204 2.365.998

C-3.1.2 Mengen

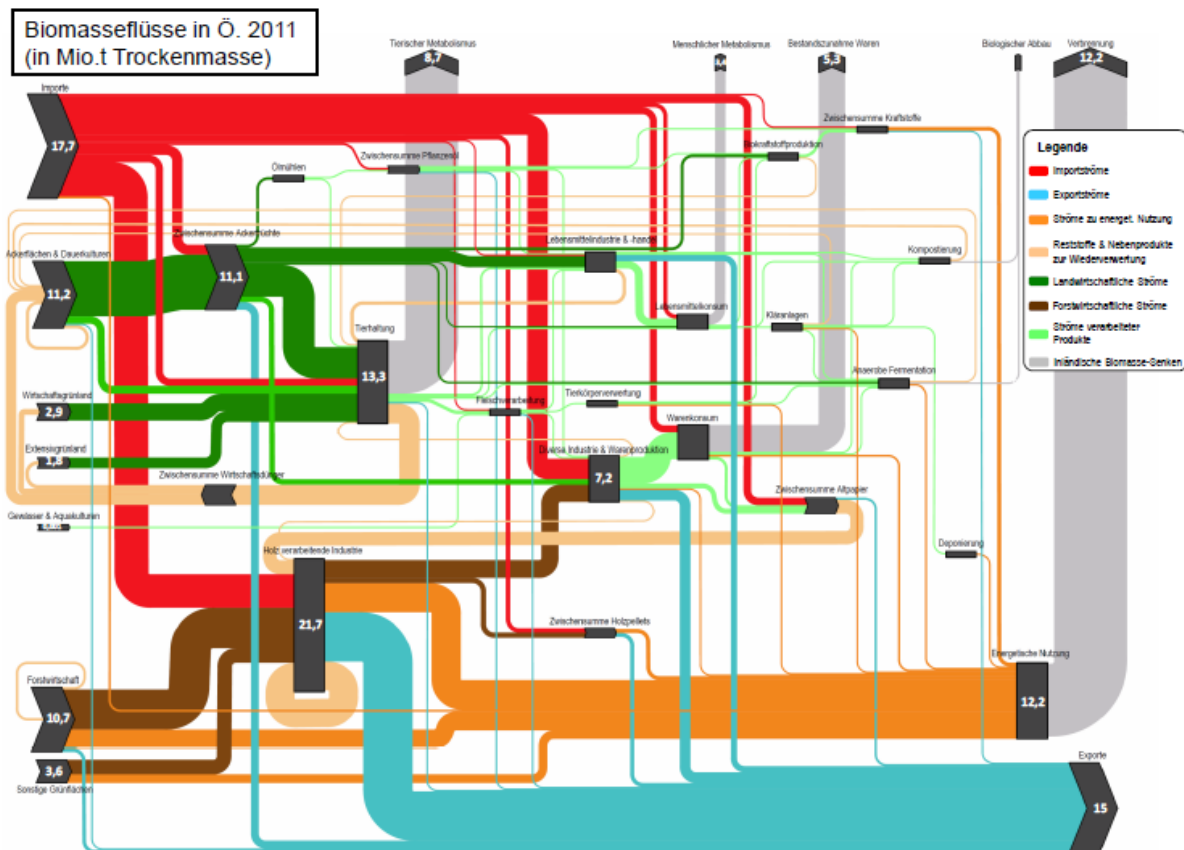


Abbildung C-1: Biomasseflüsse in Österreich im Jahr 2011 (t Trockenmasse) aus: Strimitzer et al. (2015)

Die Quellen der Biomasseflüsse in Österreich betragen 47,8 Millionen t Trockenmasse, die quantitativ wichtigsten waren der Import mit 17,7 Mill. t, gefolgt von Ackerflächen und Dauerkulturen mit 11,2 und der Forstwirtschaft mit 10,7 Mill. t, die bedeutendsten Senken der Export mit 15, die Verbrennung mit 12,2, der tierische Metabolismus mit 8,7 und der menschliche Metabolismus mit 3,8 Mill. t. Neben der Nahrungs- und Futtermittelproduktion sowie dem Export waren die bedeutendsten Biomasseflüsse aus den Ackerflächen und Dauerkulturen die Nutzung durch diverse Industrie- und Warenproduktion, die Biotreibstoffproduktion, die Fermentation und die Verarbeitung durch Ölmöhlen. Diese Darstellung liegt nach dem Wissen der Autoren nur für das Jahr 2011 vor.

C-3.2 Zusammenstellung der Erkenntnisse in den Bereichen Wachstums- und Zuwachsveränderungen, Ernteerträge

C-3.2.1 Landwirtschaft

Eine Übersicht über die aktuelle Produktion wichtiger Feldfrüchte in Österreich bietet Tabelle C-4 (BMLFUW 2016). Zeitvergleiche über längere Zeiträume bieten die 5-Jahresübersichten der Statistik Austria (2016) sowie die Homepage der Agrarmarkt Austria (<https://www.ama.at/Marktinformationen/Getreide-und-Olsaaten/Kennzahlen>).

Tabelle C-4: Darstellung der realen Erträge 2015 ausgewählter Feldfrüchte aus dem Grünen Bericht (BMLFUW, 2016) [t lagerfähiges Erntegut. t TM]

Feldfrucht	Produktion 2015 [t]	[t TM]
(Weich-)Weizen	1.592.290	1.401.215
Roggen	171.074	150.545
Triticale	284.129	250.034
Gerste	840.433	739.581
Silomais	3.807.138	1.142.141
Körnermais	1.637.905	1.441.356
Zuckerrübe	2.836.376	624.003
Sonnenblumen	38.060	33.493
Raps	111.447	98.073
Sojabohnen	136.195	119.852
Kartoffeln	536.473	134.118
Ölkürbis	19.370	17.046

Über die Verwendung dieser Erträge geben die Versorgungsbilanzen der Statistik Austria (http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/preise_bilanzen/versorgungsbilanzen/index.html) Aufschluss, allerdings unter Einbeziehung von Importen und Exporten. Neben Erzeugung, Import und Export wird hier die Verwendung des jeweiligen Produkts nach den Kategorien Nahrungsverbrauch, Futter, industrielle Verwertung (Nicht-Nahrungs-und-Futtermittel-Bereich) bzw. Verarbeitung sowie Saatgut und Verluste dargestellt. Der Selbstversorgungsgrad in Prozent ergänzt diese Darstellung, welche direkt bzw. indirekt als Grundlage für Potentialabschätzungen zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe (Strimitzer et al. 2015) bzw. für die biobasierte Industrie in Österreich (Ganglberger & Sturm 2014), aber auch zur energetischen Verwertung von Biomasse (ÖBV 2015, Streicher et al. 2010, Christian et al. 2011) herangezogen werden.

In den Versorgungsbilanzen wird die Kategorie industrielle Verwertung nicht weiter in stofflich(-chemische) und energetische Verwertung unterteilt.

Es existiert in Österreich eine Vielzahl von Untersuchungen zur Einschätzung von Wachstums- und Zuwachsveränderungen unter den Verhältnissen des Klimawandels, deren Ergebnisse großteils in den Sachstandbericht Klimawandel (APCC (2014) eingeflossen sind. Der Großteil dieser Untersuchungen beschränkt sich auf einzelne Feldfrüchte, einzelne Aspekte von wachstums- und zuwachsrelevanten klimatischen Kenngrößen oder zielt explizit auf regionale oder lokale Verhältnisse. Die unseres Wissens bislang einzige, bislang unveröffentlichte, Studie, die versucht, für ganz Österreich und für die Feldfrüchte, welche die Hauptfruchtfolgen abbilden, konkrete Produktionswerte zu errechnen, ist unseres Wissens BEAT (Haslmayr et al. unpubl.). Eine Studie von Leidwein et al. (2013) hat eine vergleichbare Zielsetzung, löst jedoch die Produktionswerte nicht nach einzelnen Feldfrüchten auf. Einige Studien behandeln die Wachstumsverhältnisse und Produktionswerte von Biomasse auf der landwirtschaftlich genutzten Fläche (Kirchner et al. 2015, Stürmer et al. 2016) unter dem Aspekt unterschiedlicher agrarpolitischer Schwerpunktsetzungen, teils unter den Verhältnissen des Klimawandels. Daneben untersuchten z.B. Strauss et al. (2013) den Einfluss zunehmender Dürreperioden auf die Erträge landwirtschaftlicher Flächen.

Ein umfassendes, jedoch auf die Biomasseproduktion in Österreich unter den Verhältnissen des Klimawandels, und nicht auf einzelne Feldfrüchte herunter gebrochenes Bild zeichnen Kirchner et al. (2015). Die Autoren bewerten die Ökosystemdienstleistungen anhand sozio-ökonomischer als auch ökologischer Indikatoren sowie der THG-Emissionen, ein Ansatz dem auch z.B. Haberl et al. (2013) folgen.

Die Klimamodellierung für die Jahre 2025 bis 2040 erfolgte dabei mit ACLiReM (Austrian Climate model based on Linear Regression Methods) und umfasst 4 Klimaszenarien, die jeweils um eine gegenüber der Gegenwart erhöhte Jahresdurchschnittstemperatur von 1,5°C unterstellen, sowie eine Zunahme des Niederschlags um 20 %, gleichbleibende Niederschlagsverhältnisse, eine Abnahme der Sommerniederschläge um 20 % bei gleichzeitiger Zunahme der Winterniederschläge um 20 %, sowie eine Niederschlagsabnahme um 20 %.

Unter diesen Voraussetzungen errechneten Kirchner et al. (2015) eine relative Veränderung der Biomasseproduktion in Österreich zwischen + 3 und + 9 % (Szenario BAU). Allerdings wird dieser Zuwachs fast ausschließlich durch einen hohen Zuwachs der Produktivität im Grünland, der zwischen 24 und 27 % liegt, getragen, während im Ackerland Einbußen zwischen 2 und 8 % zu erwarten wären; eine Ausnahme bildet das Niederschlags-Zunahmeszenario mit einem Gewinn von 1 %.

Ein PolitikszENARIO (Szenario BAL), welches erhöhte Agrar-Umweltzahlungen vorsieht, würde Veränderungen der Biomasseproduktion in Österreich zwischen +3 und -2 % bewirken. Allerdings würde dies für die Produktion auf dem Ackerland hier für alle Klimaszenarien eine Abnahme bedeuten.

Weitere PolitikszENARIEN in Kirchner et al. (2015) betreffen die Abschaffung jeglicher Agrar-Umweltzahlungen bzw. zusätzlich ein hohes Ölpreisniveau (Szenarien PRO, PRO Energy). Im ersteren Fall stiege die Biomasseproduktion durch Intensivierung der Ackerwirtschaft und Aufforstungen um 19-26 %, im letzteren Fall um 44 bis 51 %, der zusätzliche Anstieg durch die Anlage von Energieholzplantagen bedingt.

Die Autoren schließen aus diesen Zahlen, dass auf nationaler Ebene unterschiedliche politische Entscheidungspfade einen größeren Einfluss auf die Biomasseproduktion besitzen als der Klimawandel in dem von ihnen unterstellten Ausmaß. Dieses Resultat entspräche mehr oder weniger auch den Resultaten anderer Arbeitsgruppen (z.B. Audsley et al., 2006; Metzger et al., 2006; Lehmann et al., 2013; Schönhart et al., 2014).

Tabelle C-5: Relative Veränderung der Biomassenproduktion unter der Annahme verschiedener Politik und Klimaszenarien (Kirchner et al. 2015)

PolitikszENARIO	KlimaszENARIO	Rel. Veränderung der Biomassenproduktion [%]
BAU	NS +20 %	9.4
	NS unveränd.	7.6
	Jahreszeitl. Verschiebung	6.2
	NS-20 %	3.3
BAL	NS +20 %	3.1
	NS unveränd.	1.9
	Jahreszeitl. Verschiebung	0.5
	NS-20 %	-2.0
PRO	NS +20 %	25.8
	NS unveränd.	19.9
	Jahreszeitl. Verschiebung	22.8
	NS-20 %	18.8
PRO Energy	NS +20 %	51.2
	NS unveränd.	44.5
	Jahreszeitl. Verschiebung	49.2
	NS-20 %	43.9

In Verfolgung etwa der Ansätze von Untersuchungen von Soja & Soja (2003), welche die Auswirkungen von (kurzfristigen) Extremereignissen auf die landwirtschaftliche Produktion thematisierten (Milde Winter ohne Extremtemperaturen besonders im Februar für Winterge-

treide und Wein vorteilhaft, trockene Frühjahrswitterung besonders nachteilig für Sommergetreide, trockene Witterung in den Erntemonaten von Getreide vermeidet Verluste bei der Ernteeinbringung, trockene, heiße Sommer als ungünstig für Zuckerrübe und Mais, in geringem Ausmaß für Kartoffel) untersuchten Strauss et al. (2013) den Einfluss von Dürreperioden in der Periode 2008-2040 auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen Österreichs. Die Szenarien beruhen auf einem Trockentag-Index, der aus einem täglichen Wetterdatensatz für die Periode 1975-2007 abgeleitet wurde. Die Trockenheitsszenarien beruhen auf geringeren saisonalen als auch jahreszeitlichen Niederschlägen und gegenüber dem Vergleichszeitraum deutlich erhöhten Temperaturen.

Die Ergebnisse zeigen speziell in Regionen, die in der Vergangenheit bereits weniger als 850 mm Niederschlag aufwiesen, dass bereits eine geringe Steigerung der Trockenheit ausreicht, um signifikante Produktionseinbrüche zu bewirken (-0,6-0,9 % weniger Erntetrocknenmasse pro % Jahres-Niederschlagsrückgang). Die Resultate zeigen, dass Frühlings- und Sommertrockenperioden auch in Regionen mit reichlichem Niederschlag ein limitierender Faktor werden könnten.

Während es in einem gemäßigeren Trockenszenario noch zu Zugewinnen von ca. 2 t Trockenmasse im Alpenvorland und in Südosten kommt, kommt es im prononcierteren Trockenszenario zu Verlusten von 2-4 t Trockenmasse in Gebieten mit geringerem Niederschlag sowie zu Verlusten von ca. 2 t Trockenmasse im Südosten und Norden. In Gebieten mit höheren Niederschlägen wird die Jahresvariabilität der Erträge höher, eine Entwicklung, die Eitzinger et al. (2012) auch für Zentral- und Osteuropa prognostizieren. Neben [... dem allgemein ...] positiven Ertragstrend zeigt sich vor allem in der Schweiz und Österreich eine Zunahme der zwischenjährlichen Ertragsvariabilität (Peltonen-Sainio et al., 2010), die zum Teil auf klimawandelbedingte Faktoren zurückgeführt wird.

Dass bei der Abschätzung von Ertragsänderungen auch weitere Einflussgrößen bzw. Adaptionsmaßnahmen eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielen können, wird anhand zweier Beispiele aus der umfangreichen Literatur, die sich mit einzelnen Feldfrüchten, hier wieder teils auf regionalem oder lokalem Niveau befasst, deutlich: So zeigen die Untersuchungen von Thaler et al. (2012), deutliche Ertragseinbrüche bei Winterweizen bei Simulationen mit den Klimaszenarien Echam5 oder HadCM3, wenn der CO₂-Düngungseffekt außer Acht gelassen würde, bei Klimaszenario NCARPCM die Ertragswerte jedoch praktisch unverändert blieben. Bei Berücksichtigung des CO₂-Düngungseffekts würden die Ertragseinbrüche wesentlich geringer ausfallen oder im Falle von NCARPCM sogar Steigerungen zu erwarten sein. Auch Managementmaßnahmen wie Minimum Tillage, Windreduktion und Schneerückhaltung zeigen deutliche Auswirkungen.

Allerdings geben Thaler et al. (2012) die Unsicherheit bei der detaillierten Simulation von CO₂-Düngungseffekten in Bezug auf unterschiedliche Sorten und Umweltbedingungen zu bedenken, da hier zahlreiche Teilprozesse noch unbekannt sind. In ähnliche Richtung gehen auch Ergebnisse der Niederösterreichischen Klimastudie 2007 (Formayer et al. (2007) für Winterweizen und Hafer (Abb. C-2).

Weitere Einflussgrößen, die zu berücksichtigen wären, wären z.B. züchterischen Ertragssteigerungen oder angepasste Sortenwahl, die jedoch in den oben angeführten Modellierungen nicht berücksichtigt sind.

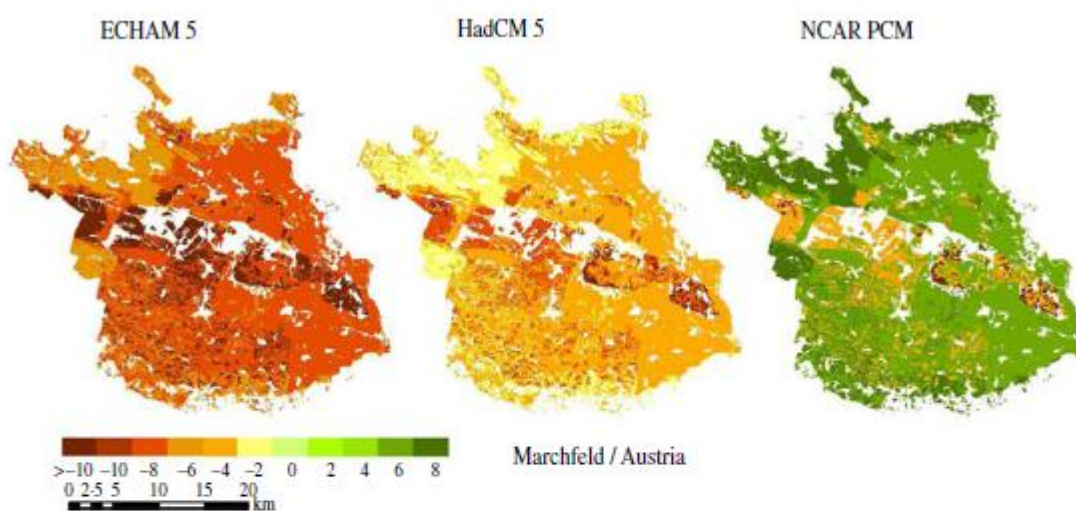
Tabelle C-6: Relative Ertragsveränderungen von Winterweizen, Periode 2021-2050 gegenüber aktuellen Ertragsverhältnissen (flächengewichteter mittlerer Ertrag: 5790,7 kg), Thaler et al. (2012)

	Echam5	HadCM3	NCARPCM
Ohne CO ₂ Düngungseffekt	-17.7	-13.5	-0.7
CO ₂ Düngungseffekt	-7.2	-3.9	11

Tabelle C7: Relative Ertragsveränderungen von Winterweizen für unterschiedliche Klima- und Managementszenarien gegenüber dem Referenzmanagement, Thaler et al. (2012)

	Echam5	HadCM3	NCARPCM
Minimum Tillage	0.7	0.9	1.7
Pflügen+ Windreduktion 0,5	3.1	3.1	1.9
Minimum Tillage+ Windreduktion 0,5	4.4	4.1	4.0
Minimum Tillage+ Windreduktion 0,5+ Schneerückhaltung	9.0	6.0	-1.2

(a)



(b)

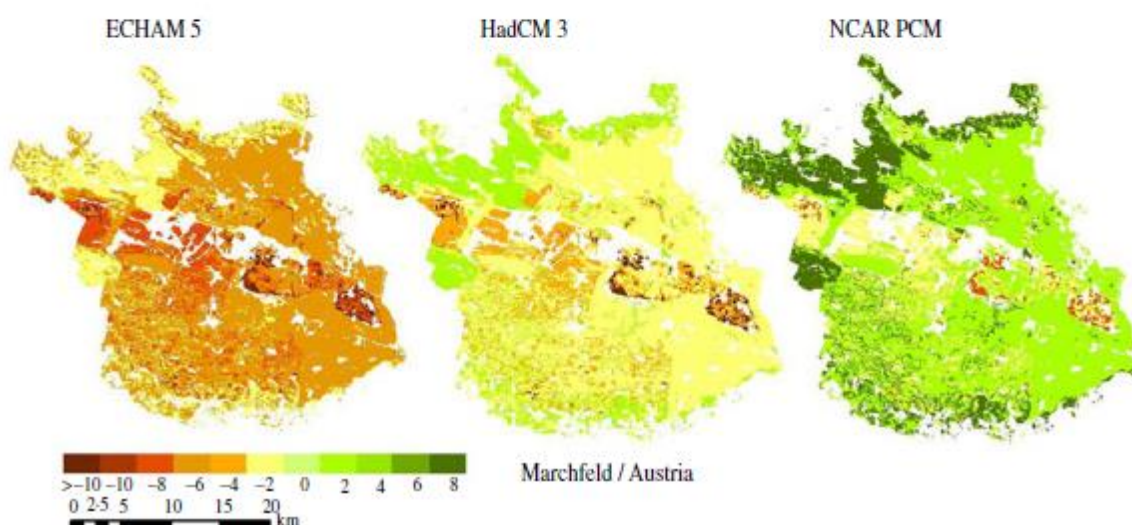


Abbildung C-2: Relative Änderung der Erträge von Winterweizen und Hafer im Marchfeld für unterschiedliche Klimaszenarien im Jahr 2035 im Vergleich mit der Baseline 1961-90 (Formayer et al. (2007))

Die nachfolgende Tabelle C-8 gibt kurz gefasst die Einschätzungen zu Produktionsveränderungen ausgewählter Feldfrüchte sowie prognostizierte physiologische Einflüsse und Schadfaktoren nach Lexer et al. (2014) sowie die Publikationen, auf welchen diese Einschätzungen beruhen, wieder.

Die saisonalen Klimasignale (im Vergleich zur Bezugsperiode 1961 bis 1990) der verwendeten Klimaszenarien (Kombinationen von Klimamodell und Emissionsszenario) liegen in diesen Studien für 2050 (als Orientierungshilfe) bei der Temperatur bei +2 bis +3 °C (ganzjährig) und beim Niederschlag bei ca. +4 bis +20 % (Okt. bis Apr.) sowie -1 bis -40 % (Mai bis Sept.).

Tabelle C-8: Einschätzung von Produktionsveränderungen ausgewählter Feldfrüchte, physiologische Einflüsse und Schadfaktoren, Lexer et al. (2014)

Feldfrucht	Einschätzung Produktionsveränderung	Physiologische Einflüsse, Schäden	
Winterweizen	durch CO ₂ Düngungseffekt +4 - +11%, Verluste ohne CO ₂ -Düngungseffekt	in Trockengebieten mit leicht erhöhtem Wasserbedarf (+30mm)	aler et al., 2012; Eitzinger et al., 2013; Kersebaum & Eitzinger, 2009; Eitzinger, 2003; Kersebaum et al., 2008; Fuhrer, 2003 und 2007; Strauß et al., 2012
Wintergerste	Ähnlich wie Weizen	Früheres Wachstum als Weizen verringert Vulnerabilität gegenüber Sommerdürre, evtl. Verluste bei Auswinterung	Schaller und Weigel, 2007
Raps	Ertragsverluste durch Notreife oder Herbsttrockenheit	Verminderung von Frostschäden	Vermutungen in Lexer et al. (2014)
Mais	Derzeit oft limitiert durch Temperatur: Erwärmung ermöglicht Ertragssteigerung, spätere Sorten sind möglich, wenn die Wasserversorgung gesichert ist. Ausweitung von Körnermais in Hügellagen möglich.	Erhöhtes Schadpotenzial durch Witterungsextreme, Krankheits- und Schaderreger, Beikräuter. Bewässerungsbedarf in Trockengebieten wird steigen	
Mais/Sonnenblume/Soja	Mit großräumigem Modell Ertragssteigerung (2050)um 30% simuliert	Wasserverfügbarkeit zentral; kleinregional sehr unterschiedliches Bild	Audsley et al., 2006
Sommergetreide (Sommerweizen, Sommergerste,	abnehmende Erträge zu erwarten, umso stärker, je geringer die Wasserspei-		Thaler et al., 2012; Eitzinger et al., 2013

Hafer)	cherfähigkeit des Bodens		
Zuckerrübe	Anbauverschiebung nach Norden zu erwarten	Grundsätzlich verlängerte Wachstumsperiode, aber wegen warmem Herbst weniger Zuckergehalt. Wasserversorgung limitierend, aber aufwändig/teuer!	Jones et al.,2003
Kartoffel	Wärme ermöglicht Ertragssteigerung	Eher sandige Böden erfordern verstärkte Bewässerung, derzeitige Anbauregionen haben weniger gute Wasserverfügbarkeit in Trockenzeiten; Schädlingsprobleme nehmen zu. Trockenheit kann notwendigen Pflanzenschutz (Pilzkrankheiten) verringern	
Gemüse	Evtl. zweiter Anbauzyklus möglich	Überhitzung in Folien/Glashäusern und von Böden	

C-3.2.2 Forstwirtschaft

Im Rahmen der Holz- und Biomassenaufkommensstudie (Mannsberger 2009) wurden vier Nutzungsszenarien im Zeitraum zwischen 2000 und 2020 untersucht. Im Szenario "Konstanter Vorrat" (KV) werden Nutzungen in einem derartigen Umfang unterstellt, sodass der Gesamtvorrat von 325 VfmSiR pro Hektar (Gesamtvorrat der letzten Waldinventur 2000/02) gleich bleibt. Der Klimawandel wird im Szenario "Climate Change" (CC) durch eine Temperaturzunahme von ca. 1°C innerhalb der nächsten 20 Jahre abgebildet. Das Szenario "Waldbau" (WB) unterstellt intensivere Eingriffe in der Vornutzung, zusätzliche Stammzahlreduktionen im Bereich BHD 5–10 cm und die Nutzung aller Bestände mit negativem Wertzuwachs. Ein Absenken des Gesamtvorrates auf den Wert der Waldinventur 1981/85 (280 VfmSiR pro Hektar) wird dem Modell "Vorratsadaption" (VA) zugrunde gelegt.

Tabelle C-9: Ergebnisse der Holz- und Biomassenaufkommensstudie für Preisszenarien und verschiedene Potenziale in Mio. Festmeter-Äquivalenten (Mannsberger 2009)

	KV	CC	WB	VA
Preisszenario 1				
Theoretisches Potenzial ¹	32,7	34,0	35,7	38,4
Ökologisch-ökonomisches Potenzial ²	24,6	25,6	25,7	28,1
Naturschutzbedingtes Potenzial ²	23,9	25,1	25,0	27,4
Preisszenario 2				
Theoretisches Potenzial ¹	32,7	34,0	35,7	38,4
Ökologisch-ökonomisches Potenzial ²	25,6	26,6	26,9	29,3

Naturschutzbedingtes Potenzial ²	24,9	26,1	26,2	28,5
Preisszenario 3				
Theoretisches Potenzial ¹	32,7	34,0	35,7	38,4
Ökologisch-ökonomisches Potenzial ²	26,4	27,4	27,9	30,3
Naturschutzbedingtes Potenzial ²	25,7	27,0	27,2	29,5
Preisszenario 4				
Theoretisches Potenzial ¹	32,7	34,0	35,7	38,4
Ökologisch-ökonomisches Potenzial ²	27,4	28,5	29,1	31,5
Naturschutzbedingtes Potenzial ²	26,7	28,0	28,4	30,7
Preisszenario 5				
Theoretisches Potenzial ¹	32,7	34,0	35,7	38,4
Ökologisch-ökonomisches Potenzial ²	27,7	28,8	29,6	31,9
Naturschutzbedingtes Potenzial ²	27,0	28,3	28,8	31,1

Erklärung: 1 ... Vorratsfestmeter-Äquivalente, 2 ... Erntefestmeter-Äquivalente in Rinde

Die Studienergebnisse machen deutlich, dass ein Einschlag von 26 Millionen Erntefestmetern erst ab einem Eingriffsszenario "Climate Change" bzw. "Waldbau" in Kombination mit Preisszenarium 2 erreichbar ist. Im Szenarium "Konstanter Vorrat" wird diese Zielsetzung erst im Preisszenarium 3 knapp umsetzbar.

Naturschutzbedingte Vorgaben (naturschutzrechtliche Bestimmungen und insbesondere eine offensive Interpretation von Natura 2000) reduzieren das Nutzungspotenzial deutlich. Mannsberger (2009) folgert, dass eine intensive Auseinandersetzung zwischen den Zielsetzungen des Natur- und Umwelt-/ Klimaschutzes erforderlich ist.

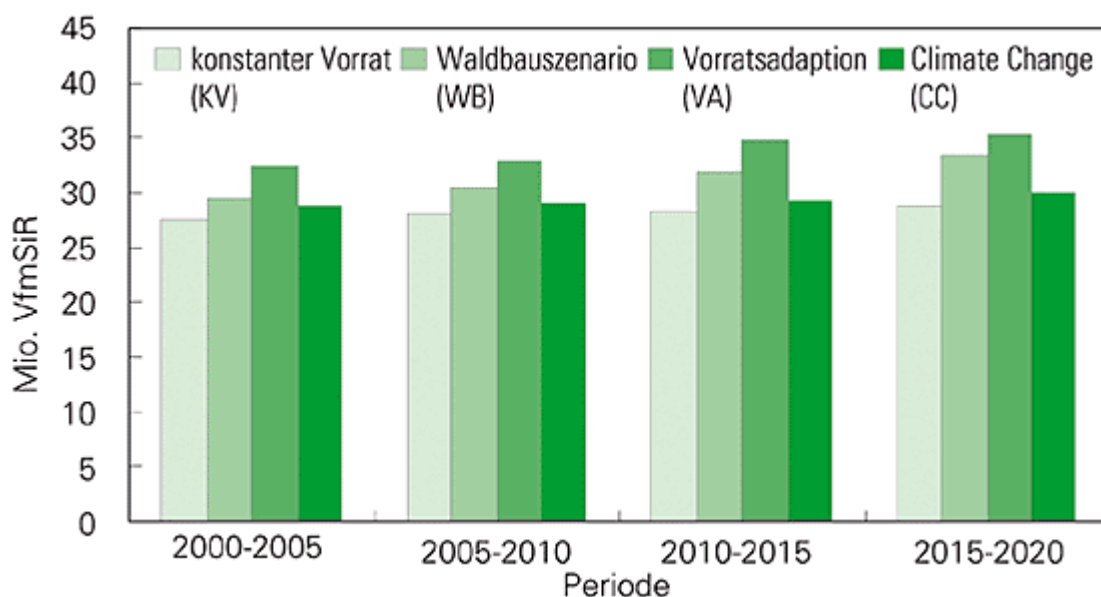


Abbildung C-3: Theoretisches jährliches Nutzungspotenzial im Ertragswald (Summe aus regulären und zufälligen Nutzungen jedoch ohne Ast- und Nadelbiomasse) für verschiedene Nutzungs- und Klimaszenarien; Entwicklung über vier Perioden zwischen 2000 und 2020.

Im Climate Change-Szenario (CC) sollte die Auswirkung einer möglichen, klimabedingten Zuwachsveränderung auf die Nutzungsmenge eines bereits bekannten Nutzungsszenarios abgeschätzt werden. Als Vergleichsszenario diente das KV-Szenario: Durch Steuerung der Endnutzung wurde der Vorrat über den gesamten Prognosezeitraum auf 325 VfmSiR/ha konstant gehalten. Veränderte Wuchsverhältnisse aufgrund einer möglichen Erwärmung wurden für den Seehöhenbereich über 600 m durch eine generelle Reduktion der Seehöhe um 200 m angenommen, was einer Erwärmung von etwa 1°Celsius innerhalb von zwanzig Jahren entspricht. Unter 600 m Seehöhe wurde diese Reduktion entsprechend linear auf null

eingeschliffen. Der Anfall von Kalamitätsholz (Zufallsnutzungen) wurde mit einem Modell aus der letzten Holzaufkommensstudie berechnet, in dem die Auswirkungen veränderter Klimabedingungen keine Berücksichtigung fanden. Die Menge von neu hinzukommendem Totholz wurde mit Hilfe des im Modell PROGNAUS implementierten Mortalitätsmodells geschätzt.

Weiss et al. (2015) simulierten anhand von fünf Szenarien der Waldbewirtschaftung die Treibhausgasbilanz der Holzkette auf Basis der Daten der österreichischen Waldinventur für den Zeitraum 2010 bis 2100. Die Waldentwicklung wurde mit dem am BFW entwickelten, klimasensitiven Waldwachstumsmodell CALDIS simuliert. Sein Kernstück sind Funktionen, mit denen der BHD- und Höhenzuwachs jedes Einzelbaumes geschätzt wird. CALDIS enthält Module zur Abschätzung von Zufallsnutzungen, Mortalität und Waldverjüngung. Als Klimaszenario wurde ein Temperaturanstieg um 3,5°C (Klimaszenario RCP 8.5) gegenüber dem Jahr 2010 angenommen. Die Bodenkohlenstoffdynamik wurde mit dem Modell YASSO 07 simuliert.

Szenarien:

R - Referenzszenario - Waldbewirtschaftung und Holznachfrage folgen dem Trend der letzten Jahre

1a- gesteigerter Einschlag wegen forcierter energetischer Nutzung

1b- gesteigerter Einschlag wegen forcierter stofflicher Nutzung

1c - gesteigerter Einschlag wegen forcierter stofflicher Nutzung unter günstigen Importbedingungen

2 - reduzierte Nutzung (Nutzungseinschränkungen und Außer-Nutzung-Stellung von Waldflächen aus Naturschutzvorgaben)

Die Simulationen zeigen, dass der Vorrat bei vier der fünf Szenarien im Vergleich zum Jahr 2100 abnimmt. Der niedrigste Vorrat ergibt sich, wenn der Einschlag wegen forcierter stofflicher Holzverwendung deutlich erhöht wird (Szenario 1b). Bei der forcierten Bereitstellung von Energie aus forstlicher Biomasse (Szenario 1a) nimmt der Vorrat anfangs noch stärker ab. Am Ende des Simulationszeitraumes kann die benötigte Laubholzmenge nicht mehr geliefert werden, sodass der Vorrat wieder ansteigt. Im Szenario 2 kommt es dagegen zu einem deutlichen Vorratsaufbau. Die Holznutzung im österreichischen Wald hat außerordentlich positive Effekte auf die Bilanz der Treibhausgasemissionen. Der positive Gesamteffekt beruht überwiegend auf vermiedenen Emissionen, die durch Substitution der Holzprodukte/Holzbrennstoffe durch Produkte/fossile Brennstoffe aus anderen Rohstoffen anfallen würden. Insgesamt ist deutlich, dass die österreichische Waldfläche bzw. der Vorrat an Holz ausreicht, den Bedarf an stofflichen und energetischen Produkten langfristig abzudecken (Braun et al., 2016, Weiss et al. 2015).

CO₂ Düngungseffekte und temperaturinduzierte Positiv- und Negativ-Effekte sowie Auswirkungen der Wasserversorgung überlagern sich. Bäume adaptieren an steigende CO₂ Gehalte und der Düngungseffekt ist rasch aufgehoben (Bader et al. 2013). Beobachtete Zuwachsteigerungen werden derzeit eher dem Stickstoffeintrag und verbesserten Bewirtschaftungsmethoden zugeschrieben, und nur in geringem Ausmaß verlängerten Vegetationsperioden und höherem CO₂ Gehalt. Die potenzielle Steigerung der Zuwächse wird jedoch von den Störungen der Waldökosysteme durch verschiedene Schadfaktorenüberlagert. Diese beeinflussen die Baum-Mortalität, aber auch die Verjüngungsdynamik.

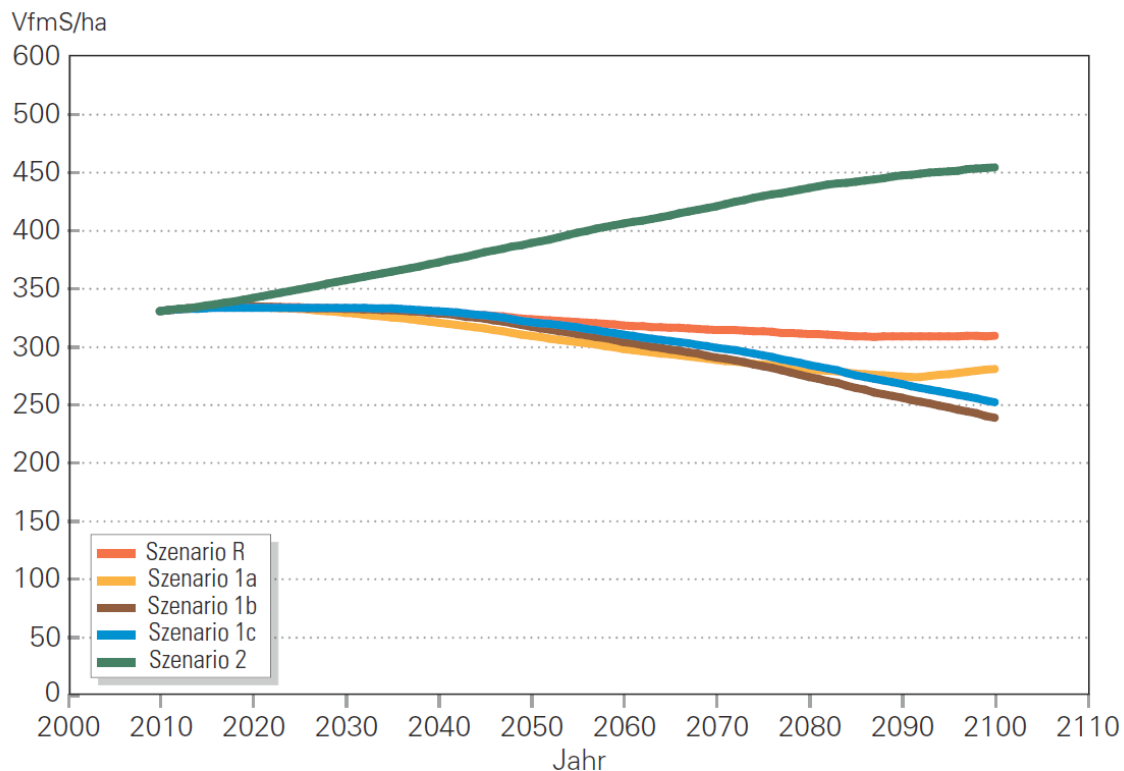


Abbildung C-4: Simulierte Vorratsentwicklung für fünf unterschiedliche Szenarien (Weiss et al. 2015)

C-3.3 Risiko für Schadereignisse und Ernteauffälle, Schadholzanfall

Landwirtschaft

Eitzinger et al. (2012) stellten eine moderate Zunahme der Generationenzahl beim Maiszünsler im Österreichischen Raum fest. Im österreichischen Wirtschaftsgrünland dürften es vor allem in Trockenjahren mit höheren Bodentemperaturen zur Vermehrung bodenlebender Engerlinge der Feld-Maikäfer (*Melolontha melolontha*) kommen (Grünbacher et al. 2006). Grünlandkrankheiten (Rotpilze, Schneeschimmel) werden durch milde Herbst und Winterwitterung gefördert.

Eine signifikante Zunahme von Hagel- oder Gewitterereignissen kann derzeit nicht festgestellt werden. Calanca (2007) fand Hinweise auf deutlich erhöhte Auftretenswahrscheinlichkeit und Intensität von Dürren.

Forstwirtschaft

Die Schäden am österreichischen Wald werden seit Jahrzehnten erfasst. In der Vergangenheit nahmen die Schäden durch Borkenkäfer stets nach Sturmschäden zu, da Schadholz oft nicht unmittelbar aufarbeitbar ist und ein ideales Brutsubstrat für Schädlinge darstellt. In den letzten Jahrzehnten ist die Schädlingspopulation nicht mehr zusammengebrochen, sondern auf einem relativ hohen Level verblieben. Der Zusammenhang zwischen vermehrten Sturmschäden und dem Klimawandel ist nicht klar. Die Zunahme der biotischen Schäden durch das Klima ist hingegen eindeutig (Seidl et al. 2011, Thom et al. 2013).

Sowohl die forstwirtschaftlichen Erfolge der letzten Jahrzehnte – steigende Waldfläche und Waldvorrat in Österreich – als auch die waldbaulichen Fehler vergangener Jahrzehnte (z. B. der Anbau von Fichtenbeständen weit außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes) haben zu einem Ansteigen der Waldschäden durch Störungen beigetragen – in Österreich ist dieser Effekt sogar stärker als jener des Klimawandels (Seidl et al., 2011).

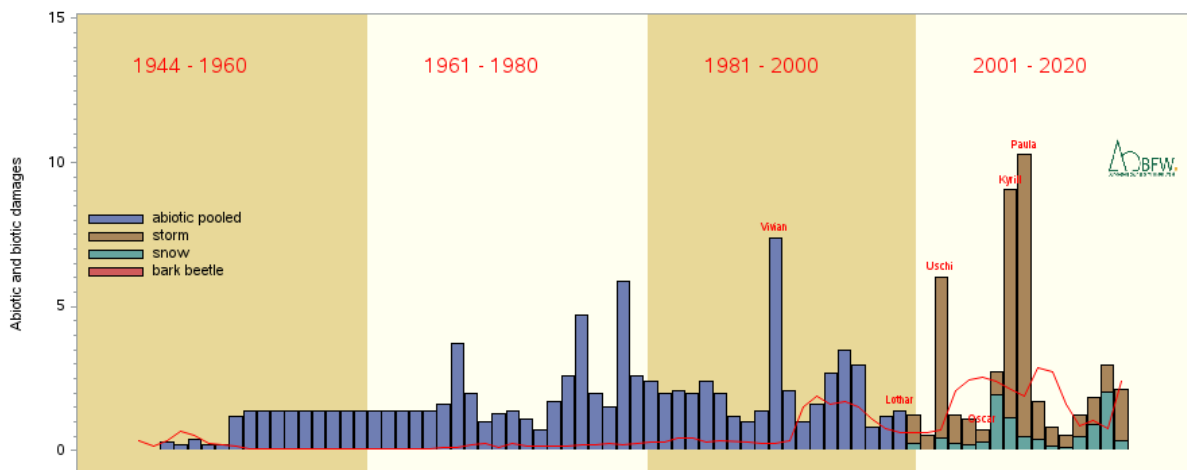


Abbildung C-5: Waldschäden durch abiotische und biotische Faktoren. Quelle: Dokumentation der Waldschädigungsfaktoren; BFW (<https://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=9605>)

In Österreich wurden in den Jahren 2002 bis 2010 im Durchschnitt 3,1 bzw. 2,2 Mio. m³ durch Wind und Borkenkäfer geschädigt, was dem zwei- bis neunfachen der Periode 1961 bis 1990 entspricht (Tomizcek et al., 2011). Für Borkenkäferschäden konnte z.B. anhand eines regionalisierten Klimawandelszenarios gezeigt werden, dass eine moderate Erwärmung von +2.4 °C zu einer Vervierfachung der Borkenkäferschäden in Österreich führen könnte (Seidl et al., 2009). Hierzu tragen sowohl zunehmende Käferpopulationen als auch abnehmende Wirtsfitness bei, wobei die relativ größten Anstiege für höher gelegene Gebiete simuliert wurden, wo große, bisher aufgrund zu geringer Temperaturen nicht für den Käfer geeignete, Nadelholzpopulationen durch den Klimawandel zunehmend geschädigt werden (siehe auch Marini et al., 2012). Wie schon für die historische Schadentwicklung dokumentiert, kann durch Waldbewirtschaftung die Schadanfälligkeit maßgeblich beeinflusst werden (Seidl et al., 2008).

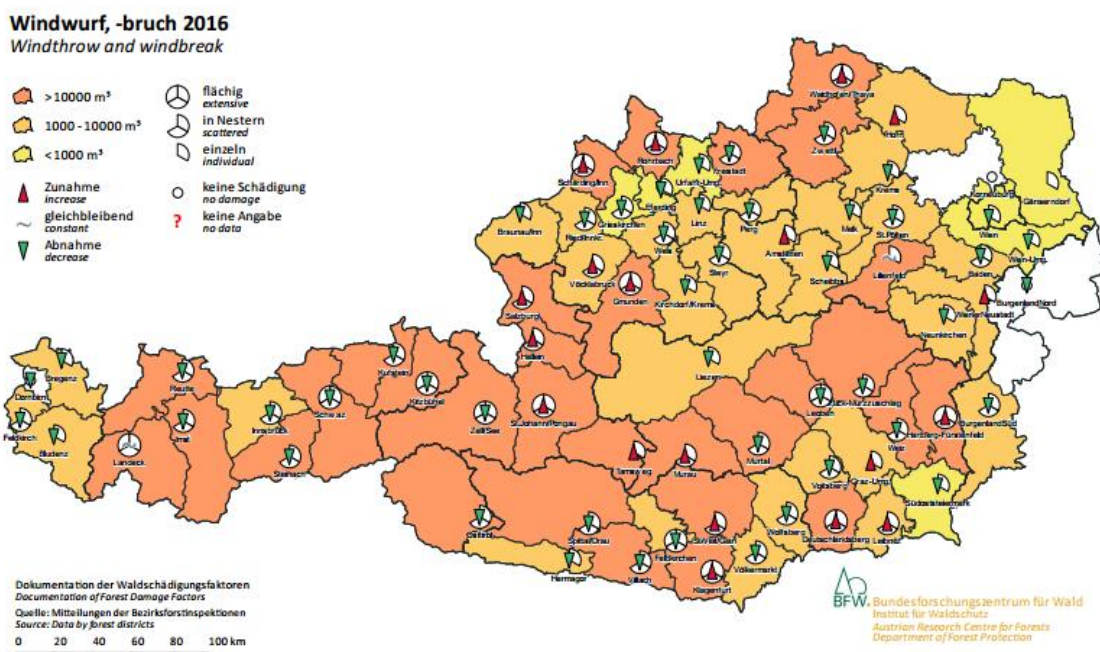


Abbildung C-6: Sturmschäden im österreichischen Wald im Jahr 2016. Quelle: Dokumentation der Waldschädigungsfaktoren; BFW (<https://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=9605>).

Die Forstwirtschaft reagiert sehr sensibel auf klimatische Veränderungen. Steigende Temperaturen beeinflussen das Baumwachstum und können zu einem erhöhten Schädlingsdruck auf die Wälder (z.B. Borkenkäfer) führen. Manche Ökosystemleistungen des Waldes, können bei geänderten Klimabedingungen nicht im vollen Umfang oder nur mit erhöhtem Aufwand erbracht werden. Mit dynamischen Waldökosystemmodellen, die sowohl Klima- als auch Bewirtschaftungseffekte abbilden können und eine direkte Beurteilung von Klimaänderungseffekten auf Waldökosystemstruktur und -funktionsweise erlauben analysierten Seidl et al. (2011) 160 000 ha Wirtschaftswald der Österreichischen Bundesforste und kamen zum Schluss, dass bei Fortführung des derzeitigen Bewirtschaftungskonzeptes knapp 40 % dieser Waldflächen in der 2. Hälfte des 21. Jahrhunderts als hoch vulnerabel in Bezug auf die weitere Erbringung von Ökosystemleistungen einzuschätzen sind. Primär dafür verantwortliche Wirkungsketten sind steigende Schäden durch Störungen und negative Zuwachstrends, vor allem auf physiologisch flachgründigen Kalkstandorten.

Unter Annahme eines moderaten Klimawandels sind ab der Mitte des Jahrhunderts Produktivitätseinbußen durch Trockenheit zu erwarten. Problematischer als die Trockenheit ist die klimabedingte Ausbreitung von Schädlingen. Ökosystemare (Störungen, Veränderung der Artenzusammensetzung) und populationsdynamische Effekte (Reproduktion, Verjüngung, Mortalität) erschweren die Abschätzung des Einflusses von Klimaveränderungen auf Entwicklungsdynamik und Wachstum oder (Netto-) Primärproduktion in Wäldern. Insbesondere im Schutzwald müssen Ersatzinvestitionen getätigt werden, um durch technische Maßnahmen die Schutzfunktion sicher zu stellen.

Während in Bergregionen der Klimawandel die Vegetationsperiode und damit auch die Produktivität erhöht, sind in Tieflagen Produktivitätsverluste zu erwarten. Unter Berücksichtigung von Feedback-Effekten mit anderen Wirtschaftssektoren ergeben die Herausforderungen für die Forstwirtschaft am Ende des 21. Jahrhunderts eine Verringerung des Brutto-Inlandsproduktes (BIP) von rund € 463 Mio. pro Jahr (Lexer et al. 2014, Lexer et al. 2015).

C-3.4 Wasser- und Bewässerungsbedarf

Vor allem im Marchfeld und im Weinviertel zeigen die in Lexer et al. (2014) reflektierten Studien, dass besonders in Klimaszenarien, die Niederschlagsabnahmen im Sommerhalbjahr unterstellen, mit einem erhöhten Bewässerungsbedarf um das derzeitige Ertragsniveau zu halten, zu rechnen ist. Der zusätzliche Bewässerungsbedarf wird aus der Literatur in Lexer et al. (2014) fruchtabhängig zwischen 30 mm und 80 mm (Mais, Zuckerrübe, Sojabohne) für die 2050er Jahre unter Berücksichtigung des wassersparenden CO₂-Effekts angegeben.

Mitter et al. (2014) zufolge erhöhen Trockenperioden das Ertragsrisiko in der Landwirtschaft. Spezielle Dürreszenarien zeigen, dass zwischen 2010 und 2040 insbesondere Niederösterreich, Wien und das Burgenland starken Ertragsrückgängen und –schwankungen ausgesetzt sind; für Gesamtösterreich ergeben diese Szenarien ohne Verwendung von Bewässerungssystemen Ertragsverluste von bis zu -7 % €.

C-4 Flächenbedarf, Flächenänderungen

C-4.1 Flächenbedarf und klimabedingte Flächenpotenziale für biogene Rohstoffe

Kalkulationen zu flächen- bzw. produktionsbezogenen klimabedingten Veränderungen über die gesamte Staatsfläche liegen unseres Wissens nur im Forstsektor (HOBI, Holzkettenstudie), und im agrarischen Sektor mit unterschiedlicher Zielsetzungen in den Simulationen von Kirchner et al. (2015), Leidwein et al. (2013) sowie Strauss et al. (2013), vor.

Zessner et al. (2011) errechnen für den Referenzzeitraum 2002-2006 den Flächenbedarf einer theoretischen Selbstversorgung des Konsums an Lebensmitteln und der Deckung des Bedarfs der Energie- und sonstigen Industrie. Dafür wären 129 % der Ackerflächen und 80 % der Grünlandflächen nötig (konventionelle Nutzung, Nutzung freier Flächen zur Energiegewinnung; alle Flächen außer extensives Grünland). Es werden dabei die aktuellen Ernährungsgewohnheiten unterstellt. Die Autoren gehen davon aus dass die benötigten Lebensmittel ebenso wie ein Teil der Futtermittel (Soja) durch Importe bereitgestellt werden, während vor allem durch die Grünlandproduktion bedingt (Rindfleisch)exporte möglich sind, also virtuell Ackerflächen im- und Grünlandflächen exportiert werden. In Klima- und Energiefonds (2014) wird festgestellt, dass Österreich im Durchschnitt der Jahre 2000 bis 2010 bei den meisten Nahrungsmitteln Nettoimporteur war; bei Rind- und Kalbfleisch, Zucker, Weizen, Schweinefleisch und Milch hingegen lagen die Selbstversorgungsgrade (SVG) über 100 % (d.h. Nettoexporte).

Werden geänderte Ernährungsgewohnheiten (Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung) unterstellt, werden unter den oben genannten Voraussetzungen 97 % der Ackerfläche und 58 % der Grünlandflächen benötigt. Werden die nicht benötigten Flächen zur Energieversorgung der Landwirtschaft und der Bereitstellung der entsprechenden Mengen an nachwachsenden Rohstoffen um die gesetzlichen Beimischungspflichten für Diesel und Benzin erfüllen, genutzt, werden 100 % der Acker und 62 % der Grünlandflächen benötigt. Für die Produktion von landwirtschaftlichen Produkten zur industriellen oder energetischen Versorgung stehen unter den getroffenen Annahmen also vor allem Grünlandflächen zur Verfügung.

Darauf aufbauend untersuchten Fazeni & Steinmüller (2011) Flächenpotenziale zur Bioenergieerzeugung in mehreren Szenarien: Unter der Voraussetzung geänderter Ernährungsgewohnheiten und theoretischer Selbstversorgung ohne Importe und Exporte stünden bei möglichst hoher Ausnutzung freier Flächen zur Energieversorgung 443.000 ha (86.641 ha Ackerland, 356.452 ha Grünland) dafür zur Verfügung; bei stagnierendem Import/Exportniveau (Referenzzeitraum 2002-2006) wurden 208.800 ha (21.464 ha Ackerland, 187.360 ha Grünland) errechnet.

In Tabelle C-10 sind Absatzpotenzial und Flächenbedarf durch ausgewählte Nawaro-Produktgruppen aus Strimitzer et al. (2015) dargestellt. Die Summe des Flächenbedarfs wird mit 86.793 und 91.162 ha oder 6,41 – 6,73 % der Ackerfläche 2013 angegeben und einer Fläche von 109.338 ha (Durchschnitt der nicht genutzten landwirtschaftlichen Fläche und des nicht genutzten Grünlandes der Jahre 2011-2013) gegenübergestellt. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die Produktion von NAWAROS zur stofflichen Nutzung auch bei Ausschöpfung der (maximalen) Potentiale geringe Flächeninanspruchnahme mit sich zieht und die derzeit geringe Bedeutung nicht im Fehlen potenzieller landwirtschaftlicher Flächen liegt. Mögliche Flächenkonkurrenz zu anderen Sektoren wird nicht thematisiert. Mögliche klimabedingte (Flächen)potenzialveränderungen werden in der Studie nicht berücksichtigt. Die Studie konzentriert sich auf die Erhebung absehbarer künftiger Entwicklungen ohne konkrete zeitliche Perspektive.

Tabelle C-10: Absatzpotenzial und Flächenbedarf durch ausgewählte Nawaro-Produktgruppen, Strimitzer et al. (2015)

Produktgruppe	Absatzpotential [t.a ⁻¹]	Rohstoff	Bestehende Anbaufläche 2013 [ha]	Flächenbedarf [ha]	Flächenbedarf [% der Anbaufläche]
Flachs/Hanf als Dämmstoff	20.430	Flachs- und Hanffasern	568	20.000	4.237
Stroh als Dämmstoff	22.000	Stroh (Getreide insgesamt)	784.004	0*	0*
Schilf als Bau- und Dämmstoff	40.000 – 75.000	Schilf	4.500	0*	0*
Technische Bioöle auf Pflanzenölbasis	8.000 – 12.000	Winterraps	58.404	6.131 – 9.197	10,5 – 15,7
Farben und Lacke auf Pflanzenölbasis	3.300 – 5.000	Winterraps	58.404	2.529 – 3.832	4,3 – 6,6
Druckfarben auf Pflanzenölbasis	800	Winterraps	58.404	613	1,0
Biokunststoffe 50 % PLA	25.000	Zuckerrübe	50.849	4.000	7,9
		Weizen	297.286	26.000	8,7
Biokunststoffe 50 % TPS	25.000	Mais	201.917	4.250	2,1
		Weizen	297.286	11.750	4,0
Naturfaserverstärkte Kunststoffe inkl. WPC	?	Zuckerrübe	50.849	1.536	3,0
		Weizen	297.286	9.984	3,4

* Kein zusätzlicher Flächenbedarf

Die „Strategie für die Biobasierte Industrie in Österreich“ (Ganglberger und Sturm, 2014) fokussiert auf technologische Fragen und Verarbeitungsprozesse und bietet ein umfassendes, über die Studie von Strimitzer et al. (2015) hinausgehendes Inventarium biogener Reststoffe. Flächenbedarf wird nur punktuell angesprochen, hierfür werden Versorgungsbilanzen von Statistik Austria, entsprechende Publikationen des BMLFUW (Grüner Bericht 2012, Biokraftstoffe: Zahlen und Fakten, o.J.) und Einschätzungen des Energieinstituts Linz herangezogen. Mögliche Flächenkonkurrenz zu anderen Sektoren wird nicht direkt thematisiert, als mögliches Risiko in der SWOT-Analyse zur biobasierten Industrie erwähnt. Mögliche klimabedingte (Flächen)potenzialveränderungen werden in der Studie nicht berücksichtigt. Die Studie konzentriert sich auf die Erhebung absehbarer künftiger Entwicklungen ohne konkrete zeitliche Perspektive.

Im agrarischen Bereich werden folgender Flächenbedarf bzw. benötigte Produktmengen genannt:

Getreide: (Stand 2011/2012): 1.530.833 t werden industriell (im non-food/non-feed-Bereich), das entspricht 23 % der produzierten Gesamtmenge, genutzt. Davon werden 545.000 t in der Bioethanolherstellung verwendet, sowie 1.02 Millionen Tonnen für sonstige industrielle Nutzungen (Maisstärke, Zitronensäure u.a.m).

Pflanzliche Öle: In Österreich wurden 2006 bis 2012 zwischen 150.000 t und 200.000 t [t Reinfett] produziert, zwischen 300.000 und 400.000 t importiert. 35-40 % der pflanzlichen Öle werden in der Nahrungsmittelindustrie und den Nahrungsvverbrauch eingesetzt, 50-55 % in der chemischen und technischen Industrie. Welche Anteile davon in die energetische Verwertung fließen, wird nicht formuliert, die Produktionszahlen lagen 2012 bei 265.445 t. Nach BMLFUW (2016) betrug die Gesamt-Produktionsmenge im Jahr 2015 340.242 Tonnen, was ca. 56 % des inländischen Bedarfs entspricht. Die zur Produktion von Biodiesel eingesetzten Rohstoffe waren im Wesentlichen 62 % Raps, 26 % Altspeiseöle und 9 % Tierfette.

Der Großteil des in österreichischen Betrieben verarbeiteten Rapsöls stammte 2015 aus Tschechien (40 %), Österreich (22 %) und Ungarn (14 %).

Kartoffel: 2012 wurden ca. 6000 ha Kartoffel für die Verwendung in der Stärkeindustrie eingesetzt. Zwischen 2010 und 2016 wurden bei starken interannuellen Schwankungen 61.000 bis 166.000 t Kartoffel industriell genutzt (Nicht-Nahrungsmittelbereich) das entspricht ca. 10 bis knapp 15 % der Produktion (Statistik Austria).

Zuckerrübe: Nach Informationen in Strimitzer et al. (2015) werden 4% der Zuckerproduktion industriell-stofflich verarbeitet.

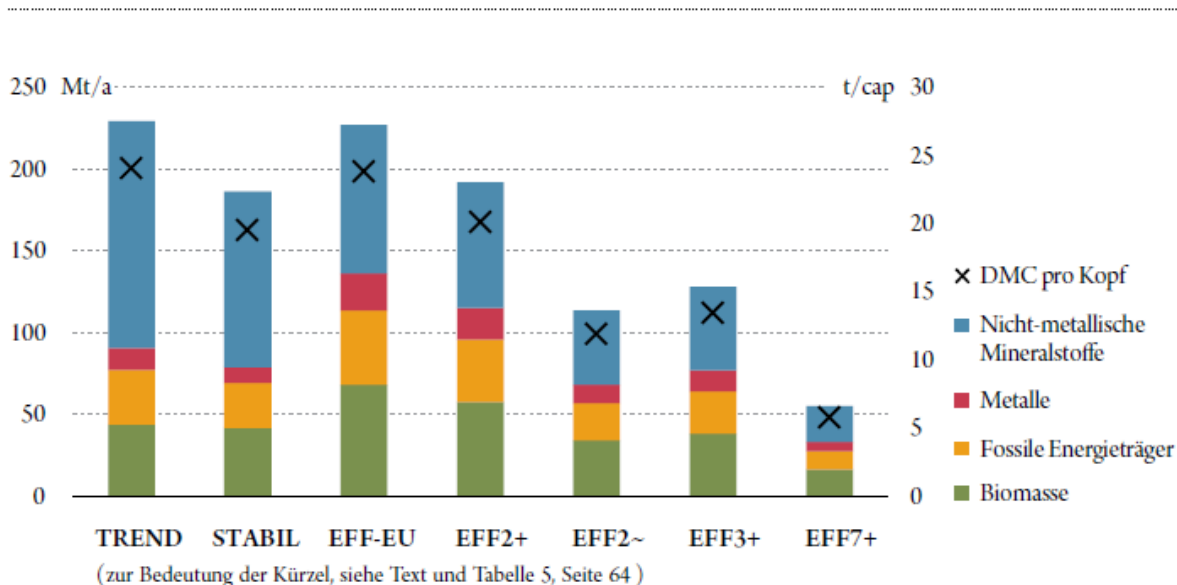
Für Produkte des Grünlands werden von Ganglberger und Sturm, (2014) kein konkreter Verwendungszweck genannt, die Möglichkeiten sowohl für eine stoffliche Nutzung (grüne Bioraffinerie) als auch die Chance auf die Erhaltung gefährdeter Flächen und Regionen durch die biobasierte Industrie erwähnt.

Landwirtschaftliche Reststoffe: Die Mengen von Wirtschaftsdünger (25 Mill. t Flüssigmist) und Stroh (1,8 Mill. t) werden geschätzt und das Potential von Stroh als Bau und Dämmmaterial zitiert. In Roh- und Reststoffen werden energetische Potentiale aus Stroh, Maisspindeln, Landschaftspflegeheu, vermehrte Nutzung von Wirtschaftsdüngern und Zwischenfrüchten im Ackerland von 10,7 PJ gesehen.

Zusätzliche Flächenpotenziale werden wiederum in den Brachflächen des Ackerlandes, die mit 38.655 ha angegeben werden, gesehen.

Die Studie zur Ressourcennutzung in Österreich (BMLFUW 2015) dokumentiert in 7 Szenarien zur zukünftigen Ressourcennutzung (Zeithorizont 2050) in Österreich, dass der Bedarf an Biomasse in 4 Szenarien stagniert oder gar (auf ca. 60 Mt/a) steigt, während Szenarien mit fallendem Bedarf an Biomasse an wirtschaftlichen Paradigmenwechsel oder eine rasche Steigerung der Ressourceneffizienz bis zum Faktor 7 (Szenario EFF7+, im Rahmen der in REAP Ressourceneffizienz-Plan (2012) vorgeschlagenen Ziele) gebunden sind.

Mögliche klimabedingte Veränderungen sind in der Studie nicht berücksichtigt.



Quelle der Daten: Eurostat 2015c

Abbildung C-7: Ergebnisse der Szenarien für Materialverbrauch (DMC) im Jahre 2050 nach Materialkategorien und DMC pro Kopf (BMLFUW 2015)

Neben der stofflich-chemischen Verwertung wird ein (erheblicher) Teil der Biomassenproduktion als erneuerbarer Energieträger eingesetzt. Entsprechende Studien (ÖBMV 2013, Krutzler et al. 2015, 2016, Christian et al. 2011, Streicher et al. 2010, BMLFUW 2008) werden hier vor dem Hintergrund der aus der Land- und Forstwirtschaft erwarteten energetischen Potentiale diskutiert. Allen genannten Studien ist gemeinsam, dass klimabedingte land- und forstwirtschaftliche Potentialveränderungen (Fläche, Quantität, Qualität) nicht berücksichtigt werden.

BMLFUW (2008) entwickelte auf Basis von Vorstudien, die ein Flächenpotenzial in der Landwirtschaft zwischen 201.000 und 456.000 ha ergaben, 3 Szenarien mit unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen und den angeführten Flächenpotenzialen:

- Bioenergie & ökologische Landwirtschaft 80 000 bis 140 000 ha
- realistisch 300 000 bis 400 000 ha
- Biomasseszenario bis 450 0000 ha

Für die Bereitstellung dieser Flächen kommen nach BMLFUW (2008) strukturelle Überschussmengen, die derzeit exportiert werden, die Ausweitung der Produktion auf derzeit stillgelegten Flächen, die verstärkte Nutzung von ungenutzten Potenzialen (z. B. Zwischenfrüchte) sowie eine verstärkte Produktionsorientierung und die konsequente Nutzung von Ertragsfortschritten in Frage.

Während die Ermittlung der forstwirtschaftlichen Potentiale von einem bestehenden Brenn- und Energieholzmarkt ausgeht, muss die Landwirtschaft zusätzlich zur Lebens- und Futtermittelerzeugung Flächen für die Energieproduktion bereitstellen (BMLFUW 2008).

Für 2020 geht BMLFUW von den in Tabelle C-11 angeführten Werten aus, wobei im Biomasseszenario von steigenden Erträgen, größeren Flächen für Energiepflanzen und verstärkter Nutzung von Stroh ausgegangen wird.

Tabelle C-11: Abschätzung von Flächen- und Bioenergiepotenzialen für die Szenarien Realistisch und Biomasse (BMLFUW 2008)

Realistisch		Biomasseszenario		
	PJ	Bemerkung	PJ	Bemerkung
Biodiesel u. Ethanol	11,8	200 000 ha	13,3	200 000 ha + 1,5 %/a Ertragssteigerung
Energiepflanzen	40	200 000 ha, 200 GJ/ha	58	250 000 ha + 1,5 %/a Ertragssteigerung
Stroh	11	20 % des gesamten Anfalls	14	25 % des gesamten Anfalls
Gesamt	63	Wert gerundet	85	Wert gerundet

Quelle: BLT Wieselburg

Für die Abschätzung von Flächenpotenzialen für den Anbau von Energiepflanzen in Österreich wurde von Streicher et al. (2010) um kurzfristige Schwankungen auszugleichen – für die Potenzialermittlung ein 5-Jahres-Durchschnitt (2002 bis 2006) herangezogen. Ausgehend davon ermittelten die Autoren die maximal zur Verfügung stehende Energiepflanzenanbaufläche unter Berücksichtigung der Eigenversorgung mit Nahrungsmitteln und Viehfutter. Damit stehen derzeit rund 97 000 ha Brachfläche, die in (EUROSTAT 2008) als Grün- und Schwarzbrache geführt werden zur Verfügung. Zusätzlich sehen die Autoren Agrarflächen, auf denen Marktordnungsprodukte (u. a. Getreide, Zucker, Milch, Rindfleisch) als Überschüsse produziert und überwiegend subventioniert auf den Weltmarkt verkauft werden,

als potenzielle Flächen für den Energiepflanzenanbau an. Mit diesen zusätzlich freisetzbaren Flächen stehen gegenwärtig insgesamt rund 176 400 ha Ackerfläche für die Energiepflanzenproduktion zur Verfügung; diese Fläche legen die Autoren ihren Analysen zu Grunde.

Die Autoren erwarten, „dass dieses Potenzial in den kommenden Jahren tendenziell zunehmen wird. Kurzfristig – bis 2015 – könnte es auf rund 250 000 ha ansteigen. Langfristig (Perspektive 2020 bis 2025) dürfte sogar nach (BMLFUW 2008) eine landwirtschaftliche Fläche von 300 000 bis 400 000 ha für die Energiepflanzenproduktion zur Verfügung stehen“.

Dabei werden sowohl traditionelle Kulturpflanzen (z. B. Stärkepflanzen, Zuckerpflanzen, Ölpflanzen) als auch spezielle "neue" Energiepflanzen (z. B. Energiemais, Energiegräser, Kurzumtriebsholz) angebaut.

Tabelle C-12: Biomasse Primärenergie - Nutzungspotenziale (Streicher et al. 2010), [PJ]

			Konstant Szenario		Wachstums Szenario	
	Einheit	2008	2030	2050	2030	2050
Forstliche Biomasse (Holz und Holzabfälle)	PJ	100	113	100,4	113	102,7
Klärschlamm, Schwarzlauge	PJ	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6
„Landwirtsch. Biomasse, Abfälle, Energiepflanzen	PJ	36	89	70,0	89	87,6
Sägenebenprodukte	PJ	43	46,2	36,3	46,2	43,1
Altspeiseöle, Fette, sonstige organische Abfälle	PJ	8	12	8,9	12	10,2

Die in Tabelle C-12 von Christian et al. (2011) angeführten Potenziale erneuerbarer Energieträger können zumindest im Bereich der Biomasse aus der Landwirtschaft nicht in Flächen oder Tonnen umgelegt werden; es werden hier die teilweise (im Jahr 2020) bzw. vollständige Umsetzung sog. integrierter Systeme der Landwirtschaft unterstellt. In diesen werden 100 % der Ackerfläche und 20 % der Grünfläche sowohl für die stoffliche, als auch energetische und Nahrungs- und Futtermittelverwertung einbezogen. Da keine weiteren Angaben gemacht werden, welche Anteile oder virtuellen Flächen welcher Verwertung zugeführt werden, kann die Studie nur einem allgemeinen Potenzialvergleich in Bezug von Energie aus Biomasse mit anderen Studiendiensten.

Tabelle C-13: Potenziale [PJ] erneuerbarer Energieträger in Österreich in den Jahren 2020 und 2050 (Christian al. 2011)

	2020	2050
Wasserkraft	144,2	152,3
Biomasse Landwirtschaft	80,0	205,0
Biomasse Forstwirtschaft	193,5	215,6

Windenergie	26,0	61,0
Photovoltaik	9,0	94,5
Solarthermie	27,0	90,0
Wärmepumpe	26,5	95,0
Geothermie	0	7,4
Summe	506,2	920,8

Wie die vorhergehenden Studien ist auch jene des Österreichischen Biomasseverbandes (2015) vorwiegend der Abschätzung von Biomassepotenzialen vor dem Hintergrund technischer und technologischer Machbarkeit gewidmet.

Tabelle C-14: Bruttoinlandsverbrauch Bioenergie in Österreich 2005 und 2013 sowie Potenziale für 2020 und 2030 (in PJ), ÖBV (2015)

	2005	2013	2020	2030
Hausmüll Bioanteil	4,3	6,2	6,2	6,2
Holz-basiert	118,0	167,0	191,5	217,1
Laugen	24,4	32,7	34,0	34,0
Deponiegas	0,2	0,2	0,2	0,2
Klärgas	1,0	0,6	0,8	0,8
Biogas	3,5	7,4	13,6	29,1
Biogene flüssig	3,2	21,9	35,0	35,0
Sonstige Biogene fest	4,0	8,9	14,6	17,9
Summe	158,6	244,8	295,9	340,3

Nach den Angaben dieser Studie wurden 2012 20.000 ha Acker- und 27.000 ha Grünland für den Anbau von Energiepflanzen genutzt; darüber hinaus wurden (Stand 2013) 70.000 ha für die Herstellung von Biotreibstoffen verwendet, damit in Summe 2012/2013 117.000 ha, davon 90.000 ha Ackerland für die energetische Verwertung verwendet.

Für 2030 wird eine Fläche von 125.000 ha für Energiepflanzen, sowie von 130.000 ha für die Biotreibstoffherstellung, insgesamt also 255.000 ha in Betracht gezogen. Dazu treten 95.000 ha auf denen Zwischenfrüchte produziert werden und 405.000 ha Acker- und Grünland, von welchen Reststoffe verwertet werden können.

Es sei hier erwähnt, dass in Österreichischer Biomasseverband (2015) im Sinne einer kaskadischen Rohstoffnutzung sowohl mit den o.a. tatsächlichen Flächen als auch - im Bereich der Biotreibstoffherzeugung - mit virtuellen Flächen argumentiert wird. Es wird hier die benötigte Fläche zur Biotreibstoffherzeugung um diejenige Fläche reduziert, welche die Nutzung von Reststoffen als Futtermittel substituieren könnte. Der Berechnungsgang bleibt offen.

Abbildung C-8 aus Österreichischer Biomasseverband (2015) gibt einen Überblick über die Verwendung der Österreichischen Ackerfläche. Angaben zur Fläche zur stofflich-chemischen Nutzung von Biomasse fehlen.

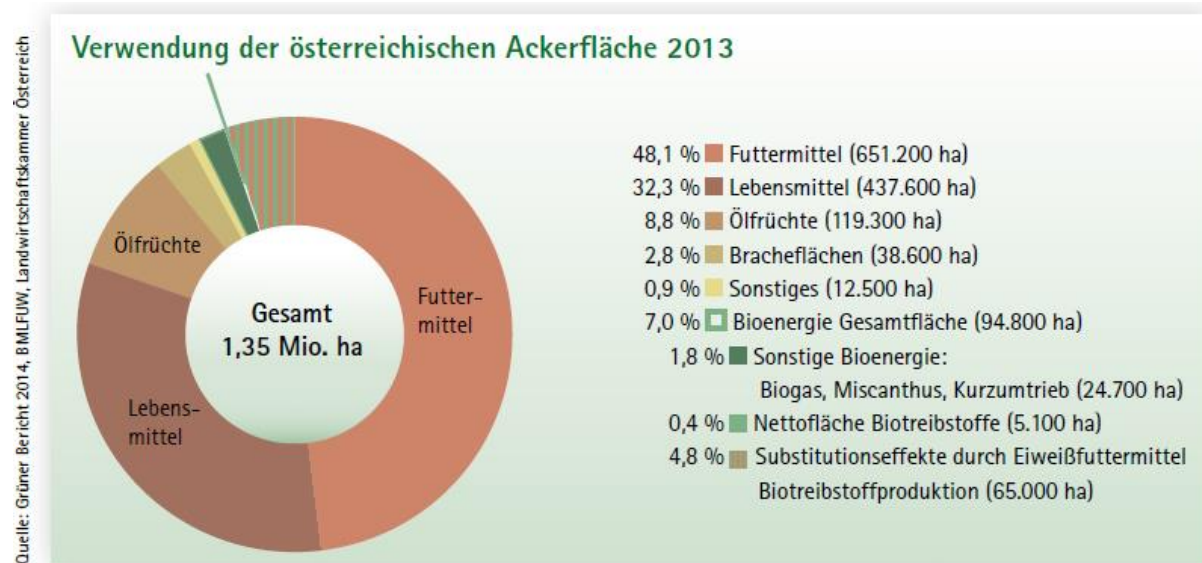


Abbildung C-8: Verwendung der österreichischen Ackerfläche 2013, Österreichischer Biomasseverband (2015)

Das Umweltbundesamt erstellt regelmäßig Szenarien über die mögliche Entwicklung von energiewirtschaftlichen Daten und die österreichischen Treibhausgas-(THG)-Emissionen, die als Grundlage zur Erfüllung der EU-Berichtspflicht im Rahmen des Monitoring Mechanisms (VO Nr. 525/2013/EG) herangezogen werden. Die vorliegenden Energieszenarien dienen auch als eine Grundlage für die Diskussion über die nationale Klimaschutzpolitik mit den Zeithorizonten (Klimaschutzgesetz) sowie die Jahre 2030 und 2050. Für die zur Verfügung stehenden Potentiale erneuerbarer Energieträger werden Studien des Österreichischen Biomasseverbandes (ÖBV 2015), des Verbandes Erneuerbare Energie Österreich (EEÖ 2015) und anderer Studien (Streicher et al. 2010, Christian et al. 2011) als Richtwerte herangezogen.

Tabelle C-15: Bruttoinlandsverbrauch von Energie aus Biomasse für die Szenarien WEM, WAM plus (auf ganze Zahlen gerundet, in PJ). Quellen: Umweltbundesamt

	Bilanzjahr	Szenario WEM			Szenario WAM plus		Szenario erneuerbare Energie	
in PJ								
Energieträger	2010	2030	2050	2030	2050	2030	2050	
Biomasse	237	268	221	246	195	319	282	

Die Szenarien WEM (with existing measures), WAM(plus) –(with additional measures) und erneuerbare Energie, welches eine weitgehende Dekarbonisierung des Energiesystems bis zum Jahr 2050 vorsieht, sind in Umweltbundesamt (2015a, b, c, d), ebenso wie die in den Szenarien unterstellten Randbedingungen dokumentiert. Das Szenario erneuerbare Energie basiert auf den Annahmen und Zahlen in ÖBV (2015).

Als eine wesentliche Rahmenbedingung wird genannt, dass im Jahr 2030 gleich viel Biomasse zur Verfügung steht wie im Jahr 2050.

Sowohl in den von Streicher et al. (2010) als auch in Krutzler et al. (2016) beschriebenen Szenarien kulminiert die (benötigte) Menge an Energie aus Biomasse im Jahr 2030, danach stagniert oder nimmt die (benötigte) Menge ab. Im Jahr 2050 muss bei den Szenarien WEM und WAM(plus) sogar weniger Energie aus Biomasse bereitgestellt werden als im Jahr 2010.

Berechnungen zur möglichen Verschiebung landwirtschaftlicher Flächennutzung in Richtung Biomasseproduktion zur energetischen Verwertung unter verschiedenen Markt- und Förderszenarien führten Stürmer et al. (2013) durch. Es wird hier von 55.000 ha Raps und etwa 80.000 ha Weizen, Mais und Zuckerrüben ausgegangen, die aktuell für die Biotreibstoffproduktion verwendet werden. (Statistik Austria, 2010a; Agrana, 2010).

In Österreich deuten sinkende agrarische Selbstversorgungsraten nach Stürmer et al. (2013) darauf hin, dass die Biotreibstoffpolitik erfolgreich ist. (Raps 120 %, 2002; 44%, 2010, Weizen, von 137 auf 102%; Ausweitungen nur bei Mais von 82 auf 89%; + 10 % Fläche). Dieser Effekt wäre noch prononcierter gewesen, wäre die Brachlegungspolitik nicht 2008 geändert worden. Trotzdem fiel die Brachfläche von 95.000 ha (2005) auf 47.800 ha (2008).

Da die übrigen Rahmenbedingungen sich nicht verändert hätten, schließen Stürmer et al. (2013), dass die Ausweitung des Biotreibstoffsektors neben der steigenden Flächeninanspruchnahme durch Siedlungs- und Gewerbeflächen der Auslöser dieser Entwicklung ist.

Da Österreich einen Großteil des Raps zur Biodieselproduktion importiert und die Versorgungsraten sich in oben angesprochener Weise verändert haben, wurde im Rahmen einer Modellierungsstudie untersucht, wie hoch Förderungen sein müssten, um signifikante Flächen für die Biotreibstoffproduktion zu mobilisieren, um die Ziele der EU Richtlinie in Bezug auf Biotreibstoffe zu erreichen, ohne auf Importe angewiesen zu sein. Als Flächenkulisse ist die Ackerlandfläche von 2008 unterstellt.

Das Ergebnis zeigt, dass bei einem Förderungsniveau von ca. 40 € pro t Trockenmasse etwa 350.000 ha (Pflanzen für 1G Treibstoffe) zu mobilisieren sind; und diese Mobilisierung sehr teuer und im Falle der Mobilisierung von 2G-Flächen noch teurer ist. Auch bei der effizientesten Option, der Produktion von 2G Treibstoffen, würde ein signifikanter Anteil des Ackerlandes für die Treibstoffherstellung benötigt werden, und die in dieser Arbeit berücksichtigten Alternativnutzungen (Nahrungs- und Futtermittel) verdrängen. Die Bewirtschaftung auf den Energieflächen würde intensiviert, auf den verbleibenden Flächen tendenziell extensiviert. Die chemisch-stoffliche Nutzung wird in die Überlegungen von Stürmer et al. (2013) ebenso nicht mit einbezogen, wie klimabedingte Produktionsänderungen.

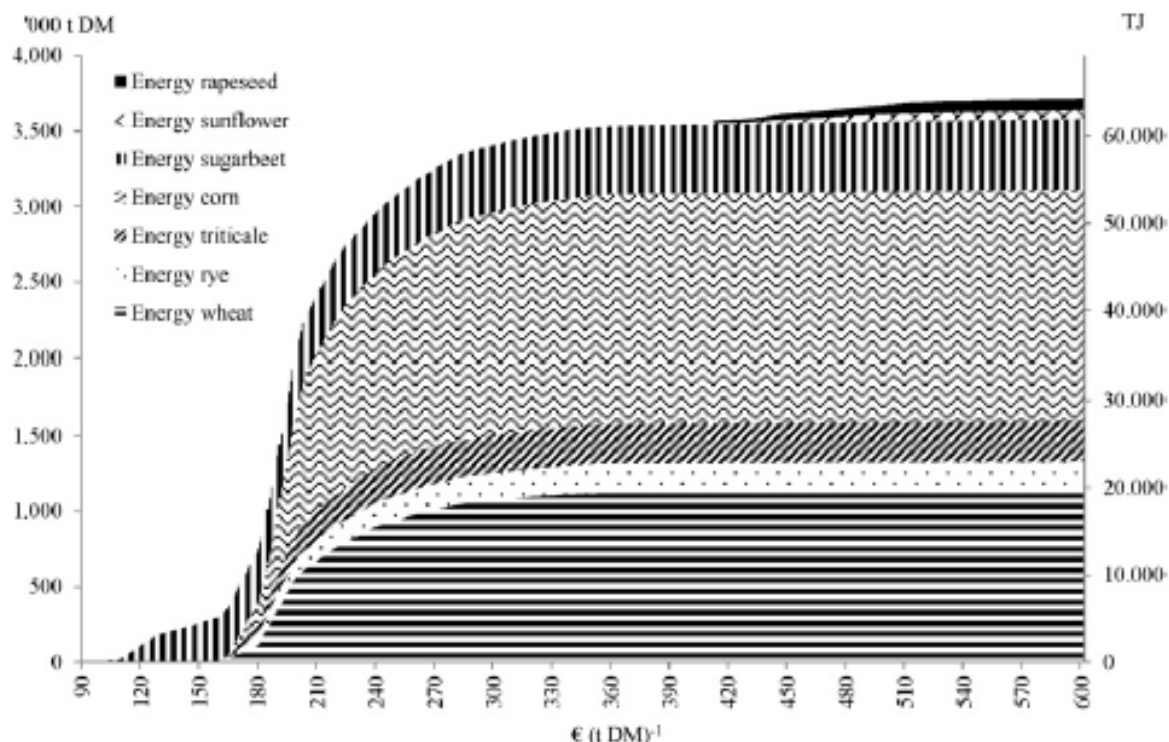


Abbildung C-9: Mobilisierungsmengen unterschiedlicher Ackerfrüchte als Summe aus Förderung (0-200 €/t TM) und Marktpreis (Stürmer et al. 2013)

Abbildung C-9 zeigt, dass Energie-Zuckerrübe die ökonomischste Wahl wäre, Getreide erst bei höheren Förderungen mobilisiert würde und die Menge an Raps für energetische Zwecke aus ökonomischen Gründen beschränkt bliebe.

Wie in Kapitel 3.2.1 bereits erwähnt, simulierten Kirchner et al. (2014) die Auswirkungen von 4 Klimaszenarien sowie 4 Politikszenerarien auf Ökosystemdienstleistungen und die ökonomische Entwicklung in der österreichischen Landwirtschaft. Im Szenario BAL wurde errechnet, dass erhöhte Agrarumweltzahlungen zu einer Steigerung der ökologischen Vorrangflächen um 70 % (+58.000 ha) führen. Eine Beendigung dieser Zahlungen im Szenario PRO führt zu einer Intensivierung der Landwirtschaft, zum nahezu vollständigen Verschwinden ökologischer Vorrangflächen, aber auch zu großflächigen Aufforstungen im Randbereich der Alpen, welche von 184.000 ha (Klimaszenario mit unverändertem Niederschlag) bis 274.000 ha (erhöhter Niederschlag) an Fläche beanspruchen.

Im Szenario PRO Energy führen zusätzliche hohe angenommene Ölpreise zur Anlage von Kurzumtriebsplantagen im Ausmaß zwischen 177.000 ha (erhöhter Niederschlag) und 219.000 ha (Niederschlagsabnahme). Dazu treten Aufforstungen im Ausmaß zwischen 376.000 ha (gleichbleibender Niederschlag) und 429.000 ha (Niederschlagsabnahme).

Leidwein et al. (2013) untersuchten unter Unterlegung des Hadley CM3 A2-Szenarios unter Berücksichtigung des CO₂ Düngungseffekts in mehreren Szenarien den Einfluss unterschiedlicher Faktoren (Verfügbarkeit von Energie, Betriebsmitteln, Eiweißfuttermitteln, Argwohn gegenüber technischem Fortschritt, Agrarpolitik und Flächenkonkurrenz infolge der Anlage von Flächen zur stofflichen und energetischen Nutzung) auf die Ernährungssicherheit.

Dazu wurden folgende Szenarien formuliert:

Baseline-Szenario: Fortführung gegenwärtiger Entwicklungen

Best-Case-Szenario: Die österreichische Agrarpolitik setzt auf nachhaltige Intensivierung (+1% jährlicher technischer Fortschritt), der Import von Produktionsmitteln ist nur wenig be-

schränkt. Die Nachfrage nach biogenen Rohstoffen (energetische und stoffliche Nutzung) steigt auf 10% der entsprechenden Fläche.

Most-Probable-Case-Szenario: Die österreichische Agrarpolitik bewegt sich entlang der gegenwärtigen politischen Diskussion und stellt ein Fortschreiben der gegenwärtigen Entwicklung dar. Die Nachfrage nach biogenen Rohstoffen für stoffliche und energetische Nutzung steigt mittelmäßig. Es sind Versorgungsengpässe bei Eiweißfuttermitteln (-10% Importe) gegeben, rund 50% der potentiellen Ertragsrückgänge aufgrund eines Phosphormangels werden realisiert. Die Nachfrage nach biogenen Rohstoffen (energetische-stoffliche Nutzung) steigt auf 12% der entsprechenden Fläche.

Worst-Case-Szenario: Die österreichische Agrarpolitik setzt auf eine vollkommene Extensivierung (Ertragsniveau im Schnitt rund -30%), gleichzeitig treten Versorgungsprobleme bei Phosphatdüngern (Importe fallen weg) und Eiweißfuttermitteln auf, aufgrund der hohen Energiepreise steigt die Nachfrage nach Bioenergie stark (40% der entsprechenden Fläche).

Die Ergebnisse zeigen, dass nur in dem als Best Case bezeichneten Szenario der Flächenbedarf der Landwirtschaft (erheblich) sinkt. Im most probable Szenario steigt der Flächenbedarf im Jahr 2030 leicht, um im Jahr 2050 etwas stärker abzusinken. Im worst case Szenario steigt der Flächenbedarf in der Zukunft um mehr als 1 Million ha.

Die Simulationen zeigten dass der unterstellte technische Fortschritt den höchsten positiven Effekt auf die Erträge hat, eine Extensivierung der Landwirtschaft den höchsten negativen, während der Klimawandel bzw. Phosphordüngung einen geringeren Effekt aufweisen.

Tabelle C-16: Veränderung des virtuellen Flächenbedarfs der Landwirtschaft in den Jahren 2030 und 2050 gegenüber 2015, unterschiedliche Szenarien, in ha und % (Leidwein et al. 2013)

Szenario	Flächenbedarf 2030 in ha	Flächenbedarf 2050 in ha
Best case zu 2015	-192.000	-297.000
Most probable case zu 2015	+ 10.000	-60.000
Worst case zu 2015	+ 1.025.000	+ 1.128.000
Best case zu Worst case	+ 1.216.000	+ 1.425.000

Szenario	Flächenbedarf 2030 in %	Flächenbedarf 2050 in %
Best case zu 2015	-19 %	-29 %
Most probable case zu 2015	+ 1 %	-6 %
Worst case zu 2015	+ 99 %	+ 109 %

Tabelle C-17: Veränderung des virtuellen Flächenbedarfs von Getreide in den Jahren 2030 und 2050 gegenüber 2015, unterschiedliche Szenarien, in % (Leidwein et al. 2013)

		2030 rel. zu 2015	2050 rel. Zu 2015
Weizen	baseline	-3%	-8%
	best-case	-16%	-28%
	most-probable	+6%	+2%

	worst-case	+86%	+90%
Grobgetreide	baseline	-16%	-26%
	best-case	-25%	-35%
	most-probable	-7%	-17%
	worst-case	+101%	+110%

C-4.2 Erwartete wetter-/klimabedingte Verschiebungen von Anbauarealen, Veränderung von Hauptkulturen oder Fruchtfolgen

Die großen Linien klimabedingter Verschiebungen werden von den auf das gesamte Bundesgebiet bezogenen Studien (Kirchner et al. (2014), Strauss et al. (2013)) ähnlich wiedergegeben, implizit davon abweichend (keine Regionalisierung) sind die Ergebnisse von Leidwein et al. (2013), welche allerdings den CO₂-Düngungseffekt mit berücksichtigen. In dieser Studie wird bei der Mehrzahl der Feldfrüchte von höheren Erträgen unter veränderten klimatischen Bedingungen ausgegangen.

Die Simulationen von Strauss et al. (2013) zeichnen für ein schwächer ausgeprägtes Trockenheitsszenario Ertragsrückgänge insbesondere im Nordosten in Teilen des Weinviertels sowie im Marchfeld und im Nord- und Mittelburgenland. Es wären damit die ertragreichsten Regionen Österreichs betroffen. Die Gründe lägen insbesondere im Anstieg der Temperatur bei bereits aktuell hohen Jahrestemperaturwerten und geringen Niederschlägen. Auch die Modellrechnungen von Kirchner et al. (2015), welche auch mit ökonomischen Parametern hinterlegt sind, zeigen ein ähnliches Bild. Dieses Bild wird dadurch verstärkt, dass im Klimaszenario „low“ (Annahme -20 % Niederschläge) in allen Politikszenerarien in den Ackergebieten im Nordosten Österreichs Produktionseinbußen prognostiziert werden.

Diese Ergebnisse erscheinen umso bemerkenswerter, als die Autoren unterschiedliche Modelle bzw. Modellsuiten zur Simulation verwendeten, die simulierten Perioden in unterschiedlichen Jahren beginnen und enden, aber auch die verwendeten Klimaszenarien zwar ähnliche Grundannahmen treffen, sich jedoch etwa in den angenommenen Temperaturerhöhungen und Niederschlagssummen und deren Verlauf über die Jahre voneinander unterscheiden.

Trotz der genannten Übereinstimmung ist anzumerken, dass die o.a. Ergebnisse Einflussfaktoren wie etwa den CO₂-Düngungseffekt (mit Ausnahme von Leidwein et al. (2013)), den Einfluss von Schadorganismen oder Adaptionsmassnahmen (z.B. Zwischenfruchtanbau, minimum tillage, Effekt von Windschutzstreifen, Anpassungen im Bereich der Pflanzenzucht, Einsatz trockenoleranter Arten im Grünland, Bewässerung) nicht berücksichtigen. Diese Einflüsse können die Ergebnisse sowohl in positiver als auch negativer Richtung (, z.B. die Ausklammerung von Extremereignissen wie Hagel u.ä.) in Bezug auf die Produktivität, aber auch qualitative Outputgrößen beeinflussen.

Ein in der Arbeit von Strauss et al. (2013) formuliertes pronociertes Trockenszenario (vgl. auch Kap. 3.2.1) zeigt massive Ertragsverluste m Osten und Nordosten des Bundesgebietes. Weiters sind der Donauraum, das Wald- und Mühlviertel, das Südburgenland und nahezu die gesamte Südoststeiermark von Ertragsdepressionen betroffen.

Als ein Ergebnis des Projektes COIN (Costs of Inaction) werden von Mitter et al. (2014) in einem Szenario mit moderatem Klimawandel unter 2°C bis 2050, im Durchschnitt der österreichischen Landwirtschaft Ertragssteigerungen der sektoralen Wertschöpfung um +110 Mio €/a erwartet. Von dieser Entwicklung würde vor allem der niederschlagsreiche Westen Österreichs profitieren, weniger bis gar nicht die trockenen Gebiete im Osten; vor allem Grünlandflächen würden zu den starken Produktivitätszuwächsen beitragen. Dies geschieht unter der Annahme, dass Anpassungsmaßnahmen durchgeführt sind, kalkuliert werden dabei nur der-

zeit quantifizierbare Auswirkungen. Globale Effekte (z.B. Nahrungsmittelknappheit) bleiben unberücksichtigt.

Schadereignisse bzw. dürrebedingte Ernteauffälle könnten nach Mitter et al. (2014) die Erwartungen ins Negative drehen.

Grünland

Ebenso wie Strauss et al. (2013) [850 mm] erwarten Lexer et al. (2014) in Gunstlagen mit deutlich höheren Niederschlägen (über 800 mm Jahresniederschlag), dass durch höhere Temperaturen das Produktionspotenzial ansteigen würde. In höheren Lagen, wo aktuell vor allem die Temperatur und die Länge der Wachstumsperiode begrenzend wirken, dürfte dieser Effekt stärker ausfallen, kleinräumig können durch die Exposition große Unterschiede gegeben sein.

Am Ostalpenrand wird in Lexer et al. (2014) in den Übergangsregionen von Grünland und Ackerbau mit sinkendem Produktionspotenzial gerechnet, da sich unter den meisten Klimaänderungsszenarien im Osten Österreichs in den nächsten Jahrzehnten eher Niederschlagsabnahmen bei deutlich wärmeren Temperaturen abzeichnen. Nördlich der Alpen ist unter gegenwärtigen Klimabedingungen generell die zunehmende Entfernung zum Alpenrand mit abnehmenden Niederschlägen verbunden, was sich in geringerem Produktionspotenzial und höherem Ertragsrisiko äußert. In diesen Gebieten dürfte sich das Produktionspotenzial von Grünland weiter verschlechtern. Zusätzlich werden vor allem Grünlandregionen mit Böden welche geringes Wasserspeichervermögen aufweisen, relativ stärker betroffen sein. Nach Eitzinger et al. (2009) zählen dazu das Böhmisches Massiv bzw. weite Teile Nordösterreichs und der angrenzenden Regionen Tschechiens. Die Artenzusammensetzung verschiebt sich zu Trockenrasen mit weniger Ertrag und schlechterer Futterqualität. Regional häufige Schadinsekten (z.B. Engerlinge) werden durch höhere Bodentemperaturen begünstigt.

Forstwirtschaft

Unterstellt man eine Umtriebszeit von 80 bis 100 Jahren, dann werden die heutigen Jungbestände zum Erntezeitpunkt deutlich veränderte Standortbedingungen antreffen. Die klimatischen Schlüsselparameter sind Temperatur, Niederschlag und dessen zeitliche Verteilung. Bei einer deutlichen Erwärmung verschieben sich die Arealgrenzen und montane Wälder finden dann Temperaturverhältnisse vor, die heute in kollinen Wäldern herrschen. Die heutigen Waldgesellschaften können sich an die geänderten Standortbedingungen anpassen, sie können auf geeignete Standorte migrieren, oder sie können verdrängt werden. Auf der Grundlage von Waldinventuren im Alpenraum wurden die heutigen Verbreitungen von mehreren Baumarten analysiert. Mit regionalisierten Klimaszenarien des IPCC wurden Karten der künftigen Baumartenverbreitung für den Alpenraum erstellt (Jandl et al.2012).

Der Klimawandel wird sich auf Standorten, auf welchen die Produktivität des Waldes derzeit durch die Kürze der Vegetationsperiode limitiert ist, positiv auswirken, falls Niederschlag und Nährstoffe im ausreichenden Maß vorhanden sind. Allerdings wird es auch Verlierer geben. Nicht unerwartet wird davon die Fichte am stärksten betroffen sein. Immerhin wird sie derzeit aufgrund ihrer wirtschaftlichen Relevanz deutlich außerhalb des potentiellen Verbreitungsgebietes angebaut. Die Flächenzugewinne der Fichte treten vor allem in den Hochlagen in quantitativ bescheidenem Umfang auf. In den mittleren Höhenlagen wird sich am Vorkommen der Fichte an vielen Standorten gar nichts ändern. Sollte die Fichte tatsächlich verdrängt werden, sind wirtschaftliche Einbußen unvermeidlich, da mit anderen Baumarten wohl kaum so erfolgreich gewirtschaftet werden kann (Hanewinkel et al., 2012).

Ebenso erwartbar ist der Ausbau des Areals von Eiche und Kiefer. Beide Baumarten gewinnen unter trockeneren Bedingungen an Konkurrenzkraft und erholen sich auch nach Trockenstress relativ rasch (Beck, 2010). Der anfängliche Erfolg der Buche währt den Simulationsergebnissen folgend nur bis zur Mitte des Jahrhunderts. Danach wird die Buche vielerorts

zunehmend unter Trockenstress leiden. Die zugrundeliegenden Klimamodelle weisen ab zirka 2060 einen deutlichen Anstieg des Erwärmungstrends auf. Unter den Klimamodellierern besteht Uneinigkeit, ob es sich dabei um ein Artefakt der Modelle handelt, oder ob der Temperaturanstieg tatsächlich zu erwarten ist.

Für die Schweiz und für Österreich liegen Simulationsstudien vor, die davon ausgehen, dass artenreiche Laubwaldtypen ihr potentiell Areal im Klimawandel vergrößern werden (Kienast et al., 1998; Lexer et al., 2002). In Österreich würde es demzufolge bei einer Klimaerwärmung von 2 °C und geringfügig reduziertem Niederschlag auf knapp 80 % der Waldfläche zu einer Veränderung der potentiell natürlichen Waldgesellschaft kommen, wobei vor allem Buchen-, aber auch Eichen- und Buchen-Tannen-Fichtenwaldtypen ihren Flächenanteil erhöhen würden.

Theurillat und Guisan (2001) schließen etwa auf Basis einer umfassenden Literaturrecherche, dass in den Alpen die Waldökosysteme eine Temperaturerhöhung von 1–2 °C im Allgemeinen tolerieren könnten, ohne dass wesentliche Arealveränderungen von aktuell bestehenden Waldtypen ausgelöst würden. Basierend auf Simulationsstudien sahen Lexer et al. (2002) diesen Schwellenwert in Bezug auf Temperaturerhöhungen bei etwa +1 °C.

Die angewendeten Methoden für das künftige Verbreitungsgebiet der Baumarten haben Stärken und Schwächen. In Sukzessionsmodellen wird die Konkurrenz zwischen Baumarten gut abgebildet. Nischenmodelle geben hingegen potentielle Verbreitungsgebiete an. Der Druck durch Schadorganismen kann derzeit noch nicht hinreichend gut simuliert werden und auch der Faktor ‚Mensch‘ ist nicht einbezogen. Durch geeignete waldbauliche Behandlungen können Baumarten auch außerhalb ihres Verbreitungsgebietes und damit im Hauptverbreitungsgebiet von anderen Baumarten erfolgreich bewirtschaftet werden, wenn die Konkurrenzverhältnisse entsprechend gesteuert werden (Kapeller et al. 2012). Weitere Möglichkeiten, die noch nicht voll ausgeschöpft wurden, liegen in der Wahl geeigneter Herkünfte, mit welchen das Standortsspektrum von Baumarten breiter gestaltet werden kann und – ganz besonders vordringlich – in der Sicherstellung einer Wilddichte, mit der die geplanten waldbaulichen Maßnahmen auch umsetzbar sind.

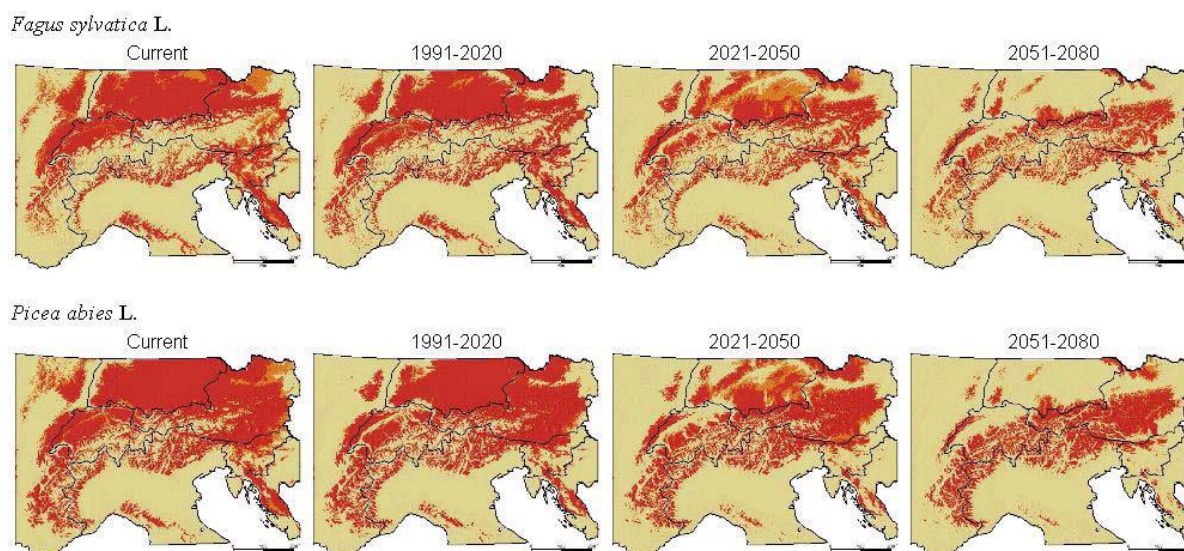


Abbildung C-10: Potentielle Verbreitung von Buche und Fichte in mehreren Zeitfenstern während des 21. Jahrhunderts. Das verwendete Klimaänderungsszenario beinhaltet eine Erwärmung von etwa 3 °C und eine 10 %ige Abnahme der Sommerniederschläge bis 2051/80. rot = die Baumart kommt wahrscheinlich vor, orange = die Baumart kommt möglicherweise vor, grau = die Baumart kommt potentiell nicht vor. Quellen: Zimmermann et al. (2013), Jandl et al. (2012)

C-5 Nutzungspfade und Rohstoffqualitäten

C-5.1 Perspektiven stofflich-chemischer und energetischer Nutzungspfade unter Klimawandelbedingungen

Die Energieziele der EU (20% Reduktion der Treibhausgasemissionen, 20% + Energieeffizienz, 20 % erneuerbare Energien erlauben den Mitgliedsstaaten die Verwendung von Biokraftstoffen, die zusätzliche Vorteile aufweisen, zu fördern und [..] gebührend zu berücksichtigen. Durch Förderung der Herstellung von biogenen Kraftstoffen auf Basis von Abfällen, Reststoffen, zellulosehaltigem Non-Food-Material und lignozellulosehaltigem Material ergeben sich Synergieeffekte für die Entwicklung von Technologien zur stofflichen Nutzung von biogenen Roh- und Reststoffen. Einige dieser Technologien sind in Erprobung, teilweise stellt sich (Bulkchemikalien, Biopolymere) das Problem einer direkten Marktkonkurrenz mit Nebenprodukten der Petrochemischen Industrie. Die FTI-Strategie (Ganglberger & Sturm 2014) für die biobasierte Industrie zeigt Entwicklungspfade in der Rohstoffbereitstellung (landwirtschaftliche Rohstoffe, forstwirtschaftliche Rohstoffe, Algen als Rohstoff), in der Produktentwicklung (Bau- und Dämmstoffe, biogene Verbundstoffe, Biopolymere, Bulkchemikalien, Biotreibstoffe, Düngemittel, biobasierte Spezialprodukte) und auf Ebene der Verarbeitungsprozesse (Fermentation, Vergasung, Pyrolyse, Holzverarbeitung, neue Bioraffinerie-Konzepte) auf. Ein direkter Bezug zum Klimawandel wird – abgesehen von einer möglichen Rohstoffknappheit und ggf. Rohstoffqualitäten nicht gesehen.

Durch die stärkere Konkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Nutzung wurden die Preise von Faser- und Energieholz in die Höhe getrieben (Schwarzbauer und Braun, 2017). Die seit vielen Jahren prognostizierte Knappheit des Rohstoffes Holz ist jedoch derzeit nicht erkennbar.

Als relevant für die stoffliche Nutzung landwirtschaftlicher Rohstoffe in Österreich wird die – auch - emotionell besetzte Diskussion „Teller versus Tank“ gesehen, zusätzlich wird eine Teller versus Kunststoff Diskussion befürchtet.

C-5.2 Klimabedingte Einflüsse auf Materialeigenschaften, die für technische Nutzung relevant erscheinen (z.B. Eiweißgehalte, Mineralstoffgehalte, physikalische Eigenschaften)

Eine entsprechende Literaturrecherche in Lotze-Campen et al. (2009) zeigt neben Auswirkungen durch Hitzestress auch negative Veränderungen in der Qualität der Ernteprodukte durch geringere Unterschiede der Tages- und Nachttemperaturen. Dies resultiert bei Weizen in einer Zunahme des Stickstoffgehalts im Korn, bei Zuckerrüben behindert erhöhter Stickstoffgehalt die Kristallisation, bei Raps zeigt sich ein Rückgang des Ölgehalts. Schmid et al. (2010) gehen davon aus, dass durch ansteigende Temperaturen der Ölgehalt in Raps sinkt, während Rohprotein, Glucosinolat und Fettsäuren ansteigen. Da beim Raps aber vor allem der Ölgehalt die Qualität bestimmt, wird sich der prognostizierte Temperaturanstieg negativ auf die Ertragsqualität von Raps auswirken. Dieser Effekt wurde im Experiment allerdings durch Standort und Sortenwahl weitgehend überdeckt. Für Mais stellten Schmid et al. (2010) fest dass der Stärkegehalt mit wärmeren Temperaturen ansteigt, während der Rohprotein-gehalt sinkt. Nach Hinterholzer (2003) besteht bei Mais ein Zusammenhang zwischen Temperatursumme zur Kornfeuchtigkeit zum Erntezeitpunkt. Eine Untersuchung des Verlaufs der Kornfeuchtigkeit zum Erntezeitpunkt und die Entwicklung der Temperatursummen am Standort Hatzendorf 1970 – 2000, zeigt einen eindeutigen Trend zu geringerer Kornfeuchtigkeit bei höheren Temperatursummen. Als Bezugssorten für den Reifestandard wurden die Sorten Harrach Hybrid 388, Star 304, Raissa und Mirna verwendet (Formayer et al. 2007).

Durch erhöhte CO₂-Konzentrationen lassen sich in den meisten Studien Veränderungen der Pflanzeninhaltsstoffe beobachten. Dies betrifft neben einem reduzierten Stickstoffgehalt auch eine Verminderung der Vitamingehalte, Spurenelemente wie Magnesium sowie von Proteinen (bei Gräsern) und sekundären Inhaltsstoffen (z.B. Phenole). Erhöhte Konzentrationen sind für den Kohlehydratanteil und Flavonoide festzustellen (Fangmeier et al., 2002; Niklaus, 2007). Ein steigender Kohlendioxidgehalt der Luft hat, so wie beim Getreide nachgewiesen, Auswirkungen auf die Inhaltsstoffbildung bei Pflanzen, wie etwa die Eiweißbildung und die Eiweißqualität (Veränderung des C:N-Verhältnisses in der Biomasse durch Zunahme des Kohlenstoffanteils). Die Stickstoffdüngung und eine mögliche Ausbreitung der Leguminosen im Grünland könnten den erwarteten Eiweißabfall nicht fixierender Arten aber auch kompensieren (Diepolder, 2007).

Ein möglicher Anstieg der Ozonkonzentrationen könnte neben deutlichen Ertragseinbußen zu Veränderungen der Getreidequalitäten (Stickstoff- und Kohlehydratgehalte) führen (vgl. Krupa & Jager, 1996). Insgesamt sind qualitative Effekte bisher aber kaum erforscht.

Kompensierende oder verstärkende Effekte bei gleichzeitiger Veränderung mehrerer Umweltvariablen (Temperatur, Gase, Wasser, Schädlinge) sind wenig erforscht. Lediglich die Wechselwirkungen von CO₂ und Temperaturerhöhung sind in einigen Studien erfasst (u. a. Gerstengarbe et al., 2003).

Für einige Kulturenarten kann – je nach Sorte – von einer Kompensation der Temperaturwirkung durch die CO₂-Düngung im Hinblick auf das Pflanzenwachstum ausgegangen werden.

Für das Grünland kann in gemäßigten Breiten mit einem Ausgleich der beiden Effekte geringerer Rohproteingehalt und bessere Verdaulichkeit aufgrund veränderter Kohlehydratzusammensetzung gerechnet werden.

Hohe CO₂-Konzentration führt zu negativen Veränderungen im Holz mit Auswirkungen auf die Holzqualität, z. B. der Bruchfestigkeit (z.B. Profft, 2005).

C-6 Verfügbarkeit, Markt und Bedarf

C-6.1 Produktverfügbarkeiten: Produktionspotenziale, Hochrechnungen für Hauptkulturen

Die einzige den Autoren bekannte und publizierte Studie, die österreichweit Abschätzungen zukünftiger Ernteerträge – zumindest in der Auflösung nach Produktgruppen -von Ackerfrüchten vornimmt, ist diejenige von Leidwein et al. (2013). Neben den klimabedingten Veränderungen (Unterlegung des Hadley CM3 A2-Szenarios) gehen ein angenommener technische Fortschritt, der Anteil des Biolandbaus und die Effekte der Phosphordüngung in die Berechnungen ein (Tabelle C-18). Die verwendete Datenbasis (Global Agro-Ecological Zones, FAO) hat eine relativ grobe Auflösung von 5 Minuten mal 30 Sekunden pro Zelle. Die Formulierung der Szenarien sowie die szenario-spezifischen Annahmen sind in Abschnitt C-4.1 bzw. in Tabelle C-19 angeführt.

Die szenario-spezifischen Ernteerträge (Tabelle C-20) steigen – mit Ausnahme des worst-case Szenarios – für alle Produktgruppen, abgesehen von den Eiweißpflanzen, an. Dies ist unter anderem in Ertragssteigerungen im Zuge des Klimawandels – unter Berücksichtigung des CO₂-Düngungseffekts (vgl. Tabelle C-18) begründet. Die Aussage-Unsicherheiten bezüglich dieses Effekts formulieren z.B. Thaler et al. (2012) (vgl. Abschnitt 3.2.1 und 7.2).

Tabelle C-18: Generelle Annahmen für Veränderungen der Ernteerträge (Leidwein et al. 2013)

Klimawandel incl. CO ₂ -Düngungseffekt	10-jährige Veränderungsrate [%]		Technischer Fortschritt 10-jährige Veränderungsrate [%]	input level Ertragsdifferenz extensive / intensive Landwirtschaft	P-Düngung rel. Veränderung in%	
	2015-30	2030-50			2030/15	2050/15
Weizen	1.03%	1.58%	0.25%	-33.0%	-1.17%	-4.43%
Grobgetreide	1.48%	1.32%	0.82%	-37.9%	-2.78%	-7.20%
Sojabohnen	2.18%	6.22%	1.00%	-30.0%	-2.78%	-7.20%
Andere Ölsaaten	0.50%	0.12%	0.75%	-30.0%	-2.78%	-7.20%
Eiweißpflanzen	-1.59%	-4.94%	-0.13%	-42.3%	-2.78%	-7.20%
Zucker	0.56%	0.36%	0.98%	-10.0	-2.78%	-7.20%
Stärkepflanzen	9.79%	1.48%	0.96%	-33.0%	-2.78%	-7.20%

Tabelle C-19: Szenario-spezifische Annahmen zu Ernteerträgen (Leidwein et al. 2013)

	Baseline scenario	Best-case scenario	Most-probable case scenario	Worst-case scenario
Klimawandel	vgl. Tabelle C-18	vgl. Tabelle C-18	vgl. Tabelle C-18	vgl. Tabelle C-18
technischer Fortschritt	vgl. Tabelle C-18	+1% of 2015 pro Jahr	vgl. Tabelle C-18	+0.1% of 2015 pro Jahr
input level (Gewichtung biolog./konventionelle Landwirtschaft)	-	0.00 / 1.00	0.25 / 0.75	1.00 / 0.00
P-Düngung (Gewichtung Ertragsdifferenz)	-	-	0.50	1.00

(mit/ohne P-Düngung)				
----------------------	--	--	--	--

Tabelle C-20: Szenario-spezifische Ernteerträge (in t/ha und als Index 2015=100) (Leidwein et al. 2013)

	2015	Baseline scenario		Best-case scenario		Most-probable case scenario		Worst-case scenario	
		2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
t/ha									
Weizen	5.3	5.6	6.1	6.7	8.0	5.5	5.8	3.9	3.9
Grobgetreide	7.9	9.0	10.5	10.0	11.9	8.7	10.0	5.3	5.2
Sojabohnen	2.8	3.4	4.3	3.7	4.9	3.3	4.1	2.1	2.3
Andere Ölsaaten	2.4	2.6	3.0	2.9	3.4	2.6	2.9	1.7	1.7
Eiweißpflanzen	2.0	1.9	1.7	2.2	1.9	1.9	1.6	1.2	0.9
Zucker*	10.2	11.7	13.8	12.0	14.2	11.5	13.4	9.3	9.1
Stärkepflanzen	33.1	43.0	50.5	46.3	54.6	41.8	48.4	26.9	26.7
Index									
Weizen	100	105	114	125	150	103	109	73	73
Grobgetreide	100	115	134	127	151	111	127	67	66
Sojabohnen	100	118	152	131	173	115	146	75	83
Andere Ölsaaten	100	112	127	123	145	109	122	73	71
Eiweißpflanzen	100	96	84	107	97	92	78	58	46
Zucker*	100	115	136	118	139	114	131	91	89
Stärkepflanzen	100	130	153	140	165	126	146	81	81

* in Rohzuckeräquivalent

Die Holzströme in Österreich sind in Abbildung C-11 dargestellt. Das Holz- und Biomassepotential in den Jahren 2000-2020 unter moderaten Klimawandelbedingungen, sowie die Vorratsentwicklung bis zum Jahr 2100 unter einem verschärften Klimawandelszenario und unterschiedlichen Eingriffsstärken sind in Kapitel 3.2.2 dargestellt.

Österreich produzierte im Jahr 2014 22 Mio. Festmeter Holz und hat zusätzlich noch 9 Mio. Festmeter importiert. Der Abnehmer mit der größten Wertschöpfung ist die Holzverarbeitende Industrie. Es ist bemerkenswert, dass dennoch etwa die Hälfte des Rohholzes in verschiedenen Formen der energetischen Verwendung zugutekommt. Die Hälfte der energetischen Verwendung ist Hackgut und Brennholz (Abbildung C-12).

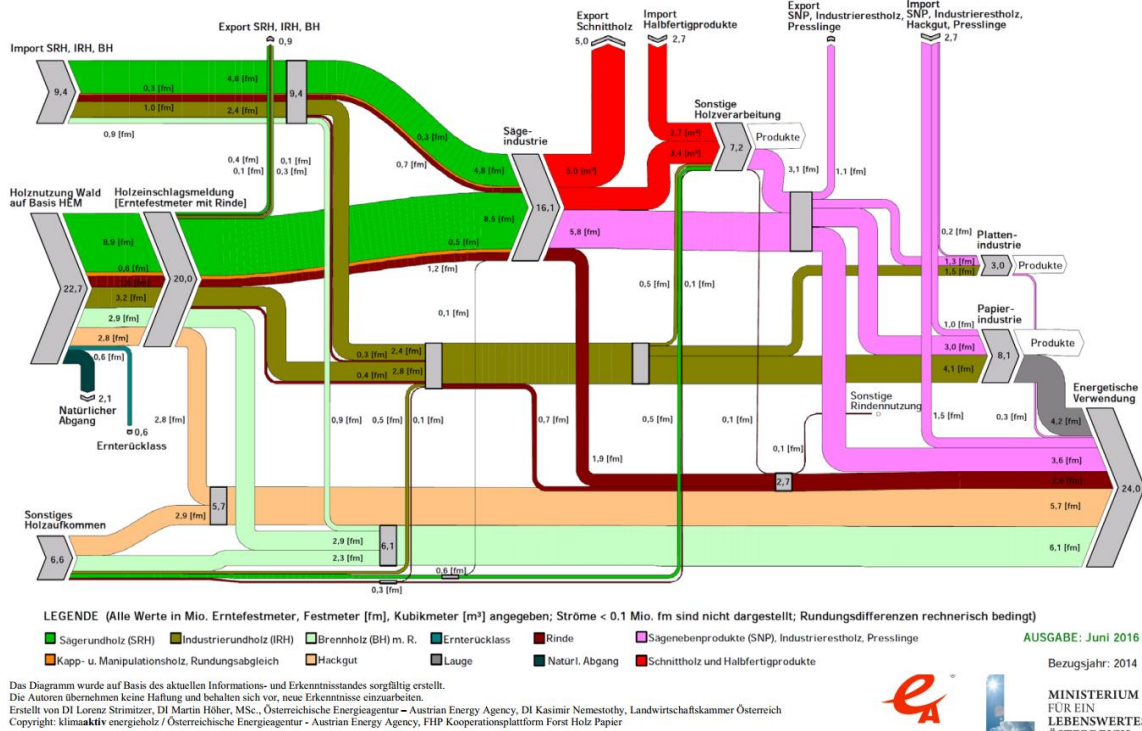


Abbildung C-11: Die Holzströme in Österreich. klimaaktiv.at

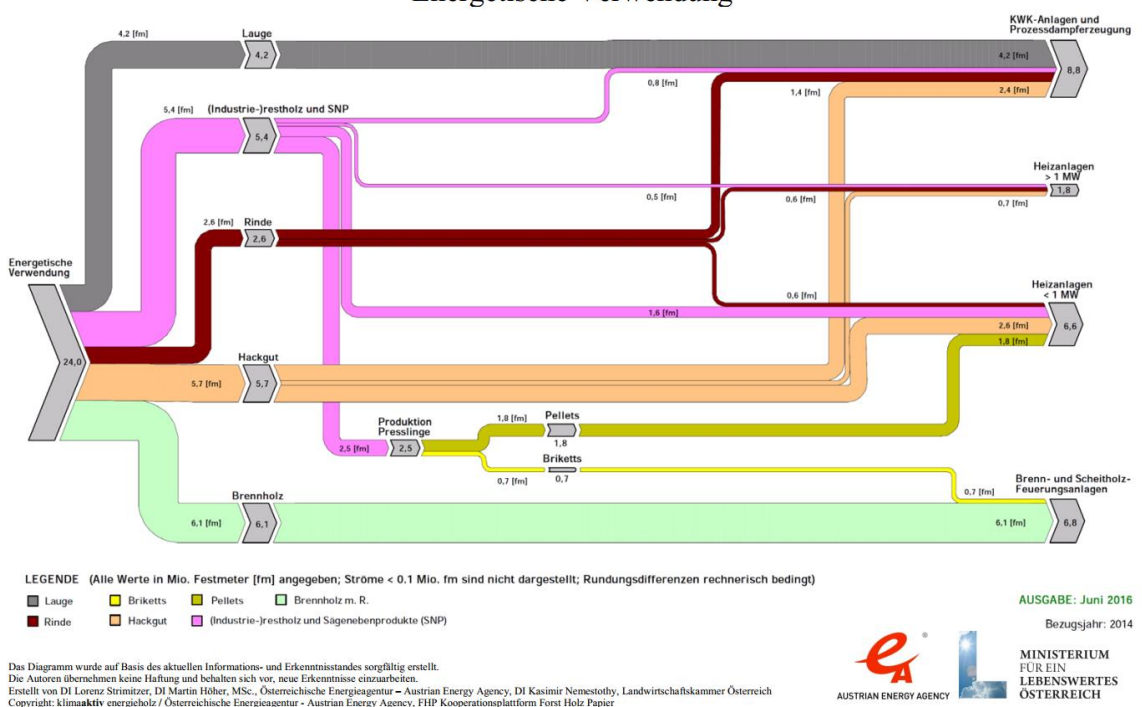


Abbildung C-12: Energetische Verwendung von Holz in Österreich. klimaaktiv.at

C-6.2 Markt und Bedarfsentwicklungen

C-6.2.1 Rahmenfaktoren für die Produktion und Flächennutzung, vor deren Hintergrund nationale Produktions- und Nutzungsentscheidungen gefällt werden

In Sinabell et al. (2016) werden leicht steigende Preise auf internationalen Märkten erwartet, weil die Zunahme der Bevölkerung und der Nachfrage etwas höher sein dürften als die Produktionssteigerungen in der Landwirtschaft. Gründe dafür sind die zunehmende Verknappung von fruchtbarem Boden und Kapazitätsgrenzen im Ausbau von Bewässerungsmöglichkeiten.

Die Prognose zur Marktentwicklung von OECD und FAO bis 2025 zeigt zwar eine starke Ausweitung der Nachfrage nach Nahrungsmitteln, die sich nicht in einem signifikanten Preisanstieg für Agrargüter bemerkbar machen dürfte. Die Preise wichtiger Marktfrüchte dürften den Erwartungen zu Folge auf nominell gleichem Niveau bleiben (vgl. auch Stürmer et al. 2013).

Die Land- und Forstwirtschaft ist jener Sektor, der am meisten von Klimaänderungen betroffen sein wird (oder schon ist) und steht vor der Herausforderung, die Emissionen weiter deutlich zu senken. Die derzeit eingeleiteten Maßnahmen dürften dazu nicht ausreichen. Diese dürften – schenkt man Modellschätzungen, die den Zeithorizont bis 2030 und darüber hinaus erfassen, Glauben – nicht einfach zu erreichen sein (Sinabell, Schönhart und Schmid, 2015).

Die in Kirchner et al. (2014) formulierten Szenarien modellieren das Marktverhalten der Produzenten und zeigen einerseits, dass durch eine Erhöhung der Agrarumweltzahlungen eine Extensivierung der Landwirtschaft und eine Vermehrung der ökologischen Vorrangflächen um 58.000 ha erreicht werden kann; Andererseits führt eine Beendigung dieser Zahlungen unter den formulierten Klimawandelszenarien (s.o.) zu einer Intensivierung der Landwirtschaft mit erhöhten Treibhausgasemissionen, einem Verschwinden der ökologischen Vorrangflächen, Verringerung der Biodiversität und Veränderung des Hemerobiegrades. Weiters eine Erhöhung der sektoralen Bruttowertschöpfung, aber auch zu einem Absinken der Produzentenrente.

Flächenentwicklung

Die Waldfläche nimmt in Österreich kontinuierlich zu. Vor einigen Jahrzehnten wurde dieser Prozess genau kontrolliert und hintangehalten, da seitens der Flächenbesitzer kein Interesse an Wald bestand. Die Waldfeststellung erfolgt nach dem Forstgesetz durch die Behörde und ergibt sich aus der angetroffenen Bestockung mit Bäumen. Verwildernde landwirtschaftliche Nutzflächen wurden soweit bewirtschaftet, dass sie nicht den Kriterien der Waldfeststellung unterliegen. Die Konsequenz der Waldfeststellung für den Flächenbesitzer war, dass die Rückführung von Wald in Nichtwald einer behördlichen Genehmigung bedarf und im Ermessen der Behörde unter Zugrundelegung von forstpolitischen Zielen liegt. - Eine Folge des Strukturwandels im ländlichen Raum ist die Zunahme der Waldfläche, da der Verwaltung der nicht-bewirtschafteten landwirtschaftlichen Flächen nicht mehr im gleichen Umfang wie früher entgegen gewirkt wird. Die Zunahme der Waldfläche ist daher eine Konsequenz der weniger intensiven landwirtschaftlichen Nutzung und nicht ein Ergebnis der Forstpolitik. Die häufigste Form der Umwandlung der Flächennutzung aufgrund des Strukturwandels ist Grünland in Wald.

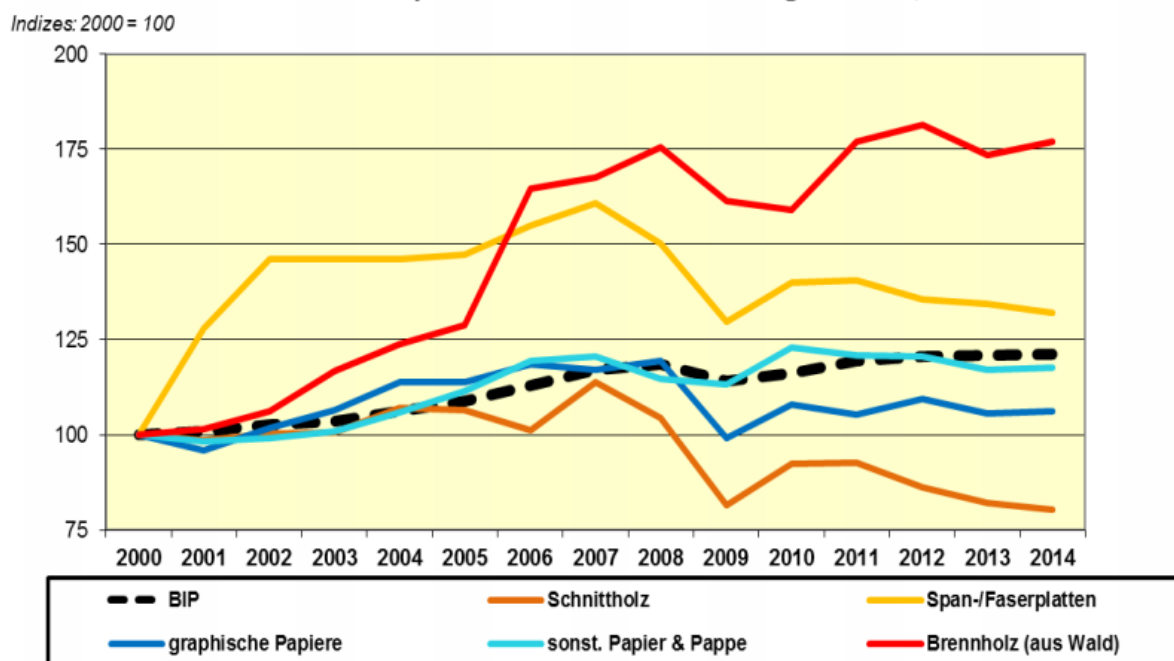
Die versiegelte Fläche nimmt deutlich zu. Landwirtschaftliche Flächen werden umgewidmet, wenn neue Verkehrsflächen oder Siedlungsgebiete entstehen. Aus der Sicht der Ernährungssicherheit ist diese Tendenz langfristig problematisch (vgl. z.B. Strimitzer et al. 2015, Ganglberger & Sturm (2014), Zessner et al. (2011), da ungeachtet der Bodenqualität Fläche versiegelt wird und damit \pm unwiederbringlich aus der Produktionsfähigkeit genommen werden.

Tabelle C-21: Veränderung der Landnutzung für den Zeitraum 2010 bis 2050 (Quelle: Umweltbundesamt 2016)

	Bestand 2010 [ha]	Bestand 2050 [ha]	Veränderung 2010 – 2050 [ha]	Veränderung 2010 – 2050 [%]	mittlere jährliche Veränderung [ha]
Forstflächen	4002000	4168110	166110	4.15%	4153
Ackerflächen	1439800	1260230	-179570	-12.47%	-4489
Grünland	1509270	1324140	-185130	-12.27%	-4628
Feuchtgebiete	146120	176150	30030	20.55%	751
Siedlungsflächen	529190	751210	222020	41.95%	5551
Sonstige Flächen	760620	707170	-53450	-7.03%	-1336

Die österreichischen Wälder erfüllen mehrere Funktionen gleichzeitig. Aus der Sicht des Naturschutzes besteht die Zielsetzung, einen Teil des österreichischen Waldes außer Nutzung zu stellen, um die Biodiversität zu erhöhen und auf diesen Flächen die natürliche Ökosystem-Dynamik zu ermöglichen. Derzeit erscheint diese gesellschaftlich motivierte Forderung nach Flächen erfüllbar. Immerhin ist der Zuwachs des österreichischen Waldes deutlich unter der jährlichen Nutzung. Im Jahr 2011 wurde eine Trendwende in der Waldnutzung festgestellt (Büchsenmister, 2011). Begünstigt durch die hohen Holzpreise wurde das Angebot an Holz erhöht und erstmals seit Jahrzehnten wurde in der Wald-Inventur 2009 festgestellt, dass die großen Betriebe den Zuwachs tatsächlich abschöpfen und die traditionellen Nutzungsdefizite im Klein-Privatwald weiterhin bestehen. Die augenscheinliche Mobilisierung der Holzressourcen wurde auch als Erfolg der Forstpolitik erachtet, die seit vielen Jahren die verstärkte Nutzung von Holz unterstützt. Die hohen Nutzungsraten wurden nach 2009 nicht aufrecht erhalten (Abbildung unten)

Produktion von Holzprodukten und Entwicklung BIP real, 2000-2014



Quellen: WIFO (2015), FAO (2015), e.B.

Abbildung C-13: Produktion von Holzprodukten und Entwicklung BIP real, 2000-2014, Quelle Schwarzbauer, BOKU, Vortrag April 2017 Gmunden

Durch die schwache wirtschaftliche Entwicklung war der Absatz an Schnittholz und Span- und Faserplatten deutlich unter dem langjährigen Durchschnitt. Der deutliche Einbruch bei

graphischen Papieren wird von der Änderung des Konsumentenverhaltens getrieben. Allein beim Brennholz wurde eine deutliche Erhöhung der Produktion festgestellt, die durch Förderungen zur Erreichung der Klimaziele begünstigt werden. Die Holznutzung ist seitdem deutlich unter dem Potential geblieben. Im Jahr 2016 betrug die Holznutzung im österreichischen Wald 16,8 Millionen Erntefestmeter ohne Rinde und liegt damit um 4,5% unter dem Vorjahreswert, um 3,5% unter dem fünfjährigen Durchschnitt und um 8,5% unter dem zehnjährigen Durchschnitt (<https://www.bmlfuw.gv.at/forst/oesterreich-wald/wirtschaftsfaktor/rohstoffholz/Holzeinschlag2016.html>). Aufgrund befürchteter bzw. prognostizierter Borkenkäferkalamitäten agierten die Waldbesitzer zurückhaltend bei der regulären Nutzung. Dass die Schadholz mengen schließlich doch geringer ausfielen, schlug sich auf den Gesamteinschlag nieder. 27% des Einschlages entfielen auf Holz zur energetischen Nutzung (Brennholz und Waldhackgut), der Anteil des Sägerundholzes betrug 54%, jener des Industrierundholzes 19%. Ein Rückgang beim Holz zur energetischen Nutzung (-8%) wurde teilweise durch ein Mehraufkommen beim Industrierundholz (+3%) kompensiert. Diesen Nutzungszahlen liegt ein Zuwachs von jährlich mehr als 30 Millionen Festmeter gegenüber.

Die gesellschaftliche Motivation begünstigt aktuell die Nicht-Nutzung von Wäldern. Für die österreichische Forst- und Holzwirtschaft, aber auch für umweltpolitische Entscheidungsträger sind die Auswirkungen möglicher Nutzungsrestriktionen in Ertragswaldflächen ein wichtiges Thema. Eine Nutzungsrestriktion in Ertragswaldflächen ist generell mit negativen wirtschaftlichen Auswirkungen verbunden. Während Forstwirtschaft und Sägeindustrie wegen des sinkenden Nadelholzangebots stärker von Nutzungseinschränkungen auf durchschnittlichen Ertragswaldflächen betroffen wären, wirken sich Reduktionen auf weniger ertragreichen Flächen vor allem negativ auf die Platten- und Papierindustrie sowie auf die energetische Nutzung aus. Letzteres ist darauf zurückzuführen, dass durch eine Nutzungseinschränkung auf wenig ertragreiche Flächen vor allem das Angebot von Laubholz betroffen ist und drastisch zurückgeht. Durch die stärkere Konkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Nutzung werden die Preise von Faser- und Energieholz in die Höhe getrieben (Schwarzbauer und Braun, 2017).

Die seit vielen Jahren prognostizierte Knappheit des Rohstoffes Holz ist derzeit nicht erkennbar. Die steigende Nachfrage wurde durch die Mehrzuwächse infolge der Erwärmung, dem Stickstoffeintrag, der CO₂-Düngung und verbesserte Bewirtschaftungsmaßnahmen mehr als kompensiert, sodass die Spanne zwischen Zuwachs und Nutzung langfristig gleich geblieben ist. Die Holzkettenstudie (Weiss et al. 2015) hat gezeigt, dass die Nachfrage nach Holz auch unter geänderten Nachfrageprofilen und -mengen wie etwa 'mehr Brennholz' oder 'Erhöhung des Hiebsatzes' langfristig befriedigt werden kann (Braun et al. 2016). Es ist aber klar, dass das Angebot an Holz nicht beliebig steigerbar ist, da das Waldwachstum von fixen Standortfaktoren (Boden, Klima) bestimmt wird. Anders als in der Landwirtschaft sind wachstumssteigernde Düngungen oder Bewässerungen bei der Waldbehandlung nicht rentabel und werden nicht durchgeführt. Als Ergebnis einer 100-jährigen Tradition der Forstwissenschaften sind auch Umtriebszeiten, Bestandesdichten und Baumarten weitgehend optimiert, sodass mit neuen Formen der Bewirtschaftung zwar die Wertleistung, nicht aber die Massenleistung erhöhbar ist. Das heißt, dass das künftige Potential an Waldbiomasse innerhalb gut bekannter Grenzen vorhersagbar ist und dass ein bekannter Spielraum für die Befriedigung einer höheren Nachfrage vorhanden ist.

Der Import von Sägerundholz wird mittelfristig abnehmen. In den vorigen Jahrzehnten wurde in Österreich eine erhebliche Überkapazität der Sägewerke geschaffen. Die Holzmenge, die vom heimischen Holzmarkt nicht aufgebracht werden konnte, wurde aus den Nachbarländern importiert. Dadurch ergab sich eine win-win-Situation. In der Zwischenzeit wurde die Sägekapazität in den östlichen und nordöstlichen Nachbarstaaten aufgebaut, sodass in Zukunft weniger Holz für Importe nach Österreich zur Verfügung steht. Diese Entwicklung ist seit etwa 2000 deutlich erkennbar.

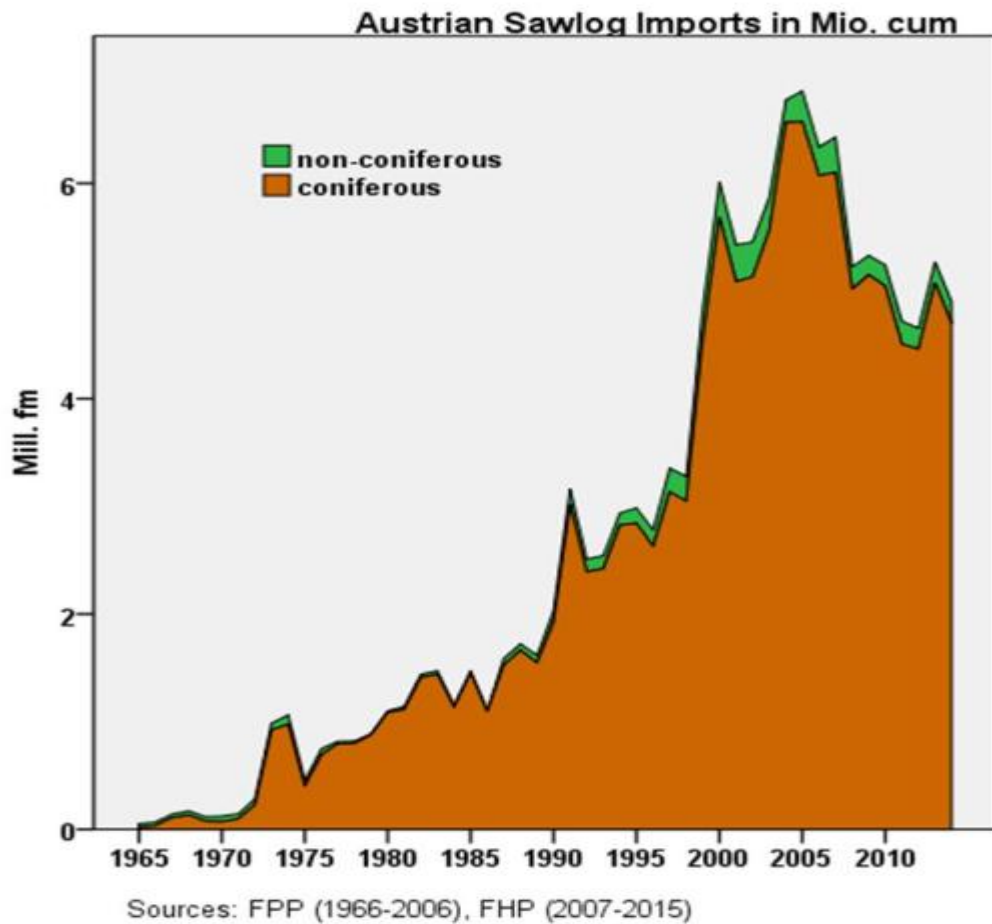


Abbildung C-14: Import an Sägerundholz nach Österreich. Quelle Schwarzbauer, BOKU, Vortrag April 2017 Gmunden

Die Konsequenz ist ein Umsatzrückgang bei der Sägeindustrie und möglicherweise ein verstärkter Eingriff in den Wald, der allerdings bisher nicht stattgefunden hat.

C-7 Synthese

Das Spannungsdreieck Klimawandel, künftige Ertragsverhältnisse und Flächenverfügbarkeit wird durch die das gesamte Bundesgebiet umfassenden Studien, welche die landwirtschaftlichen Flächen (Leidwein et al. (2013), Kirchner et al. (2014), Stürmer et al. (2013), Strauss et al. (2013), Haslmayr et al., unpubl.) bzw. die forstlichen Flächen (Weiss et al. 2015, Mannsberger 2009) behandeln, umrissen.

Die formulierten Szenarien lassen sich ganz grob in solche, die einen „moderaten“ Klimawandel unterstellen, und solche die einen raschen, „starken“ Klimawandel unterstellen, gliedern. Ergebnisse von Strauss et al. (2013) für ein Szenario mit einem starken Dürresignal zeigen regional starke Ertragseinbrüche (2-4 t Biomasse (Trockensubstanz)). Eine logische Schlussfolgerung aus diesen Zahlen wäre, dass unter diesen Voraussetzungen deutlich geringere Mengen oder Flächen für die stofflich-chemische oder energetische Verwertung (aus dem Ackerland) zur Verfügung stünden.

Neben der energetischen Verwertung von Holz und Reststoffen aus der Holzverarbeitenden Industrie ist, Technologie- und Marktreife vorausgesetzt, die Nutzung verholzter Biomasse aus dem Wald für 2G-Fuels oder etwa die Erschließung von Bulkchemikalien aus Holz möglich, da auch bei einem starken Klimasignal, wie es in der Holzkettenstudie unterlegt wurde, ausreichend Biomasse aus dem Wald zur stofflichen und energetischen Verwertung zur Verfügung stünde (Braun et al. 2016, Weiss et al. 2015).

Simulationen mit einem „moderaten“ Klimasignal bezüglich Temperaturanstieg kommen mehrheitlich zum Ergebnis, dass es in Österreich dann zu steigender Biomasseproduktion kommt, wobei es im Ackerland insgesamt zu Produktionseinbußen kommt (Kirchner et al. 2014, Strauss et al. 2013, Szenario mit moderatem Dürresignal; Einbußen bei einzelnen Feldfrüchten bis 15%), im Grünland jedoch zu teilweise erheblichen Produktionsgewinnen.

Die Ergebnisse von Leidwein et al. (2013) für die Szenarien best case sowie most probable case, welches sich an der gegebenen agrarpolitischen Diskussion orientiert (weitere Extensivierung, Nachfrage nach Bioenergie steigt nur mäßig) weichen davon ab: Aufgrund des Klimasignals kommt es auch auf Ackerland zu erhöhter Produktion, die durch die Effekte des technischen Fortschritts (z.B. in der Pflanzenzüchtung) und einer Intensivierung der Landwirtschaft (keine Bioflächen, best case) noch verstärkt wird. Dabei wird unterstellt, dass 10 bzw. 12 % der jeweils feldfruchtspezifischen Fläche zur Produktion von Bioenergie genutzt werden. Dabei kommt es im best case-Szenario sowohl in den Bezugsjahren 2030 als auch 2050 zu einem erheblich geringeren virtuellen Flächenbedarf, im most probable Szenario 2030 zu einer virtuellen geringfügigen Steigerung, 2050 aber zu einer Verminderung des Flächenbedarfs.

Im worst case Szenario werden die durch den Klimawandel eingetretenen Produktionsgewinne durch eine vollkommene Extensivierung (Ertragsniveau im Schnitt rund -30%) aufgrund der österreichischen Agrarpolitik, Versorgungsproblemen bei Phosphatdüngern (Importe fallen weg) und Eiweißfuttermitteln, sowie aufgrund hoher Energiepreise stark steigenden Nachfrage nach Bioenergie (40% der entsprechenden Fläche) mehr als wettgemacht und führen zu einem virtuell stark erhöhten Flächenbedarf von mehr als einer Million ha in den Bezugsjahren 2030 und 2050 und entsprechend niedrigem Selbstversorgungsgrad an Ackerfrüchten führt.

Die Szenarien Pro und Pro Energy, die in Kirchner et al. (2014) formuliert wurden, und sowohl die Beendigung von Agrarumweltzahlungen als auch Zahlungen für benachteiligte Gebiete umfassen bzw. zusätzlich eine Erhöhung der Biomasseproduktion infolge hoher Ölpreise beinhalten, zeigen eine ähnliche Entwicklung wie das worst case Szenario in abgeschwächter Form: Abhängig von der unterstellten Niederschlagsveränderung werden in marginalen Gebieten der Alpen zwischen 184.000 und 274.000 ha (Szenario Pro) bzw. zwischen 376.000 und 429.000 ha (Pro Energy, dazu treten hier noch zwischen 177.000 und 219.000

ha Kurzumtriebsplantagen) aufgeforstet, da es, wie oben erwähnt zu starken Produktionsgewinnen im Grünland kommt.

Allerdings dürfte dann unter Berücksichtigung der Biomasse; die entlang der Holzkette zur energetischen Verwertung und aus Reststoffen anfällt, das in diesen 3 Szenarien vorliegende Biomassepotential über den Mengen an Energie aus Biomasse liegen, welche in den vom Umweltbundesamt formulierten energiepolitischen Szenarien WEM, WAMPlus und erneuerbare Energie benötigt werden (vgl. Krutzler et al. (2016)). Bemerkenswert ist, dass in diesen Szenarien der Höhepunkt der benötigten Energie aus Biomasse im Jahr 2030 liegt, und im Jahr 2050 bereits niedriger ist, da unterstellt wird, dass das formulierte Maßnahmenpaket zur effizienteren Nutzung von Energie greift. Auch in den energiepolitischen Szenarien wird von einer Erhöhung des Ölpreises und wachsender Bevölkerung ausgegangen.

Im Szenario Bau (Kirchner et al. 2015) kommt es, wie erwähnt, bei einem „moderaten“ Klimasignal im Ackerland zu Ertragseinbrüchen, die auch im Falle fallender Jahresniederschläge ca. 8 % nicht übersteigen, während es im Grünland zu Ertragssteigerungen kommt. Vergleichbare Aussagen treffen auch Mitter et al. (2014). Im Falle des Szenarios Bal(anced Pathway), Kirchner et al. (2015) könnten die Einbußen aufgrund der größeren Flächen mit ökologischem Vorrang und einer Nutzungsextensivierung höher sein, doch geben die Autoren für das Ackerland keine konkreten Ergebnisse an.

Allen diesen Szenarien sowie dem Szenario mit gemäßigttem Dürresignal von Strauss et al. (2013) gemeinsam ist, dass die höchsten Ertragseinbrüche den sommerwarmen Osten betreffen. Sowohl in Lexer et al. (2014) als auch in Strauss et al. (2013) charakterisiert ein Jahresniederschlag von 800-850 mm i.a. Standorte, auf denen bereits eine geringe Steigerung der Trockenheit ausreicht um signifikante Produktionseinbrüche zu bewirken

Es erscheint schlüssig anzunehmen, dass im Eintretensfall dieser Szenarien die Flächenkonkurrenz zwischen den einzelnen Nutzungen steigt, wenn die Mindermengen nicht durch Importe abgepuffert würden. Diese Einflussgröße findet jedoch nur in den Untersuchungen von Leidwein et al. (2013) und Stürmer et al. (2016) in den Szenarioformulierungen.

Es erscheint daher nur stringent, wenn sowohl Potentialanalysen zur stofflich-chemischen Nutzung (Ganglberger & Sturm, 2014; Strimitzer et al. 2015;) als auch zur energetischen Nutzung (z.B. BMLFUW 2008, ÖBV 2015, Streicher et al. 2010) dieselben Flächen, nämlich nicht genutzte landwirtschaftliche Fläche/nicht genutztes Grünland oder durch den Abbau von produzierten Lebensmittelüberschüssen (Rindfleisch, Milch) frei werdende Flächen, ins Auge fassen, potentiell auftretende Konkurrenzsituationen aber nur im Einzelfall ansprechen.

Betrachtet man den gesamten landwirtschaftlichen Sektor, kommen Untersuchungen, die auf einem ernährungswissenschaftlichen Ansatz basieren (Zessner et al. 2011) jedoch zu dem Schluss, dass bei den aktuellen Ernährungsgewohnheiten eine theoretischen Selbstversorgung des Konsums an Lebensmitteln aus naturräumlichen Gründen nicht möglich wäre, der Export virtueller Grünlandflächen dies jedoch kompensieren kann.

C-7.1 Handlungsoptionen und Gegenstrategien

Die Debatte über die Flächenverfügbarkeit für Energiepflanzen wird –auch -emotional geführt. Das Spannungsfeld food, fuel, fiber wird – auch - weltanschaulich und emotional diskutiert. Dabei verbieten ethische Gründe die Nutzung von Agrarflächen für Nicht-Nahrungsmittel wie etwa Energieträger, solange die (Welt)ernährung nicht gesichert ist. Diese Überlegungen spielen bei der tatsächlichen Bewirtschaftung von Boden eine untergeordnete Rolle, während die Markt- und Fördersituation für Agrarprodukte das Verhalten der Produzenten leiten (vgl. Stürmer et al. (2013)). Die Simulationen dieser Autoren zeigen aber auch, dass ein explizites Ziel der aktuellen Politik zu erneuerbaren Energien die Abhängigkeit von importierter fossiler Energie zu verringern, nicht erreicht werden kann, ohne die Nahrungs- und Futtermittelproduktion massiv zu beeinträchtigen oder Nahrungs- und Futtermittel oder die Rohstoffe für Biodiesel zu importieren. Eine erhöhte Produktion von Biomasse zur

energetischen Verwertung ohne Anstieg von Importen kann nach Stürmer et al. (2013) nicht erreicht werden. In ähnliche Richtung weisen die Ergebnisse von Kirchner et al. (2015), Szenario Pro. Hier wird durch die Verringerung von agrarischen Förderungen die Biomasseproduktion stark erhöht, doch wird dies mit einem Anstieg der THG-Emissionen aus der Landwirtschaft, einer Verschlechterung ökologischer Indikatorwerte und einer abnehmenden Produzentenrente erkauft.

Zur effizienten Verwendung begrenzter landwirtschaftlicher Flächen im Zuge verstärkter stofflich-chemischer und energetischer Nutzung wird eine mehrfache, kaskadische Nutzung durch integrierte Konzepte für die energetische und stoffliche Nutzung von Biomasse (u. a. Bioraffinerien) sowie Reststoffnutzung empfohlen. Rohstoffe der Forstwirtschaft (keine Nutzungskonkurrenz zur Lebensmittelproduktion) könnten vermehrt genutzt werden. „Externe“, gesellschaftliche Effekte auf den Flächenbedarf wie die Versiegelung (Flächeninanspruchnahme) oder der Verlust durch Lebensmittelabfälle müssen minimiert werden (Strimitzer et al. 2015, Leidwein et al. 2013). Weitere Optionen sind die Nutzung des technischen Fortschritts (z.B. in Sortenzüchtung, Biotechnologie, Fortschritte in der Tierzucht, Leidwein et al. (2013), die Optimierung des Flächenertrags im Rahmen einer nachhaltigen Nutzung, die Entwicklung von Technologien und Verfahren zur stofflichen und energetischen Nutzung von biogenen Rohstoffen, Konzepte zu grünen Bioraffinerien (Grünlanderhaltung; Ganglberger & Sturm (2014)), die Begrenzung von Verlusten in Produktion und Aufarbeitung (z.B. Kartoffel 6 %, Ganglberger & Sturm (2014)).

Viele dieser Optionen sind in das Maßnahmenpaket des Ressourceneffizienzplans eingeflossen bzw. werden im Bericht zur Ressourcennutzung in Österreich (BMLFUW 2016) reflektiert.

Die mögliche Flächeneinsparung durch die Umstellung der Ernährungsgewohnheiten auf eine empfohlene ausgewogene Ernährung würde den Flächenbedarf zur Bereitstellung der Ernährung bei gleichbleibender Intensität der landwirtschaftlichen Produktion um 30 % reduzieren (Zessner et al. 2011); dies wird auch in Haslmayr et al. unpubl., Ganglberger & Sturm (2014) und Strimitzer et al. (2015) aufgegriffen.

C-7.2 Forschungsbedarf, Wissenslücken und Aufriss möglicher Forschungsfelder

Die behandelten Studien sind weitgehend sektoral (z.B. Forstwirtschaft) und/oder thematisch (z.B. Ernährungssicherheit) gebunden und erschweren oder verunmöglichen die Zusammenschau schon aus methodischen Gründen (unterschiedliche Zeithorizonte, Systemgrenzen, Verwendung unterschiedliche Klimamodelle und –änderungsszenarien, unterschiedliche Bezugsgrößen). Eine Verbreiterung bzw. Vereinheitlichung der Ansätze könnte aus der Sicht der Autoren wertvolle zusätzliche Aufschlüsse bieten.

Z.B. Thaler et al. (2012) weisen in ihren Untersuchungen zu klimabedingten Produktivitätsveränderungen von Winterweizen darauf hin, dass Freiluftexperimente ein wesentlich komplexeres Bild des CO₂-Düngungseffektes zeigen, als dieser in Modellen abgebildet ist. Sie publizieren daher Ertragszahlen mit und ohne CO₂-Düngungseffekt, um diese Prognoseunsicherheit auszudrücken. Ein mögliches Forschungsfeld wäre daher eine Intensivierung der (Freiluft)experimente zum CO₂-Düngungseffekt unter verschiedenen Umweltbedingungen;

Weiters fehlen weitgehend Untersuchungen zur Fehlerfortpflanzung und den Unsicherheiten bei der prognostischen Modellierung, insbesondere bei komplexen, modularen Modellen oder der Koppelung von Modellen. Integration von Wahrscheinlichkeiten „singulärer“ Schädereignisse (Störungen) in Prognosemodelle (Dürreperioden, Spätfrost!!!, Starkniederschläge, Stürme, Krankheitsausbrüche ...)

Klimabedingte Veränderungen von Produktqualitäten (z.B. geringerer Ölgehalt von Raps) werden zwar thematisiert, sind nur punktuell erforscht und kaum quantifiziert. Sie werden allerdings von anderen Einflussgrößen oft (z.B. Standort, Sortenwahl) überlagert (z.B. Schmidt et al. 2014), es wäre anhand der Anforderungen z.B. der biobasierten Industrie konkret zu überprüfen, ob ein entscheidender Einfluss tatsächlich gegeben ist.

Weitere mögliche Forschungsfragen betreffen die etwa die ökonomische oder ökologische Optimierung von Fruchtfolgen im Klimawandel.

C-8 Literaturverzeichnis

Agrana (2017). Information zur Bioethanolerzeugung in Österreich: www.agrana.com (abgefragt am 30.04.2017).

APCC (2014). Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich, 1096 Seiten. ISBN 978-3-7001-7699-2.

Audsley, E., Pearn, K.R., Simota, C., Cojocar, G., Koutsidou, E., Rounsevell, M.D.A., Trnka, M., Alexandrov, V., 2006. What can scenario modelling tell us about future European scale agricultural land use, and what not? *Environ. Sci. Pol.* 9, 148–162.

Bader, M.K.-F., Leuzinger, S., Keel, S.G., Siegwolf, R.T.W., Hagedorn, F., Schleppei, P., Körner, C., 2013. Central European hardwood trees in a high-CO₂ future: synthesis of an 8-year forest canopy CO₂ enrichment project. *J Ecol* 101, 1509–1519.

Beck, W., 2010. Auswirkungen von Trockenheit und Hitze auf den Waldzustand in Deutschland – waldwachstumskundliche Ergebnisse der Studie im Auftrag des BMEL (Jahrestagung 2010). DVFFA - Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Sektion Ertragskunde. Jahrestagung 2010.

BMLFUW (2008). Erneuerbare Energie 2020. Potentiale in Österreich. Schlussfolgerungen der Task Force „Erneuerbare Energie“, Wien, 39 S.

BMLFUW (2012). Grüner Bericht 2012. Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft, Wien, 336 S.

BMLFUW (2015). Holzströme in Österreich. Rohstoff Holz Lebensgrundlage Erneuerbare Energie, Wien 2 S.

BMLFUW (2016). Erneuerbare Energie in Zahlen 2016. Entwicklung in Österreich Datenbasis 2015, Wien, 43 S.

BMLFUW (2016). Grüner Bericht 2016. Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft, Wien, 262 S.

BMLFUW o.J. Biokraftstoffe. Zahlen und Fakten,

bmvit und Klima- und Energiefonds (2015 Hrg.). *energy innovation austria* 3/2015, 8 S.

Braun, M., Fritz, D., Braschel, N., Büchsenmeister, R., Freudenschuss, A., Gschwantner, T., Jandl, R., Ledermann, T., Neumann, M., Pölz, W., Schadauer, K., Schmid, C., Schwarzbauer, P., Stern, T. & Weiss, P. A Holistic Assessment of Green House Gas Dynamics from Forests to the Effects of Wood Products Use in Austria. *Carbon Management*, 2016

Büchsenmeister, R. 2011. Waldinventur 2007/09. Betriebe und Bundesforste nutzen mehr als den Zuwachs. *BFW-Praxisinformation* 24, 6-9

Bundesanstalt für Agrarwirtschaft (2017). Verteilung der Kulturarten im Zeitvergleich, <http://www.agraroekonomik.at/index.php?id=780>.

Bundesanstalt für Agrarwirtschaft (2017). Zusammensetzung der landwirtschaftlich genutzten Fläche <http://www.agraroekonomik.at/index.php?id=780>.

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (Hrsg.) (2016). Ressourcennutzung in Österreich – Bericht 2015, Wien, 87 S.

Calanca, P. (2007) Climate change and drought occurrence in the Alpine region: How severe are becoming the extremes? *Global and Planetary Change*, Volume 57, Issue 1-2, p. 151-160.

Christian, Re.; Feichtiger, R.; Christian Ru. et al. (2011). *Zukunftsfähige Energieversorgung für Österreich*. BMVIT, Wien.

EEÖ – Erneuerbare Energie Österreich (2015). Energiewende 2013- 2030 – 2050.

Eitzinger, J., H. Haberl, B. Amon, B. Blamauer, F. Essl, V. Gaube, H. Habersack, R. Jandl, A. Klik, M. Lexer, W. Rauch, U. Tappeiner und S. Zechmeister-Boltenstern, (2014). Land- und Forstwirtschaft, Wasser, Ökosysteme und Biodiversität. In: Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich, S. 771–856.

Eitzinger, J., Kubu, G., Thaler, S., Alexandrov, V., Utset, A., Mihailovic, DT., Lalic, B., Trnka, M., Zalud, Z., Semerádová, D., Ventrella, D., Anastasiou, DP., Medany, M., Attaher, S., Olejnik, J., Lesny, J., Nemeshko, N., Nikolaev, M., Simota, C., Cojocar, G. (2009). Final report, including recommendations on adaptation measures considering regional aspects. Final scientific report of the ADAGIO Project: “Adaptation of agriculture in European regions at environmental risk under climate change”, Specific Support Action, FP6-2005-SSP-5-A, Proj.No.044210, Sixth Framework Programme (European Commission). Ed.: Institute of Meteorology, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna (BOKU), 450p. (online) – www.adagio-eu.org

Eitzinger, J., Stastna, M., Zalud, Z. & Dubrovský, M. (2003). A simulation study of the effect of soil water balance and water stress on winter wheat production under different climate change scenarios. *Agricultural Water Management* 61, 195–217.

Eitzinger, J., Trnka, M., Semerádová, D., Thaler, S., Svobodová, E., Hlavinka, P., Siska, B., Takáč, J., Malatinská, L., Nováková, M., Dubrovský, M., Zalud, Z., 2013. Regional climate change impacts on agricultural crop production in Central and Eastern Europe – hotspots, regional differences and common trends. *The Journal of Agricultural Science* 787–812.

EUROSTAT (2008). Brachflächen in Österreich für die Jahre 2002- 2006, Datenbankabfrage 2008 in: Streicher, W.; Schnitzer, H.; Titz, M. et al.: Energieautarkie für Österreich 2050.

Exner, A., 2011. Save our surface (No. 57/2011), Sustainable Austria.

Fangmeier, A., De Temmerman, L., Black, C., Persson, K., Vorne, V. (2002). Effects of elevated CO₂ and/or ozone on nutrient concentrations and nutrient uptake of potatoes. *Eur. J. Agron.* 17, 353-368.

Fazeni, K. & Steinmüller H. (2011) Energiebilanzen der österreichischen Landwirtschaft unter Berücksichtigung von Ernährungsgewohnheiten, ÖWAW, Heft 5-6/2011.

Fuhrer, J., (2003). Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 97, 1–20.

Fuhrer, J., (2007). Sustainability of Crop Production Systems under Climate Change., in: Newton, P.C.D., Carran, R.A., Edwards, G.R., Niklaus, P.A. (Eds.), *Agroecosystems in a Changing Climate*. CRC Press, Florida, USA.

Ganglberger, E., & T. Sturm. (2014). FTI- Strategie für die biobasierte Industrie in Österreich. Rep. 38/2014. BMVIT, Wien.

Gerstengarbe, F.-W., Badeck, F., Hattermann, F., Krysanova, V., Lahmer, W., Lasch, P., Stock, M., Suckow, F., Wechsung, F., Werner, P.C. (2003). Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven, PIK-Report Nr. 83.

Hanewinkel, M.; Cullmann, D. A.; Schelhaas, M.-J.; Nabuurs, G.-J.& Zimmermann, N. E. (2012). Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change*, 3, 203-207

Haslmayr H.P., Baumgarten A., Schwarz M., Huber S., Prokop G., Sedy K., Krammer ., Murrer E., Pock H., Rodlauer Ch., Schaumberger A., Nadeem I., Formayer H. (unpubl.). BEAT – Bodenbedarf für die Ernährungssicherung in Österreich. Unveröffentlichter Projektendbericht, Dez. 2016.

Hinterholzer, J., (2004). Auswirkungen der Erderwärmung auf die Maisreife. ALVA-Jahrestagung „Klimawandel – Auswirkungen auf Umwelt und Agrarproduktion“. Arbeitsgemeinschaft Landwirtschaftlicher Versuchsanstalten (ALVA), Österr. Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES).

IPCC (2012). Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 1-19.

Jandl, R.; Gschwantner, T. & Zimmermann, N. (2012). Die künftige Verbreitung der Baumarten im Simulationsmodell. BFW-Praxisinformation, 30, 9-12

Jones, P.D., Lister, D. h., Jaggard, K.W., Pidgeon, J.D., (2003). Future climate impact on the productivity of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Europe. *Climatic Change* 58, 93–108.

Kapeller, S.; Lexer, M. J.; Geburek, T.; Hiebl, J. & Schueler, S. (2012). Intraspecific variation in climate response of Norway spruce in the eastern Alpine range: Selecting appropriate provenances for future climate. *Forest Ecology and Management*, 271, 46-57

Kersebaum, K.C., Eitzinger, J., (2009). Grundlegende Wirkungsmechanismen im System Boden-Pflanze-Tier-Atmosphäre, in: Eitzinger, J., Kersebaum, K.C., Formayer, H. (Eds.), *Landwirtschaft Im Klimawandel: Auswirkungen Und Anpassungsstrategien Für Die Land- Und Forstwirtschaft in Mitteleuropa*. Agrimedia, Clenze, Deutschland.

Kersebaum, K.C., Nendel, C., Mirschel, W., Manderscheid, R., H. J. Weigel, Wenkel, K.O., (2009). Testing different CO₂ response algorithms against a face crop rotation experiment and application for climate change impact assessment at different sites in Germany. *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service (Időjárás)* 113, 79–88.

Kienast, F., Wildi, O., Brzeziecki, B., (1998). Potential impacts of climatechange on species richness in mountain forests—An ecologicalrisk assessment. *Biological Conservation* 83, 291–305.

M. Kirchner, J. Schmidt, G. Kindermann, V. Kulmer, H. Mitter, F. Pretenthaler, J. Rüdiger, Th. Schauppenlehner, M. Schönhart, F. Strauss, U. Tappeiner, E. Tasser, E. Schmid, (2015). Ecosystem services and economic development in Austrian agricultural landscapes — The impact of policy and climate change scenarios on trade-offs and synergies, In *Ecological Economics*, 109, 161-174.

Klima- und Energiefonds (2014). *Berichte zur Klimafolgenforschung*. Landwirtschaft, Wien 54 S.

klimaaktiv energieholz, Österreichische Energieagentur, FHP Kooperationsplattform Forst Holz Papier (2016). - Energetische Verwertung. 2S.

Kromp-Kolb H., Formayer H., Eitzinger J., Thaler S., Kubu G, Rischbeck P. (2007). Potentielle Auswirkungen und Anpassungsmaßnahmen der Landwirtschaft an den Klimawandel im Nordosten Österreichs(Weinviertel-Marchfeld Region). In: Formayer Herbert (Koordination) 2007: *Auswirkungen des Klimawandels in Niederösterreich*, 336 S.

Krupa, S.V., Jäger, H.-J. (1996). Adverse effects of elevated levels of ultraviolet (UV)-B radiation and ozone (O₃) on crop growth and productivity. In: *Global climate change and agricultural production. Direct and indirect effects of changing hydrological, pedological and plant processes*. FAO.

Krutzler Th., Wiesenberger H., Heller Ch. Gössl M. Stranner G. Storch A. Heinfellner H. Winter R. Kellner M. Schindler I. (2016) *Szenario erneuerbare Energie 2030 und 2050*. Umweltbundesamt Report 576, Wien, 28 S.

- Lehmann, N., Briner, S., Finger, R., (2013). The impact of climate and price risks on agricultural land use and crop management decisions. *Land Use Policy* 35, 119–130.
- Leidwein, A., Kolar, V., Mechtler, K., Baumgarten, A., Berthold, H., Strauss, G., Steinwider, J., Krachler, M.M., Weigl, M., Eitzinger, J., Formayer, H., Schlatzer, M., Rohrer, G., Längauer, M., Steinhäusler, F., Pichelstorfer, L., Vas, J., Teixeira, A., Tribl, C., Hambrusch, J., Ortner, K. (2013): Food security risks for Austria caused by climate change. Wien, 313 S.
- Lexer M.J., Jandl R, Nabernegg S, Bednar-Friedl B.(2015). Forestry, Chapter 9 in: Steining-er KW, u. a. (Hg.), *Economic Evaluation of Climate Change Impacts: Development of a Cross-Sectoral Framework and Results for Austria*. Vienna, Springer.
- Lexer, M.J., Hönninger, K., Scheifinger, H., Matulla, C., Groll, N., Kromp-Kolb, H., Schadauer, K., Starlinger, F., Englisch, M., (2002). The sensitivity of Austrian forests to scenarios of climatic change: a large-scale risk assessment based on a modified gap model and forest inventory data. *Forest Ecology and Management, National and Regional Climate Change Impact Assessments in the Forestry Sector* 162, 53–72.
- Lexer, M.J., W. Rabitsch, G. Grabherr, M. Dokulil, S. Dullinger, J. Eitzinger, M. Englisch, F. Essl, G. Gollmann, M. Gottfried, W. Graf, G. Hoch, R. Jandl, A. Kahrer, M. Kainz, T. Kirisits, S. Netherer, H. Pauli, E. Rott, C. Schleper, A. Schmidt-Kloiber, S. Schmutz, A. Schopf, R. Seidl, W. Vogl, H. Winkler, H. Zechmeister, (2014). Der Einfluss des Klimawandels auf die Biosphäre und Ökosystemleistungen. In: *Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14)*. Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich, S. 467–556.
- Lexer M. J., Jandl R., Nabernegg St., Bednar-Friedl B., Themeßl M., Wolf A., Kriechbaum M., Pech M. (2015). Auswirkungen des Klimawandels auf die Holzproduktion in Österreich. *CCCA Factsheet #11*, www.ccca.ac.at
- Lotze-Campen H., Claussen L., Dosch A., Noleppa S., Rock J., Schuler J. & G. Uckert (2009). *Klimawandel und Kulturlandschaft Berlin PIK Report* 113
- Mannsberger, G. (2009). HOBI-Studie: Zusammenschau und Schlussfolgerungen. *BFW-Praxisinformation* 18, 20–21.
- Marini, L., Ayres, M.P., Battisti, A., Faccoli, M., (2012). Climate affects severity and altitudinal distribution of outbreaks in an eruptive bark beetle. *Climatic Change* 115, 327–341.
- Metzger, M.J., Rounsevell, M.D.A., Acosta-Michlik, L., Leemans, R., Schröter, D., (2006). The vulnerability of ecosystem services to land-use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114, 69–85.
- Mitter H, Schönhart M, Meyer I, Mechtler K, Schmid E, Sinabell F, Bachner G, Bednar-Friedl B. (2015). Agriculture, Chapter 8 in: Steining-er K, u. a. (Hg.), *Economic Evaluation of Climate Change Impacts: Development of a Cross-Sectoral Framework and Results for Austria*. Vienna, Springer.
- Niklaus, P.S. (2007). Climate Change Effects on Biogeochemical Cycles, Nutrients, and Water Supply. In: Newton, P.C.D., et al. (Hrsg.): *Agroecosystems in a Changing Climate*. CRC Press, Florida, S. 11-52.
- Österreichischer Biomasse-Verband (2015). *Bioenergie 2030*, Wien, 67 S.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Trnka, M., Olesen, J.E., Calanca, P., Eckersten, H., Eitzinger, J., Gobin, A., Kersebaum, K.C., Kozyra, J., Kumar, S., Marta, A.D., Micale, F., Schap, B., Seguin, B., Skjelvag, A.O., Orlandini, S., (2010). Coincidence of variation in yield and climate in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 139, 483–489.
- Profft, I. (2005). Klimawandel und dessen Folgen für den Wald. Eine aktuelle Literaturstudie. http://www.waldundklima.net/klima/wald_klima_01t1.php

Ressourceneffizienz Aktionsplan (REAP) (2012). Wegweiser zur Schonung natürlicher Ressourcen. Wien.

Schaller, M., Weigel, H.-J., (2007). Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung (Sonderheft No. 316). Landbauforschung Völkenrode - FAL Agricultural Research, Braunschweig, Deutschland.

Schaumberger, J., Buchgraber, K., Schaumberger, A., (2011). Teilbericht 5b: Landwirtschaftliche Flächennutzungspotenziale in Österreich und Simulation von Produktionsszenarien bis 2050. Arbeitspaket 3: Flächennutzungspotenziale und -szenarien (Studie „Save our Surface“ im Auftrag des Österreichischen Klima- und Energiefonds). LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irdning.

Schmid J., Koenzen E., Fangmeier A., Högy P. (2010). Dem Klimawandel auf der Spur mit Schnelltests - Ertragsqualitäten der Zukunft

Schönhart, M., Mitter, H., Schmid, E., Heinrich, G., Gobiet, A., (2014). Integrated analysis of climate change impacts and adaptation measures in Austrian agriculture. *Ger. J. Agric. Econ.* 63, 156–176.

Schwarzbauer, P. & Braun, M. (2017). Auswirkungen von Nutzungsrestriktionen auf die Wertschöpfungskette Holz – Beispiel Österreich. *Schweizer Zeitschrift für Forstwesen*, 168, 41-48

Seidl, R., Rammer, W., Jäger, D., Lexer, M.J., (2008). Impact of bark beetle (*Ips typographus* L.) disturbance on timber production and carbon sequestration in different management strategies under climate change. *Forest Ecology and Management* 256, 209–220.

Seidl, R., Rammer, W., Lexer, M.J., (2011). Climate change vulnerability of sustainable forest management in the Eastern Alps. *Climatic Change* 106, 225–254.

Seidl, R., Schelhaas, M.-J., Lindner, M., Lexer, M.J., (2009). Modelling bark beetle disturbances in a large scale forest scenario model to assess climate change impacts and evaluate adaptive management strategies. *Reg Environ Change* 9, 101–119.

Seidl, R.; Schelhaas, M.-J.& Lexer, M. J. (2011). Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe. *Global Change Biology*, 17, 2842-2852

Sinabell F. (2016). Österreich 2025. Perspektiven für Österreichs Landwirtschaft bis 2025. Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung im Auftrag der Landwirtschaftskammer Österreich, Wien, 76 S.

Sinabell, F., Schönhart M., Schmid, E. (2015). Austrian Agriculture 2010-2050. Quantitative Effects of Climate Change Mitigation Measures. An analysis of the scenarios WEM, WAM, WAM+ and a sensitivity analysis of scenario WEM. Studie des Österreichischen Instituts für Wirtschaftsforschung im Auftrag des Umweltbundesamts. Eigenverlag, Wien.

Soja A.-M. & Soja G. (2003). Dokumentation von Auswirkungen extremer Wetterereignisse auf die landwirtschaftliche Produktion. Endbericht des Teilprojekts von StartClim "Startprojekt Klimaschutz: Erste Analysen extremer Wetterereignisse und ihrer Auswirkungen in Österreich", Wien, 106 S.

Statistik Austria (2014). Agrarstrukturerhebung 2013 – Betriebsstruktur. Wien, 190 S.

Statistik Austria (2016). http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/preise_bilanzen/versorgungsbilanzen/index.html

Strasser, C., Ehrig, R. und Wörgetter, M. (2009). Bestandserhebung zur stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Österreich. Studie im Auftrag des Programms klima:aktiv nawaro markt im Auftrag der Österreichischen Energieagentur. Endbericht der BIOENERGY 2020+ GmbH, Wieselburg, 2009.

- Strasser, C., Griesmayr, S. und Wörgetter, M. (2006). Studie zur Treibhausgasrelevanz der stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen. Endbericht der Austrian Bio Energy Centre GmbH, Wieselburg, 2006.
- Strauss, F., Moltchanova, E., Schmid, E., (2013). Spatially explicit modeling of long-term drought impacts on crop production in Austria. *Am. J. Clim. Chang.* 02, 1–11.
- Strauss, F., Schmid, E., Moltchanova, E., Formayer, H., Wang, X., (2012). Modeling climate change and biophysical impacts of crop production in the Austrian Marchfeld Region. *Climatic Change* 111, 641–664.
- Streicher, W.; Schnitzer, H.; Titz, M. et al. (2010). Energieautarkie für Österreich 2050. Endbericht an den Klima und Energiefonds. 123 S. + XIV.
- Strimitzer L., Höher M., Kalt G., Bruckner A., Schmidl. J. (2015). Aktionsplan zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Auf dem Weg zur ressourcenschonenden und biobasierten Wirtschaft. Wien, 91 S. .
- Stürmer, B., Schmidt, J., Schmid, E., Sinabell, F. (2013). Implications of agricultural bioenergy crop production in a land constrained economy – The example of Austria Land Use Policy 30 (2013) 570– 581.
- Thaler, S., Eitzinger, J., Trnka, M., Dubrovsky, M., (2012). Impacts of climate change and alternative adaptation options on winter wheat yield and water productivity in a dry climate in Central Europe. *The Journal of Agricultural Science* 150, 537–555.
- Theurillat, J.-P., Guisan, A., (2001). Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: a review. *Climatic change* 50, 77–109.
- Thom, D.; Seidl, R.; Steyrer, G.; Krehan, H. & Formayer, H. (2013). Slow and fast drivers of the natural disturbance regime in Central European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* , 307, 293 - 302
- Tomiczek, C., Cech, T.L., Fürst, A., Hoyer-Tomiczek, U., Krehan, H., Perny, B., Steyrer, G., (2011). Waldschutzsituation 2010 in Österreich. *Forstschutz Aktuell* 52, 3–9.
- Trnka, M; Olesen, JE; Kersebaum, KC; Rotter, RP; Brazdil, R; Eitzinger, J; Jansen, S; Skjelvag, AO; Peltonen-Sainio, P; Hlavinka, P; Balek, J; Eckersten, H; Gobin, A; Vuceti, V; Dalla Marta, A; Orlandini, S; Alexandrov, V; Semeradova, D; Stepanek, P; Svobodova, E; Rajdl, K (2016). Changing regional weather-crop yield relationships across Europe between 1901 and 2012. *CLIM RES.*; 70(2-3): 195-214.
- Umweltbundesamt (2015a). Krutzler, T.; Kellner, M.; Gallauner, T. et al.: Szenarien im Hinblick auf Klimaziele 2030 und 2050. Reports, Bd. REP-0534. Umweltbundesamt, Wien.
- Umweltbundesamt (2015b). Zechmeister, A.; Anderl, M.; Gössl, M. et al.: GHG Projections- and Assessment of Policies and Measures in Austria. Reports, Bd. REP-0527.
- Umweltbundesamt (2015c). Krutzler, T.; Kellner, M.; Heller, C. et al.: Industrieszenarien 2050. Reports, Bd. REP-0531. Umweltbundesamt, Wien.
- Umweltbundesamt (2015d). Krutzler, T.; Kellner, M.; Gallauner, T. et al.: Szenarien im Hinblick auf Klimaziele 2030 und 2050: Szenario WAM plus. Reports, Bd. REP-0535. Umweltbundesamt, Wien.
- Umweltbundesamt (2016). GHG projections of land use, land use change and forestry for non-forest land in Austria. http://cdr.eionet.europa.eu/at/eu/mmr/art04-13-14_lcds_pams_projections/envvqnfkg/MMR_Projections_LULUCF_28-01-2016.pdf, Umweltbundesamt, Wien.
- Weiss, P.; Braschel, N.; Braun, M.; Büchsenmeister, R.; Freudenschuss, A.; Fritz, D.; Gschwantner, T.; Jandl, R.; Ledermann, T.; Neumann, M.; Pölz, W.; Schadauer, K.; Schmid, C.; Schwarzbauer, P. & Stern, T. (2015). Treibhausgasbilanz der österreichischen Holzkette: Zusammenfassung der Ergebnisse aus drei KLIEN-Projekten. *BFW PraxisInfo*, , 38, 16-19

Zessner M., Helmich K., Thaler S., Weigl M., Wagner K.H., Haider T., Mayer M.M., Heigl S. (2011). Ernährung und Flächennutzung in Österreich, ÖWAW, Heft 5-6/2011.