



UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR WIEN

# Masterarbeit

## **Biomasseinsatz und Landnutzungsänderung in Österreich - Eine Ex-Post-Evaluation von Szenarien für 2020**

verfasst von

**Manuel PFITZNER, BSc**

im Rahmen des Masterstudiums

**Stoffliche und Energetische Nutzung nachwachsender  
Rohstoffe**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Diplom-Ingenieur**

Wien, August 2022

Betreut von:

Ao.Univ.Prof. Mag. Dr. Helmut Haberl

Institut für Soziale Ökologie

Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften

## Inhaltsverzeichnis

1) Einleitung.....	1
2) Methode.....	7
2.1) Erläuterung Modell und Szenarien des Projekts ROLAND .....	7
2.2) Analyse politischer Ziele und Programme.....	10
2.3) Landnutzung und Landnutzungsänderungen.....	13
2.4) Erträge aus Land- und Forstwirtschaft.....	14
2.5) Energetische und stoffliche Nutzung .....	14
2.6) Kohlenstoffsенke der oberirdischen Vegetation .....	15
2.7) Ausbringung von mineralischem Stickstoff.....	18
2.8) Import-Export Analyse .....	19
3) Ergebnisse .....	19
3.1) Policy-Paper-Evaluierung .....	19
3.1.1) SDG-Aktionsplan 2019+.....	19
3.1.2) Bioaktionsprogramm.....	20
3.1.3) Bioökonomiestrategie .....	20
3.1.4) LULUCF - Land Use, Land Use Change and Forestry.....	21
3.1.5) Masterplan Ländlicher Raum .....	22
3.1.6) Mission 2030 .....	23
3.1.7) ÖPUL – Agrarumweltprogramm.....	23
3.1.8) Die österreichische Waldstrategie 2020+ .....	24
3.1.9) Zusammenfassung Textanalyse .....	25
3.2) Daten- und Indikatoranalyse.....	26
3.2.1) Landnutzung.....	26
3.2.2) Ertrag.....	30
3.2.3) Energie aus NAWARO.....	38
3.2.4) Kohlenstoffspeicherung der oberirdischen Vegetation .....	42
3.2.5) Stickstoffdüngung .....	47
3.2.6) Import-Export-Analyse .....	50
4) Diskussion.....	52
4.1) Landnutzungsänderung.....	52
4.2) Landwirtschaftliche Erträge .....	54
4.3) Forstflächen und Holznutzung .....	55
4.4) Energetische und stoffliche Nutzung von Biomasse .....	56
4.5) Kohlenstoffspeicherung, Düngemittel und Handel.....	58
4.6) Politische Ziele und aktuelle Erhebungen .....	61

4.7) Bewertung Methodik und Modell.....	63
5) Schlussfolgerung.....	64
Anhang .....	69

Tabelle 1: Überblick der Policy Dokumente .....	11
Tabelle 2: Erläuterung der Kriterien der politischen Textanalyse .....	12
Tabelle 3: Feldfruchtaggregate .....	14
Tabelle 4: Berechnung Standing Crop, C-Vorrat Ertragswald .....	16
Tabelle 5: Berechnung Standing Crop, C-Vorrat Sträucher, Lücken und Blößen .....	16
Tabelle 6: Kohlenstoffgehalt der Standing Crop .....	17
Tabelle 7: Berechnung durchschnittliche Kohlenstoffspeicherung pro Jahr (2016/18) .....	17
Tabelle 9: Berechnung Stickstoffaufwand durch Düngeraufwand und Hidden Energy-Input .....	18
Tabelle 10: Zusammenfassung Policy-Analyse im Vergleich mit den Definitionen der Szenarien .....	26
Tabelle 11: Überblick Energie aus Biomasse - ROLAND und aktuelle Daten .....	39
Tabelle 12: Berechnung CO <sub>2</sub> -Senke pro Jahr .....	44
Tabelle 13: Import-Export-Analyse Ergebnisübersicht.....	50
Tabelle 14: Physikalische Einheiten.....	69
Tabelle 15: chemische Symbole .....	69
Tabelle 16: Verwendete Abkürzungen .....	70
Tabelle 17: Rohdaten Flächeninanspruchnahme Kulturarten .....	70
Tabelle 18: Rohdaten Flächeninanspruchnahme Kulturarten in %.....	71
Tabelle 19: Rohdaten Verlauf der Erträge von Kulturraten (1995-2019).....	72
Tabelle 20: Aufkommen von Holz nach verschiedenen Industrien in Mio. fm (2010-2018) .....	72
Tabelle 21: Rohdaten Bioenergiequellen .....	73
Tabelle 22; Rohdaten Import und Export von Kulturarten (2019) .....	73
Tabelle 23: Rohdaten Import und Export von Papier (2000-2019) .....	74
Tabelle 24: Rohdaten Import und Export von Holzwaren (2014-2018) .....	74
Tabelle 25: Berechnung des mittleren Raumdichtezahl-Faktors auf Grundlage des ROLAND-Modells (*berechneter Faktor) .....	74
Tabelle 26: Rohdaten Zuwachs aus Waldinventuren .....	74
Tabelle 27: Rohdaten Flächen außer Ertrag aus Waldinventuren .....	75
Tabelle 28: Rohdaten Holznutzung aus Waldinventuren .....	75
Tabelle 29: Berechnung Verbleib auf Basis der Waldinventuren.....	75

Abbildung 1: Biomasse-Material/Energie-Fluss-Modell im Überblick (Helmut Haberl, Erb, Krausmann, Adensam u. a. 2003).....	8
Abbildung 2: Flow-Chart Policy-Analyse .....	10
Abbildung 3: Vergleich Landnutzung ROLAND und aktuelle Daten in km <sup>2</sup> .....	27
Abbildung 4: Veränderung/Abweichung des Basisjahres/der Szenarien zu den aktuellen Daten in %	28
Abbildung 5: Vergleich der Anbauflächen der Kulturarten an der Gesamtagrarfläche in %.....	29
Abbildung 6; Vergleich der Erträge von Silomais, Kartoffel und Zuckerrübe (t/ha/a) .....	30
Abbildung 7: Vergleich der Erträge von Brotgetreide, Futtergetreide, Körnermais, Raps, Sonnenblume, Klee und Grünschnitt (t/ha) .....	31
Abbildung 8: Unterschiede der Erträge (Grünschnitt, Klee, Ölpflanzen und Zuckerrübe) der verschiedenen Szenarien in Relation zu aktuellen Daten in % .....	32
Abbildung 9: Erträge (in Tonnen/Jahr) Gerste, Körnermais, Soja und Weizen von 1995-2019.....	33
Abbildung 10: Erträge (in Tonnen/Jahr) Raps, Zuckerrübe und Kartoffel von 1995-2019.....	34
Abbildung 11: Unterschiede der Erträge (Kartoffel, Mais und Getreide) der verschiedenen Szenarien in Relation zu aktuellen Daten in %.....	35
Abbildung 12: Holzwaren-Prognosen aus ROLAND .....	36
Abbildung 13: Holznachfrage nach Industriezweig von 2010 bis 2018.....	37
Abbildung 14: Entwicklung industriell genutzter Stärke und Öle [t/a] .....	38
Abbildung 15: Unterschiede Bio-Energie der verschiedenen Szenarien in Relation zu aktuellen Daten in % .....	39
Abbildung 16: Anteil kaskadischer und primärer Biomasse für die Energiegewinnung in %.....	40
Abbildung 17: Vergleich kaskadische und primäre Biomasse für die Energiegewinnung (2019) .....	41
Abbildung 18: Vergleich kaskadische und primäre Biomasse für die Energiegewinnung ROLAND.....	42
Abbildung 19: Vergleich Kohlenstoffvorrat von ROLAND und aktuellen Datensätzen in Mt C .....	43
Abbildung 20: Vergleich Kohlenstoffsенke von ROLAND und aktuellen Datensätzen in Mt C/a .....	43
Abbildung 21: CO <sub>2</sub> -Speicherung - ROLAND und aktuelle Datensätzen in Mt CO <sub>2</sub> /a.....	44
Abbildung 22: Entwicklung der Waldflächen außer Ertrag nach Waldinventur (2000-2018).....	45
Abbildung 23: Entwicklung von Zuwachs, Nutzung und Verbleib von Biomasse im österreichischen Wald (2000-2018).....	46
Abbildung 24: Vergleich der Modellwerte aus ROLAND und der Mittelwerte der Waldinventuren von Zuwachs, Nutzung und Verbleib von Holzbiomasse .....	47
Abbildung 25: Vergleich des durchschnittlichen Stickstoffaufwands (ROLAND und aktuelle Berechnungen) .....	48
Abbildung 26: Vergleich Düngeraufwand nach Kultur von ROLAND und aktuellen Datensätzen in 1000t rein N.....	49
Abbildung 27: Vergleich Hidden Energy nach Kulturarten von ROLAND und aktuellen Datensätzen in %.....	50
Abbildung 28: Import und Export von Holz und Holzwaren ab 2014.....	51
Abbildung 29: Import und Export von Papier und Papierwaren von 2000 bis 2019.....	52

## Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird ein Projekt aus dem Jahr 2000 ex-post analysiert. Das Projekt "Rohstoff Landschaft" kurz ROLAND, hatte zum Ziel, die Landnutzung und ihre Veränderung durch die Entnahme und Kultivierung von Biomasse zu modellieren. In einem weiteren Schritt wurden vier Szenarien für das Jahr 2020 erstellt. Die Szenarien haben dabei die Schwerpunkte: Weiterentwicklung des damaligen Trends, Globalisierung der jeweiligen Rohstoffmärkte, Maximierung des Ertrags und als Weiterentwicklung die Maximierung des Ertrags mit besonderer Berücksichtigung der kaskadischen Nutzung. Um diese Szenarien mit den Entwicklungen der letzten Jahre vergleichen zu können, wurden in der vorliegenden Arbeit, Daten aus offiziellen Einrichtungen (z.B.: Statistik Austria, Umweltbundesamt, etc.) zusammengetragen, aufbereitet und verglichen. Außerdem wurde eine kurze Analyse aktueller politischer Papiere durchgeführt, um zu eruieren, ob die aktuellen Entwicklungen mit politischen Zielen zusammenpassen. Im Bereich Landnutzung kann festgestellt werden, dass die Aggregate "bebaute Flächen", "Wald" und "Agrarland und Gärten" steigen und die Fläche an Grünland sinkt. Besonders stark gestiegen ist dabei die verbaute Fläche. Die energetische Nutzung von NAWAROs ist dabei stark gestiegen. Im Vergleich zum herangezogenen Basisjahr hat sich der Energiekonsum aus NAWAROs verdoppelt und übersteigt alle Szenarienergebnisse. Ein großer Teil, rund 2/3, der Rohstoffe stammt dabei aus kaskadischer Nutzung und 1/3 aus Primärrohstoffen. Wobei davon auszugehen ist, dass ein erheblicher Anteil der Sekundärrohstoffe aus Importströmen stammt. Die Datengrundlage für die stoffliche Nutzung in Österreich ist für eine belastbare Analyse unzureichend, generell lässt sich ein Rückgang in der Produktion von industriell genutzten Pflanzenölen und ein Anstieg an industriell genutzter Stärke feststellen. Bei der Holznutzung ist Österreich ein Importeur von Rohholz (und sekundärer Biomasse) und ein Exporteur von gefertigten Holzprodukten. Der oberirdische Kohlenstoffspeicher der österreichischen Wälder ist weiter gestiegen, im Durchschnitt um rund 3 Mt C im Jahr. Bei der Stickstoffdüngung ist die Menge an Dünger in Summe gesunken, jedoch ist der Stickstoffinput pro ha und Jahr im Vergleich zum Basisjahr gestiegen. Bei der Import-Export-Analyse zeigt sich, dass Österreich bei einem Großteil der Produkte aus Biomasse vom Import abhängig ist. Die Policy-Textanalyse zeigt einen Konflikt zwischen dem Schutz der kleinbäuerlichen Strukturen bzw. dem naturnahen Wirtschaften zu dem Ziel einer funktionierenden Bioökonomie, die eine große Menge an biologischen Rohstoffen benötigen wird. Es ist unsicher, ob eine kleinstrukturierte Landwirtschaft der Nachfrage einer industriellen Bioökonomie nachkommen kann.

## Abstract

This paper is an ex-post analysis of a project from the year 2000. The project „Rohstoff Land“, short ROLAND, had the aim of modelling the land use change driven by cultivation and harvesting of biomass in Austria. The model was used to analyze four different scenarios for the year 2020. Each scenario had a different focus: a continuation of the trends prior to 2000, globalization of the biomass markets, maximization of the biomass yield and maximization of the yield with a focus on cascading use of biomass. In order to compare these scenarios with the trajectory of the last two decades from different state institutions was done to analyze the development of the years since 2000. Furthermore, policy papers were analyzed to summarize the current political aims in regard of biomass use. In terms of land use the ex-post analysis shows that sealed surfaces, forests and agricultural land increased through the years. Grassland on the other hand decreased. The use of biomass in energy production had doubled in comparison to the year of the project. It increased even more than in all of the four scenarios.  $\frac{2}{3}$  of the energetically used biomass comes from cascading resources,  $\frac{1}{3}$  are primary resources. It is assumed that significant amounts of the secondary biomass are from imports. The data basis for a statement on other bio-based materials is not resilient. In general, the data shows an increase in industrial used starch and a decrease in plant oils. Net, raw wood is an imported resource in Austria, but manufactured wood products, including paper, are important export goods. Austrian forests are carbon sinks, results show that the carbon storage capacity of the forest increased over the years. In average 3 Mt C per year. In regards to nitrogen fertilizer, the amount of nitrogen input in the agricultural land decreased. But only in total, per ha and year the nitrogen input increased. The analysis of the international trade shows that Austria is dependent on other countries for most of the agricultural products. It is shown that political aims compete with each other. There are conflicts between the protection of small structured agriculture and the aim of an industrial bio-economy. It is questionable if small structured farmland can provide the amount of biomass needed by an industrial use of biomass.

## 1) Einleitung

Österreichs Landschaft und ihre Nutzung befinden sich im stetigen Wandel. Durch politische Ziele, Forderungen aus der Gesellschaft, veränderte Nachfrage am Markt und nicht zuletzt die Bevölkerung, welche das Land bewirtschaftet, wird die Landschaft geformt. Neue (Bio-) Technologien, aber auch die Erwartung, dass Ökosysteme als Kohlenstoffsенke dienen sollen haben die Wahrnehmung der Biomasse in der Gesellschaft verändert. Biomasse kann wirtschaftlich-gesellschaftliche Ressource für die Gewinnung von Energie und als Material sein, sie bildet aber auch die Grundlage für die Speicherung von Kohlenstoff in Ökosystemen sowie den Energieinput aller Nahrungsketten. Die sich vielmals ändernden Eingriffe in unsere Landschaft, unsere Ökosysteme, geht mit einer Änderung des gesellschaftlichen Stoffwechsels einher. Dieser gesellschaftliche Stoffwechsel ist ein Konzept, welches die Gesamtheit der Material- und Energieströme darstellt, beginnend mit der Entnahme von Rohstoffen bis hin zur Freisetzung von Emissionen und Reststoffen an die Umwelt (Schneider-Sliwa, et al., 1999).

Menschliche Nutzung und damit Marktprozesse und politische Ziele formen das Land und die beeinflussen die Landnutzung seit jeher. Ein Beispiel hierfür ist die Industrialisierung der Landnutzung in Österreich zwischen 1950 und 1995. Im Zuge der weitreichenden Mechanisierung, wurde ein großer Teil tierischer und menschlicher Arbeitskraft vollkommen durch Maschinen ersetzt. Häufige Folge dieser Mechanisierung war das Trennen von Ackerbau und Viehwirtschaft. Vormalig kleinräumige, gemischte Betriebe spezialisierten sich zunehmend. Im Zuge der Industrialisierung wurde auch begonnen mittels mineralisch-chemischen Düngemitteln in regionale Stoffkreisläufe einzugreifen (Klamminger, 2010). Das Haber Bosch Verfahren, welches es möglich machte Ammoniak zu synthetisieren und somit die Stickstoffdüngung revolutionierte, führte zu wachsenden Erträgen pro Hektar und veränderte die Landwirtschaft und Landschaft. Bis heute ist die Landwirtschaft stark abhängig von Stickstoffdüngemittel. Stickstoff stellt daher einen wichtigen Energieinput in der industriellen Landwirtschaft dar (Erisman, et al., 2008). Die Agrarwirtschaft wandelte sich in vielen Bereichen zu einem Wirtschaftszweig, der zu geringstmöglichen Kosten den maximalen Ertrag erzielen sollte. Dadurch änderte sich die Rolle der Agrarwirtschaft im gesellschaftlichen Stoffwechsel und gelang es, die Erträge, trotz sinkender Flächen zu steigern. Anfang bzw. Mitte der 1980er Jahre führten diese Bedingungen zu einer Überproduktion der österreichischen Landwirtschaft. Exporte waren nur auf Grund von Subventionen gewinnbringend. In den 80er Jahren kam es zu einer Umorientierung der Agrarpolitik. Ziel war es die landwirtschaftliche Produktion auf möglichst großen Flächen

aufrecht erhalten zu können. Durch den Beitritt Österreichs zur EU kam es zu einer weiteren Änderung: seit dem Beitritt werden Förderungen im Rahmen des Programms der "gemeinsamen Agrarpolitik", abgewickelt, Ziel ist hier ebenfalls das "In-Nutzung-halten" von Agrarflächen (Klamminger, 2010).

Trotz allen Bemühungen im Rahmen dieser politischen Ziele sinkt die landwirtschaftlich genutzte Fläche in Österreich. Agrar- und Grünflächen gehen zugunsten von Forst- und Siedlungsflächen zurück. Gründe dafür können die annähernd gleichbleibende Bevölkerungszahl, bei stetiger Steigerung der Erträge sein. Auch der Konsum tierischer Produkte, welcher mehr Fläche als pflanzliche Rohstoffe benötigt, bleibt in den letzten Jahrzehnten annähernd gleich. Dadurch kann die Nachfrage nach Lebensmitteln der Bevölkerung mit immer weniger Flächen befriedigt werden. Hinzu kommt ebenfalls die massive Ausweitung an Außenhandelsvolumina an biologischen Rohstoffen, vor allem seit dem EU-Beitritt (Klamminger, 2010).

Auch der Klimawandel wird die Landwirtschaft nachhaltig verändern, das zeigen verschiedene Forschungen. Ein Modell eines österreichischen Forschungsteams geht davon aus, dass es unter einem moderaten Klimawandel zu einer Steigerung der Erträge kommen wird. Diese Entwicklungen werden regional unterschiedlich sein, so wird vor allem der Westen Österreichs davon profitieren, während der trockene Osten wenig bis gar nicht profitieren könnte. Dem steht ein potentieller Verlust der ökologischen Leistungen der Agrarökosysteme gegenüber, beispielsweise die Verringerung der Bestäubungsleistung durch einen Verlust von Artenvielfalt. Darüber hinaus können vermehrt auftretende Extremwetterereignisse wie Dürren und Spätfrost zu erheblichen Unsicherheiten führen (Mitter, et al., 2014).

Auch das Bild des Waldes in Österreich hat sich nachhaltig geändert. Der Wald in seiner jetzigen Gestalt ist rund 200 Jahre alt und wird seither durch menschliche Nutzung beeinflusst und verändert. Holz war schon historisch ein wichtiger Rohstoff für die Menschheit, spätestens beim Entstehen der ersten größeren sesshaften Siedlungen. Holz dominierte lange Zeit die Energieversorgung, während des fossilen Zeitalters wurde Holz zu großen Teilen durch fossile Brennstoffe substituiert. Vor der Fossilenergie war Holz die einzige Wärme-, Kraft- und Energiequelle für das frühe Gewerbe, insbesondere der Montanindustrie. Holz war ein Betriebsmittel für Erz- und Salzabbau. Bald wurden industrielle Interessen über die von Privatpersonen und Bauern gehoben, dies führte zu Konflikten und eine allmähliche Verknappung der Ressourcen. Damit begann sich eine geregelte und nachhaltige Forstbewirtschaftung durchzusetzen. 1852 wurde schließlich das

erste Forstgesetz Österreichs geschaffen, dieses behielt seine Gültigkeit bis 1975. Seit Anfang des 19. Jahrhunderts, als die Waldfläche in etwa ihren Tiefpunkt hatte, wächst der Wald in Österreich stetig weiter (Johann, 2004).

Durch den Klimawandel und die Notwendigkeit nachhaltiger Wirtschaftsweisen, gibt es eine neue Dynamik in der Agrar- und Forstentwicklung. Durch den Einsatz von biologischen Rohstoffen zur Energiegewinnung, aber auch als Rohstoffe für die gewerbliche Industrie, sollen neue Märkte geschaffen werden, die eine regionale Wertschöpfung sicherstellen. Im Gegensatz zu der historischen Biomassenutzung, wie weiter oben skizziert, soll die neue biobasierte Nutzung industriell und technologisch effizient stattfinden. Die ökologische Perspektive wird hierbei besonders hervorgehoben. Energie aus Biomasse gilt oft als CO<sub>2</sub> neutral, da die Meinung vorherrscht, dass die Menge an Kohlendioxid, welche beim Verbrennen frei wird, in Form von Biomasse wieder gebunden wird. Weitere Argumente sind die Regionalität und die Tatsache, dass biologische Rohstoffe, im Vergleich zu fossilen, nachwachsen. Neue Forschungen ergeben jedoch, dass dieses Argument nicht haltbar ist, da die Ernte von Pflanzen je nach Anbau und Nutzungsart auch zu einer Abnahme des Kohlenstoffs, der in Pflanzen und Boden gespeichert ist, führen kann. Außerdem kann die Ernte zu einer Verringerung des gespeicherten Kohlenstoffs führen (Haberl, et al., 2012).

Politisch wird Biomasse als Brennstoff jedoch weiterhin als erneuerbarer Energieträger angesehen. Laut des Bundesforschungszentrums für Wald ist Holz mit 70% des Gesamtaufkommens an erneuerbaren Energien der mengenmäßig wichtigste erneuerbare Energieträger (Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, 2012). Auf EU-Ebene schätzt das BFW, auf Basis von BMU-Daten (2011), den Anteil an Holz als biogener Energielieferant auf 50% und in Österreich auf 54% (auf Basis ÖSTAT 2010) (Mayer & Schadauer, 2012).

Aber nicht nur Energiequellen, wie Biogas, Biodiesel oder Briketts können aus biologischen Rohstoffen bereitgestellt werden. Auch ein stofflich-orientierter Markt ist gerade am Entstehen. Durch Forschung und Innovation kommen neue Werkstoffe auf Basis von biologischen Rohstoffen auf den Markt (Kamm & Kamm, 2004). Eine andere Branche, die Biomasse als Rohstoffquelle für sich entdeckt hat, ist die chemische Industrie. Aus pflanzlicher Biomasse können Grundstoffe wie Stärke, Alkohol und Zucker gewonnen werden. Produkte aus Biomasse werden oft als besonders nachhaltig und umweltschonend vermarktet.

Ein Konzept für die nachhaltige, industrielle Nutzung von Biomasse ist die Bioraffinerie. Der Grundgedanke ist die optimale Nutzung aller Bestandteile eines Rohstoffes. Das Konzept ähnelt dabei einer Erdölraffinerie, wodurch verschiedene technische Prozesse unterschiedliche Rohstoffe gewonnen werden. Ein Beispiel für eine Bioraffinerie ist eine Papierfabrik, die durch technische Optimierung neben Papier eine Vielzahl anderer Produkte bereitstellen kann (Kamm & Kamm, 2004).

Biomasse ist nicht nur ein wertvoller Rohstoff der Gesellschaft, sie spielt eine wichtige Rolle für das Funktionieren von Ökosystemen. Pflanzen sind als autotrophe Organismen die Primärproduzenten in Ökosystemen und stellen damit den gesamten Energieinput von heterotroph lebenden Organismen und in Folge der Nahrungsketten bzw. Nahrungsnetze bereit. Vor allem junge terrestrische Ökosysteme, welche am Anfang ihrer Sukzession stehen, können eine enorme Menge an Kohlenstoff binden und Biomassevorräte aufbauen. Somit können junge Ökosysteme, wenn man sie ihren natürlichen Prozessen überlässt, als CO<sub>2</sub>-Senke wirken und somit CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre aufnehmen und langfristig binden. Damit stellt Biomasse nicht nur eine Ressource für den gesellschaftlichen Stoffwechsel dar, sondern ist auch Grundlage jedes funktionierenden Ökosystems. Intensive Eingriffe in die Funktionen von Ökosystemen führen zur Beeinflussung natürlicher Stoffkreisläufe, wie dem Kohlenstoffkreislauf, dem Wasserkreislauf oder dem Stickstoffkreislauf. Eine erhöhte Biomasseentnahme aus Ökosystemen kann zu einer Verschlechterung der Ökosystemdienstleistungen führen und zu langfristigen Störungen der Ökosystemfunktionen beitragen. (Schulp, et al., 2008).

Doch das Aufkommen der Biomasse in Österreich stammt nicht ausschließlich aus Eigenproduktion, ein großer Teil der Nachfrage wird durch Importe gedeckt. Laut „Bericht biogene Materialflüsse Österreichs“, ist Österreich vor allem ein Rohstoffimporteur und ein Produktexporteur (Kalt, 2014). So importiert Österreich mehr Sägerundholz, als es exportiert, aber gleichzeitig exportiert Österreich mehr Holzprodukte als es importiert. Dies führt dazu, dass durch die kaskadische Nutzung von biogenen Reststoffen aus der Verarbeitung, ein nicht unerheblicher Teil des energetisch genutzten Holzes (z.B. in Form von Spänen) nicht aus heimischen Wäldern stammt. Ein weiterer wichtiger Import-Rohstoff sind Öle. Österreich hatte im Jahr 2011 einen Selbstversorgungsgrad von pflanzlichen Ölen von 30% und einen Selbstversorgungsgrad bei Biodiesel von 53%. Österreich ist bei Öl stark von Importen abhängig (Kalt, 2014).

Um die Auswirkung von veränderten Nachfrage nach Biomasse auf den gesellschaftlichen Stoffwechsel erforschen zu können entwickeln Forscher\*Innen Material- und

Energieflussbilanzen und modellieren diese. Diese Modelle simulieren die Materialflüsse, unter anderem jene an Biomasse, und ihre Auswirkungen auf Ökosysteme. Modelle zeigen ein vereinfachtes Abbild der komplexen Wirklichkeit. Um diese Vereinfachung zu gewährleisten, sollte ein Modell irrelevante Objekte nicht berücksichtigen. Außerdem werden Objektdetails reduziert, um die Komplexität zu reduzieren. Bei der Erstellung eines Modells wird versucht, die vereinfachte Realität in einzelne Komponenten zu teilen, um diese besser zu verstehen und definieren zu können. Zu guter Letzt werden diese Segmente wieder aggregiert und zu einem Modell zusammengefasst.

Um mögliche Entwicklungen in der Zukunft zu analysieren und darzustellen sind Szenarien ein geeignetes Werkzeug. Ein Szenario ist eine denkmögliche Beschreibung der Zukunft, diese kann in einem Modell abgebildet werden. Für die Erstellung von Szenarien werden Annahmen getroffen. Diese Annahmen sind in den unterschiedlichen Szenarien verschieden und führen daher zu unterschiedlichen Ergebnissen bezüglich der möglichen zukünftigen Entwicklung. Auf Grundlage von Szenarien können beispielsweise die Auswirkungen von Entscheidungen aus Politik und Wirtschaft abgebildet werden und daraus Strategien für die Zukunft entwickelt werden. Außerdem können sie hilfreich sein beim frühzeitigen Erkennen von Fehlentwicklungen. Die Prognose zukünftiger Entwicklungen ist hingegen Ziel einer Szenarioanalyse.

Im Projekt ROLAND, das im Jahr 2007 publiziert wurde, wurde von einem Forschungsteam ein Modell für Landnutzung und Biomasseflüsse in Österreich im Jahr 2020 erstellt. Ergebnisse des Projekts waren unter anderem verschiedene Biomasse-Flussmodelle, welche die Biomasse-Material- und Energieflüsse des Basisjahrs und die vier formulierten Zukunftsszenarien darstellen, sowie Veränderungen in der Landnutzung (Abbildung 1: Biomasse-Material/Energie-Fluss-Modell im Überblick (Helmut Haberl, Erb, Krausmann, Adensam u. a. 2003)).

Diese vorliegende Arbeit versucht die Ergebnisse der ROLAND Szenarien in einer Ex-Post-Analyse zu evaluieren. Hierfür wurden aktuelle Datensätze aus unterschiedlichen Quellen österreichischer Institutionen recherchiert und aufbereitet. Außerdem wurde eine Auswahl an Indikatoren neu berechnet und ebenfalls mit den Ergebnissen aus ROLAND verglichen. Ziel dabei ist es, zu verstehen wie sich die Situation in Österreich in den letzten Jahren entwickelt hat und inwieweit die vier Szenarienergebnisse im Vergleich mit den aktuell erhobenen Daten vergleichbar sind. Das Ziel des Projekts ROLAND war es, die Auswirkungen der Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen auf die Kulturlandschaft aufzuzeigen. Vor allem die veränderte Nachfrage nach Bioenergie war von Interesse. Die Entwicklung der

Kulturlandschaft unter unterschiedlichen Annahmen zur künftigen Entwicklung sollte dargestellt werden. Für Entscheidungsträger\*Innen soll das Modell Handlungsempfehlungen aufzeigen können. Unter Miteinbeziehen der Erkenntnisse sollte es möglich sein ein Hilfsmittel für ein Biomassekonzept zu schaffen. Als letzten Punkt soll das Modell auch Pilotprojekten in verschiedenen Regionen als Werkzeug helfen.

Die vorliegende Arbeit soll die derzeitige Biomassenutzung und die damit verbundenen Landnutzungsänderungen und Umweltauswirkungen, mit denen des Basisjahrs ROLAND vergleichen und in einem weiteren Schritt die verschiedenen Szenarien der derzeitigen Situation gegenüberstellen. Interessant sind die Ergebnisse dieser Ex-Post Analyse, da wir uns in jenem Zeitraum befinden, für welchen die Szenarien entwickelt wurden. Um diese Vergleiche anstellen zu können wurden ausgewählte Indikatoren mit aktuellen Datensätzen, wo immer möglich mittels Methoden aus dem Projekt ROLAND, neu berechnet und dargestellt. Aus Ressourcengründen konnten nicht alle Indikatoren aufgearbeitet werden.

Folgende Indikatoren wurden im Zuge dieser Arbeit dargestellt, mit Projekt-Daten verglichen und interpretiert:

- Landnutzung
- Erträge aus Land- und Forstwirtschaft
- Energie aus Biomasse
- Stoffliche Nutzung von Biomasse
- Kohlenstoffsенке oberirdischer Vegetation
- Stickstoffdüngung und Hidden Energy Input
- Import- Export von Biomasse

Dabei werden, soweit möglich, jene Indikatoren berechnet und analysiert die schon im Projekt ROLAND verwendet wurden. Auf Grund der zeitlich limitierten Ressourcen der vorliegenden Arbeit wurde allerdings von einer Neuberechnung der HANPP (Human Appropriation of Net Primary Production) Abstand genommen.

Zusätzlich zu der Ex-Post-Analyse soll auch die Frage geklärt werden, ob die aktuellen politischen Entwicklungen und Ziele sich in den Änderungen der Biomassenutzung und der Landnutzungsänderung wieder spiegeln. Hierfür wurde eine Textanalyse von Dokumenten, die aus dem politischen Umfeld publiziert wurden, durchgeführt.

## **2) Methoden**

Im Abschnitt „Methoden“ wird zunächst kurz das Modell und die Szenarien, die im Projekt ROLAND erstellt wurden, erläutert. Die Ergebnisse aus den Szenarien bilden eine Grundlage dieser Arbeit, da die, durch Datensätze abgebildete, IST-Situation sowohl mit der Ausgangslage 1995, als auch mit den Szenarien verglichen werden soll. Außerdem werden eine Zusammenfassung und Bewertungen aktueller politischer Ziele und Dokumente erstellt, um eventuelle Veränderungen der oben genannten Indikatoren den politischen Zielen gegenüberstellen zu können. In Folge soll analysiert werden ob Entwicklungen in den Szenarien sich in der aktuellen Datenlage wiederfinden. Dazu werden Ergebnisse aus den Szenarien mit aktuellen Daten, soweit zugänglich, verglichen. Es werden Daten gesammelt um die Indikatoren, „Landnutzungsänderung“, „Erträge aus Land- und Forstwirtschaft“, „energetische Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen“, „Kohlenstoffspeicherkapazität der oberirdischen Waldvegetation“, „Stickstoffdüngung in der Landwirtschaft“ und „Import-Export-Analyse“, neu zu berechnen beziehungsweise darzustellen

### **2.1) Erläuterung Modell und Szenarien des Projekts ROLAND**

Das Modell, das im Projekt ROLAND erstellt wurde, umfasst eine Aufbringungsseite und eine Verwendungsseite (Abbildung 1: Biomasse-Material/Energie-Fluss-Modell im Überblick (Helmut Haberl, Erb, Krausmann, Adensam u. a. 2003)). Die Aufbringungsseite umfasst dabei die pflanzliche Biomasse aus der Land- und Forstwirtschaft, die Veränderung des Bestands sowie die Netto-Importe. Verwendungsseitig erfasst das Modell den Fluss der Biomasse durch die Volkswirtschaft. Dies wird in mehreren Umwandlungsstufen gegliedert. Umwandlungsmodule im Modell sind: Verarbeitung, Nutztiere und der Endverbrauch (Menschliche Ernährung, Materielle Nutzung und Energetische Nutzung). Ebenfalls Teil des Modells sind der land- und forstwirtschaftliche Eigenverbrauch und die anfallenden Abfallmengen (Krausmann, et al., 2003).

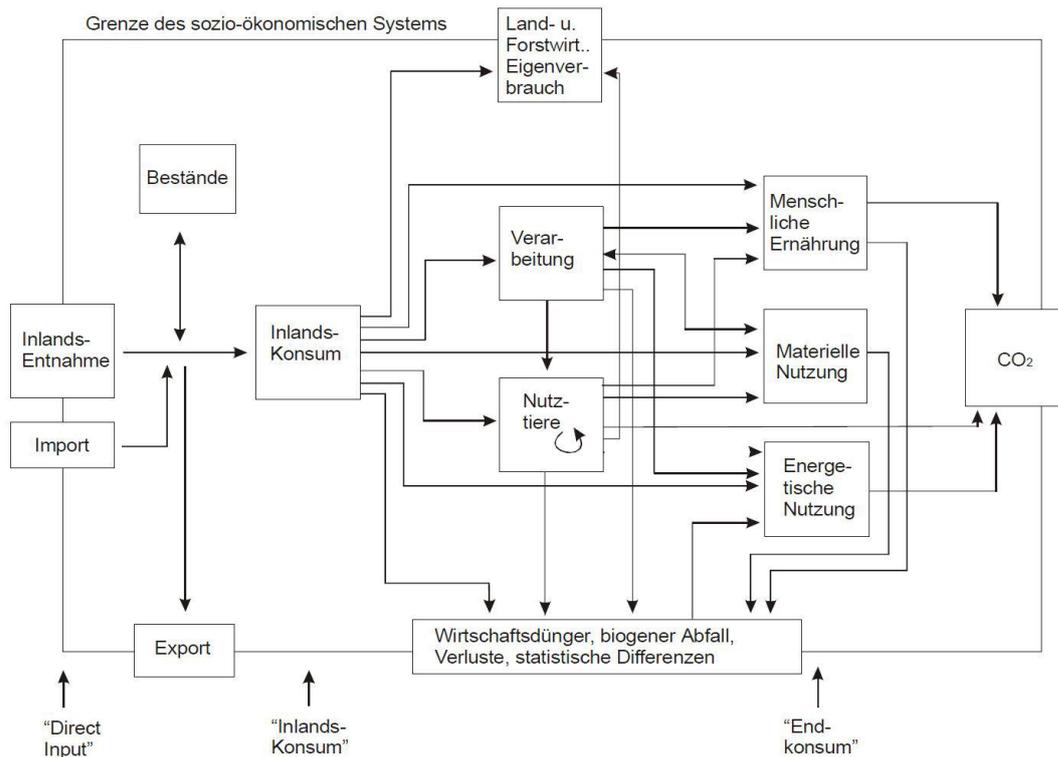


Abbildung 1: Biomasse-Material/Energie-Fluss-Modell im Überblick (Helmut Haberl, Erb, Krausmann, Adensam u. a. 2003)

Die Szenarioanalyse besteht aus vier verschiedenen definierten Szenarien, die unterschiedlichen Zukunftsszenarien darstellen. Diese sollen die Entwicklung der Biomassenutzung und die damit einhergehende Landnutzungsänderung bis 2020 abschätzen. Die Szenarien, welche erstellt wurden, waren ein Trendszenario, ein Globalisierungsszenario, ein Nachhaltigkeitsszenario und ein Biomasse-Maximierungsszenario (Krausmann, et al., 2003).

- Trendszenario (TREND):

Beim Trendszenario (TREND) wird davon ausgegangen, dass sich landnutzungsspezifische, politische Rahmenbedingungen nicht ändern. Die gemeinsame Agrarpolitik der EU wird weitergeführt und es werden keine Änderungen in der Agrarstruktur Österreichs angenommen. Da in der europäischen Energiepolitik Biomasse als ein möglicher Energieträger der Zukunft gehandelt wird, wurde auch im TREND eine Steigerung der Biomasse für energetische Nutzung angenommen. Der Anstieg von Agrarrohstoffen für die stoffliche Nutzung wird in diesem Szenario nur eine leichte Steigerung unterstellt. Die Nachfrage von Forstbiomasse für die Holz-, Säge-, und Papierindustrie wurde aus Daten bis zum Jahr 2000, also dem vergangenen Trend, für das Jahr 2020 extrapoliert (Haberl, et al., 2003).

- Biomasse-Maximierungsszenario (MAX):

Dieses Szenario unterstellt eine Philosophie der Maximierung der Biomasseproduktion, für Bioenergie und stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen. Motiv hierbei ist die Substitution von fossilen Energieträgern durch Agrarrohstoffe und Energieholz als Maßnahme gegen den Klimawandel. Dieses Szenario unterstellt außerdem Rahmenbedingungen, in denen der Ölpreis ab 2000 steigt und Subventionen für Biomassenutzung ausgebaut wurden. Dabei werden Förderungen für den Erhalt von Brachflächen durch eine Förderung für Biomasseanbau abgelöst. Ziel des Szenarios war es eine weitgehende Ausschöpfung des Ertragspotentials im Wald und eine Maximierung von Anbauflächen zu modellieren. Außerdem wurde eine verstärkte kaskadische Biomassenutzung angenommen. Im Szenario wurde keine Erhöhung der Netto-Importe angenommen (Haberl, et al., 2003).

- Nachhaltigkeitsszenario (SUST):

Im Unterschied zum Max-Szenario wird im Nachhaltigkeitsszenario (SUST) eine Philosophie der Ausschöpfung des Potentials an kaskadischer Nutzung von Biomasse untersucht. Die Primärrohstoffentnahme soll dabei nicht erhöht werden. Mit anderen Worten soll dieses Szenario die Menge an Biomasse für Energiegewinnung und stoffliche Nutzung untersuchen, ohne die Landnutzungsintensität, gemessen als HANPP, im Vergleich zum TREND-Szenario zu erhöhen. Nachhaltigkeit in diesem Szenario meint die Schonung von Land als Ressource durch zusätzliche gesellschaftliche Eingriffe in den Energiehaushalt von Ökosystemen. (Haberl, et al., 2003).

- Globalisierungsszenario (GLOB):

Das Globalisierungsszenario (GLOB) versucht eine weitgehende Liberalisierung der globalen Agrarmärkte zu modellieren. Dabei wird unterstellt, dass eine substanzielle Reduktion beziehungsweise ein Abbau von Agrarsubventionen stattfinden muss. Außerdem werden Marktregulierungen in diesem Szenario weitgehend außer Kraft gesetzt. Österreich würde sich dabei auf solche Produkte spezialisieren, für die kompetitive Preise auf den globalen Agrarmärkten erzielt werden können. Dies würde auch zur Reduzierung bestimmter Produkte und deren Landnutzungsformen führen, wenn diese nicht zu konkurrenzfähigen Preisen angeboten werden können (Haberl, et al., 2003).

## 2.2) Analyse politischer Ziele und Programme

Diese Analyse aktueller Strategiepapiere der österreichischen Politik soll einen Überblick geben welche Ziele verschiedene Akteure im Bereich der Biomasse und der Landnutzung verfolgen. Der methodische Ansatz für die Analyse der Programme umfasste dabei folgende Schritte (Abbildung 2):

- Literaturrecherche für die Analyse: Bei der Recherche der aktuellen politischen Ziele und Programme wurden die Homepages der österreichischen Ministerien gesichtet. In einem zweiten Schritt wurden die Dokumente mittels zuvor erstellter Kriterien (Tabelle 2), nach ihrer Relevanz, selektiert.
- Sichten der selektierten Dokumente: In diesem Schritt wurden alle Dokumente, die im ersten Schritt ausgewählt wurden, nochmals nach inhaltlicher Relevanz gesichtet. Dabei wurden alle Dokumente gelesen, jedoch noch keine tieferen Überlegungen und Analysen angestellt. Dokumente, die kaum oder nur wenige Überschneidungen mit der Forschungsfrage hatten, wurden für die Analyse verworfen.
- Erster Analyseschritt: Die Dokumente, welche bei den vorherigen Punkten nicht ausselektiert wurden, wurden in einer ersten Analyse genauer gelesen und die wichtigsten Erkenntnisse für die vorliegende Arbeit zusammengefasst. Ziele, Instrumente und mögliche Auswirkungen auf die Landnutzung und Biomasseproduktion wurden analysiert.
- Finale Analyse: In einer finalen Analyse wurden die Ziele und Instrumente mit den Ergebnissen aus der Ex-Post-Analyse und Handlungsempfehlungen der Szenarien verglichen.

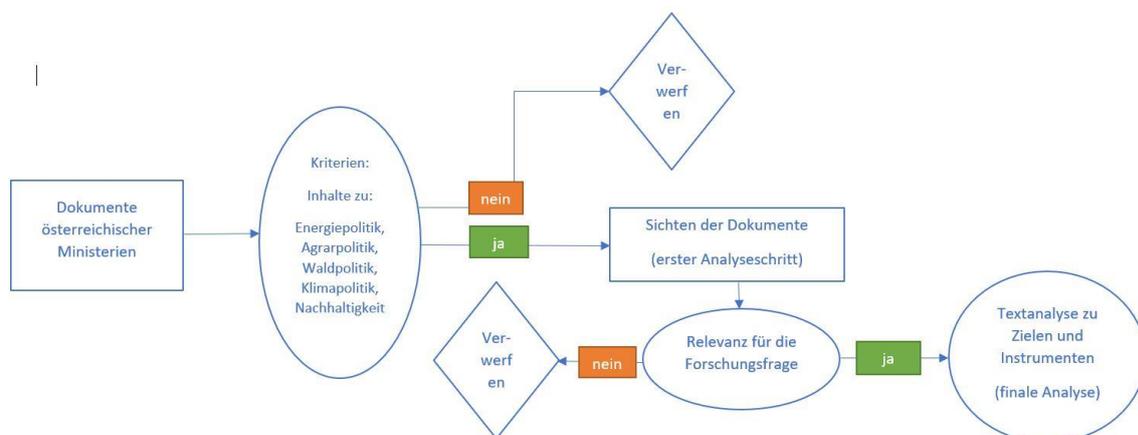


Abbildung 2: Flow-Chart Policy-Analyse

Die herangezogenen Papiere sind in Tabelle 1: Überblick der Policy Dokumente nachzulesen.

*Tabelle 1: Überblick der Policy Dokumente*

<b>Strategiepapier</b>	<b>Erscheinungsdatum</b>	<b>Institution</b>
Bioaktionsplan	2015	BMLFUW
LULUCF Aktionsplan		BMLFUW
Bioökonomiestrategie	2019	BMNT, BMVIT, BMBWF
ÖPUL	2015	BMLFUW
Mission 2030	2018	BMNT, BMVIT
Masterplan für den ländlichen Raum	2017	BMLFUW
Österreichische Waldstrategie	2018	BMNT
SDG Aktionsplan	2019	BMNT

Tabelle 2: Erläuterung der Kriterien der politischen Textanalyse

Kriterium	Erläuterung des Kriteriums
Energiepolitik	Energiepolitische Ziele die auf dem Rohstoff Biomasse (Holz, Sägenebenprodukte, Energiepflanzen, Biogas, Bioethanol, etc.) werden definiert und Pfade der Bioenergienutzung werden in der Strategie erläutert.
Agrarpolitik	Ziele und Entwicklungspfade der Landwirtschaft und der Regionalentwicklung werden beschrieben. Zentrale Themen sind dabei Entwicklung des ländlichen Raumes, Biodiversität und Klimawandelanpassung. Agrarprodukte als Rohstoffe für Energiegewinnung.
Forst- und Waldpolitik	Ziele und Entwicklungen des österreichischen Waldes werden in der Strategie erläutert. Der Wald im Kontext des Klimawandels (Holz und SNP als Brennstoffe, Holz als nachwachsender Rohstoff, Ökosystemdienstleistungen des Waldes, etc.).
Klimapolitik	Sowohl der Einfluss des Klimawandels auf Landschaften, als auch der Beitrag den Landnutzung zur Klimawandelanpassung leisten kann, sind zentraler Teil der Strategie.
Nachhaltigkeit	Nachhaltigkeit im Kontext der Landnutzung wird erläutert. Zentrale Themen stellen vor allem nachhaltige Land- und Forstwirtschaft dar.

Die verschiedenen Policy-Papers kommen dabei hauptsächlich aus den Bereichen Agrar- und Forstpolitik und der Energie- und Klimapolitik. Der Großteil der Papiere wurde auf den Homepages des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus und des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie gefunden. Publiziert wurden jedoch fast alle für diese Analyse relevanten Papiere von den ehemaligen Bundesministerien für Nachhaltigkeit und Tourismus und für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft. Bei der Analyse der Papiere wurde besonderes Augenmerk auf die Inhalte des ROLAND-Projekts gelegt. Ziel war es herauszufinden, welche Szenarien beziehungsweise welche Ausrichtungen sich in den verschiedenen politischen Strategien wiederfinden. Anzumerken ist auch, dass die derzeitige Bundesregierung ÖVP-Grüne (seit 2020) noch kaum politische Papers veröffentlicht hat, die Einfluss auf diese Arbeit haben könnten. Außerdem wären die

Ergebnisse aus solchen Strategien noch in keiner Statistik bzw. Erhebung abgebildet, da die Erhebung und Erstellung von Datensätzen Zeit benötigt.

## **2.3) Neuberechnung und Analyse der Indikatoren aus ROLAND**

In diesem Abschnitt wird erklärt auf welcher Basis und mit welchen Methoden die Indikatoren aus ROLAND neu berechnet und analysiert wurden.

### **2.3.1) Landnutzung und Landnutzungsänderungen**

Zuerst wurden die unterschiedlichen Nutzungen der Landschaft recherchiert und verglichen. Ziel war es herauszufinden, wie sich die aktuelle Situation zu den verschiedenen Szenarien und dem Vergleichsjahr von ROLAND unterscheidet. Es wurde dabei mit folgenden Flächenkategorien gearbeitet:

- Infrastruktur und bebaute Flächen
- Agrar- und Gartenflächen
- Grünland
- Wälder und Forstflächen
- naturnahe Flächen, Gewässer und Ödland
- unproduktive Flächen

Der aktuelle vollständige Datensatz der Statistik Austria ist die Agrarstrukturerhebung des Jahres 2016. Bereits bei dem Projekt ROLAND wurden Daten der Statistik Austria verwendet. Für die Analyse und Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist zu beachten, dass sich die Definitionen der Landnutzungsaggregate in den Erhebungen der ÖSTAT geändert haben (Statistik Austria, 2020).

Die Flächen für Siedlungstätigkeiten wurden im Projekt ROLAND aus Erhebungen des Umweltbundesamtes herangezogen. Die aktuellen Daten des Umweltbundesamtes für Österreich stammen aus dem Jahr 2019. Ebenfalls in die Analyse miteinbezogen wurde der Zwischenbericht der Waldinventur 2016/2018. Zusätzlich wurde die Flächeninanspruchnahme der einzelnen Kulturarten verglichen. Hier wurde jedoch nicht die Agrarstrukturerhebung, sondern die Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktionsdaten der Statistik Austria verwendet. Die aktuellen Daten sind aus dem Jahr 2019. Die Daten lassen sich leichter vergleichen und liefern die Grundlage für eine detaillierte Analyse. Die Kategorisierung erfolgt dabei wie in Tabelle 3: Feldfruchtaggregate.

### 2.3.2) Erträge aus Land- und Forstwirtschaft

In einem zweiten Schritt wurden die aktuellen Erträge der Land- und Forstwirtschaft mit jenen der Szenarien und des Basisjahres (1995) verglichen. Dabei wurden ebenfalls die Feldfrucht - und Dauerwiesenproduktionsdaten der Statistik Austria verwendet (Statistik Austria, 2020). Es wurden dabei alle Kulturarten so zusammengefasst, wie es auch im Projekt ROLAND gehandhabt wurde. Die Artenkategorien sind in Tabelle 3: Feldfruchtaggregate, ersichtlich.

*Tabelle 3: Feldfruchtaggregate*

<b>Feldfruchtaggregate</b>	<b>Kulturarten der Bodennutzungserhebung</b>
Brotgetreide	Weizen, Roggen
Futtergetreide	Wintermenggetreide, Sommermenggetreide, Hafer, Triticale, Winter- und Sommergerste, Rispenhirse, Sorghum, Buchweizen
Körnermais	Körnermais
Silo-Mais	Silo-Mais, Grünmais
Raps	Winterraps
Sonnenblume	Sonnenblumenkerne
Klee	Rotklee, Klee gras, Luzerne, Egarten, Feldfutter
Wiesen und Weiden	Dauerwiese mit einem und mehreren Schnitten, Kulturweide, Streuwiese

Außerdem wurden, um die Ertragsentwicklungen über die Jahre darzustellen, die Erträge aus verschiedenen Jahren recherchiert. Dadurch können Trends der Ernteerträge besser eingeschätzt werden. Die Holzerträge wurden sowohl mit Daten der Statistik Austria als auch mit dem Holzflussmodell verglichen (AEA, 2020).

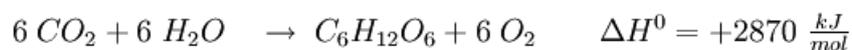
### 2.3.3) Energetische und stoffliche Nutzung

Die Daten für die energetische Nutzung stammen von der Statistik Austria und aus Basisdaten Bioenergie 2019 (Titschenbacher & Pfemeter, 2019). Dieses Dokument wurde auf Grundlage der Daten der ÖSTAT aus dem Jahr 2019 publiziert und vor der Verwendung mit den Rohdaten der Statistik Austria verglichen und auf Plausibilität geprüft. Die Daten für die stoffliche Nutzung stammen aus den Versorgungsbilanzen der Statistik Austria (Statistik Austria, 2020).

#### 2.3.4) Kohlenstoffsенke der oberirdischen Vegetation

Grundlage für die Berechnung der Kohlenstoffsенke ist die Photosyntheseleistung der Vegetation. Durch die Photosynthese speichern Pflanzen, welche die Waldvegetation bilden, Kohlendioxid aus der Luft und fixieren dieses in verschiedenen Kohlenstoffverbindungen (Cellulose, Lignin, Proteine, Zucker, usw.) (Formel 1: chemische Gleichung Photosynthese). Diese Kohlenstoffverbindungen werden in der Pflanze bzw. in den Organen der Pflanze gespeichert. Je nach Pflanzenteil wird der Kohlenstoff langfristig, z.B. als Lignin im Stamm eines Baums, oder über eine kürzere Zeit, z.B. das Laub eines Laubbaumes, gespeichert.

*Formel 1: chemische Gleichung Photosynthese*



Für die Berechnung des Kohlenstoffvorrats wurden die aktuellen Erhebungen der österreichischen Forstinventur herangezogen (Mayer, et al., 2019). Der Biomasse-Vorrat in 1000t Trockenmasse wurden für Flächen im Ertrag, außerhalb des Ertrags und für sonstige Vegetation und Lücken berechnet. Für die Berechnung des Biomassevorrats in Ertrag wurden der Holzvorrat nach Baumart-Aggregaten herangezogen (Tabelle 4) und mit einem Expansionsfaktor multipliziert. Die Expansionsfaktoren wurden dabei aus dem ursprünglichen Projekt übernommen. Angaben aus der Literatur zu dem oberirdischen Biomassefraktionen wie Rinde, Zweige, Äste, Früchte, Blätter und Dendromasse (Cannell, 1982), sowie Umrechnungsfaktoren von Vorratsfestmetern zu Trockenmasse (Haberl, 1995) lieferten die Grundlage für die Berechnung dieser Faktoren. Expansionsfaktoren wurden dabei für jede Baumart getrennt ermittelt. Der Kohlenstoffgehalt der oberirdischen Vegetation wurde mit 45% angenommen (Haberl, et al., 2001). Ebenfalls berücksichtigt wurden Blößen, Lücken und Sträucher. Für Strauchflächen wurde ein Flächenwert von 2,7 kg C/m<sup>2</sup> (Kilogramm Kohlenstoff pro Quadratmeter) angenommen, für Blößen und Lücken 0,22 kg C/m<sup>2</sup>. Da aus der BFI für Schutzwälder außer Ertrag keine Vorratsangaben hervorgehen, wurde für diese Wälder der mittlere Standing Crop der Potenziellen Vegetation Österreichs angenommen: 11,7 kg C/m<sup>2</sup> (Tabelle 4: Berechnung Standing Crop, C-Vorrat Ertragswald). Für die Ex-Post-Analyse wurde mit den bereits ermittelten Expansionsfaktoren und Standing Crops aus ROLAND gerechnet (Haberl, et al., 2003).

Tabelle 4: Berechnung Standing Crop, C-Vorrat Ertragswald

Ertragswald	Vorrat		Expansionsfaktor	Standing Crop
Art	[1000 Vfm]		[t TM/Vfm]	[1000t TM]
Fichte	708.302	60,4%	0,5406	382.916
Tanne	52.161	4,4%	0,5257	27.419
Kiefer	81.534	7,0%	0,6642	54.155
Lärche	77.493	6,6%	0,6915	53.584
sonst. Nadelbäume	6.482	0,6%	0,5469	3.544
Buche	117.799	10,0%	0,8966	105.615
Eiche, Esche, Hainbuche	66.367	5,7%	0,9581	63.586
sonst. Laubbäume	62.424	5,3%	0,7128	44.494
Summe	1.172.562	100,0%		735.318

Tabelle 5: Berechnung Standing Crop, C-Vorrat Sträucher, Lücken und Blößen

Außer Ertrag	Fläche	Standing Crop	Standing Crop
	km <sup>2</sup>	[kg/m <sup>2</sup> ]	[1000t TM]
HBaE	1.480	6	8.880
SWaE	5.280	26	137.280
Blößen	770	0,473	364,21
Lücken	2.550	0,473	1.206,15
Sträucher	1.100	6	6.600
Strauchflächen	300	6	1.800
Summe			156.130,36

Die Netto-Kohlenstoffsенke wurde nur auf Grundlage der Vegetationseinheiten berechnet, welche von der Bundesforstinventur erhoben werden. Der Zuwachs an Dendromasse abzüglich der Angaben über die Holznutzung und die Expansionsfaktoren wurden als Basis für diese Berechnungen herangezogen (Formel 2: Berechnung der Kohlenstoffsенke).

Formel 2: Berechnung der Kohlenstoffsенke

$$\frac{(\text{Zuwachs [1000 Vfm]} - \text{Nutzung [1000 Vfm]}) * \text{Expansionsfaktor} \left[ t \frac{\text{TM}}{\text{Vfm}} \right] * \text{Gehalt an C [\%]}}{1000} = \text{Kohlenstoffsенke des Zuwachs [Vfm]}$$

In Tabelle 6 ist der Standing Crop des Waldes in Mt Trockenmasse auf Basis Waldinventur angegeben. Diese Daten der Waldinventur wurden mit dem angenommenen Wert an C-Gehalt der Biomasse multipliziert um den den Kohlenstoffvorrat zu berechnen. Der

angenommene Wert an C-Gehalt von Biomasse wurde aus dem ursprünglichen ROLAND-Modell übernommen.

*Tabelle 6: Kohlenstoffgehalt der Standing Crop*

	Standing Crop	C-Gehalt Biomasse aus Annahme	C-Vorrat der Standing Crop
	[Mt TM]	%	[Mt C]
Ertragswald	735	45	331
Außer Ertrag	156		70
Summe	891		401

In Tabelle 7 ist dargestellt, wie die durchschnittliche Kohlenstoffspeicherung pro Jahr berechnet wurde. Die Differenz des C-Vorrats aus 1995 und 2016, wird auf Basis der Waldinventuren aus den jeweiligen Jahren errechnet und durch die Anzahl der Jahre geteilt um die durchschnittliche C-Speicherung pro Jahr zu berechnen.

*Tabelle 7: Berechnung durchschnittliche Kohlenstoffspeicherung pro Jahr (2016/18)*

	C-Vorrat Mt	Anzahl der Jahre
1995	335	21
2016	401	
Differenz	66	
Differenz / Anzahl der Jahre	3,1 Mt C durchschnittliche C-Speicherung pro Jahr	

Zusätzlich wurde der Indikator Kohlenstoffsенke in CO<sub>2</sub> umgerechnet, um einen Vergleich mit den Emissionen von verschiedenen Quellen zu erhalten. Für die Umrechnung in Mt CO<sub>2</sub>/a wurden die molaren Massen recherchiert und die Ergebnisse für C/a in CO<sub>2</sub>/a über die Stoffmengengleichung umgerechnet.

Um die Entwicklung der Waldflächen näher analysieren und in weiterer Folge diskutieren zu können, wurden auch Berechnungen und Recherchen zu den Entwicklungen der Waldflächen außer Ertrag angestellt. Für die Entwicklungen der Waldflächen außer Ertrag wurden Daten aus der Waldinventur herangezogen und der Verlauf über die Zeit dargestellt.

Die Berechnung von Zuwachs, Nutzung und Verbleib beruht ebenfalls auf Daten der Waldinventur. Dargestellt wurden die Jahre 1995, 2000/2, 2007/2009 und 2016/18. Die Daten aus Zuwachs und Nutzung wurden dabei jeweils summiert und mit Hilfe des eines

mittleren Raumdichtezahl-Faktors von Vorratsfestmeter in t TM umgerechnet. Der Verbleib an Holzmasse ergibt sich aus der Differenz von Zuwachs und Nutzung. Als mittlerer Raumdichtezahl-Faktor wurde ein Wert von 0,48 berechnet. Dieser Wert ergab sich aus dem Modell, welches für ROLAND erstellt wurde. Konkret wurde über die Summe an Zuwachs in Vfm und die Summe an Zuwachs an Zuwachs in t Trockenmasse der Umrechnungsfaktor berechnet (Tabelle 24).

### 2.3.5) Ausbringung von mineralischem Stickstoff

Der Indikator gibt an wie viel Stickstoff (N) als Reinstoff in den jeweiligen Szenarien in das Ackerland eingebracht wird. Wie schon bei der Kohlenstoffsenke wurde dieser Indikator mit den aktuell verfügbaren Zahlen nachgerechnet. Auch hier wurden zwei Werte berechnet. Auf der einen Seite wurde die Stickstoffzufuhr für die verschiedenen Landnutzungsaggregate bzw. Kulturen berechnet und die durchschnittliche Stickstoffzufuhr pro landwirtschaftlich genutzter Flächeneinheit.

Für die Berechnung wurde die Fläche je Kulturaggregat mit dem empfohlenen Düngeraufwand nach ÖPUL multipliziert. Die für die Berechnung verwendeten Werte sind in Tabelle 8 dargestellt. Für die Berechnung des Hidden Energy Inputs wurde ein Wert von 52,8 MJ/kg N aus der Literatur angenommen (Haberl, et al., 2003). Dieser wurde mit der Menge an Stickstoff pro Jahr und Kulturart multipliziert.

Tabelle 8: Berechnung Stickstoffaufwand durch Düngeraufwand und Hidden Energy-Input

	Fläche [ha]	Düngeraufwand [kg N/ha/a]	[1000t rein N/a]	Hidden Energy Input [PJ/a]
Brotgetreide	320.970	130	41,7	2,20
Futtergetreide	234.738	87	20,4	1,08
Körnermais	220.690	140	30,9	1,63
Silomais	85.684	140	12,0	0,63
Kartoffel	23.969	110	2,6	0,14
Zuckerrübe	27.878	113	3,1	0,17
Raps	35.966	140	5,0	0,27
Sonnenblume	21.245	60	1,2	0,07
Kurzumtriebsflächen	2.421		0,0	0,00
Ackerland2 (Ölpflanzen ohne Raps)	32.085	60	1,9	0,10
Garten	79.910	60	4,7	0,25
Summe	1.085.556	1040	123,8	6,54

### **2.3.6) Import-Export Analyse**

Für die Analyse der Export-Import Situation des österreichischen Agraraußenhandels wurden die aktuellen Versorgungsbilanzen der Statistik Austria aus dem Jahr 2018 herangezogen und die Exporte den Importen gegenübergestellt.

Um die Import-Export-Situation für die holzverarbeitende Industrie zu beleuchten, wurden Daten der Kooperationsplattform Forst-Holz-Papier und Austropapier aufgearbeitet. Für Rohholz, Schnittholz, Holzwerkstoffe und Sägenebenprodukte (SNP) wurden Daten von 2014 bis 2018 miteinbezogen (Forst Holz Papier, 2020) und für Papier Daten von 2000, 2010, 2017, 2018 und 2019. Ziel war es einen zeitlichen Verlauf der Außenhandelsituation darzustellen (Austropapier, 2020).

## **3) Ergebnisse**

### **3.1) Policy-Paper-Evaluierung**

#### **3.1.1) SDG-Aktionsplan 2019+**

Die Sustainable Development Goals, kurz SDGs oder Agenda 2030, wurden 2012 während der Konferenz der Vereinten Nationen über nachhaltige Entwicklung in Brasilien beschlossen. Die Agenda 2030 enthält 17 Ziele für eine nachhaltige Entwicklung. Darunter auch viele die direkt und indirekt mit Landnutzung zu tun haben (Griggs, et al., 2013).

Der SDG-Aktionsplan des BMNT aus dem Jahr 2019 legt Methoden zur Evaluierung und Umsetzungsinitiativen für die Agenda 2030 fest. Das BMNT setzt dabei verschiedene Schwerpunktthemen, die sich aus den Sustainable Development Goals ableiten. Dabei haben nicht alle Bereiche einen Bezug zu Biomasse und Landnutzung. Die Schwerpunktthemen "Respekt vor der Natur" und "Gleiche Chancen am Land" legen einen Schwerpunkt mit dem Sektor Landnutzung und werden daher im Zuge der Analyse näher beleuchtet (Abteilung III/2, 2019).

Das Schwerpunktthema Respekt vor der Natur beinhaltet Strategien und Initiativen, welche eine Grundlage für weitere Strategien liefern, die in der vorliegenden Arbeit analysiert werden. Als Beispiel ist die Bioökonomie-Strategie zu nennen. Im SDG-Aktionsplan wird ein Ampelsystem zur Bewertung der Initiativen vorgestellt wird, Dieses Ampelsystem beurteilt, wie gut eine Strategie zur Erreichung der SDGs geeignet ist. Dabei werden drei Ziele ausgewählt, die durch eine bestimmte Strategie erreicht werden können. Diese Ziele werden dann mit ein, zwei oder drei Ampellichtern bewertet. Das System basiert auf einer

Ordinalskala, wobei drei Lichter eine starke Wirkung auf ein Ziel, zwei Lichter eine mittlere Wirkung und ein Licht eine geringe Wirkung bedeuten. Die Bioökonomiestrategie wird beispielsweise mit einer mittleren Wirkung auf die Ziele "Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen" und "Maßnahmen zum Klimaschutz" und mit einer starken Wirkung auf das Ziel "Nachhaltiger Konsum und Produktion" bewertet (Abteilung III/2, 2019).

Das Schwerpunktthema "Gleiche Chancen am Land" beinhaltet unter anderem das ebenfalls analysierte "Programm für die ländliche Entwicklung". Der SDG-Aktionsplan stellt dabei fest, dass dieses Programm eine starke Wirkung auf die Ziele "kein Hunger" und "Maßnahmen zum Klimaschutz" aufweist (Abteilung III/2, 2019).

Der SDG-Aktionsplan beschreibt allgemeine Ziele und beinhaltet kaum konkrete Maßnahmen. Jedoch wird durch das Ampelsystem ein Bewertungsinstrument vorgestellt und dessen Anwendung erläutert. Wie bereits erwähnt enthält die Strategie, Programme die ebenfalls Teil dieser Analyse sind und die jeweiligen Themen näher beschreibt.

### **3.1.2) Bioaktionsprogramm**

Das Bioaktionsprogramm aus dem Jahr 2015 verfolgt das Ziel einer Förderung der biologischen Landwirtschaft. Österreich ist laut Programm führend im Bio-Landbau innerhalb der europäischen Union. Damit verbunden soll es auch zu einer generellen Verbesserung von Böden und deren Eigenschaften als Speicher für mineralische und organische Nährstoffe kommen. Außerdem fordert es eine artgerechte Tierhaltung der Nutztiere ein. Ein weiterer Punkt ist die Biodiversität von Nutztieren und Nutzpflanzen. Ein Ziel hierbei ist es, auf robustere Arten und Rassen zu setzen. Auch die Erhaltung der Diversität als genetischer Pool wird als positiver Effekt gewertet. Der biologische Landbau zielt eher auf eine Vielzahl kleinerer Betriebe und weniger auf die Dominanz von großen Betrieben ab. Das Bioaktionsprogramm ist außerdem Teil des Masterplans für den ländlichen Raum.

### **3.1.3) Bioökonomiestrategie**

Die Bioökonomiestrategie (2019) verfolgt eine regionale Wertschöpfungskette. Dabei soll die österreichische beziehungsweise europäische Industrie weitgehend unabhängig von fossilen Rohstoffimporten werden. Damit sollen biologische Rohstoffe als Ausgangstoffe für industrielle Prozesse verfügbar gemacht werden. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei auf dem Aufbau einer neuen innovativen Industrie, die weltweit konkurrenzfähig ist. Auch Aspekten der Nachhaltigkeit wird Raum gegeben, vor allem beim Umgang und der Produktion von

biologischen Rohstoffen. So sollen Prozesse innerhalb der Bioökonomie die Idee der kaskadischen Nutzung zu Grunde liegen. Hierbei soll bei jedem Rohstoff die Wertschöpfung maximiert werden und der Abfall minimiert werden. In erster Linie wird in der Strategie an einer konkurrenzfähigen Hochleistungsbioindustrie gearbeitet. Nachhaltigkeit soll mitgedacht werden, steht jedoch hinter dem Ziel des Ausbaus einer neuen Industrie. Wichtige Voraussetzungen für ein Nachhaltiges Wirtschaften und zugleich große Herausforderungen für zukunftsfähige Bioökonomie-relevante Industrien sind somit die Berücksichtigung von Flächenknappheit als Ausgangsgrößen, die nachhaltige Nutzung der Böden und Gewässer, das Schließen von Stoffkreisläufen, geeignete Nährstoffbewirtschaftung, die Beachtung der gesamten Treibhausgas-Bilanz sowie die konsequente Berücksichtigung kultureller und sozialer Aspekte. Die Idee der Nutzung von NAWAROs ist die Kreislaufführung, so werden die Ressourcen nicht verbraucht, sondern im optimalen Fall dem Kohlenstoffzyklus bzw. Nährstoff- und Wasserzyklus wieder zugeführt. Die Bioökonomie soll durch ihre CO<sub>2</sub>-Neutralität eine wichtige Rolle in der Bekämpfung des Klimawandels spielen. Die Wertschöpfung soll Großteils in Österreich bzw. Europa stattfinden. Internationaler Handel mit Endprodukten und Technologien ist explizit erwünscht. Österreich möchte global neue zukunftsträchtige Wirtschaftszweige besetzen (First Mover Advantage). Prioritäre Forschungsaufgaben sind daher die Identifizierung der wesentlichen Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Bioökonomie, das Darlegen der Trade-Offs zwischen ökonomischen und ökologischen Zielen und das Etablieren eines Nachhaltigkeitsmonitorings (BMK, 2016).

### **3.1.4) LULUCF- Aktionsplan, Land Use, Land Use Change and Forestry**

Der LULUCF Aktionsplan 2016 der österreichischen Bundesregierung ist für die vorliegende Arbeit ein sehr wichtiges Dokument. Es handelt sich um eine Strategie, wie die Sektoren Landnutzung und Forstwirtschaft in die EU-Klimaziele eingebunden werden sollen. Die EU-Klimaziele wurden in Österreich durch das Klimaschutzgesetz (KSG) rechtlich umgesetzt. Nicht erfasst waren dabei die Sektoren Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft. Während der UN-Klimakonferenz in Doha 2012 wurden die Regeln und Ziele der zweiten Verpflichtungsperiode unter dem Kyoto-Protokoll angenommen. Auf Basis dieser Regeln wurden auch die LULUCF-Sektoren aufgenommen. Die EU-Mitgliedsstaaten wurden aufgefordert, ihr Berichtswesen-System bis 2020 kontinuierlich zu verbessern. Mit der Klimakonferenz in Paris 2015 wurden EU-Klimaziele von -40% THG-Emissionen im Vergleich zum Jahr 1990 festgelegt. Mit 2018 hat die EU-Anrechnungsmöglichkeiten für die einzelnen Landnutzungssektoren erlassen. Die Ziele und das Monitoring für LULUCF

Sektoren werden im Aktionsplan festgeschrieben. Die LULUCF Sektoren, in erster Linie der österreichische Wald, werden im Aktionsplan als Nettokohlenstoffsенke identifiziert. Die zweitgrößte C-Senke sind die geernteten, langlebigen Holzprodukte. Ein wichtiges Instrument, welches eingeführt wurde, ist die Anrechenbarkeit von Kohlenstoffsенken in die Treibhausgasbilanz. So ist es den einzelnen Nationalstaaten möglich, den in Biomasse gebunden Kohlenstoff pro Jahr in die Treibhausgasbilanz miteinzubeziehen. Dies ermöglicht, bei einer nachhaltiger Landnutzung, einen gewissen Ausgleich in der Emissionsbilanz (BMK, 2019).

### **3.1.5) Masterplan Ländlicher Raum**

Hier wird die Stärkung von ländlichen Regionen angezielt. Nicht alle Kapitel sind landnutzungsrelevant. Als Chance wird die Bioökonomie wahrgenommen. Diese soll die Wertschöpfung im ländlichen Raum stärken und auch qualifizierte Arbeitsplätze zurück in den ländlichen Raum bringen. Auch die Direktvermarktung von regionalen Produkten und die Schaffung und Stärkung der regionalen Identität werden als Chancen gesehen. Bioökonomie und die Steigerung der Wertschöpfung sind stark im Masterplan verankert. Die kaskadische Nutzung von Biomasse wird im Kapitel Kreislaufwirtschaft erwähnt, Strategien werden aber nicht näher ausgeführt. Die regionale Identität und Authentizität sind Ziele des Masterplans, auch wird mit Hinweis zum Bioaktionsprogramm eine Erhöhung des Bio-Landbaus angestrebt. Von einer Forcierung ist jedoch keine Rede. Vor allem für kleine, naturnahe Betriebe wird auch ein touristischer Wert eingeräumt. Hier soll vor allem die Vermarktung von bereits bestehenden Kleinbetrieben vorangetrieben werden. Es gibt viele Kapitel, die sich mit dem Thema Nachhaltigkeit auseinandersetzen. Diese beschäftigen sich mit der Energie- und Mobilitätswende im ländlichen Raum und der Schaffung neuer Infrastruktur. Gleichzeitig soll dem Bodenverbrauch im ländlichen Raum entgegengewirkt werden. Von einer intelligenten Nutzung ist hier Rede. Wissensaustausch zur Entwicklung des ländlichen Raums soll global stattfinden. Der Export von qualitativ hochwertigen Produkten wird als Chance für die österreichische Agrarwirtschaft gesehen. Man möchte seinen Vorsprung in der biologischen Produktionsweise weiter ausbauen. Gleichzeitig wird die Globalisierung auch als Herausforderung für den ländlichen Raum verstanden, da immer mehr Biomasse und Agrarprodukte auf den Weltmärkten gehandelt wird (BMLFUW, 2017).

### **3.1.6) Mission 2030**

Die Mission 2030 gibt die Rahmenbedingungen für österreichische Klimapolitik und Klimaschutz. 2016 lag der Anteil an erneuerbaren Energien bei 33,5%. 72% des Stroms in Österreich stammen aus erneuerbaren Technologien. Rund 263 PJ/a des Bruttoinlandsverbrauchs an Energie stammt im Jahr 2016 aus biogenen und sonstigen erneuerbaren Rohstoffen. Die Treibhausgasemissionen sind seit 2005 gesunken, wobei in den Jahren 2015 und 2016 ein Anstieg an THG zu erkennen war. Die EU-Ziele sehen eine Reduktion von 40% im Vergleich zu 1990 vor. Die Mission 2030 Strategie betrachtet das Jahr 2005 als Referenzjahr, was die Analyse erschwert. Das Ziel der Mission ist eine Reduktion von 36% im Vergleich zum Jahr 2005. Besonders relevant für die Sektoren Land- und Forstwirtschaft ist das Leuchtturmprojekt "Bioökonomie". Dieses beruht auf der Bioökonomiestrategie, welche im Zuge der Textanalyse genauer betrachtet wird (BMK, 2016).

Gemeinsam mit Maßnahmen der gemeinsamen Agrarpolitik und dem Masterplan für den ländlichen Raum sollen leistungsstarke und strukturvielfältige ländliche Regionen einen Schlüsselbeitrag für die Transformation zu einem nachhaltigen Energiesystem leisten. Hierfür soll der Flächenverlust durch Verbauung reduziert werden und fruchtbare Böden erhalten bleiben. Der Holzzuwachs, aber auch die Verwendung von Holz soll weiter gestärkt werden. Wäldern und landwirtschaftlichen Flächen wird ein Beitrag zum Klimaschutz im Sinne der Kohlenstoffspeicherung zugesprochen. Landwirtschaftliche Treibhausgasemissionen, vor allem Methan und Lachgas, sollen durch eine artgerechte Tierhaltung und ein verantwortungsvolles Düngermanagement weiter reduziert werden. Gezielter Humusaufbau und die Ausweitung des biologischen Landbaus sollen zusätzlich dem Klimawandel entgegenwirken. Detailliert wird auf die Kohlenstoffspeicherkapazität von Böden im LULUCF eingegangen (BMK, 2016).

### **3.1.7) ÖPUL – Agrarumweltprogramm**

Das Agrarumweltprogramm (ÖPUL) legt in erster Linie auf Nachhaltigkeit und Umweltschutz wert. Bodenschutz, Arterhaltung, Naturschutz und Gewässerschutz stehen im Vordergrund des Programms. Ziel ist es ein funktionierendes Ökosystem zu erhalten, welches hochqualitative Produkte und Ökosystemdienstleistungen zur Verfügung stellen kann.

Es wird hervorgehoben, dass Österreichs Landschaft von kleinstrukturierten Familienbetrieben im Agrarbereich geprägt ist. Diese Struktur gewährleistet, wie oben erwähnt, die qualitativ hochwertigen Produkte und Dienstleistungen. Liberalisierung

beziehungsweise Globalisierung werden kritisch betrachtet, da diese potenziell der kleinräumigen Agrarstruktur schaden könnten. Globale Klimaveränderungen, welche die Folgen vieler globaler (Markt-)Prozesse sind, werden als negativ beurteilt. Die Maximierung von Erträgen und Gewinnen steht nicht im Vordergrund und wird als eher kritisch betrachtet. Eine weitere Intensivierung der Agrarwirtschaft wird als Gefahr für die Artenvielfalt und funktionierende Agrarökosysteme beschrieben. Die ökonomische Perspektive der Landnutzung steht nicht im Vordergrund, jedoch werden die Folgen des globalen Klimawandels als Gefahr für die Agrarwirtschaft angesehen. ÖPUL vergibt auch Förderungen für das Erreichen der festgelegten Ziele. Die Förderungen sind dabei an Kriterien gebunden, welche erfüllt werden müssen. Damit beinhaltet die ÖPUL-Strategie, im Gegensatz zu vielen anderen Strategien, ein konkretes politisch-monetäres Instrument (Grandl, et al., 2016).

### **3.1.8) Die österreichische Waldstrategie 2020+**

Die österreichische Waldstrategie 2020+ beschäftigt sich mit der Frage, was der Wald in Österreich zukünftig leisten soll. Sie baut auf dem 1. und 2. österreichischen Waldprogramm auf und zeigt eine strategische Ausrichtung mit konkreten Handlungsvorschlägen auf. Grundpfeiler ist dabei Nachhaltigkeit wie sie im § 1 Abs.2 Z 3. des österreichischen Fortgesetzes 1975 festgeschrieben ist. Es werden dabei sieben Handlungsfelder identifiziert, die zur Sicherung und Verbesserung der multifunktionalen Leistungen von Waldökosystemen beitragen sollen. Diese behandeln Aspekte der ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Ökosystemdienstleistungen des Waldes (BNT, 2018).

- Beitrag der österreichischen Wälder zum Klimawandel
- Gesundheit und Vitalität der österreichischen Wälder
- Produktivität und wirtschaftliche Aspekte der österreichischen Wälder
- Biologische Vielfalt in Österreichs Wäldern
- Schutzfunktionen der österreichischen Wälder
- Gesellschaftliche u. volkswirtschaftliche Aspekte der österreichischen Wälder
- Österreichs internationale Verantwortung für nachhaltige Waldbewirtschaftung

Durch das gesamte Dokument zieht sich der Konflikt zwischen den ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Funktionen des Waldes; dieser Konflikt ergibt sich durch die multifunktionalen Leistungen, die der Wald erfüllen soll. Zum Beispiel wird sowohl das Ziel genannt, die Holznutzung zu verstärken, um mehr Umsätze zu generieren, als auch das Ziel des Schutzes von besonderen Habitaten für seltene Arten (BNT, 2018).

Ein wichtiges Thema ist der anthropogene Klimawandel. Auf der einen Seite ist der Wald direkt von Klima- und Umweltwandel betroffen, auf der anderen Seite wird er ein wichtiger Akteur in der Abmilderung der Auswirkungen des globalen Wandels sein. Der Wald soll weitgehend CO<sub>2</sub>-neutrale Energie und andere nachwachsende Rohstoffe wie Bauholz und Grundstoffe liefern. Wichtig ist auch die internationale Konkurrenzfähigkeit der österreichischen Holz- und Forstwirtschaft. Innovationen in der Holz- und Fasertechnologie sollen einen wichtigen Beitrag in der Bioökonomie leisten. Die regionale Wertschöpfung soll dabei helfen den ländlichen Raum zu stärken (siehe auch Masterplan ländlicher Raum). Das Holznutzungspotential des österreichischen Waldes soll unter Berücksichtigung des Nachhaltigkeitsgedankens ausgenutzt werden. Hier wird jedoch abermals ein Konflikt identifiziert. Durch die angestrebte Substituierung von fossilen oder emissionsintensiven Produkten durch holzbasierte Lösungen kann die Gesundheit des Waldes leiden, wenn mehr als der jährliche Holzzuwachs entnommen wird. Die Kohlenstoffspeicherkapazität von Vegetation, aber auch von Waldböden, soll als wichtige Maßnahme gestärkt werden (BNT, 2018).

Mitigationsmaßnahmen gegen den Klimawandel sind das zweite wichtige Klimathema der Strategie. So sollen durch Waldumbau Mischwälder etabliert und die Resilienz der österreichischen Wälder erhöht werden. Außerdem soll der Wald als Reservoir der Biodiversität dienen. Auf allen Ebenen der Diversität, von Genen bis Lebensraumtypen, sollen Maßnahmen zur Verbesserung etabliert werden (BNT, 2018).

Die Waldstrategie 2020+ gibt auch konkrete Angaben zur Umsetzung und Messung der Strategien an. So sind für jedes der sieben Handlungsfelder Indikatoren aufgelistet. Die behandelten Themen wirken ganzheitlich. Das Dokument gibt in Hinblick auf die vier ROLAND-Szenarien keine eindeutige Entwicklungsrichtung an. Aspekte aller Szenarien sind in dem ausführlichen Strategiepapier enthalten (BNT, 2018).

### **3.1.9) Zusammenfassung Textanalyse**

Die Ziele lassen sich grob in ökonomische und ökologische Ziele unterteilen. Die ökonomischen Ziele zeigen dabei zwei verschiedene Ausrichtungen. Einerseits wird eine kleinstrukturierte Landwirtschaft als besonders erstrebenswert definiert, auf der anderen Seite wird eine Industrialisierung der Agrarrohstoffe in Form einer hochtechnologischen und effizienten Bioökonomie angestrebt. Sie sollen dabei gleichzeitig den ländlichen Raum als Wirtschaftsstandort stärken und Österreich international eine Vorreiterposition in der Bio-Industrie sichern. Ökologisch stehen der Schutz und verantwortungsvolle Umgang mit

natürlichen Ressourcen im Vordergrund. So sollen Böden, Resilienz der Ökosysteme, Artenvielfalt der wildlebenden Tier- und Pflanzenarten, aber auch der Erhalt von seltenen Nutztierassen und Nutzpflanzensorten, erhalten und gestärkt werden. Im Bereich des Klimaschutzes wird die Landnutzung, vor allem im Bereich der Forstpolitik, als Kohlenstoffsенке definiert. Eine nachhaltige Forstwirtschaft soll die Klimabilanz, im Rahmen des LULUCF Aktionsplans, Österreichs verbessern. Langfristig sollen gesunde Wälder einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Die Ausrichtungen der Ziele sind in den verschiedenen Dokumenten unterschiedlich stark ausgeprägt. Vor allem die Bioökonomiestrategie und der Masterplan für den ländlichen Raum weisen eine stark ökonomische Ausrichtung auf.

In Tabelle 9: Zusammenfassung Policy-Analyse im Vergleich mit den Definitionen der Szenarien wird eine zusammenfassende Bewertung der Policy-Papers angestellt. Die Tabelle stellt dar, ob die politischen Ziele, die in den Dokumenten vermittelt werden, sich in einem, oder mehreren Szenarien überwiegend wiederfinden oder nicht. Die Inhalte der Szenarien TREND und SUST finden sich dabei in einer Vielzahl der analysierten politischen Strategien wieder.

*Tabelle 9: Zusammenfassung Policy-Analyse im Vergleich mit den Definitionen der Szenarien*

<b>Strategiepapier</b>	TREND	MAX	SUST	GLOB
Bioaktionsplan	✓	✗	✗	✗
LULUCF Aktionsplan	✓	✗	✓	✗
Bioökonomiestrategie	✗	✗	✓	✗
ÖPUL	✓	✗	✗	✗
Mission 2030	✓	✗	✓	✗
Masterplan für den ländlichen Raum	✓	✗	✓	✗
Österreichische Waldstrategie	✓	✗	✓	✗
SDG Aktionsplan	✓	✗	✓	✗
✓= Ziele des Strategiepapiers finden sich in Definition des jeweiligen Szenarios wieder ✗= Ziele des Strategiepapiers finden sich in Definition des jeweiligen Szenarios nicht wieder				

### **3.2) Daten- und Indikatoranalyse**

#### **3.2.1) Landnutzung**

In Abbildung 3 ist die Flächeninanspruchnahme der verschiedenen Landnutzungsarten in km<sup>2</sup> dargestellt. Man kann erkennen, dass die Fläche für Infrastruktur und bebaute Flächen stärker gestiegen ist als in den Szenarien angenommen. Agrar- und Gartenflächen weisen einen Rückgang im Vergleich zum Basisjahr von ROLAND auf. Die aktuellen Daten aus der Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktionserhebung (2019) der Statistik Austria zeigen einen Anstieg, der den Szenarien TREND, SUST und MAX ähnlich ist. Das GLOB-Szenario weist eine

viel geringere Fläche für Agrarland auf als die aktuellen Statistik Austria-Daten. Die Fläche an Grünland ist nach aktueller Datenlage im Vergleich zu allen Szenarien und dem Basisjahr gesunken (Statistik Austria, 2020).

Die Datenlage bei Waldflächen ist nicht eindeutig. Nach Daten der ÖSTAT ist die Fläche an Wald gesunken. Wenn man die Daten von aktuellen Zwischenberichten der Waldinventur heranzieht, ist die Fläche gestiegen. Dies liegt an unterschiedlichen Methoden in der Erhebung.

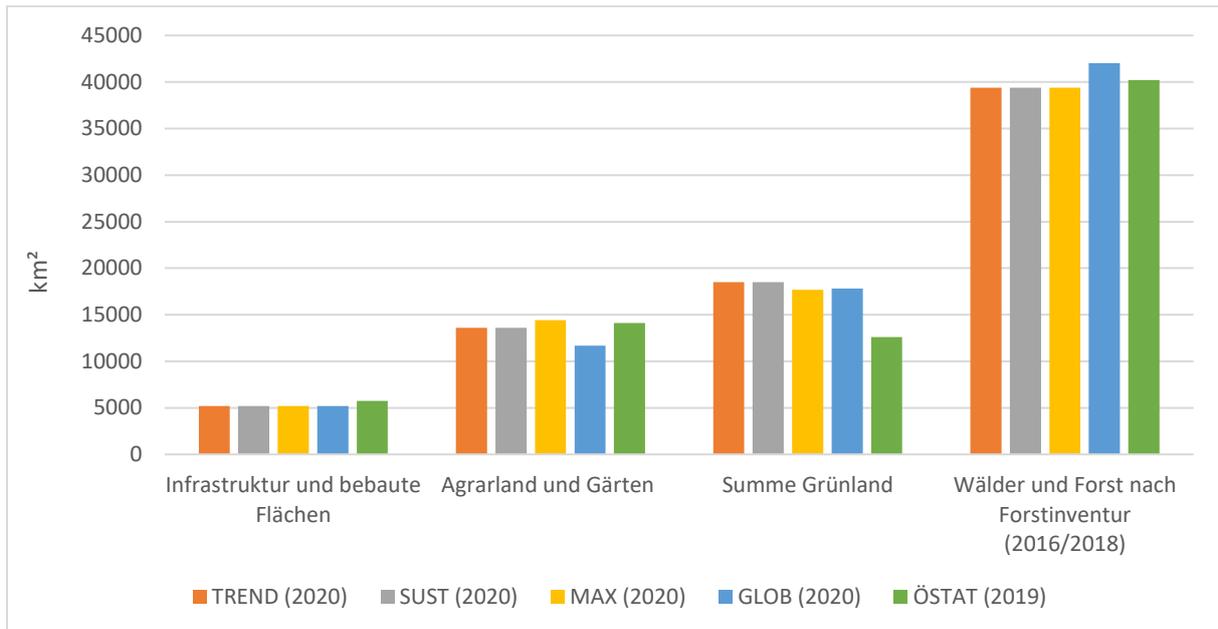


Abbildung 3: Vergleich Landnutzung ROLAND und aktuelle Daten in km<sup>2</sup>

Die Unterschiede zwischen den Szenarien und der aktuellen Datenlage ist in Abbildung 4 dargestellt. Im Bereich Infrastruktur ist zu erkennen, dass die Fläche in Relation zum Basisjahr um 45% gestiegen ist. Im Vergleich zu den Szenarien ist die bebaute Fläche um 10% stärker gestiegen. In allen Szenarien hatten die Infrastruktur und bebauten Flächen den gleichen Wert. Dies führt daher, dass diese Fragestellung nicht im Fokus des Projekts lag. Agrar- und Gartenflächen sind um 4% gesunken. Die Szenarienergebnisse verhalten sich hier sehr unterschiedlich. Während es um 4% mehr Agrarfläche als bei den Szenarien TREND und SUST gibt, sind es beim MAX-Szenario um 2% weniger als im Szenario berechnet. Nach aktueller Datenlage gibt es um 21% mehr Agrarflächen als im GLOB-Szenario. Die aktuelle Fläche an Grünland geringer als in allen Szenarien und im Basisjahr.

Die Nutzungsform Wald weist wieder zwei unterschiedliche Ergebnisse auf. Während nach Erhebungsmethode nach ÖSTAT der Wald um 13,4% bzw. 18,9% weniger Fläche beansprucht als in den Szenarien, liefern die Ergebnisse der Waldinventur 2,1% mehr

Waldfläche. Ausnahme ist hier das GLOB-Szenario, denn auch bei der Betrachtung der Waldinventur gibt es weniger Wald als im Szenario.

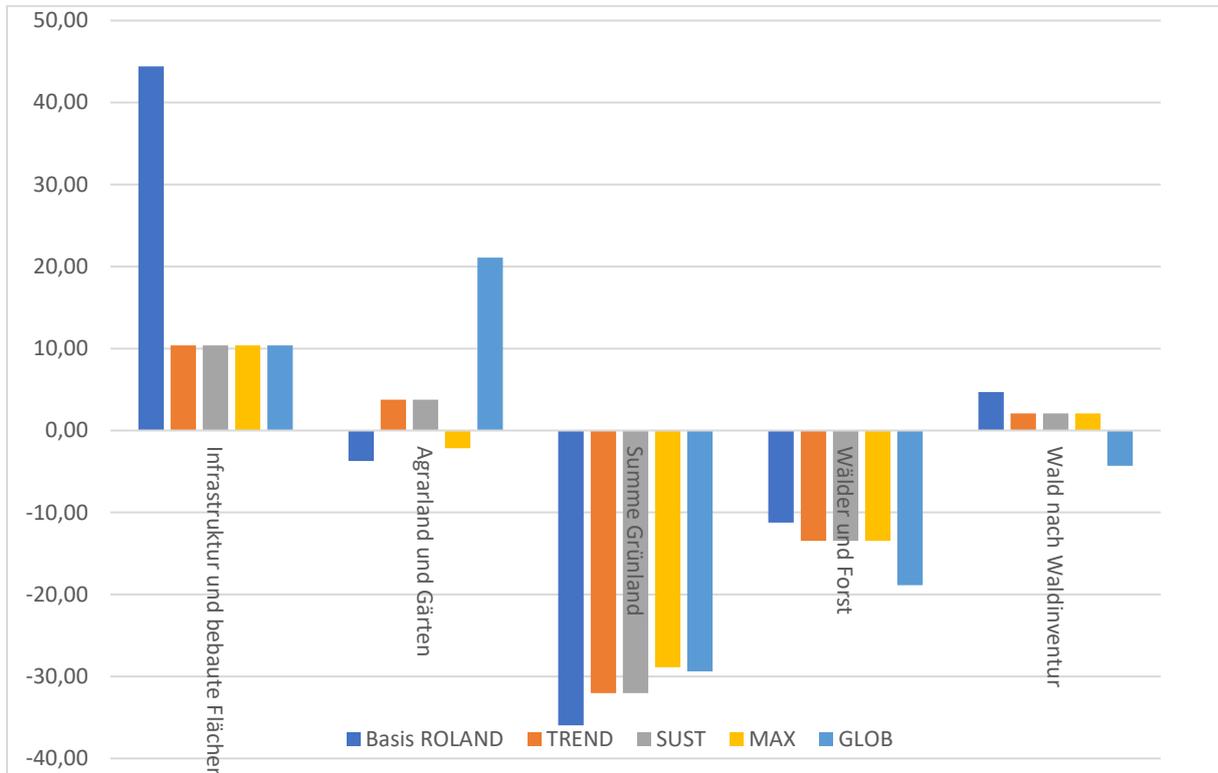


Abbildung 4: Veränderung/Abweichung des Basisjahres/der Szenarien zu den aktuellen Daten in %

Wie viel Prozent der Ackerflächen von verschiedenen Kulturpflanzen eingenommen wird, ist in Abbildung 5 zu erkennen. Es wurden hierbei dieselben Feldfruchtaggregate verwendet wie in Tabelle 3: Feldfruchtaggregate. Die Fläche, auf der Brotgetreide angebaut wird, ist im Vergleich zum Basisjahr, dem TREND- und dem MAX-Szenario höher und fällt geringer aus im Vergleich zu SUST und viel geringer im Vergleich zu GLOB. Die Futtergetreidefläche ist gesunken und fällt niedriger aus als in allen vier Szenarien berechnet wurde. Die Entwicklungen bei Körnermais sind entgegengesetzt. Hier ist die Anbaufläche im Vergleich zum Basisjahr und allen Szenarien viel höher. Silo-Mais weist hingegen ähnliche Werte auf wie das Basisjahr, das TREND-, MAX- und SUST-Szenario, nur das Globalisierungsszenario ergibt einen geringeren Flächenanteil. Die Kartoffelanbaufläche ist gegenüber allen Ergebnissen der Szenarien geringer, besonders auffallend bei MAX und SUST. Die Zuckerrübe ist ebenfalls auf einer kleineren Fläche kultiviert worden als in den Szenarien. Die Statistik Austria Daten zeigen, dass die Rapsfläche gesunken ist. Im Vergleich mit allen Szenarien ist ein geringerer Wert zu erkennen. Am schwächsten ausgeprägt ist dieser Unterschied bei GLOB, am stärksten bei MAX. Die Anbaufläche bei Sonnenblumen ist ebenfalls geringer im Vergleich zu den ROLAND-Szenarien, besonders niedrig ist die Fläche im Vergleich zum

GLOB-Szenario. Der Klee- und Egartenanbau ist gestiegen und höher als bei den vier Szenarien. Ackerbrachflächen sind gesunken. Auch im Vergleich zu den Szenarien ist die Brachfläche gering. Ausnahme ist dabei das SUST-Szenario, dieses weist weniger Brachflächen auf. Der Flächenanteil sonstiger Feldfrüchte ist gestiegen, jedoch fällt dieser Anstieg geringer aus als in den Szenarien angenommen.

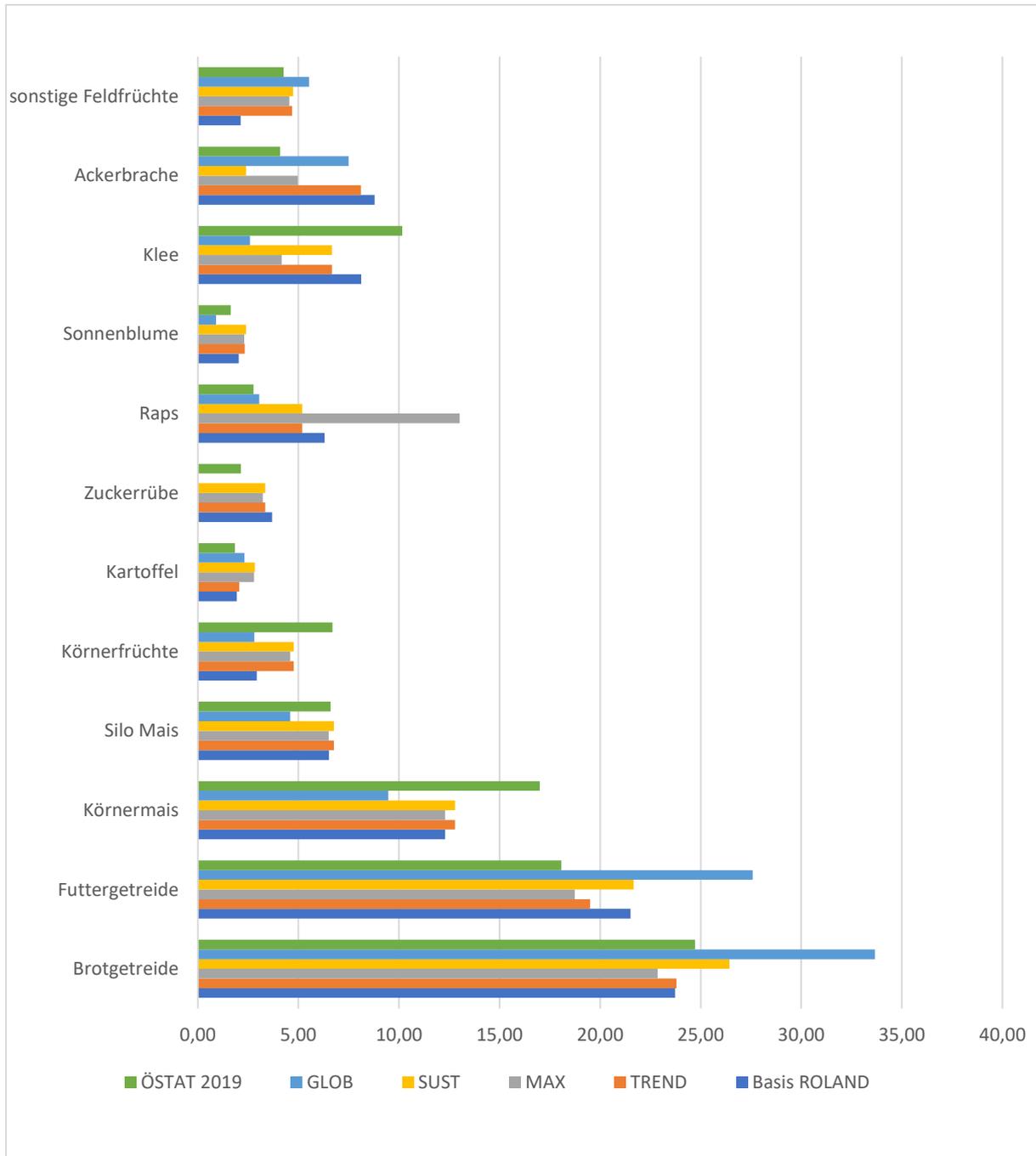


Abbildung 5: Vergleich der Anbauflächen der Kulturarten an der Gesamtagrarfläche in %

In Tabelle 16: Rohdaten Flächeninanspruchnahme Kulturarten (Anhang) sind die absoluten Flächenanteile der verschiedenen Feldfruchtaggregate nachzulesen. Auf Basis dieser Daten wurden die prozentualen Anteile der Kulturarten an der Gesamtfläche berechnet.

### 3.2.2) Ertrag

Abbildung 6 und Abbildung 7 sind die Ergebnisse des Ertragsvergleichs grafisch aufbereitet. Die Kulturarten wurden in zwei Grafiken unterteilt, um die Ergebnisse besser lesen und interpretieren zu können. Für Silomais ähneln die Szenarien den Statistik Austria-Daten, nur im GLOB-Szenario wurde ein höherer Ertrag berechnet. Die Ertragsprognosen für Kartoffeln kommen den Daten der Statistik Austria sehr nahe. Auch bei der Zuckerrübe gleichen sich Szenarienergebnisse und Statistik Austria-Erhebung.

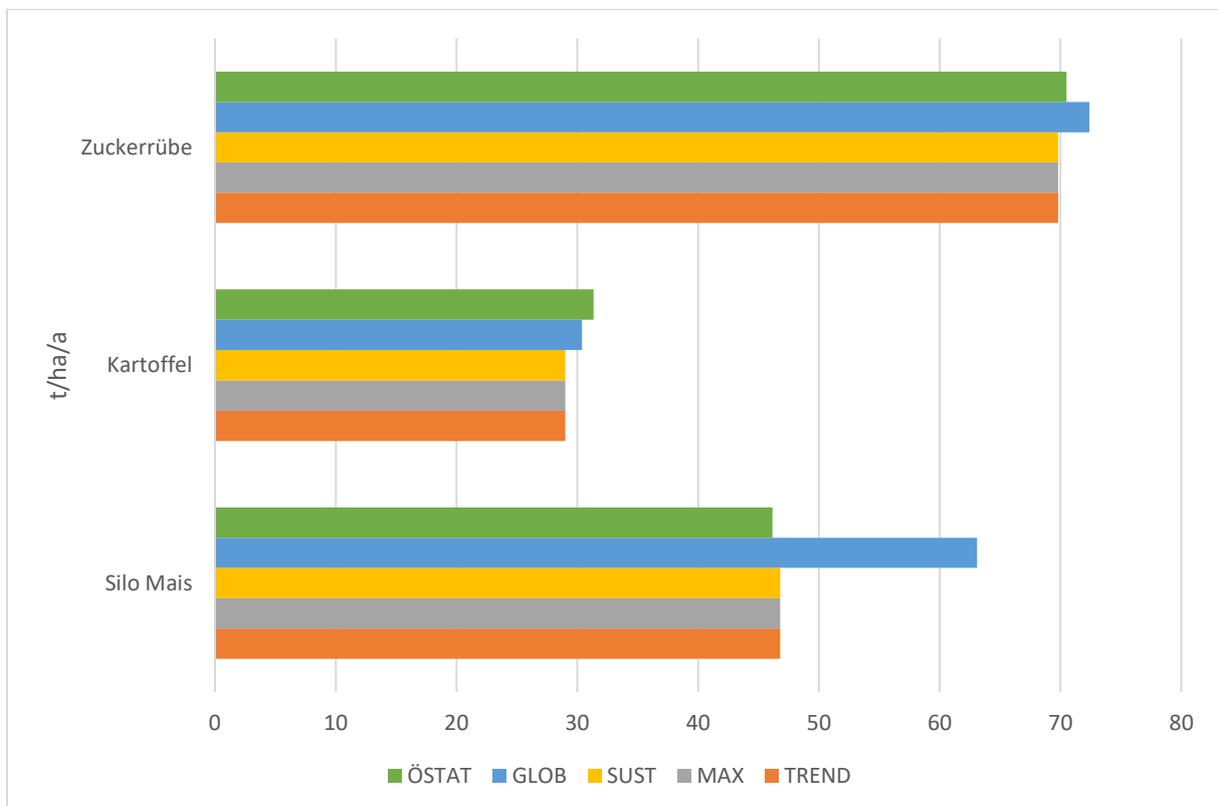


Abbildung 6; Vergleich der Erträge von Silomais, Kartoffel und Zuckerrübe (t/ha/a)

Wie in Abbildung 7 zu erkennen ist, ergaben sich in den Szenarien TREND, MAX und SUST etwas geringere Erträge für Brot- und Futtergetreide. Im GLOB-Szenario wurden hingegen höhere Erträge berechnet. Eine ähnliche Situation ist bei Körnermais zu erkennen. Bei Raps und Grünschnitt liegen die Prognosen von TREND, MAX und SUST im Bereich der ÖSTAT-Daten. Das GLOB-Szenario ergibt einen höheren Ertrag als die aktuellen Datensätze. Die Sonnenblumenenerträge bei TREND, SUST und MAX liefern einen geringeren Wert als die

aktuelle Datensituation, diese liegen näher beim GLOB-Szenario. Kleeerträge wurden bei allen Szenarien überschätzt.

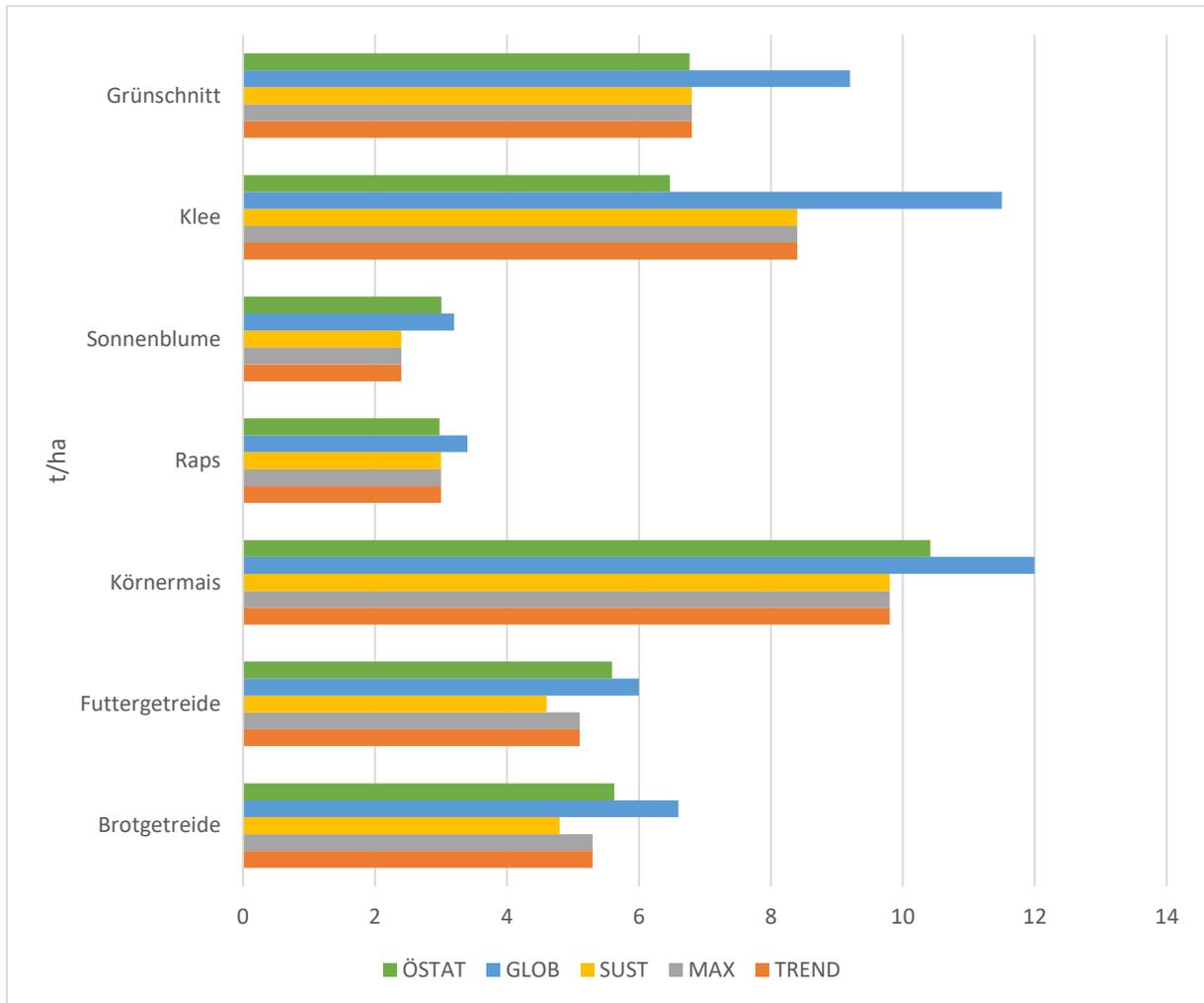


Abbildung 7: Vergleich der Erträge von Brotgetreide, Futtergetreide, Körnermais, Raps, Sonnenblume, Klee und Grünschnitt (t/ha)

In Abbildung 8 ist der prozentuale Unterschied der Erträge von Grünschnitt, Klee, Sonnenblume, Raps und Zuckerrübe aus den Szenarien in Relation zu den ÖSTAT-Daten ersichtlich. Man kann erkennen, dass die Erträge in den ÖSTAT Daten geringer sind als die des GLOB-Szenarios. Außerdem zeigt die Grafik, dass viel weniger Klee geerntet wurde als in den Szenarien angenommen. Prozentual schlägt die Sonnenblume stärker ins Gewicht als in den Szenarien SUST, TREND und MAX angenommen. In Bezug zum Basisjahr sind die Erträge von Sonnenblume, Raps und Zuckerrübe gestiegen und der von Klee gesunken. Die hohen Erträge im GLOB-Szenario erklären sich durch die Annahmen, dass sich ein massiver Wettbewerb einstellt und sich der Anbau auf Gunstlagen konzentriert.

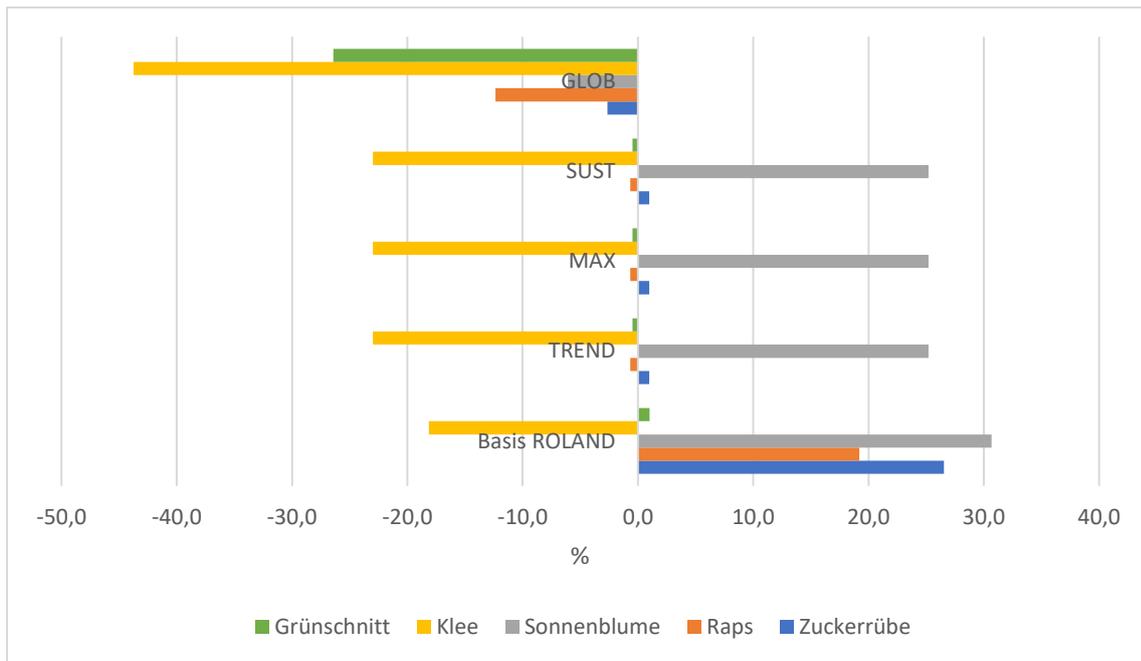


Abbildung 8: Unterschiede der Erträge (Grünschnitt, Klee, Ölpflanzen und Zuckerrübe) der verschiedenen Szenarien in Relation zu aktuellen Daten in %

Abbildung 9 zeigt die Entwicklung der Erträge von Gerste, Körnermais, Sojabohne und Weizen. Dabei weisen Weizen, Soja und Körnermais einen steigenden Trend und Gerste einen sinkenden Trend auf.

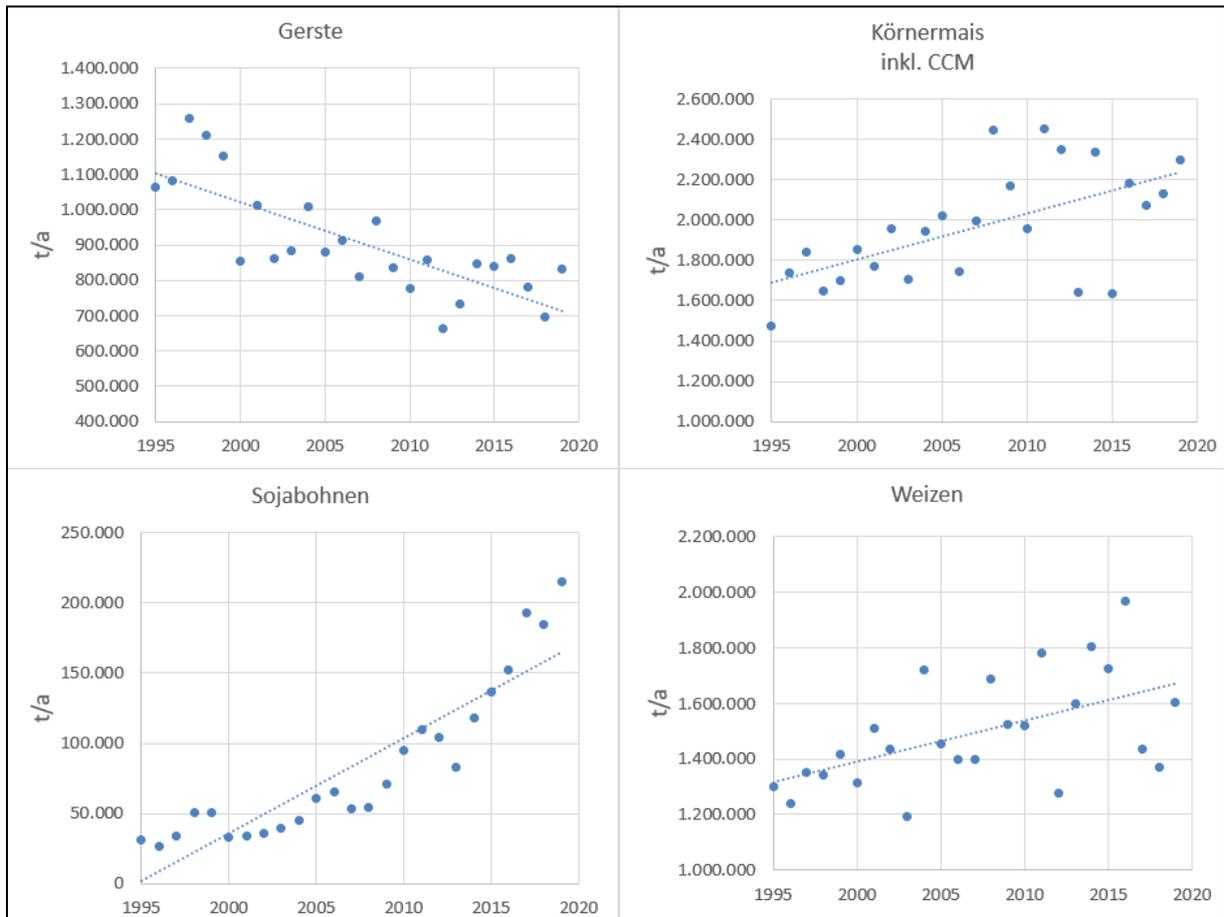


Abbildung 9: Erträge (in Tonnen/Jahr) Gerste, Körnermais, Soja und Weizen von 1995-2019

Abbildung 10 zeigt die Entwicklung der Erträge von Raps, Zuckerrübe und Kartoffel. Alle drei Kulturarten sehr konstante Ertragsentwicklungen über die Jahre auf.

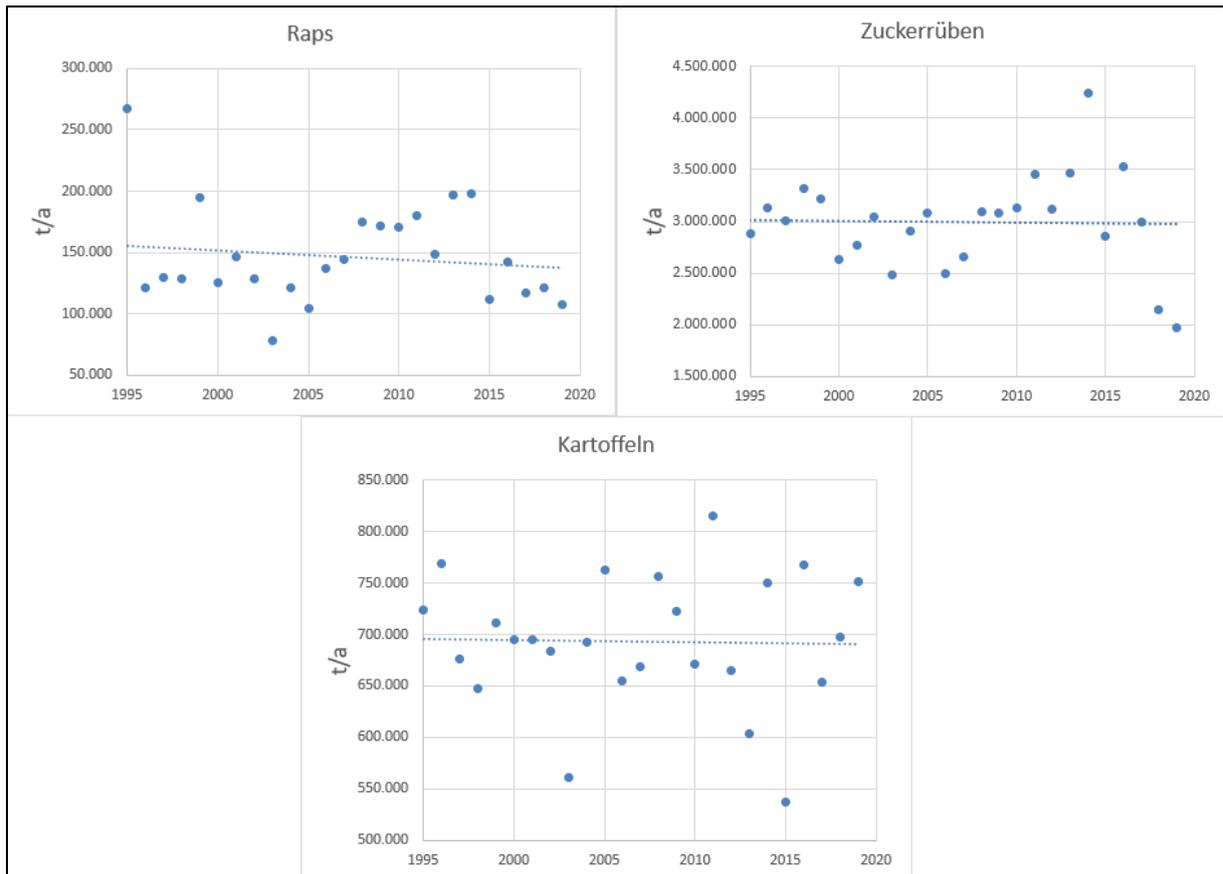


Abbildung 10: Erträge (in Tonnen/Jahr) Raps, Zuckerrübe und Kartoffel von 1995-2019

Der prozentuale Unterschied der Szenarienergebnisse für die Erträge von Kartoffel, Mais und Getreide ist in Abbildung 11 dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass die Erträge aus den aktuellen Datensätzen der ÖSTAT geringere Erträge für Körner- und Silomais und Futter- und Brotgetreide als im GLOB-Szenario prognostiziert. Die aktuellen Erträge für Kartoffel, Körnermais und Futter- und Brotgetreide sind höher als in den Szenarien SUST, MAX und TREND. Nur die Erträge für Silomais sind etwas geringer als in den Szenarien. Im Vergleich zum Basisjahr sind alle Erträge gestiegen. Am stärksten gestiegen ist Futtergetreide. Mit etwas Abstand folgen Brotgetreide, Körnermais und Kartoffel.

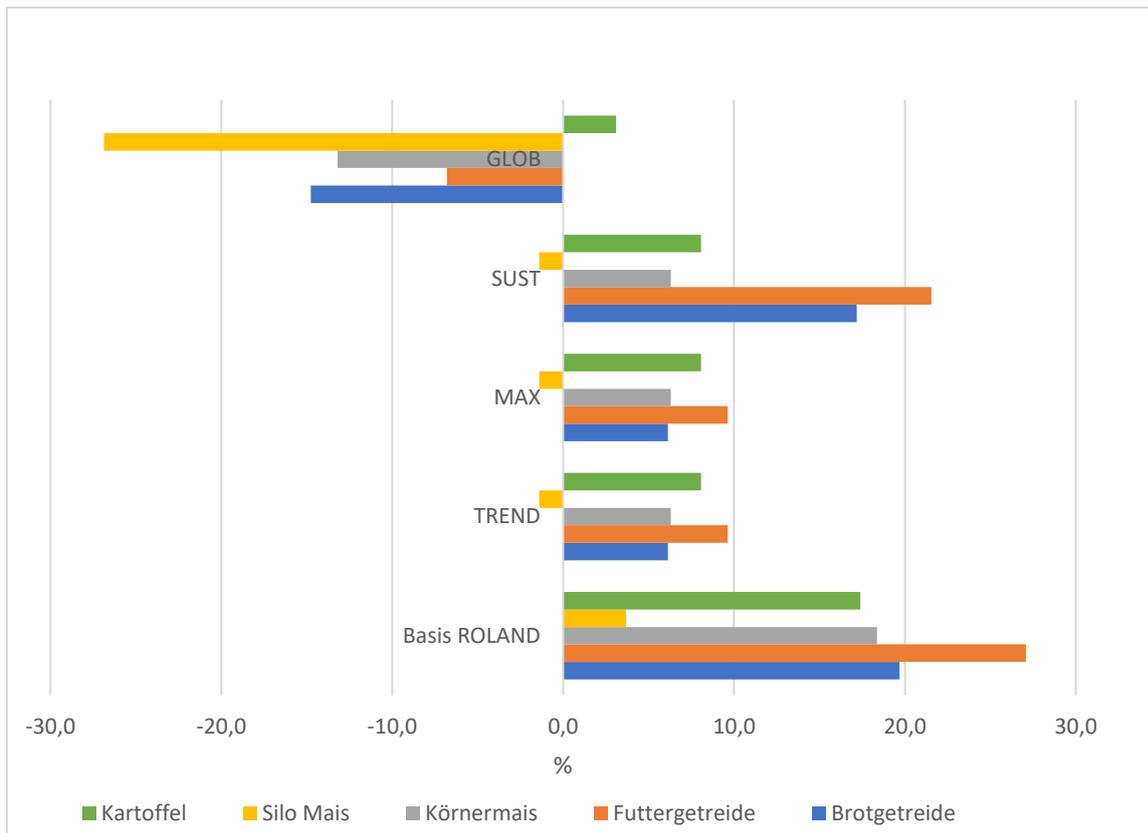
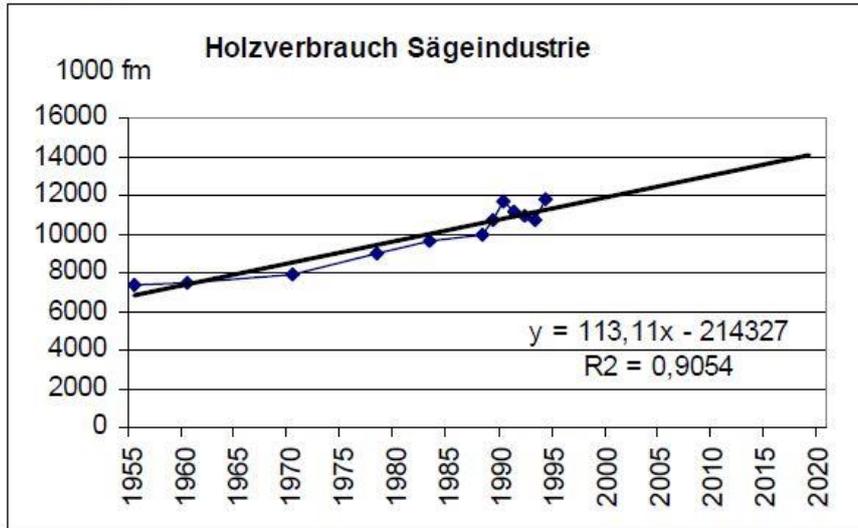


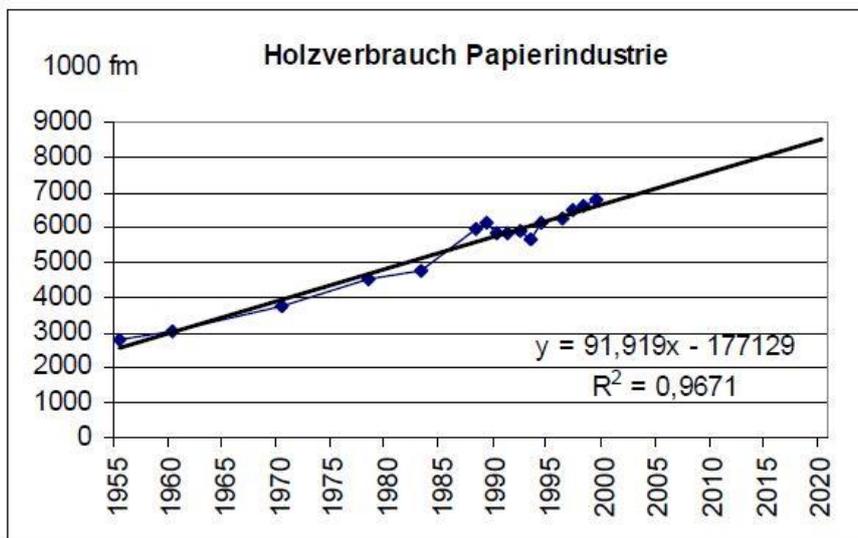
Abbildung 11: Unterschiede der Erträge (Kartoffel, Mais und Getreide) der verschiedenen Szenarien in Relation zu aktuellen Daten in %

Die ROLAND-Prognosen für Holzwaren wurden mittels fortgesetzter Trendlinie aus Daten der Jahre 1955 bis 1995 errechnet und sind in Abbildung 12 dargestellt. Die Holztragsentwicklungen wurden für alle Szenarien herangezogen und nicht angepasst.

a) Sägeindustrie



b) Papierindustrie



c) Plattenindustrie

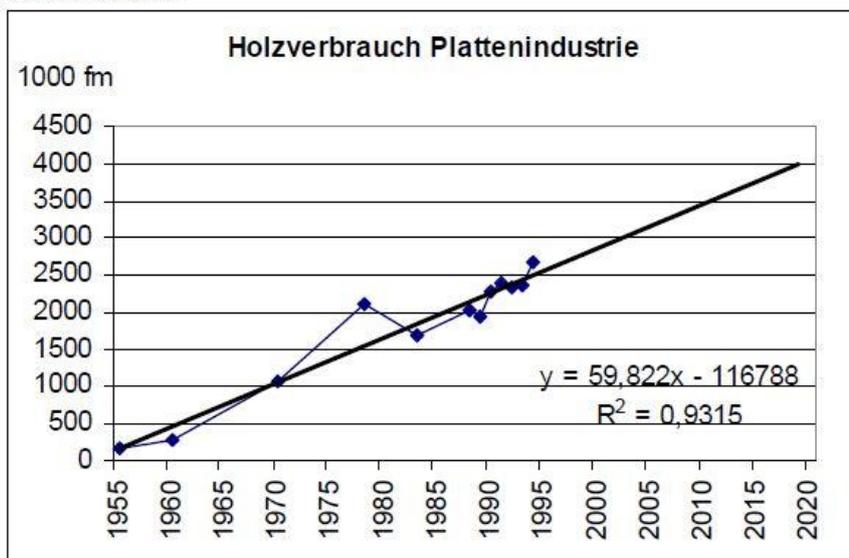


Abbildung 12: Holzwaren-Prognosen aus ROLAND

Abbildung 13 zeigt die Nachfrage nach Holz der verarbeitenden Industrie. Die Daten stammen aus den Holzflussströmen der jeweiligen Jahre, die von der österreichischen Energieagentur und der LKÖ erstellt und publiziert werden.

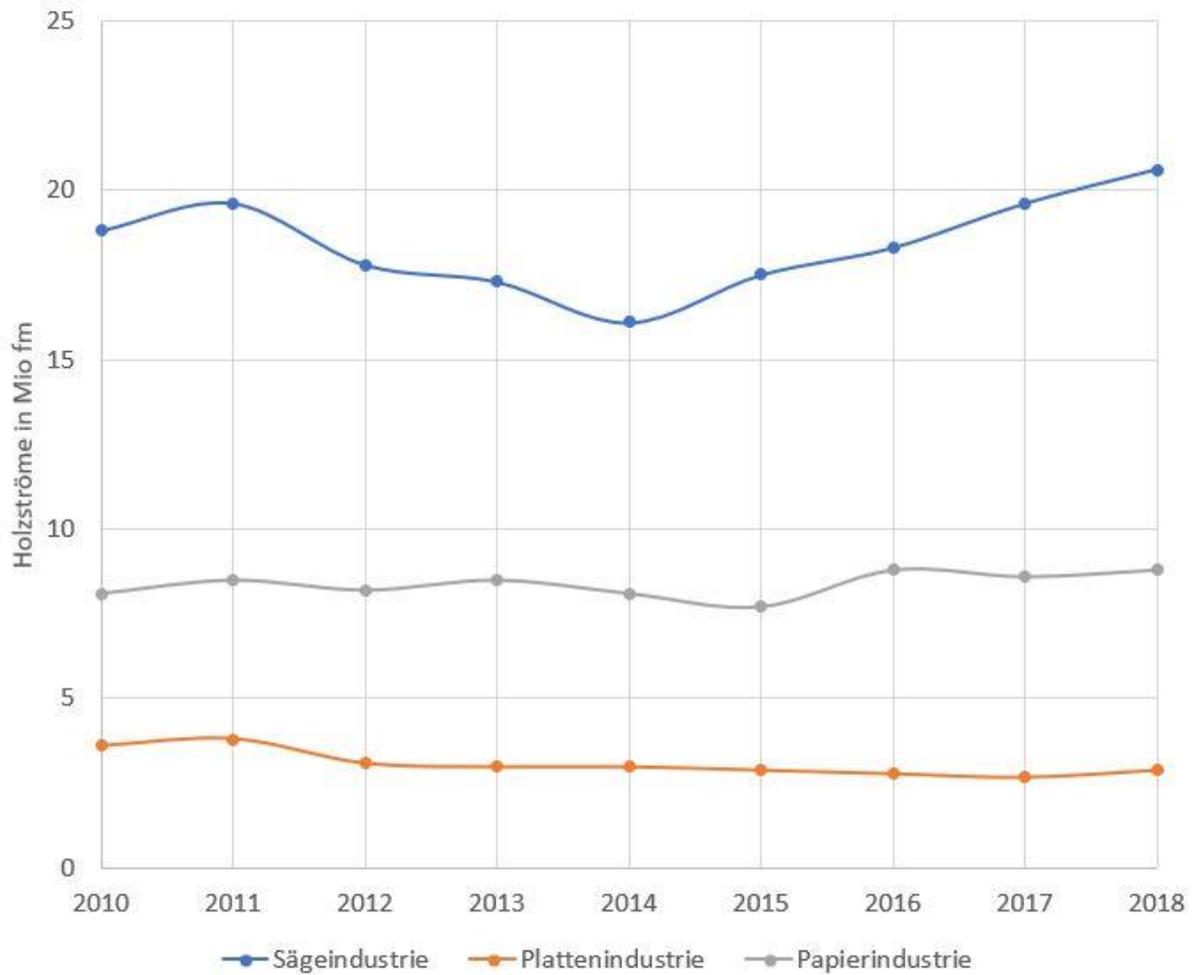


Abbildung 13: Holznachfrage nach Industriezweig von 2010 bis 2018

Abbildung 14 zeigt die Menge an stofflich bzw. industriell genutzter Biomasse. Es konnten Daten zu Stärke und pflanzlichen Ölen recherchiert werden. Es ist zu erkennen, dass die Produktion von Stärke über die Jahre gestiegen ist, während die Produktion von pflanzlichen Ölen gesunken ist.

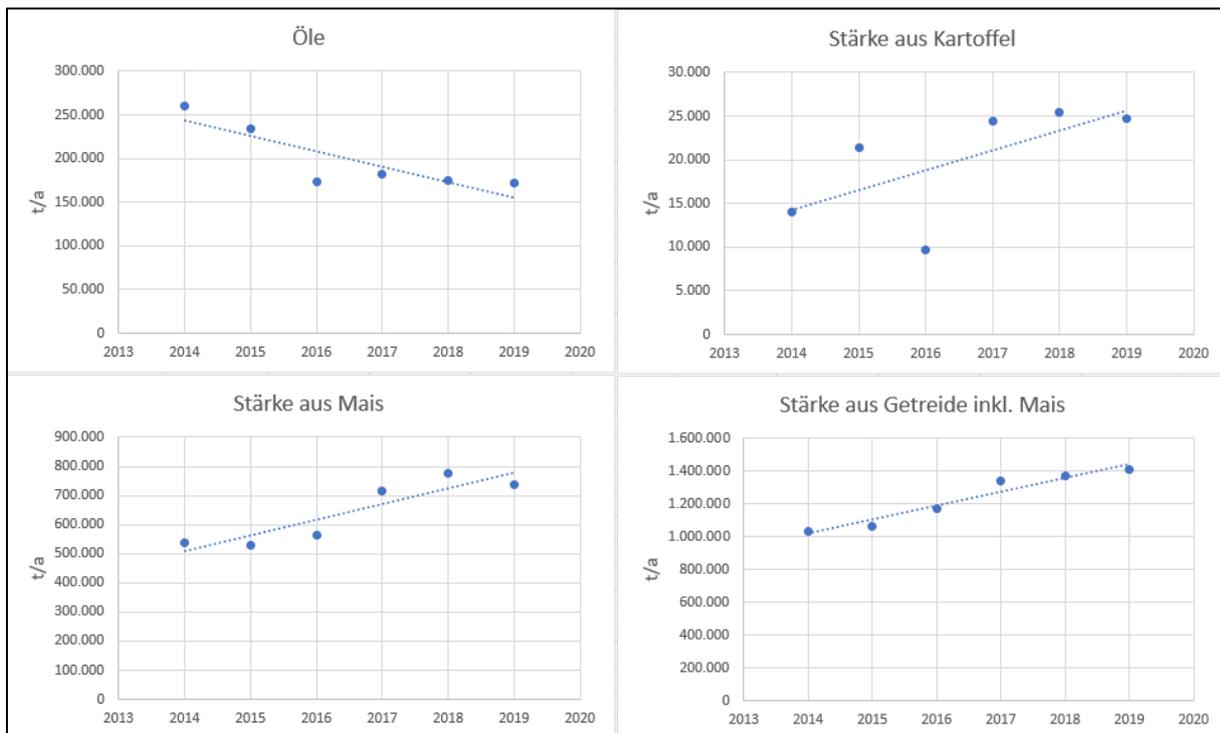


Abbildung 14: Entwicklung industriell genutzter Stärke und Öle [t/a]

### 3.2.3) Energie aus NAWARO

Die Ergebnisse für die aktuellen Entwicklungen im Bereich Energie aus Biomasse sind in Abbildung 15 und in Tabelle 10: Überblick Energie aus Biomasse - ROLAND und aktuelle Daten zusammengefasst. Es ist zu erkennen, dass die Summe der Primärenergie biologischen Ursprungs seit 2000 um 82% gestiegen ist. Sie ist sogar stärker gestiegen als in den Szenarien berechnet. Ebenfalls gestiegen ist der Anteil an Energie aus Biomasse an der gesamten Primärenergie in Österreich. Sowohl die Wärme als auch die Elektrizitätsproduktion biologischen Ursprungs hat im Vergleich zu 2000 stark zugenommen. Auch im Vergleich zu den Szenarien sind beide Energieformen stärker gestiegen als berechnet. Einzig die elektrische Energieproduktion der MAX-Ergebnisse sind geringer als die ÖSTAT-Daten. Außerdem ist der Einsatz von primärer Biomasse geringer als in den Szenarien angenommen. In den Szenarien wurden nur heimische Energiepotentiale berechnet, der Import von Energie wurde als konstant angenommen.

Tabelle 10: Überblick Energie aus Biomasse - ROLAND und aktuelle Daten

	Basisjahr	TREND	GLOB	MAX	SUST	ÖSTAT
<b>Summe Primärenergie aus Biomasse [PJ/a]</b>	126,6	169,2	169,2	217,1	195,3	231,5
<b>Anteil an Primärenergie [%]</b>	11	12	12	15	14	16,1
<b>Primäre Biomasse [%]</b>	54	49	49	55	41	37,9
<b>Biomasse aus kaskadischer Nutzung [%]</b>	46	51	51	45	59	62,3
<b>Elektrizitätsproduktion aus Biomasse [GWh/a]</b>	1600	3220	3220	4966	4252	4611,1
<b>Wärme aus Biomasse [PJ/a]</b>	11	24	24	32	31	40,9
<b>Finaler Energiekonsum aus Biomasse [PJ/a]</b>	106	121	121	146	131	207

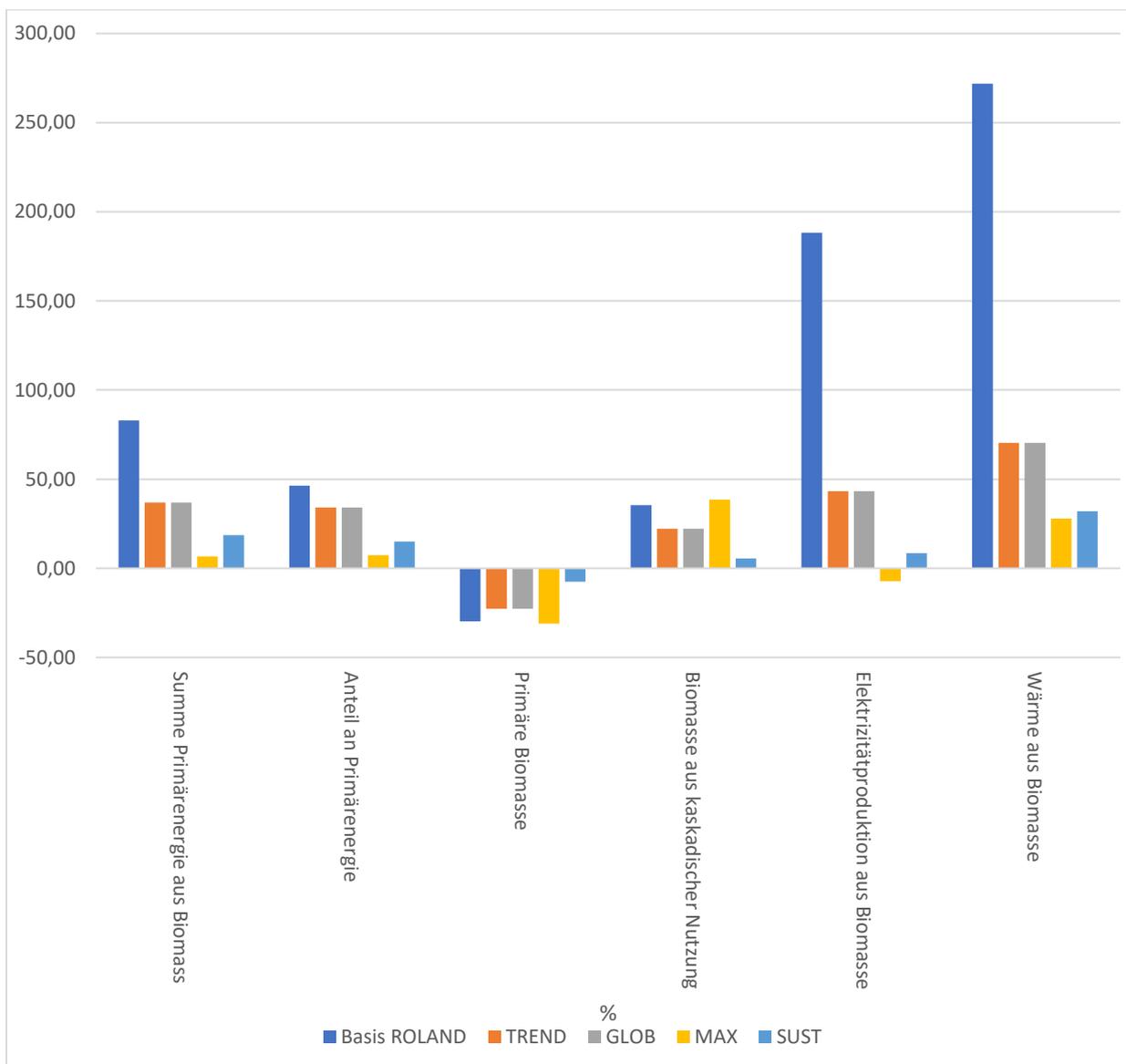
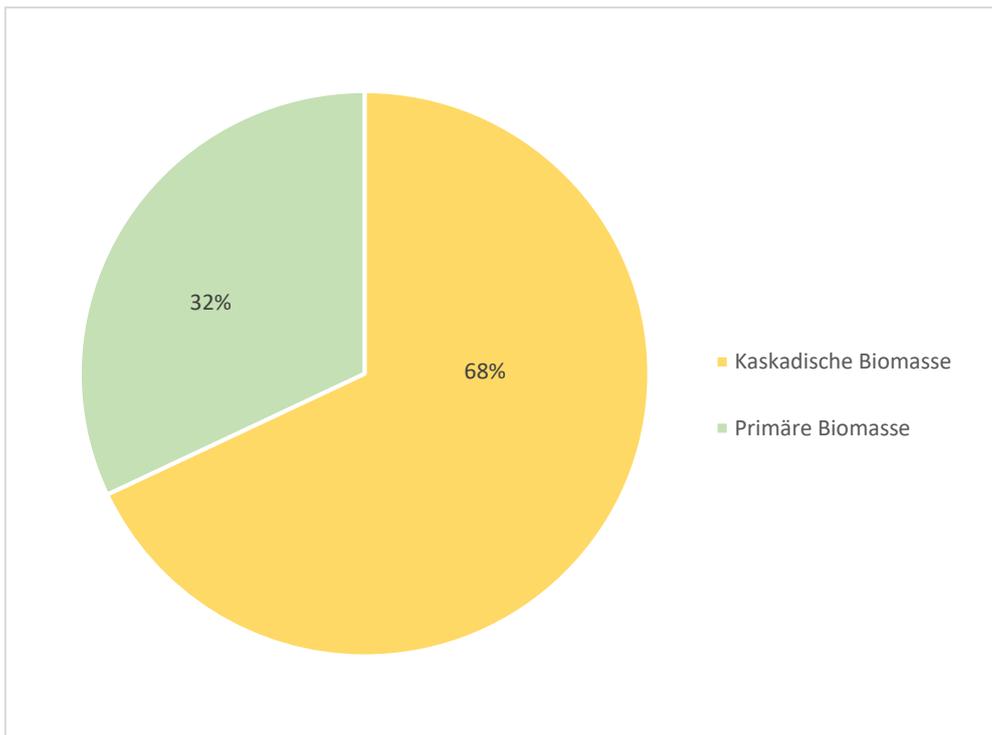


Abbildung 15: Unterschiede Bio-Energie der verschiedenen Szenarien in Relation zu aktuellen Daten in %

Abbildung 16 zeigt, dass ein großer Teil, nämlich rund 70 % aus kaskadischer Nutzung stammen und nicht aus Primärrohstoffen



*Abbildung 16: Anteil kaskadischer und primärer Biomasse für die Energiegewinnung in %*

Abbildung 17 und Abbildung 18 geben einen detaillierteren Einblick zur Herkunft der Biomasse für die energetische Nutzung. In Abbildung 17 sind die aktuellen Erhebungen aus 2019 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass ein großer Teil der Energie aus forstlicher Biomasse Ursprungs ist. Ein kleinerer Teil besteht aus Agrarrohstoffen, Bioabfällen und Klärschlamm. In Abbildung 18 sind die Ergebnisse aus dem Projekt ROLAND zusammengefasst dargestellt.

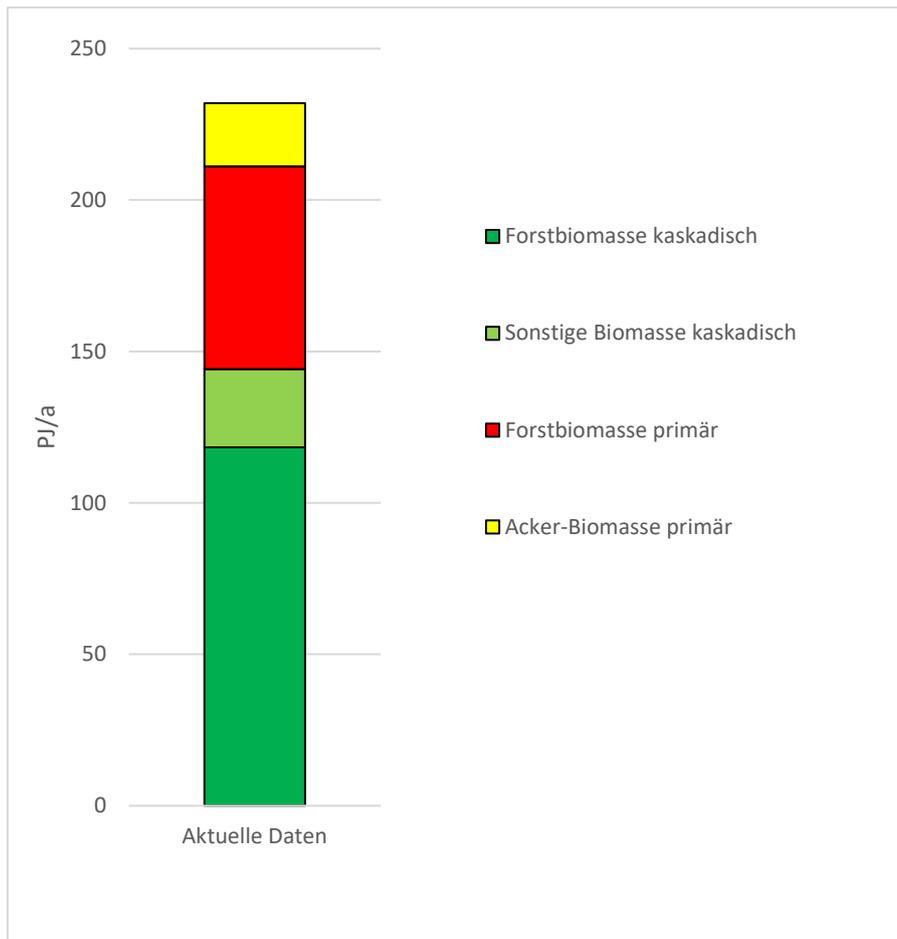


Abbildung 17: Vergleich kaskadische und primäre Biomasse für die Energiegewinnung (2019)

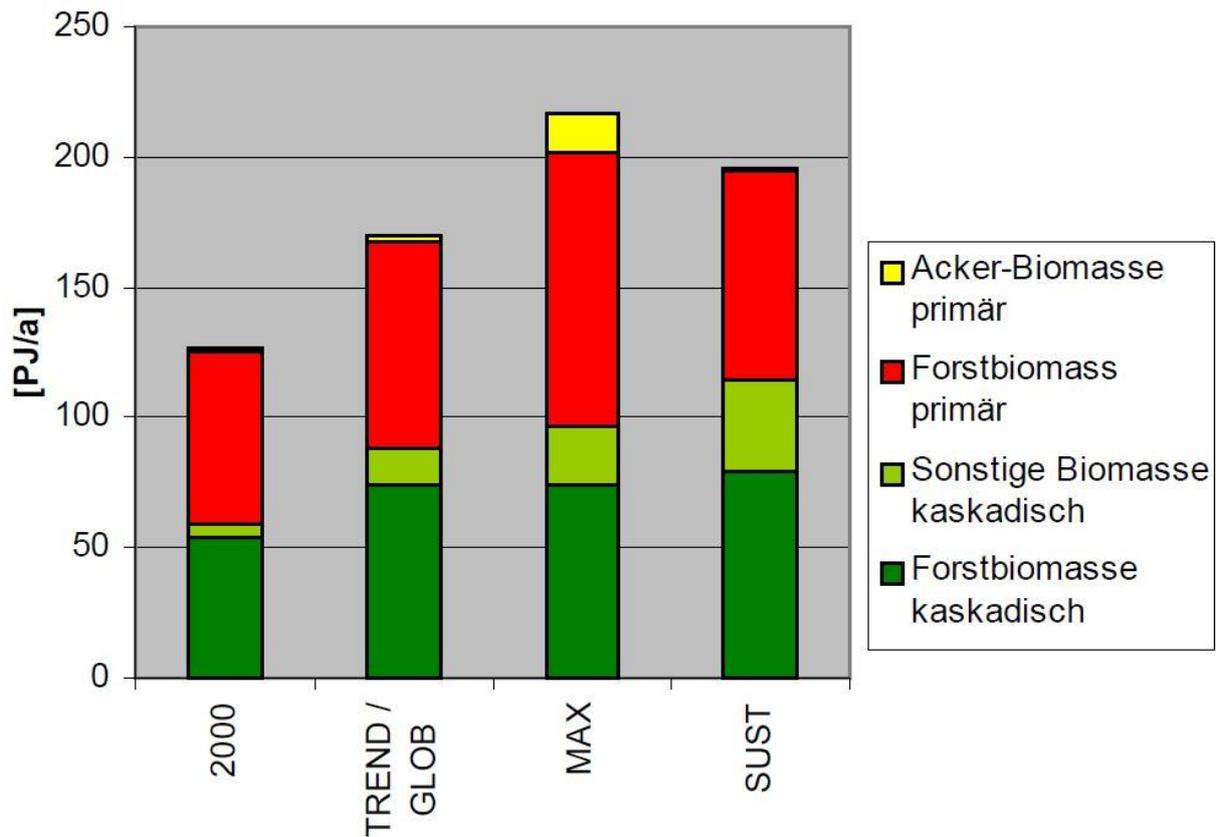


Abbildung 18: Vergleich kaskadische und primäre Biomasse für die Energiegewinnung ROLAND

### 3.2.4) Kohlenstoffspeicherung der oberirdischen Vegetation

Abbildung 19 und Abbildung 20 zeigen die Ergebnisse aus den Kohlenstoffberechnungen. Erstere stellt den berechneten Kohlenstoffvorrat aus den Szenarien den Berechnungen mit den Daten aus der aktuellen Waldinventur gegenüber. Es ist zu erkennen, dass die aktuellen Ergebnisse einen höheren Kohlenstoffvorrat, nämlich rund 401Mt Kohlenstoff, als alle Szenarien des ROLAND-Projekts aufweisen.

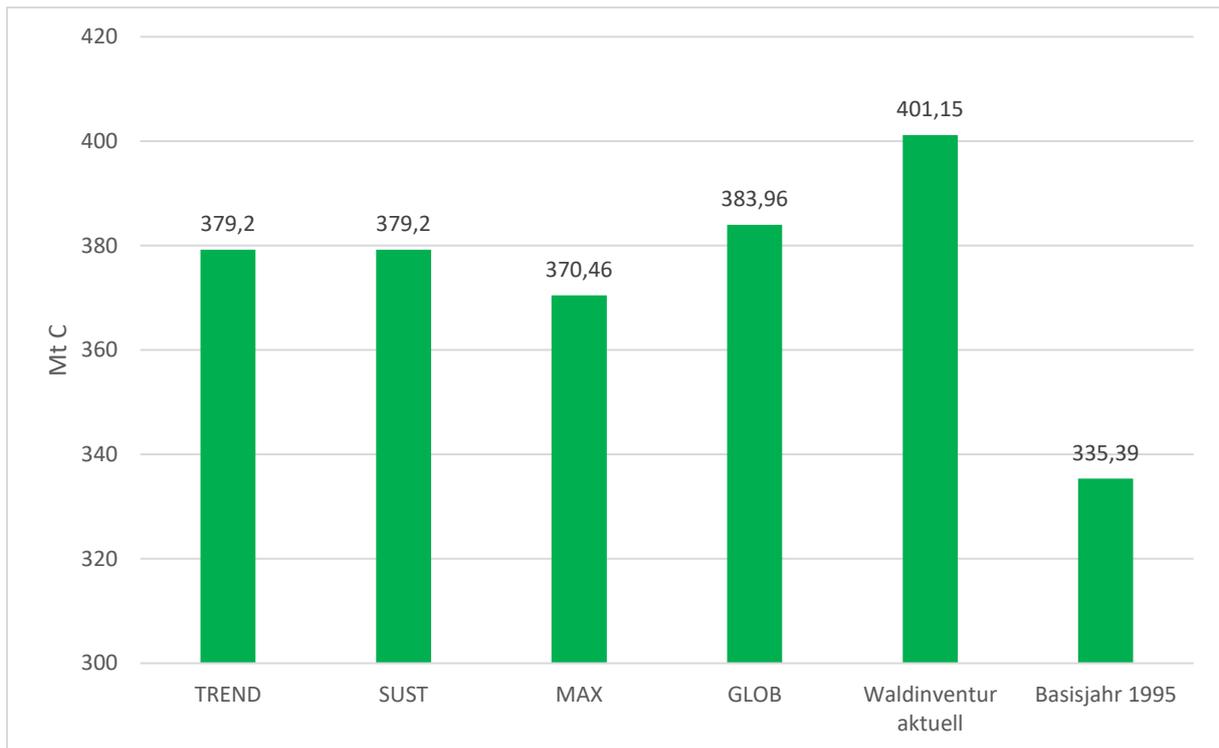


Abbildung 19: Vergleich Kohlenstoffvorrat von ROLAND und aktuellen Datensätzen in Mt C

Abbildung 20 stellt die Ergebnisse aus der Berechnung der Kohlenstoffsенке dar. In den aktuellen Daten liegt diese bei 3,13 Mt Kohlenstoff pro Jahr. Nach diesen Berechnungen hat sich die Kohlenstoffsенке im Vergleich zum Jahr 1995 um ein Drittel gesteigert.

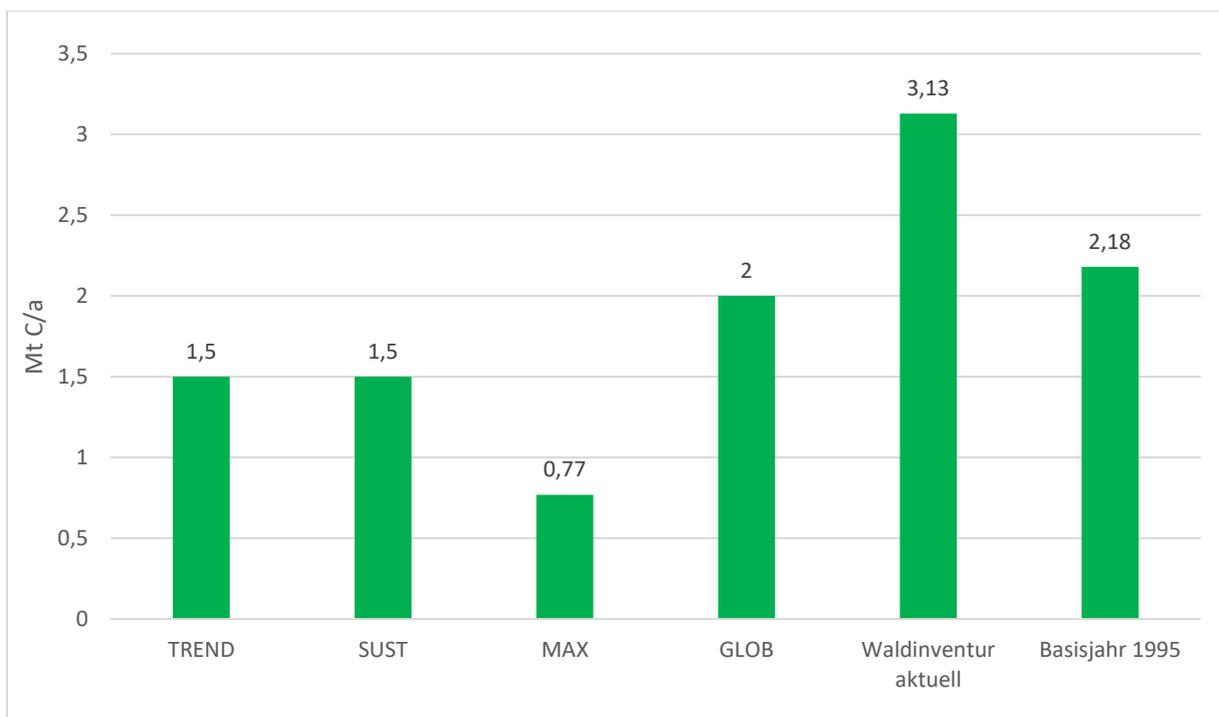


Abbildung 20: Vergleich Kohlenstoffsенке von ROLAND und aktuellen Datensätzen in Mt C/a

Für Abbildung 21 wurden die in Abbildung 20 dargestellten Daten mit Hilfe von molaren Massen ( $M(C) = 12,01 \text{ g/mol}$ ;  $M(O) = 15,99 \text{ g/mol}$ ;  $M(\text{CO}_2) = 43,99 \text{ g/mol}$ ) in  $\text{Mt CO}_2$  pro Jahr umgerechnet und dargestellt (Mortimer & Müller, 2015). Die genaue Berechnung ist in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Berechnung  $\text{CO}_2$ -Senke pro Jahr

	[MtC/a]		[MtCO <sub>2</sub> /a]
TREND	1,5	$m(C)/M(C) = n(\text{Stoffmenge})$	5,49
SUST	1,5		5,49
MAX	0,77	$n(\text{Stoffmenge}) * M(\text{CO}_2) = m(\text{CO}_2)$	2,82
GLOB	2		7,33
Waldinventur aktuell	3,13		11,46
Basisjahr 1995	2,18		7,98

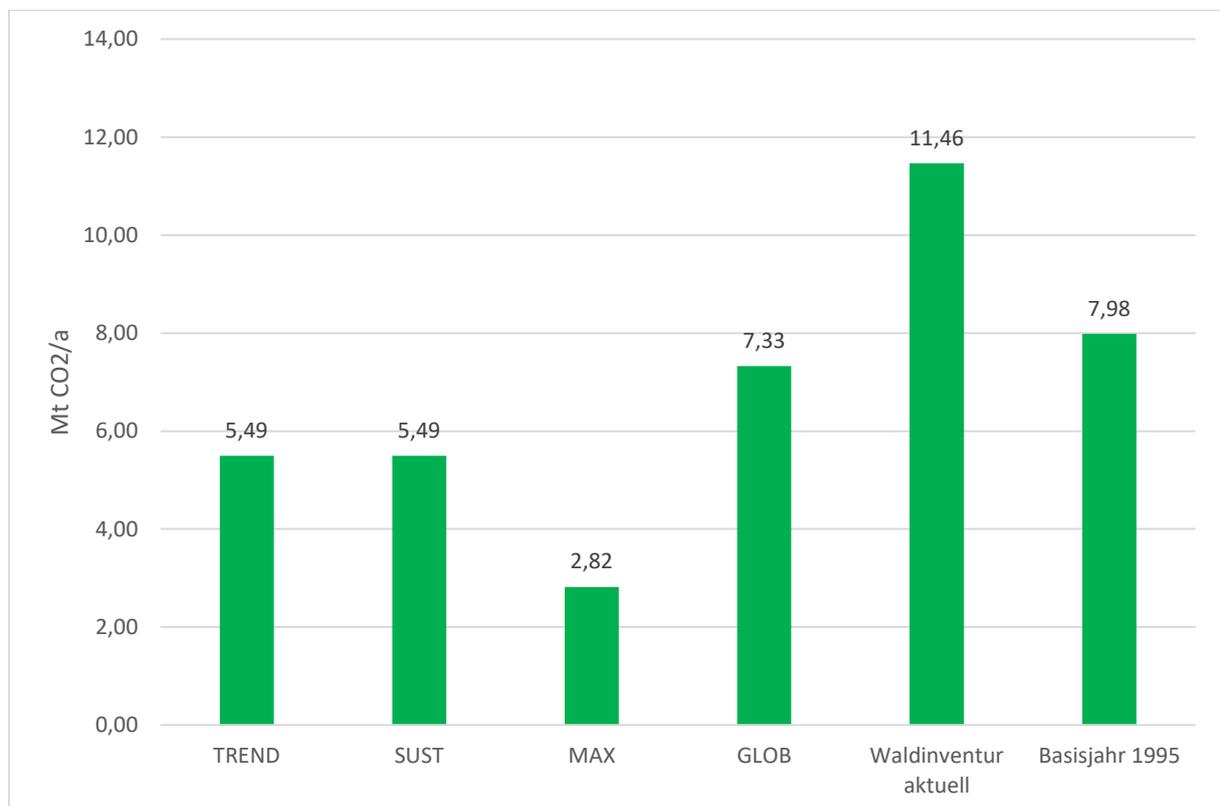


Abbildung 21:  $\text{CO}_2$ -Speicherung - ROLAND und aktuelle Datensätzen in  $\text{Mt CO}_2/\text{a}$

Abbildung 22: Entwicklung der Waldflächen außer Ertrag nach Waldinventur (2000-2018) zeigt die Entwicklungen der Flächen außer Ertrag. Zu entnehmen sind die Daten aus der Waldinventur, auf der das Projekt ROLAND beruht, und die darauffolgenden Waldinventuren aus den Jahren 2000/02, 2007/09 und 2016/2018. Zu erkennen ist, dass die Flächen außer Ertrag über die Jahre gestiegen sind.

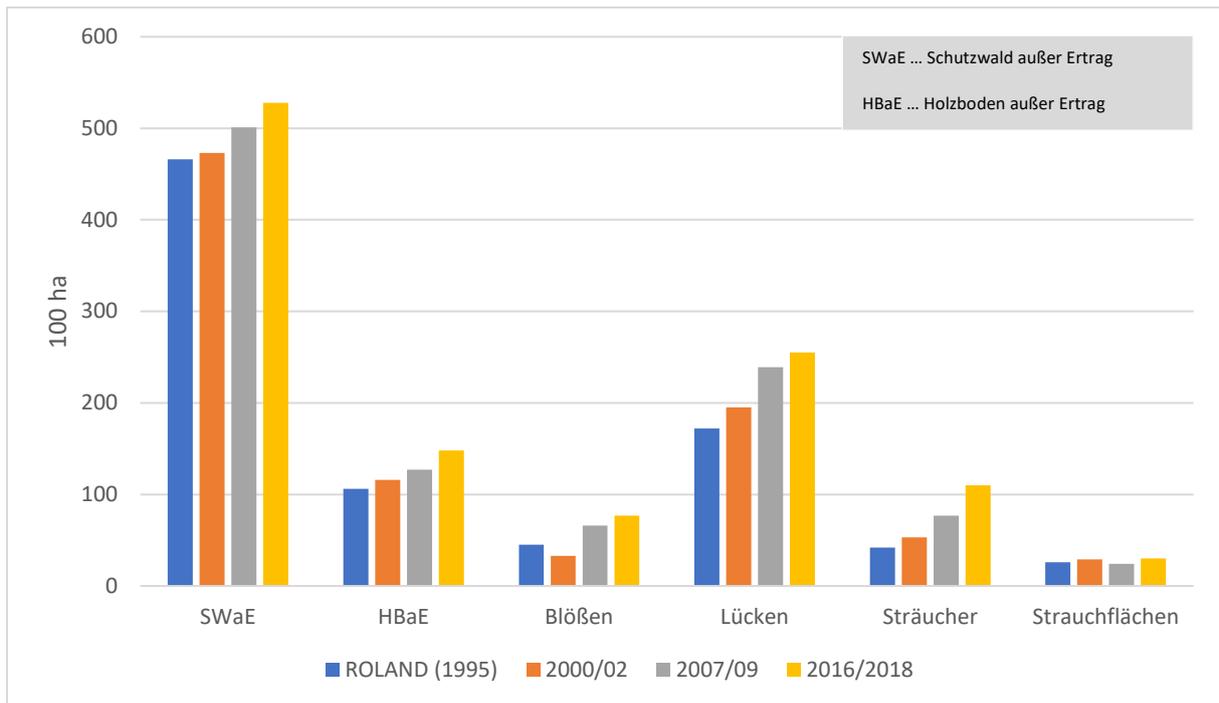


Abbildung 22: Entwicklung der Waldflächen außer Ertrag nach Waldinventur (2000-2018)

In Abbildung 23 sind die Entwicklungen des Holzzuwachses, der Holznutzung und des Verbleibs in 1000t TM/a dargestellt. Die Holznutzung ist dabei im Vergleich zu der Waldinventur aus 1995 deutlich gestiegen, während der Verbleib gesunken ist. Die Waldinventur 2000/02 stellt eine Ausnahme dar, hier ist die Nutzung im Vergleich zu 1995 leicht gesunken und der Verbleib deutlich gestiegen.

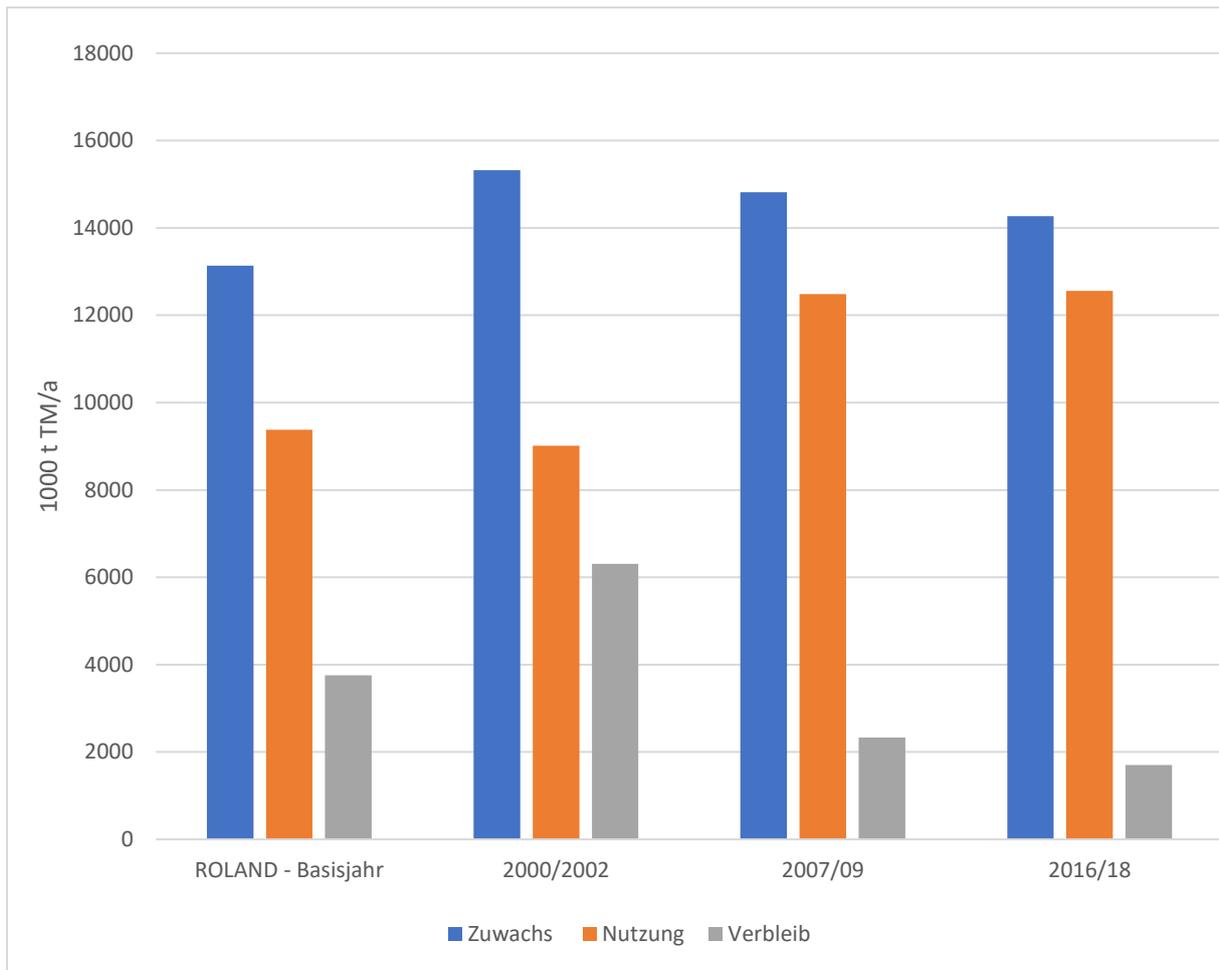


Abbildung 23: Entwicklung von Zuwachs, Nutzung und Verbleib von Biomasse im österreichischen Wald (2000-2018)

Abbildung 24 stellt den Vergleich von Zuwachs, Verbleib und Nutzung der Holzbiomasse aus den ROLAND Modellwerten und den Mittelwerten aus den Waldinventuren 2000- 2018 dar. Zu erkennen ist, dass Zuwachs und Nutzung im Modell leicht unterschätzt und der Verbleib leicht überschätzt wurde. Diese Werte beschreiben nur die Holznutzung, nicht die Biomasseentwicklungen von Waldflächen außer Ertrag.

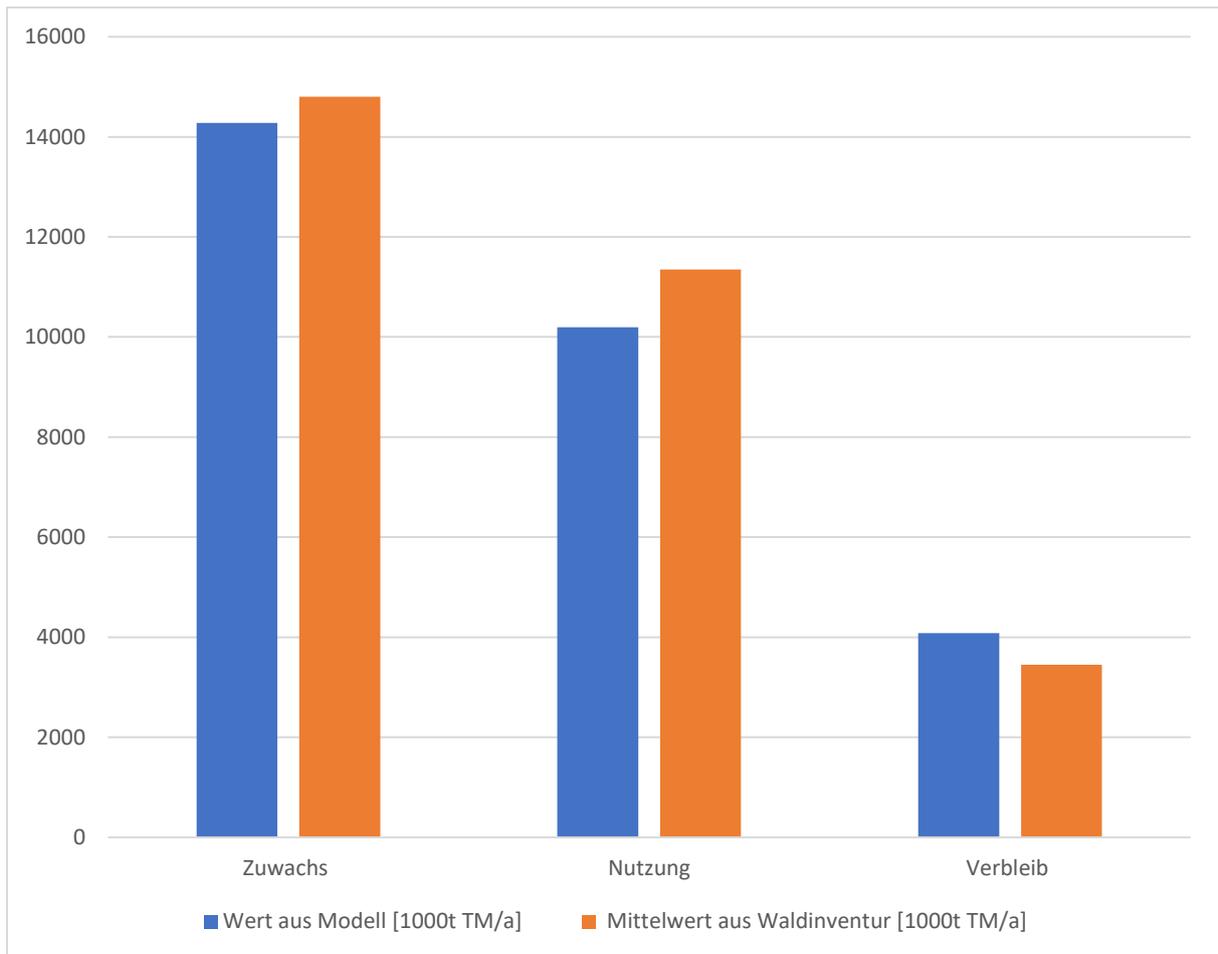


Abbildung 24: Vergleich der Modellwerte aus ROLAND und der Mittelwerte der Waldinventuren von Zuwachs, Nutzung und Verbleib von Holzbiomasse

### 3.2.5) Stickstoffdüngung

Der durchschnittliche Stickstoffaufwand für die Düngung in der Landwirtschaft liegt bei 114 kg rein N/ha (Abbildung 25). Dieser Wert liegt unter den Ergebnissen der Szenarien und über dem Wert des Basisjahrs 1995.

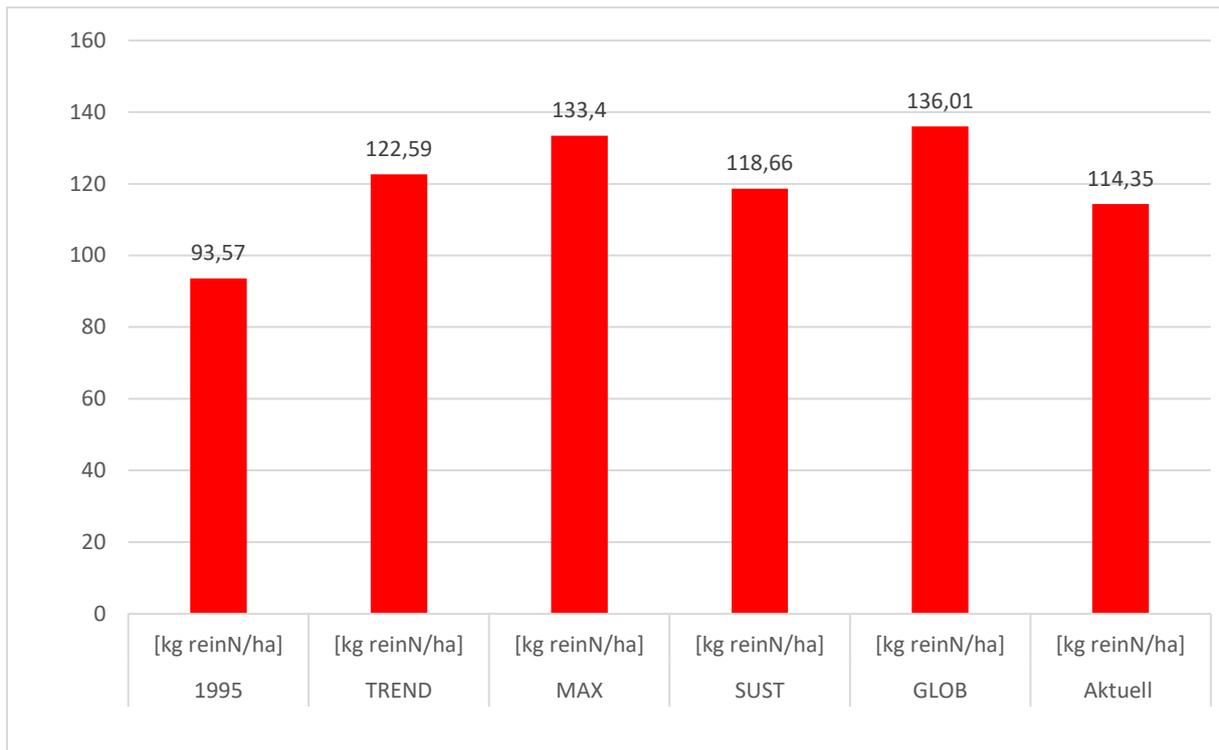


Abbildung 25: Vergleich des durchschnittlichen Stickstoffaufwands (ROLAND und aktuelle Berechnungen)

Der Stickstoffaufwand pro Kulturart, in 100t rein N pro Jahr, wird in Abbildung 26 dargestellt. Der Gesamtaufwand an reinen Stickstoff ist, im Gegensatz zum Stickstoffaufwand pro Hektar, gesunken. Besonders die Werte für Raps und Zuckerrübe sind im Vergleich zum Basisjahr 1995 gesunken.

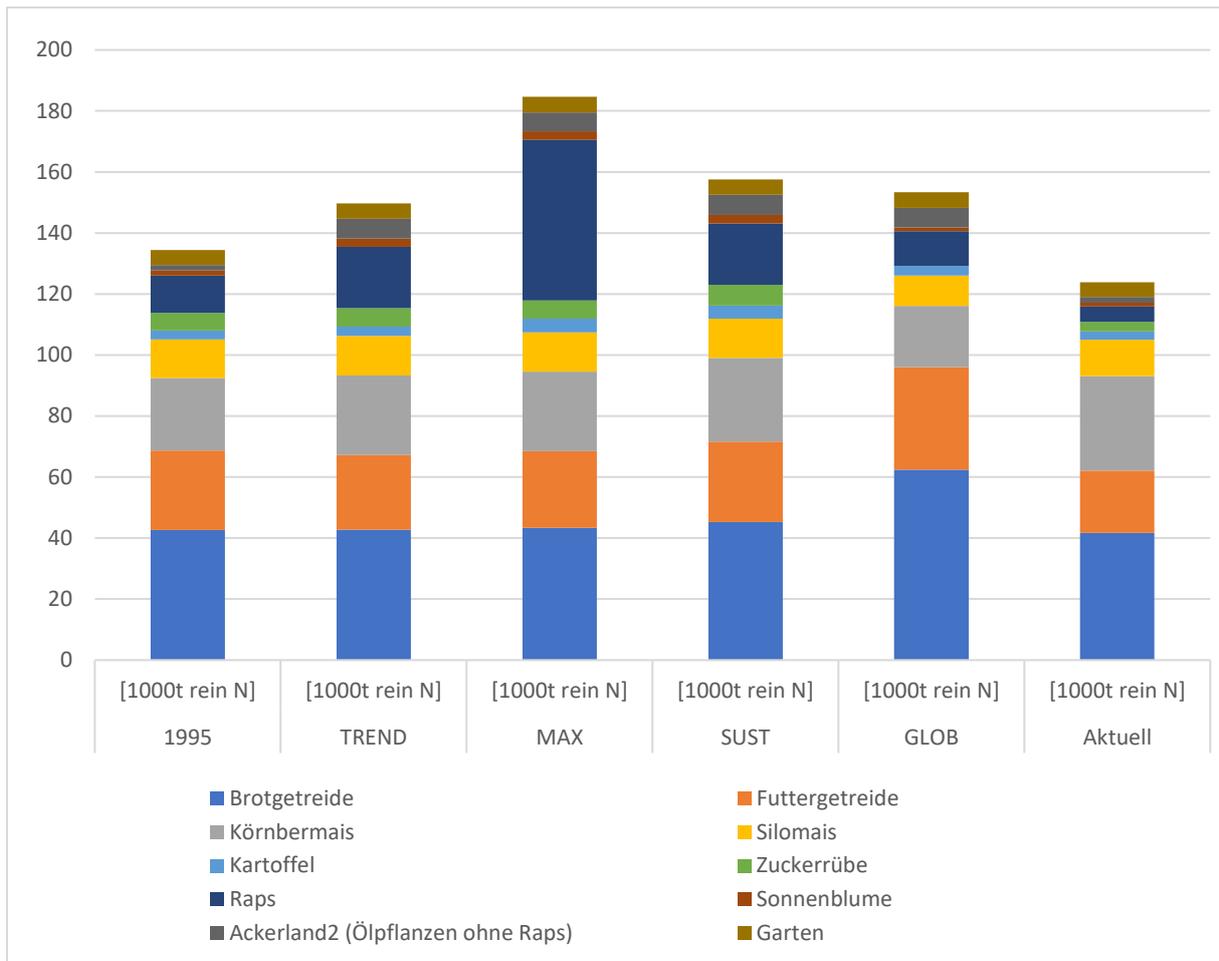


Abbildung 26: Vergleich Düngeraufwand nach Kultur von ROLAND und aktuellen Datensätzen in 1000t rein N

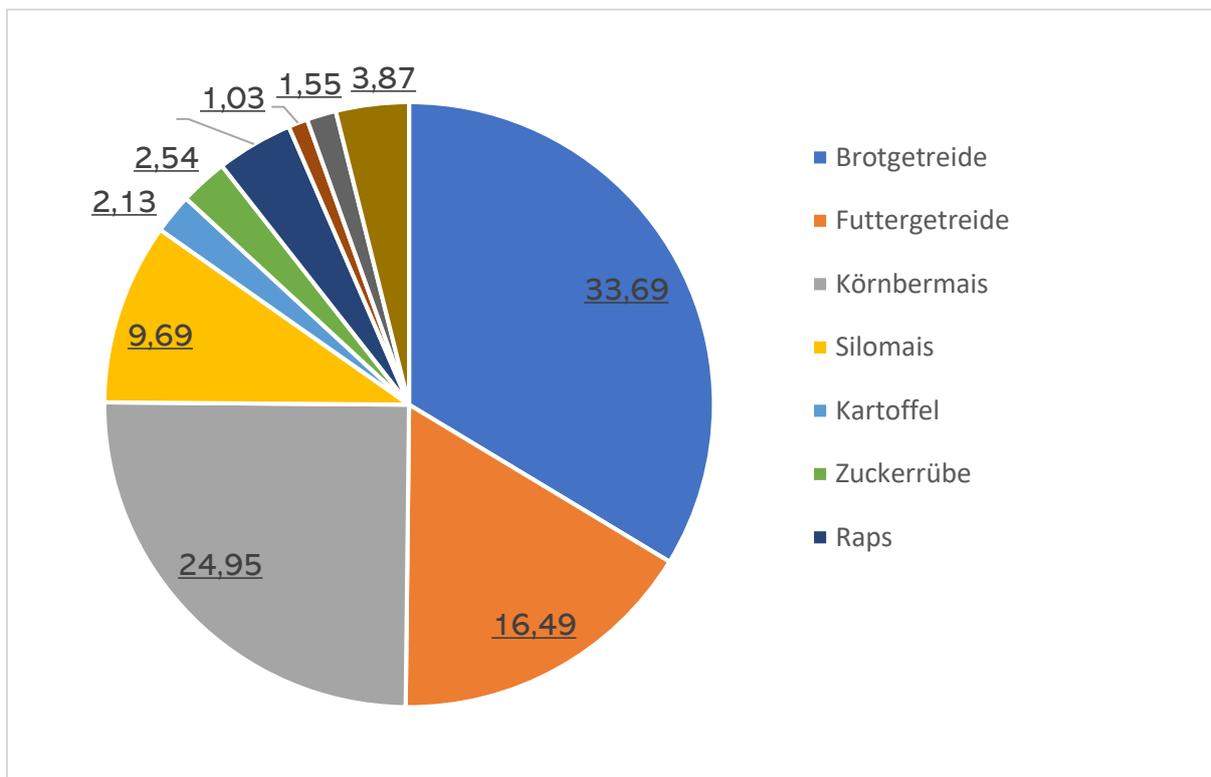


Abbildung 27: Vergleich Hidden Energy nach Kulturarten von ROLAND und aktuellen Datensätzen in %

Der Anteil an dem Hidden Energy Input für die Düngemittelproduktion pro Kulturart ist in Abbildung 27 abgebildet.

### 3.2.6) Import-Export-Analyse

Wie in Tabelle 12: Import-Export-Analyse Ergebnisübersicht zu erkennen ist, weisen die aktuellen Daten der ÖSTAT eine Entwicklung zu mehr Netto-Import auf. Alle Agrargüter, mit Ausnahme von Zucker und Zuckerprodukten, werden in größeren Mengen importiert als exportiert.

Tabelle 12: Import-Export-Analyse Ergebnisübersicht

Produkte	1995	TREND	GLOB	MAX	SUST	aktuell
Cerealien	Export	Export	Export	Export	Export	Import
Pflanzenöle	Import	Import	Import	Import	Import	Import
Zucker	Export	Export	Import	Export	Export	Export
Rind, Schaf, Ziege	Export	Export	Export	Export	Export	Import
Schwein	Import	Import	Import	Import	Import	Import
Eier	Import	Import	Import	Import	Import	Import

Die Handelssituation von Holz wurde gesondert betrachtet und die Entwicklungen der Holzprodukte über die Jahre 2014 und 2018 abgebildet (Abbildung 28: Import und Export von Holz und Holzwaren ab 2014). Die Exporte werden, über Nulllinie, mit negativen Werten und Importe mit positiven dargestellt.

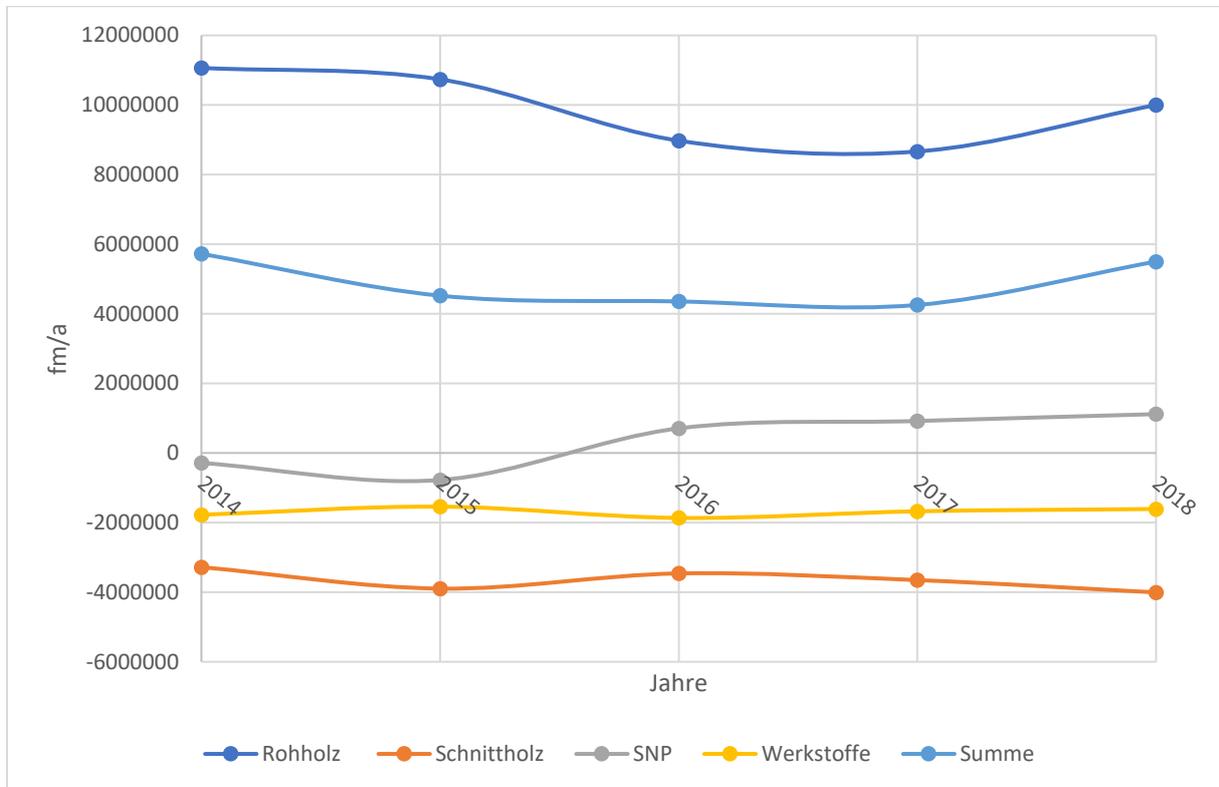


Abbildung 28: Import und Export von Holz und Holzwaren ab 2014

Tabelle 23: Rohdaten Import und Export von Holzwaren (2014-2018) zeigt die Exporte und Importe verschiedener Holzwaren. Auffallend ist, dass nach sinkenden Importmengen von 2014 bis 2016, der Import an Holz wieder steigt. Vor allem die Menge an Rohholzimporten ist im Jahr 2018 gestiegen.

Österreich ist ein Papier-Exporteur, das zeigen die Daten seit dem Jahr 2000 deutlich, über die Jahre ist der Export an Papier und Papierwaren sogar leicht gestiegen und die Importe gesunken (Abbildung 29).

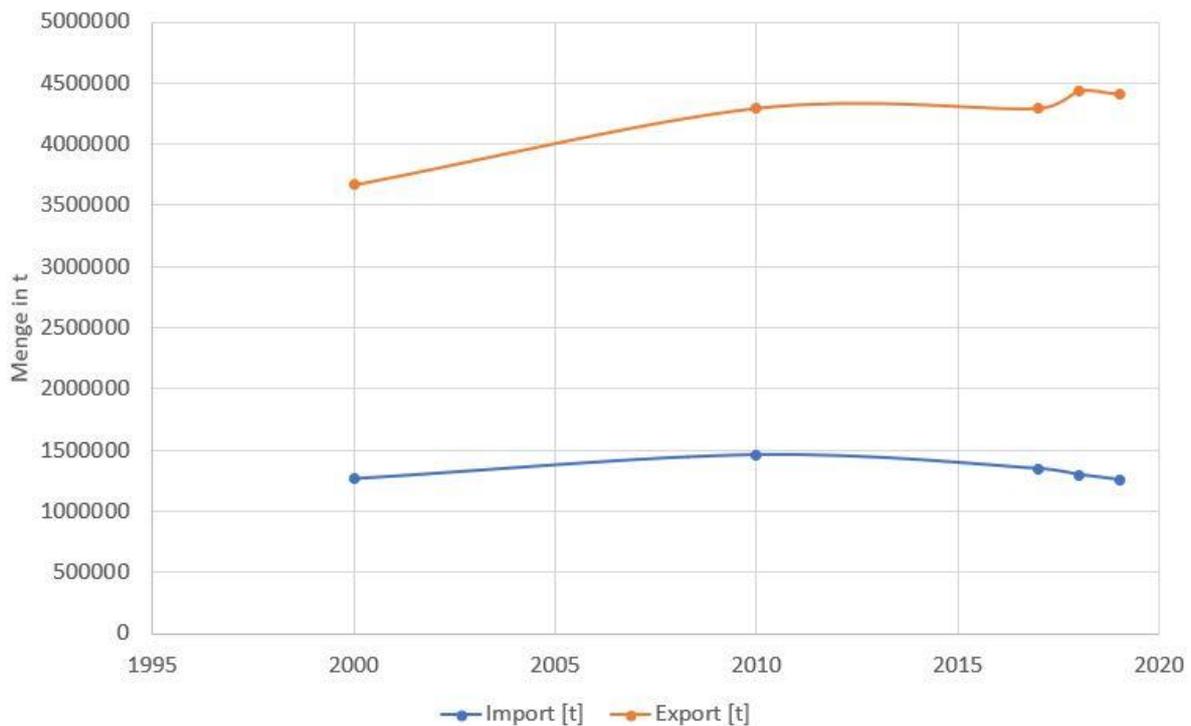


Abbildung 29: Import und Export von Papier und Papierwaren von 2000 bis 2019

## 4) Diskussion

### 4.1) Landnutzungsänderung

Dauergrünland wird in der Agrarstrukturerhebung ab dem Jahr 2010 unterteilt in intensives und extensives Grünland. Almen sind in diesen beiden Flächenkategorien aufgeteilt, je nach Art ihrer Nutzung. ROLAND unterscheidet hingegen zwischen Almen und Grünland. Um einen Vergleich anstellen zu können, wurden intensives und extensives zu Dauergrünland summiert, ebenso wurde bei den veralteten Kategorien Almen und Grünland vorgegangen. Schwierig einzuordnen ist die Kategorie „unproduktive Flächen“ der Agrarstrukturerhebung. Es gibt im Projekt ROLAND die Nutzungskategorie "Naturnahe Flächen, Gewässer und Ödland". Diese beiden Flächenkategorien können keinesfalls verglichen werden. Die Kategorie "unproduktive Flächen" beinhaltet unproduktive Wiesen und Waldflächen.

Die ÖSTAT und die österreichische Waldinventur kommen durch unterschiedliche Erhebungsmethoden auf sehr unterschiedliche Waldflächen. Die Statistik Austria erhebt die Flächen mit einer Erfassungsuntergrenze von 3ha, dadurch sind etliche Kleinwaldflächen, welche in der Waldinventur erhoben werden, nicht inkludiert. Außerdem ist zu erwähnen, dass in der Agrarstrukturerhebung, wenn keine anderen Informationen vorhanden sind, nicht die geografischen Grenzen für die Erfassung genutzt werden, sondern die Fläche der Wohnsitzgemeinde des/der Bewirtschafter\*in zugerechnet wird. Eine regionale

Abschätzung wird dadurch zusätzlich erschwert. Durch die Zuordnung bestimmter Formen der Landnutzung zu einzelnen Flächenkategorien wurde die Vergleichbarkeit der Daten erheblich beeinflusst. Vor allem die verschiedenen Waldflächendaten und die Änderungen in der Agrarstrukturerhebung bei Grünland und Almen führen zu Unsicherheiten bei dem Vergleich der Daten.

Im Rahmen dieser Recherche konnten leider keine Daten gefunden werden, die es möglich machen, die ursprünglichen Kategorien des Projekts ROLAND zu rekonstruieren.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Flächen für Agrarwirtschaft und Grünlandwirtschaft im Vergleich zu 1995 gesunken sind. Zu diesem Ergebnis kommen auch in den meisten Szenarien der Modellrechnung. Agrarland ist etwas weniger stark zurückgedrängt worden, als im TREND-Szenario angenommen wurde. Jedoch hat sich die Kulturartenzusammensetzung auf den österreichischen Agrarflächen stark verändert. Vor allem Körnermais, Körnerfrüchte und Klee konnten sich auf Kosten von Futtergetreide, Zuckerrübe, Raps und Ackerbrachen in der Flächeninanspruchnahme durchsetzen (Abbildung 5). Der Zuwachs der Körnerfrüchte lässt sich auf die seit 1995 stetige Zunahme von Sojaanbau zurückführen (Abbildung 9).

Die Ergebnisse für Grünland sind nur bedingt vergleichbar. Da sich die Definitionen von Grünland und Almen in den Erhebungen der ÖSTAT über die Jahre geändert haben, wurde ein neues Aggregat gebildet, welches Dauerwiesen, Kulturweiden, Hutweiden, Streuwiesen und Almen beinhaltet. Der Trend, dass Grünland in allen Szenarien eine sinkende Flächeninanspruchnahme aufweist, ist in den aktuellen Daten der ÖSTAT ersichtlich. Nach der Analyse ist die Fläche an Grünland sogar stärker gesunken als im TREND-Szenario angenommen werden konnte. Detaillierte Aussagen können jedoch, auf Grund der vorliegenden Daten nicht getroffen werden. Für Grünland ähnelt keines der Szenarien der aktuellen Situation. Dies kann aber auch an der Tatsache liegen, dass verschiedene Aggregate, auf Grund von neuen Definitionen in der Erhebungsmethodik der ÖSTAT, zusammengefasst wurden und somit eine Vergleichbarkeit nicht garantiert werden kann.

Die Ergebnisse der Szenarien der Waldflächenentwicklungen sind bei 3 von 4 Szenarien, TREND, SUST und MAX, niedriger als die Ergebnisse der Zwischenauswertung der Waldinventur. Mögliche Gründe dafür werden im Kapitel 4.3) Forstflächen und Holznutzung detailliert diskutiert.

Um Schlussfolgerungen zu der aktuellen Situation der Kulturarten zu ziehen, ist es sinnvoll, nicht nur die aktuellen Daten in eine Bewertung einfließen zu lassen. Daher wurden mehrere

Jahre zurückverfolgt und analysiert, ob ein Trend in Richtung mehr oder weniger Ertrag zu erkennen ist. Die Ergebnisse dieser Recherche sind in Abbildung 9 und Abbildung 10 abgebildet. Wie bereits erwähnt zeichnet sich auch hier ein leichter Abwärtstrend in der heimischen Rapsproduktion ab. Ein starker Zuwachs zeichnet sich bei der Sojaproduktion ab, der starke Anstieg der Erträge spiegelt sich auch in der Flächeninanspruchnahme wider. Der Anteil am Aggregat Körnerfrüchten, zu welchem die Sojabohne gezählt wird, ist stärker gestiegen als in allen Szenarien angenommen, ein Grund dafür kann die vermehrte Kultivierung der Sojabohne in Österreich sein.

Obwohl der Anteil an versiegelten Flächen nicht Kernfrage dieser vorliegenden Arbeit ist, ist die Entwicklung auf das Flächenaggregat einen Blick wert. Der Anteil an Bauland und Infrastrukturland, also an versiegelter Fläche, ist stärker gestiegen als in den Szenarien des ROLAND-Projekts angenommen. Im Vergleich zum Basisjahr ist der aktuelle Wert für verbaute Flächen um rund 45% gestiegen. Im Jahr 2019 wurden laut Umweltbundesamt 44 km<sup>2</sup> an Boden zusätzlich in Anspruch genommen und davon rund 20 km<sup>2</sup> dauerhaft versiegelt. Der von der Regierung angestrebte Wert für den Bodenverbrauch liegt bei 9 km<sup>2</sup> pro Jahr (Umweltbundesamt, kein Datum) . Diese Tatsache steht direkt im Konflikt mit den Zielen des Klimaschutzes. Verbaute Flächen weisen keinen Pflanzenbewuchs auf und auch der versiegelte Boden verliert seine Funktion als Ökosystemdienstleister. Auf diesen Flächen kann kein Kohlenstoff gespeichert werden. Außerdem führen verbaute Flächen auch zu einer negativen Beeinflussung des Mikroklimas. Versiegelte Flächen schließen außerdem die Produktion von Biomasse aus.

#### **4.2) Landwirtschaftliche Erträge**

Die Erstellung der Datensätze war dabei leichter als die der Landnutzungsänderung, da sich die erhobenen Kulturarten über die Jahre nicht geändert hatten. Die Produktivität je Hektar Anbaufläche steigerte sich im Vergleich mit 1995 bei fast allen Kulturen. Ausnahmen bilden hier Grünschnitt mit gleichbleibender Produktivität und Klee mit sinkender Produktivität. Eine enorme Steigerung der Produktivität zeigen die Daten von Körnermais, Zuckerrüben, Raps und Getreide. Sieht man sich jedoch die Entwicklung von Raps zwischen den Jahren 1995 und 2019 an ist ein sinkender Trend der Erträge zu erkennen. An diesem Beispiel zeigt sich deutlich, dass Landnutzung sehr dynamisch ist und sich auf Grund von eventuellen Umwelteinwirkungen oder geänderter Nachfrage nach verschiedenen Kulturarten die Situation schnell ändern kann. Der Unterschied bei den Kleeerträgen erklärt sich dadurch, dass im GLOB-Szenario ein massiver Rückgang der Agrarflächen bei gleichzeitiger Konzentration auf die global konkurrenzfähigen Gunstlagen unterstellt wurde. Bei Raps zeigt

sich ebenfalls ein vermeintlicher Ausreißer, die Raps-erträge im MAX-Szenario übersteigen die aktuellen Erträge stark. Jedoch übersteigt das MAX-Szenario in dieser Hinsicht auch alle anderen Szenarien für 2020. Dies liegt daran, dass RME zum Zeitpunkt der Modellierung der dominante Biokraftstoff war und in diesem Szenario eine Ausweitung der Biokraftstoffproduktion unterstellt wurde. Allgemein ist festzustellen, dass die Erträge starken klimatischen Schwankungen unterliegen. Umweltbedingung wie Niederschlagsmengen, Trockenheit und Frost führen zu unterschiedlicher Produktivität in verschiedenen Jahren. Laut dem „Grünen Bericht 2019“ verzeichnet die gesamte österreichische landwirtschaftliche Produktion jedoch von 2000 bis 2019 einen Anstieg von rund 11% (BMLRT, 2021).

### **4.3) Forstflächen und Holznutzung**

Wie in Abbildung 19 zu erkennen ist, ist der Kohlenstoffvorrat in den heimischen Wäldern weiter gestiegen, er ist sogar höher als in allen Szenarien berechnet. Mit rund 401Mt gespeicherten Kohlenstoff in der oberirdischen Vegetation bindet der österreichische Wald 65 Mt mehr Kohlenstoff als 1995. Trotzdem sollte weiterhin auf eine nachhaltige Bewirtschaftung geachtet werden. Durch eine erhöhte Nachfrage von Holz als Brennstoff oder für Materialien und das steigende Aufkommen von Schadholz könnten unter Umständen langfristig zu einer Verschlechterung der Kohlenstoffspeicherkapazität der Waldvegetation und in weiterer Folge zu Problemen mit Bereich der Rhizosphäre und des Waldbodens führen. Eine Verschlechterung der Kohlenstoffspeicherkapazität würde im Konflikt mit den österreichischen Plänen der C-Anrechnung im Zuge der LULUCF-Strategie stehen. Ein weiterer Aspekt ist die Selbstversorgung mit Holz, also ob der heimische Markt die Nachfrage an Holz abdecken kann, oder ob Holz aus anderen Ländern zugekauft werden muss. Nach Modellberechnungen war und sollte Österreich im Jahr 2020 laut Szenarien ein Netto-Exporteur in der Holzbranche bleiben. Betrachtet man die stoffliche Nutzung von Holz zeigt sich, dass Österreich einen hohen Exportanteil an Holzwaren, wie Platten und Holzwerkstoffen, aufweist. Dem gegenüber steht ein hohes Volumen an Rohholzimporten. Außerdem ist die Papierindustrie ein großer Warenexporteur, wie in Abbildung 29 ersichtlich ist. Der Menge an Papier und Papierwaren, welche von Österreich exportiert wird, ist in den letzten Jahren gestiegen, bei leicht sinkenden Importmengen. Die Import-Export-Situation am Holz- und Holzwarenmarkt ist annähernd ausgeglichen. Festzustellen ist, dass Österreich einen erheblichen Anteil des Rohholzes aus dem Ausland bezieht, ein großer Teil davon stammt aus EU-Ländern. Nach Bearbeitung der Rohstoffe wird eine große Menge an Holzwaren wieder in EU-Länder exportiert.

#### 4.4) Energetische und stoffliche Nutzung von Biomasse

Seit dem Vergleichsjahr 2000 ist die Verwendung von Biomasse für energetische Nutzung um rund 82% gestiegen. Die Bio-Energie-Nutzung ist stärker gestiegen als in allen vier Szenarien angenommen wurde. Im Bereich der energetischen Nutzung spiegelt das MAX-Szenario die aktuelle Situation am ehesten wider, wobei der Anteil an Wärme überbewertet wurde und der Anteil an elektrischer Energie leicht unterbewertet wurde. Der Großteil der Biomasse für die Energiewirtschaft stammt dabei aus der Holzproduktion und nachgelagerten Industrien wie der Papierindustrie. Der größere Anteil, nämlich rund 68%, stammen dabei aus der kaskadischen Nutzung. Zur Vereinfachung wurden unter kaskadischer Nutzung die Stoffströme aus Holzabfällen, Ablaugen der Papierindustrie, Bio-, Deponie- und Klärgas, Bioanteile des Hausmülls, Tiermehl, Klärschlamm und Stroh zusammengefasst. Grundlage dafür war die Überlegung, dass diese Stoffströme bei der Produktion von anderen Produkten entstehen. Diese Daten ähneln den Ergebnissen, des SUST-Szenarios, als Erweiterungen des TREND-Szenarios. Eine erhöhte Ressourceneffizienz, wie sie durch eine durchdachte kaskadische Nutzung erreicht werden kann, benötigt weniger Biomasse aus Primärproduktion und kann damit den Druck auf Wald- und Agrarflächen senken. Positive Aspekte können eine verbesserte CO<sub>2</sub>-Speicherkapazität von Vegetation und im Weiteren auch von Böden sein (Haberl, et al., 2003).

Der Anteil an Bio-Energie aus primärer Acker-Biomasse, in Form von Pflanzenölen, Bioethanol und Biodiesel wurde in den weiteren Szenarien geringer angenommen als sie heute sind. Das einzige Szenario, welches die aktuellen Daten widerspiegelt, ist das MAX-Szenario. Gleichzeitig ist die Fläche an Ölpflanzen, vor allem Raps, gesunken. Dies kann ein Hinweis darauf sein, dass ein größerer Teil der Bio-Treibstoffe landwirtschaftlichen Ursprungs durch Import gedeckt wurde (Tabelle 12). Kalt hat beispielsweise in seinem Biomasseflussmodell eine Eigenversorgung von Ölen in Österreich von 30% genannt, bei Biodiesel 53% (Kalt, 2014). Es ist anzumerken, dass importierte Pflanzenöle aus nicht nachhaltigen Produktionen bzw. Monokulturen stammen könnten, sollte das zutreffen, würden negative Folgen für die Umwelt geografisch verlagert werden.

Die kaskadische Nutzung spielt in der Energiegewinnung aus forstlicher Biomasse eine größere Rolle. Während ca. 2/3 der gesamten energetisch genutzten Forstbiomasse aus kaskadischen Quellen stammen, sind die Flüsse bei der Nutzung von Biomasse aus Ackerbau ungefähr gleich groß. Laut österreichischem Holzflussmodell 2018 fließen pro Jahr 6.5 Mio. fm an Holz, in Form von Brennholz in die Wärmeproduktion. Davon stammen 2,6 Mio. fm aus den Holzeinschlagmeldungen, 0,9 Mio. fm aus Importen und 3,0 Mio. fm aus sonstigen

Quellen. Quellen für das sonstige Holzaufkommen sind u. a. kaum erfasste Holzmengen aus dem Kleinstwald, Nutzung von Flurgehölzen, rezykliertes Holz und Lagerbestandsänderungen. Ein Grund für die große Menge an sekundärer Forstbiomasse, kann das Wachstum der Holzverarbeitenden Sektoren darstellen. Durch die erhöhte Produktion in der Säge-, aber auch der Papierindustrie kommt es zu gesteigerten Mengen an SNP und Ablaugen. Diese Stoffströme fließen zu großen Teilen direkt in die energetische Verwertung. Ein großer Teil der sekundären Holzbiomasse stammt jedoch aus Abfällen der importierten Rohholzströme. Wie bereits erwähnt, ist Österreich ein Rohholzimporteur. Daraus ist zu schließen, dass ein erheblicher Teil der forstlichen Sekundärbiomasse ebenfalls Importströmen zuzurechnen ist (Kalt, 2014). In den ROLAND Szenarien waren hingegen kein zusätzlicher Beitrag der Importe zur Bioenergiegewinnung unterstellt worden. Potenzielle Stoffströme, für die energetische Verwertung, aus der Landwirtschaft werden auch als Futtermittel in der Nutztierhaltung verwendet und bieten damit ein geringeres Aufkommen für die energetische Nutzung (Kalt, 2014).

Die stoffliche Nutzung von Biomasse ist schwer abzuschätzen, beziehungsweise mittels öffentlich zugänglichen Datengrundlagen abzubilden. Für den industriell genutzten Zucker konnten keine Daten gefunden werden. In der „Versorgungsbilanz für Zucker“ der Statistik Austria sind Gesamtzuckermengen dargestellt, jedoch wird der Anteil des Industriezuckers nicht ausgewiesen. Diese Daten können einer Geheimhaltung unterliegen. Auch die Nutzung von Industriestärke kann nicht lückenlos dargestellt werden. Aus den „Versorgungsbilanzen für Stärke“ geht nicht hervor, ob es sich bei "industrieller Nutzung" um rein stoffliche Nutzung oder um eine Summe aus stofflicher und energetischer Nutzung handelt. Es ist anzunehmen, dass es sich um die Summe aus energetischer und stofflicher Nutzung handelt. Stärke ist ein wichtiger Rohstoff für die Papier- und chemische Industrie, jedoch könnte Stärke auch für Bioethanolproduktion und somit energetisch genutzt werden. Um Aussagen zu der Situation zur stofflichen Nutzung von Stärke, Zucker und Proteinen treffen zu können, müssten differenziertere Datensätze erhoben werden. Zu Fasernutzung von Nutzpflanzen und Faserpflanzenproduktion konnten keine Ertragsdaten gefunden werden. Die (werk)stoffliche Nutzung von Holz, also Sägeholz, Platten und Papier, wurde bei Papier- und Plattenindustrie wurde durch die lineare Fortschreibung einigermaßen gut abgebildet. Der Massenstrom für Sägeholz, stieg nach dem Jahr 2014 an und übersteigt die Ergebnisse des Szenarios um 7 Mio. fm pro Jahr, zu einem guten Teil infolge stark gestiegener Importe.

#### 4.5) Kohlenstoffspeicherung, Düngemittel und Handel

Der Indikator "Kohlenstoffspeicherung" sagt aus, wie viel Kohlenstoff die oberirdische Vegetation im Zuge der Photosynthese fixiert. Also wie viel Kohlenstoff in Form von Biomasse im Bestand (Stock) gespeichert ist. Ein zweiter Wert, welcher berechnet wurde, zeigt auf wie viel Kohlenstoff im jeweiligen Jahr gebunden wird. Letzterer Wert stellt eine Flussgröße dar, er zeigt an, ob im jeweiligen Jahr CO<sub>2</sub> gebunden oder durch Ernte emittiert wurde. Wird in einem Jahr weniger Biomasse entnommen als nachwächst, fungiert die Vegetation als CO<sub>2</sub>-Senke, wird mehr entnommen als CO<sub>2</sub>-Quelle. Aus Ressourcengründen wurden im Projekt ROLAND die unterirdischen Flüsse bzw. Bestände nicht berücksichtigt. Grund dafür ist ein vergleichsweise großer Aufwand. In diesem Bereich besteht eine Vielzahl an Unsicherheiten, die es erschweren, gut abgesicherte und interpretierbare Ergebnisse zu erhalten. Kohlenstoffbestände im Boden sind deutlich höher als die der Vegetation. Tendenziell gilt jedoch die Regel, dass durch Biomasseaufbau auch der C-Vorrat in den bestockten Böden zunimmt und durch übermäßige Entnahme von Biomasse die Kapazität des Bodens, Kohlenstoff zu speichern, abnimmt.

Da es sich bei der Berechnung der Kohlenstoffkapazität um eine Rekonstruktion der Berechnung aus dem ursprünglichen Projekt ROLAND handelt, weist der Indikator einige Schwächen auf. Zunächst wurden die Expansionsfaktoren aus den ursprünglichen Berechnungen übernommen und kein neuer Faktor ermittelt. Ein Vorteil ist hierbei aber die Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Eventuelle Fehler oder Unschärfen sind auch Teil dieser Neuberechnung. Die Expansionsfaktoren wurden aus unterschiedlichen Quellen berechnet, die nur eine näherungsweise Abschätzung erlauben. Um den Kohlenstoffgehalt exakt zu erheben, müsste jeder Baum im österreichischen Wald individuell analysiert werden und dessen Kohlenstoffgehalt über die Jahre gemessen werden. Dies ist praktisch jedoch nicht umsetzbar, weshalb auf die Expansionsfaktoren und Annahmen zum näherungsweisen C-Gehalt von Vegetationstypen zurückgegriffen wurde. Die daraus resultierende Unschärfe wird in Kauf genommen, um die Entwicklung modellhaft darstellen zu können.

Als Grundlage für die Berechnung wurden die Daten aus der aktuellen Waldinventur herangezogen, da diese die Entwicklung im Österreichischen Wald genauer darstellen als die Erhebungen der Statistik Austria. Die Neuberechnung zeigt, dass der Kohlenstoffspeicher im österreichischen Wald zugenommen hat. Der aktuelle Wert übersteigt den Wert aller Szenarien. Im Durchschnitt wurden zwischen der Periode 2000 und 2018 3,13 Mt C pro Jahr gebunden. Dieser Wert stellt einen Durchschnitt, gleichmäßig aufgeteilt auf die einzelnen Jahre, dar, es können keine detaillierten Rückschlüsse auf einzelne Jahre geschlossen

werden. Ein Grund für das Unterschätzen des Waldwachstums in den Szenarien könnte im Zuwachs an Waldflächen außer Ertrag liegen. Diese Flächen wurden in den Szenarien als konstant angenommen. Die aktuellen Daten zeigen jedoch, dass es bei den Waldflächen außer Ertrag einen Zuwachs gab. Da diese Flächen, vor allem die Schutzwälder, keine Ertragswälder darstellen, ist die Entnahme von Holz kein prioritäres Ziel und die Flächen können längerfristig Kohlenstoff speichern. Wissenschaftliche Analysen zeigen, dass der Klimawandel auch positive Einflüsse auf das Wachstum von Bäumen haben kann. Modelle und physiologische Untersuchungen zeigen, dass durch eine erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre die Effizienz der Photosynthese gesteigert werden kann. Voraussetzung dafür sind jedoch ausreichend gute Umweltbedingungen, wie Nährstoffverfügbarkeit des Waldbodens und Temperatur (Nemani, et al., 2003). Auf der anderen Seite setzt der Klimawandel den Wald global zunehmend unter Druck. Durch Extremwetterereignisse, Käferkalamitäten und Trockenperiode kommt es immer wieder zu Ernteausfällen und Waldbränden, auch in Europa. Sollte sich dieser Trend fortsetzen kann es zu gehäuften Schadholzaufkommen führen, welches die Gesundheit und somit die Kohlenstoffspeicherkapazität des Waldes schwächt (Norby, et al., 2005).

Die Daten weisen außerdem darauf hin, dass die Holznutzung steigt und der Verbleib sinkt. Eine weiter steigende Nachfrage, bei gleichbleibendem Zuwachs, nach einheimischem Holz kann in Zukunft dazu führen, dass mehr Holz entnommen wird, als nachwachsen kann. Sollte eine solche Entwicklung eintreten, würde dies den Grundsätzen der nachhaltigen Waldbewirtschaftung widersprechen. In Kombination mit den weiter oben erwähnten negativen Folgen des Klimawandels, kann diese Entwicklung mitunter problematisch für die Waldgesundheit sein.

Der Indikator des Düngeraufwands in Form von reinem Stickstoff ist ein geeigneter Indikator, um die Intensivierung auf landwirtschaftlichen Flächen einzuschätzen (Siegenthaler & Strebel, 2017). Die Gesamtmenge an reinem Stickstoff für die Düngung in der Landwirtschaft ist nach den aktuellen Berechnungen gesunken (Tabelle 8: Berechnung Stickstoffaufwand durch Düngeraufwand und Hidden Energy-Input), jedoch bei einer ebenfalls sinkenden Gesamtfläche an landwirtschaftlich genutzten Flächen. Gestiegen ist hingegen die Zufuhr an Stickstoff pro Flächeneinheit im Vergleich zum Basisjahr 1995. Dies lässt auf eine Intensivierung der Landwirtschaft schließen. Durch den Einsatz von mineralischem Stickstoffdünger ergibt sich auch der Hidden Energy Input, also die Menge an Energie, die in einer Einheit Düngemittel steckt. Steigt also der Input an Düngemittel pro Hektar, steigt auch die Energie, die im Ertrag pro Hektar steckt. Da ein Großteil der Energie nach wie vor aus

fossilen Quellen stammt, kann davon ausgegangen werden, dass sich dies auch negativ auf die Klimabilanz auswirkt (Haberl, et al., 2003).

Stark gesunken ist der Düngerbedarf für die Rapsproduktion in Österreich. Dies hängt in erster Linie damit zusammen, dass die Rapsproduktion im Jahr 1995 noch 6,3% der Gesamtagrarfläche eingenommen hat und in den aktuellen Daten auf 2,77 % gesunken ist, jedoch bei leicht erhöhter Produktion pro Hektar. Der Ertrag in Österreich ist, wie in Abbildung 10, zu erkennen ist, im Jahr 1995 auf einem Höhepunkt, welcher in den folgenden Jahren bis heute nicht mehr erreicht hat. Laut Landwirtschaftskammer ist das ein EU-weites Phänomen, die EU-Rapsproduktion ist um etwa 3 Millionen Tonnen, von 20 Mio. t auf 17 Mio. t, gesunken. Jedoch ist die Nachfrage nach Ölsaaten und Pflanzenölen unverändert hoch, dieser Umstand kann zu erhöhten Importen von Raps und anderen Ölpflanzen, wie Palmöl, führen (Krumphuber, 2020). Dies würde in weiterer Folge zu einer Verlagerung der Umweltauswirkungen der Rapsproduktion führen und nicht zu einer nachhaltigen Minderung des globalen Stickstoffeintrags. Österreich ist und war laut Daten der Statistik Austria ein Netto-Importeur von Pflanzenölen (Tabelle 12: Import-Export-Analyse Ergebnisübersicht). Betrachtet man die Inanspruchnahme an Fläche des Raps und Sonnenblumen, ist die Ackerfläche für die beiden Kulturen seit 1995 gesunken. Eine weitere Intensivierung der Flächen, zum Beispiel durch eine erhöhte Nachfrage von Energiekulturen, kann zu einem erhöhten Aufwand in der Stickstoffdüngung führen. Durch Düngemittelmanagement könnte die Effizienz der Stickstoffdüngung gesteigert werden kann. Zu bedenken ist hierbei, dass global nicht alle Menschen den gleichen Zugang zu Düngemittel, beziehungsweise dem Management-Know-how, haben und es zu Ungleichheiten in der Produktion und damit der Eigenversorgung kommen kann (Erisman, et al., 2008).

Die Umweltauswirkungen von Biomasseproduktion sind schwer zu vergleichen, da Handelsvolumina, also Nettoexport oder Nettoimport, Schwankungen unterliegen. Durch eine Verschiebung von Produktion ins Ausland finden Verlagerungen der Umweltauswirkungen statt. Eine exakte Berechnung wurde im Projekt ROLAND nicht durchgeführt, jedoch Überlegungen angestellt um die Verlagerungseffekte besser einschätzen und interpretieren zu können. Tabelle 12 stellt die Handelssituation des Jahres 1995 der aktuellen Situation gegenüber. Es ist erkennbar, dass eine Entwicklung im Bereich der Biomasse in Richtung Import stattgefunden hat. Es kann also von einer gewissen Verlagerung der Umweltkosten im Bereich der Agrarprodukte ausgegangen werden. Bei den Daten handelt es sich um die Außenhandelsstatistik der Statistik Austria. Um die

Umweltauswirkungen der Import-Export-Situation umfassend abschätzen zu können, müssten auch bei diesem Indikator weitere Datenerhebungen durchgeführt werden. Unklar ist, aus welchen Ländern welche Produkte bezogen werden, daher können keine Rückschlüsse auf Umweltauswirkungen gezogen werden. Die gesteigerten Importmengen bei Cerealien, Pflanzenölen und Rind, Schaf und Ziege wirken sich jedoch tendenziell negativ auf die Umweltbilanz aus, schon allein auf Grund des längeren Transportweges kommt es zu erhöhten Treibhausgasemissionen. Leider war es nicht möglich nachzuvollziehen wie die Import-Export Szenarien für Holzprodukte modelliert wurden. Daher sollten diese Ergebnisse, auf Grund der fehlenden Vergleichbarkeit, kritisch betrachtet werden. Trotzdem ist anhand der Daten zu erkennen, dass laut aktuellen Daten Österreich bei Rohholz und SNP ein Holz-Importeur ist. Bei gefertigten Holzprodukten, Werkzeugen und Halbzeugen ist Österreich ein Exporteur. Dies lässt darauf schließen, dass Österreich eine Rolle als Bearbeiter in der Holzindustrie einnimmt. Im Papierbereich ist Österreich ein Exportland.

#### **4.6) Politische Ziele und aktuelle Erhebungen**

Die Textanalyse zeigt vor allem, dass die politischen Ziele im Bereich der Biomassenutzung und Landnutzung stark miteinander vernetzt sind. Keine der Strategien kann für sich allein betrachtet werden, da sie sich gegenseitig beeinflussen. Bei der Analyse der politischen Texte stellen sich auch mögliche Konflikte zwischen ökologischen und ökonomischen Zielen heraus. Politische Strategien, wie etwa die Bioökonomiestrategie, zielen auf eine Steigerung der Wertschöpfung von biologischen Rohstoffen ab. Die Produktionsleistung von Ökosystemen zu steigern, kann im Konflikt mit den sonstigen Ökosystemdienstleistungen stehen. So kann eine erhöhte Nutzung von Holz als Energielieferant zu einer Minderung der Kohlenstoffspeicherkapazität der Wälder führen. Bei der Verbrennung wird der gesamte Kohlenstoff auf einmal frei, um diese Menge an C wieder zu speichern benötigt ein Baum mehrere Jahrzehnte. Bei der Nutzung von Holz als Werk- und Baustoff würde Kohlenstoff, über die Periode des Produktlebenszyklus, gespeichert bleiben. Dies könnte durch eine kaskadische Nutzung, welche in der Bioökonomiestrategie gefordert wird, abgedeckt werden. Eine zu hohe Mobilisierung von Holz hat jedoch noch einen anderen Effekt, bei uneingeschränkter Holzentnahme würde Lebensraum von Tieren und Pflanzen zerstört werden. Der Schutz der Biodiversität ist, unter anderem, ein Ziel der Waldstrategie. Die Daten der Ex-Post-Analyse geben keinen Anlass zur Sorge um den österreichischen Wald, da weiterhin mehr Holz nachwächst als entnommen wird. Die Analyse lässt jedoch, wie bereits beschrieben, keine Rückschlüsse auf den Gesundheitszustand der Wälder zu. Die Waldinventur stellt die Veränderung des österreichischen Waldes im Abstand von mehreren

Jahren dar. Um feststellen zu können, ob die vermehrten Schäden der jüngeren Vergangenheit einen negativen Effekt auf die C-Speicherkapazität der Wälder haben, müsste eine umfassende Analyse des Zuwachses, der Holzernte und der Schadholzentnahme der letzten Jahre durchgeführt werden. In der österreichischen Waldstrategie wird auch Waldumbau als wichtige Maßnahme beschrieben, um die Resilienz der österreichischen Wälder zu verbessern. Eine genauere Betrachtung von Daten die, die Entwicklung von Artengemeinschaften in Wäldern beleuchten, würde für eine Abschätzung der weiteren Entwicklung der klimafitten Wälder sinnvoll sein. Allgemein wird beobachtet, dass der Anteil an Mischwald in Österreich, auf Kosten von Nadelholzreinbeständen, zunimmt (Mayer, et al., 2019).

Auch im agrarischen Bereich zeigen sich potenzielle Konflikte. Es ist zu bezweifeln, ob eine kleinstrukturierte Landwirtschaft, wie sie laut Bioaktionsplan, ÖPUL und den Masterplan für den ländlichen Raum, erwünscht ist, ausreichende Mengen an Rohstoffen für eine auf biologischen Rohstoffen basierte Industrie bereitstellen kann. Um die ländlichen Regionen nicht durch erhöhte Rohstoffnachfrage unter Druck zu bringen, darf das Biomassepotential nicht überschätzt werden. Die Erhebung von Biomassepotentialen, wie im Biomasseflussmodell, können ein geeignetes Werkzeug sein, um einen Rahmen für eine regional basierte Bioökonomie vorzugeben. Bei einer erhöhten Nachfrage von Biomasse, kann es negativen Effekten kommen, wie der Übernutzung von Böden, dem Zukauf von billigeren Rohstoffen aus dem Ausland oder der Mobilisierung von naturnahen Flächen. Wenn man die Ergebnisse der Textanalyse mit den Überlegungen für die einzelnen Szenarien vergleicht, spiegeln sich vor allem das TREND und das SUST-Szenarien in einigen Punkten wider. Österreich will, laut Textanalyse, weiterhin an der kleinstrukturierten Landwirtschaft festhalten und im Rahmen des Bioaktionsprogramms stärken. Die mit diesem Ziel in einigen Punkten in Konflikt stehende Bioökonomie-Strategie möchte neue wirtschaftliche Potentiale im ländlichen Raum generieren. Dies soll im Rahmen einer Bioindustrie umgesetzt werden, die nachhaltig-effizient produziert, in einer Kreislaufwirtschaft geführt wird und die regionale Wertschöpfung steigert. Das Ziel, welches sich auch in den SDGs und dem Programm für den ländlichen Raum finden lässt, spiegelt sich einigermaßen im SUST-Szenario wider. Die Steigerung der Produktion, mit ressourceneffizienter und kaskadischer Nutzung ist die Kernüberlegung des Szenarios.

Um den Einfluss von politischen Strategien auf die derzeitige und zukünftige Entwicklung genauer analysieren zu können, müsste eine umfangreichere Textanalyse durchgeführt werden. Das angewandte Schema, wie in Abbildung 2 dargestellt, ist eine nicht sehr

tiefgreifende Methode, um Texte zu interpretieren. Um einen tieferen Einblick in die politische Dimension des Themas zu gewinnen, wäre eine wissenschaftliche Begleitung durch ein interdisziplinäres Forschungsteam sinnvoll. Dies war innerhalb der Ressourcen dieser Arbeit nicht möglich. Die Textanalyse bietet jedoch einen guten Überblick über die politischen Entwicklungen der letzten Jahre.

#### **4.7) Bewertung Methodik und Modell**

Die dreiteilige Methodik, Policy-Analyse, Recherche und Vergleich aktueller Daten mit den ROLAND-Ergebnissen und Neuberechnung der Umwelt-Indikatoren, zeigt einige Probleme auf. Bei der Erhebung der aktuellen Zahlen kam es immer wieder zu Problemen bei Definitionen und bei der Zusammenfassung von Landnutzungsaggregaten. So war es nicht möglich, die gleichen Aggregate mit den aktuellen Daten zu rekonstruieren. Ein weiteres Problem sind die unterschiedlichen Methodiken der Institutionen, bei der Erhebung der Landnutzung bzw. Erträge. So lieferten die Datensätze der Statistik Austria andere Werte als die der österreichischen Waldinventur. Kritisch zu bewerten sind auch die eingeschränkten zeitlichen und personellen Ressourcen der vorliegenden Arbeit. Das Projekt ROLAND war sehr viel umfangreicher, eine vollständige Vergleichbarkeit aller Indikatoren konnte daher nicht erzielt werden. Tiefeninterviews mit Experten und Expertinnen hätten die Qualität der Resultate ergänzen und steigern können. Über einige Bereiche konnten daher die Entwicklungen in Grobanalysenschärfe abgebildet werden und bei einigen gab es kaum zugängliche Datengrundlagen. Die knappen Ressourcen fallen auch bei den Berechnungen der Kohlenstoffspeicherkapazität, der mineralischen Stickstoffdüngung und der Import-Export-Analyse ins Gewicht. Diese stellen eine reine Rekonstruktion der Berechnungsmethode dar und wurden nicht retrospektiv evaluiert bzw. mittels neuer Daten angepasst. Außerdem ist zu erwähnen, dass es sich bei den Daten der Waldinventur für das Jahr 2018 um Zwischenergebnisse handelt. Durch eine Neubetrachtung mit den vollständigen Datensätzen der aktuellen Waldinventur könnte es zu Änderungen der Ergebnisse kommen. Trotzdem geben die verwendeten Zwischenwerte einen Einblick in die Entwicklung des österreichischen Waldes und bilden die bestmögliche Grundlage für die Berechnungen dieser Arbeit. Ebenfalls kritisch zu beleuchten ist das Miteinbinden der politischen Positions- und Strategiepapieren. Die Policy-Analyse ist ein geeignetes Tool, um einen Überblick über die aktuellen politischen und gesellschaftlichen Positionen und Ziele Österreichs und auch der EU zu erhalten. Um eine genaue beziehungsweise qualitativ abgesicherte Aussage treffen zu können, müssten die einzelnen Papiere genauer analysiert und ein geeignete Bewertungstool erstellt werden, welches anhand von genauen

Parametern definiert, wie ein politisches Ziel in aktuellen Daten und in der Realität abgebildet sein kann. Außer Acht gelassen wurde in der Policy-Analyse auch die zeitliche Komponente, so kann davon ausgegangen werden, dass Strategien, welche zeitlich früher definiert wurden, bereits fortgeschrittener in ihrer Umsetzung sind, als solche die erst vor kurzem beschlossen wurden.

## **5) Schlussfolgerung**

Die Ergebnisse zeigen, inwieweit sich die Biomasseproduktion und die Landnutzung im Vergleich zu dem jeweiligen Basisjahr verändert haben. Landnutzung und ihre Veränderung ist jedoch ein sehr dynamischer Prozess. Um eine genaue Analyse der Entwicklungen nachvollziehen zu können, müsste jedes Jahr vom Basisjahr bis zum Jahr 2020 separat analysiert werden. Die Szenarien haben unterschiedliche Entwicklungsmöglichkeiten berechnet. Die tatsächliche Entwicklung spiegelt kein Szenario eindeutig wider, dies ist jedoch auch nicht Anspruch der Szenarien gewesen. Am ehesten würde sich eine Entwicklung in eine Richtung zwischen TREND und SUST interpretieren lassen. Die politischen Ziele eine kleinbäuerliche Agrarstruktur zu erhalten und eine kreislaufgeführte Bioökonomie zu gestalten, würden ebenfalls für eine SUST-TREND-Entwicklung sprechen. Hierbei wird abzuwarten sein, ob sich diese beiden, teilweise in Konflikt stehenden, Ziele verbinden lassen.

Als positive Entwicklung kann die starke Nutzung von biologischen Reststoffen, als biogene Energieträger gedeutet werden. Dies wird auch in der Literatur, inklusive dem Projekt ROLAND, als erstrebenswert bewertet. Fraglich ist hierbei der Eigenversorgungsgrad, da ein großer Teil dieser Reststoffe aus der Bearbeitung von importiertem Rohholz stammt.

Die Datengrundlage für die stoffliche Nutzung von Agrarrohstoffen befindet sich noch in den Kinderschuhen. Sollte die Produktion von Biokunststoffen und chemischer Grundsubstanzen aus biologischem Ursprung im Zuge einer Bioindustrie forciert werden, sind umfangreiche Daten für eine Analyse eines eventuellen Einflusses auf die Landschaft nötig.

Weiters wird zu beobachten sein, wie es in Zukunft um die Gesundheit des österreichischen Waldes steht. Zwar konnte er in den letzten Jahren seine Funktion als C-Senke weiter ausbauen, aber er steht großen Herausforderungen, die sich im Zuge des Klimawandels weiter verstärken könnten. Im Sinne der Eigenversorgung und des Klima- und Umweltschutzes wäre eine genauere Analyse der Import-Export Situation sinnvoll. Welche Öle werden woher importiert, woher stammt das Rohholz für die österreichische Holz- und Papierindustrie? Diese beispielhaften Fragen können durch ihre Beantwortung, vertiefende

und neue Blickwinkel zu den Umweltauswirkungen der österreichischen Biomassenachfrage, liefern. Am Ende müssen die Landschaft und das Land weiterhin einer Vielzahl von Funktionen und Aufgaben nachkommen. Lebensraum für Mensch, Tier und Pflanze, Bereitstellung von Lebensmitteln und Holz, Speicherung von Kohlenstoff, die Rolle im Stickstoffkreislauf und viele mehr. Dabei steht eines fest, sollte die Verbauung und Versiegelung weiter in diesem Ausmaß zunehmen, wird die österreichische Landschaft diesen Aufgaben nur erschwert nachkommen können. Der Boden und die Landschaft müssen als wichtiges Gut wahrgenommen werden und der Planung und dem Management dieses Gutes soll effizient und nachhaltig gedacht werden. Es muss also die Frage gestellt werden, was soll die österreichische Landschaft leisten und was kann sie leisten? Ohne diese Weitsicht wird der verstärkte und nachhaltige Einsatz heimischer, biologischer Rohstoffe schwer gelingen.

## Literaturverzeichnis

Abteilung III/2, B., 2019. *Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)*. [Online]

Available at:

[https://www.bmk.gv.at/themen/klima\\_umwelt/nachhaltigkeit/strategien/sdg\\_aktionsplan.html](https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/nachhaltigkeit/strategien/sdg_aktionsplan.html)

[Zugriff am 2021 5 12].

AEA, 2020. *Austrian Energy Agency*. [Online]

Available at: [https://www.klimaaktiv.at/erneuerbare/energieholz/holzstr\\_oesterr.html](https://www.klimaaktiv.at/erneuerbare/energieholz/holzstr_oesterr.html)

[Zugriff am 19 7 2021].

Austropapier, 2020. *Austropapier*. [Online]

Available at: <https://austropapier.at/service-presse-daten-fakten/>

[Zugriff am 19 7 2021].

BMK, 2016. *Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)*. [Online]

Available at: [https://www.bmk.gv.at/themen/klima\\_umwelt/agenda2030.html](https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/agenda2030.html)

[Zugriff am 16 5 2021].

BMK, 2019. *Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie*. [Online]

Available at:

[https://www.bmk.gv.at/themen/klima\\_umwelt/klimaschutz/nat\\_klimapolitik/landnutzung.html](https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/nat_klimapolitik/landnutzung.html)

[Zugriff am 12 05 2021].

BMK, 2019. *Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)*. [Online]

Available at: [https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:e3d9c637-d45c-45e9-bdac-](https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:e3d9c637-d45c-45e9-bdac-3d8152cfaf7b/Anrechnungsplan_Forstwirtschaft_ua.pdf)

[3d8152cfaf7b/Anrechnungsplan\\_Forstwirtschaft\\_ua.pdf](https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:e3d9c637-d45c-45e9-bdac-3d8152cfaf7b/Anrechnungsplan_Forstwirtschaft_ua.pdf)

[Zugriff am 14 6 2021].

BMLFUW, 2017. *Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus*. [Online]

Available at: <https://info.bmlrt.gv.at/themen/regionen->

[raumentwicklung/raumentwicklung/masterplan-fuer-den-laendlichen-raum.html](https://info.bmlrt.gv.at/themen/regionen-raumentwicklung/raumentwicklung/masterplan-fuer-den-laendlichen-raum.html)

[Zugriff am 26 01 2021].

BMLRT, 2021. *Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus*. [Online]

Available at: <https://gruenerbericht.at/cm4/jdownload/download/2-gr-bericht-terreich/2393-gb2021>

[Zugriff am 15 11 2021].

BNT, 2018. *Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus*. [Online]

Available at: <https://info.bmlrt.gv.at/themen/wald/walddialog/waldstrategie-2020.html>

[Zugriff am 2021].

Bridgwater, T., 2006. Biomass for energy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, pp. 1755-1768.

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, 2012. *Holz - Energiequelle der Zukunft*, 1131 Wien, Österreich: s.n.

Cannell, M., 1982. World Forest Biomass and Primary Production Data. *Academic Press*.

Erisman, J. W., Klimont, Z., Galloway, J. & Winiwarter, W., 2008. How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience*, September, pp. 636-639.

Fehrenbach, H. a. G. J. et al., 2019. *BioRest-Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem (Strom-, Wärme- und Verkehrssektor): Abschlussbericht*. s.l.:Deutsches Umweltbundesamt.

Forst Holz Papier, 2020. *Forst Holz Papier*. [Online]  
Available at: <https://www.forsth Holzpapier.at/index.php/fhp-arbeitskreise/ak-datenservice>  
[Zugriff am 19 7 2021].

Fuhrmann, R. A. et al., 2018. *Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)*. [Online]  
Available at:  
[https://www.bmk.gv.at/themen/innovation/publikationen/energieumwelttechnologie/biooekonomie\\_fti.html](https://www.bmk.gv.at/themen/innovation/publikationen/energieumwelttechnologie/biooekonomie_fti.html)  
[Zugriff am 14 6 2021].

Grandl, I., Weber-Hajszan, L. & Neudorfer, T., 2016. *Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus*. [Online]  
Available at: [https://info.bmlrt.gv.at/themen/landwirtschaft/eu-agrarpolitik-foerderungen/laendl\\_entwicklung/ausgewaehlte\\_programminhalte/oepul/oepul2015.html](https://info.bmlrt.gv.at/themen/landwirtschaft/eu-agrarpolitik-foerderungen/laendl_entwicklung/ausgewaehlte_programminhalte/oepul/oepul2015.html)  
[Zugriff am 22 05 2021].

Griggs, D. et al., 2013. Sustainable development goals for people and planet. *Nature*, pp. 305-307.

Haberl, H., 1995. *Menschliche Eingriffe in den natürlichen Energiefluß von Ökosystemen: [sozio-ökonomische Aneignung von Nettoprimärproduktion in den Bezirken Österreichs]*. s.l.:Interuniversitäres Inst. für Interdisziplinäre Forschung u. Fortbildung (IFF).

Haberl, H. et al., 2003. Land-use change and socio-economic metabolism in Austria—Part II: Land-use scenarios for 2020. *Land use policy*, pp. 21-39.

Haberl, H. et al., 2001. Changes in ecosystem processes induced by land use: Human appropriation of aboveground NPP and its influence on standing crop in Austria. *Global Biogeochemical Cycles*, pp. 929-942.

Haberl, H. et al., 2012. Correcting a fundamental error in greenhouse gas accounting related to bioenergy. *Energy Policy*, pp. 18-23.

Johann, E., 2004. Forest history in Europe. *Biological resources and migration*, pp. 73--82.

Kalt, G., 2014. *Austrian Energy Agency – Österreichische Energieagentur*. [Online]  
Available at: [https://www.energyagency.at/projekte-forschung/energie-klimapolitik/detail/artikel/biogene-materialfluesse-in-oesterreich.html?no\\_cache=1](https://www.energyagency.at/projekte-forschung/energie-klimapolitik/detail/artikel/biogene-materialfluesse-in-oesterreich.html?no_cache=1)  
[Zugriff am 22 7 2021].

Kamm, B. & Kamm, M., 2004. Biorefinery-systems. *Chemical and biochemical engineering quarterly*, pp. 1-7.

Klamlinger, K. E., 2010. *Der Strukturwandel der Österreichischen Landwirtschaft im Zuge der Technologischen Agrarrevolution von 1945 bis heute*. s.l.:s.n.

Krausmann, F. et al., 2003. {Land-use change and socio-economic metabolism in Austria—Part I: driving forces of land-use change: 1950--1995. *Land use policy*, pp. 1-20.

- Krumphuber, C., 2020. *Landwirtschaftskammer Österreich*. [Online]  
Available at: <https://ooe.lko.at/eu-rapsproduktion-auf-talfahrt>  
[Zugriff am 12 30 2020].
- Mayer, P. & Schadauer, K., 2012. *Bundesforschungszentrum für Waldinventur*. [Online]  
Available at: <https://www.bfw.gv.at/bfw-praxisinformation28-holz-energie/>  
[Zugriff am 9 3 2021].
- Mayer, P., Schadauer, K., Freudenschuß, A. & Lackner, C., 2019. *Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft*. [Online]  
Available at: <http://bfw.ac.at/rz/wi.home>  
[Zugriff am 12 7 2021].
- Mitter, H. et al., 2014. *CCCA*. [Online]  
Available at:  
[https://ccca.ac.at/fileadmin/00\\_DokumenteHauptmenue/02\\_Klimawissen/FactSheets/2\\_landwirtschaft\\_v4\\_02112015.pdf](https://ccca.ac.at/fileadmin/00_DokumenteHauptmenue/02_Klimawissen/FactSheets/2_landwirtschaft_v4_02112015.pdf)  
[Zugriff am 10 11 2021].
- Mortimer, C. E. & Müller, U., 2015. *Chemie- Basiswissen Chemie*. 12 Hrsg. Stuttgart : Thieme.
- Nemani, R. R. et al., 2003. Climate-Driven Increases in Global Terrestrial Net Primary Production from 1982 to 1999. *Science*, 6 Juni.
- Norby, R. J. et al., 2005. Forest response to elevated CO<sub>2</sub> is conserved across a broad range of productivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 12.
- Schneider-Sliwa, R., Gerold, G. & Schaub, D., 1999. *Angewandte Landschaftsökologie*. 4. Auflage  
Hrsg. s.l.:Springer.
- Schulp, C. J., Nabuurs, G.-J. & Verburg, P. H., 2008. Future carbon sequestration in Europe—effects of land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, pp. 251-264.
- Siegenthaler, M. & Strelbel, S., 2017. Stickstoff in Landwirtschaft und Umwelt. *Agrarforschung Schweiz*, pp. 196-199.
- Statistik Austria, 2020. *Statistik Austria*. [Online]  
Available at:  
[https://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/wirtschaft/land\\_und\\_forstwirtschaft/preise\\_bilanzen/v\\_ersorgungsbilanzen/index.html](https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/preise_bilanzen/v_ersorgungsbilanzen/index.html)  
[Zugriff am 28 7 2021].
- Statistik Austria, 2020. *Statistik Austria*. [Online]  
Available at:  
[https://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/wirtschaft/land\\_und\\_forstwirtschaft/agrarstruktur\\_flaechen\\_ertraege/index.html](https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/index.html)  
[Zugriff am 19 7 2021].
- Statistik Austria, 2020. *Statistik Austria*. [Online]  
Available at:  
[https://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/energie\\_umwelt\\_innovation\\_mobilitaet/energie\\_und\\_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html](https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html)  
[Zugriff am 19 7 2021].

Titschenbacher, F. & Pfemeter, C., 2019. *Österreichischer Biomasse-Verband*. [Online]  
 Available at: <https://www.biomasseverband.at/biomasse-verband-veroeffentlicht-basisdaten-bioenergie-2019/>  
 [Zugriff am 6 4 2021].

Umweltbundesamt, kein Datum *Umweltbundesamt*. [Online]  
 Available at: <https://www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/boden/flaecheninanspruchnahme>  
 [Zugriff am 1 11 2020].

## Anhang

*Tabelle 13: Physikalische Einheiten*

<b>Physikalische Einheiten</b>	
Symbol	Einheit
<b>Volumeinheiten</b>	
fm	Festmeter
vfm	Vorratsfestmeter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
<b>Masseneinheiten</b>	
Mt	Megatonne
dt	Dezitonne
t	Tonne
kg	Kilogramm
<b>Flächeneinheiten</b>	
ha	Hektar
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
<b>Zeiteinheiten</b>	
a	Jahr
<b>Energieeinheiten</b>	
PJ	Petajoule
MJ	Megajoule
GWh	Gigawattstunden
<b>Stoffeinheiten</b>	
n	Stoffmenge
M	Molare Masse

*Tabelle 14: chemische Symbole*

<b>Chemische Symbole</b>	
C	Kohlenstoff
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	Zucker
CH <sub>4</sub>	Methan
N, (N <sub>2</sub> )	Stickstoff
H <sub>2</sub> O	Wasser
O <sub>2</sub>	Sauerstoff

Tabelle 15: Verwendete Abkürzungen

<b>Abkürzungen</b>	
NAWARO	Nachwachsende Rohstoffe
TM	Trockenmasse
SWaE	Schutzwald außer Ertrag
HBaE	Holzboden außer Ertrag
WiWa	Wirtschaftswald
SWIE	Schutzwald in Ertrag
AuW	Auwald
SNP	Sägenebenprodukte
<b>Ministerien</b>	
BMLFUW	Bundesministerium für Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BMNT	Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Infrastruktur und Technologie
BMBWF	Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung
BMK	Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
BLRT	Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus

Tabelle 16: Rohdaten Flächeninanspruchnahme Kulturarten

Fläche in km <sup>2</sup>	Basisjahr	TREND	MAX	SUST	GLOB	ÖSTAT
Brotgetreide	3.283	3.058	3.058	3.398	3.671	3.210
Futtergetreide	2.977	2.506	2.506	2.784	3.008	2.347
Körnermais	1.701	1.644	1.644	1.644	1.032	2.207
Silo Mais	902	870	870	870	500	857
Körnerfrüchte	406	613	613	613	306	869
Kartoffel	268	264	374	364	252	240
Zuckerrübe	511	430	431	431	0	279
Raps	871	666	1740	666	333	360
Sonnenblume	281	300	309	309	99	212
Klee	1124	857	557	857	283	1320
Ackerbrache	1216	1043	665	308	818	530
sonstige Feldfrüchte	295	602	608	609	602	553

Tabelle 17: Rohdaten Flächeninanspruchnahme Kulturarten in %

<b>Fläche in %</b>	<b>Basis ROLAND</b>	<b>TREND</b>	<b>MAX</b>	<b>SUST</b>	<b>GLOB</b>	<b>ÖSTAT 2019</b>
Brotgetreide	23,73	23,79	22,86	26,44	33,67	24,72
Futtergetreide	21,52	19,50	18,74	21,66	27,59	18,08
Körnermais	12,29	12,79	12,29	12,79	9,46	17,00
Silo Mais	6,52	6,77	6,50	6,77	4,59	6,60
Körnerfrüchte	2,93	4,77	4,58	4,77	2,81	6,69
Kartoffel	1,94	2,05	2,80	2,83	2,31	1,85
Zuckerrübe	3,69	3,35	3,22	3,35	0,00	2,15
Raps	6,30	5,18	13,01	5,18	3,05	2,77
Sonnenblume	2,03	2,33	2,31	2,40	0,91	1,64
Klee	8,12	6,67	4,16	6,67	2,60	10,17
Ackerbrache	8,79	8,11	4,97	2,40	7,50	4,08
sonstige Feldfrüchte	2,13	4,68	4,55	4,74	5,52	4,26
	100	100	100	100	100	100

Tabelle 18: Rohdaten Verlauf der Erträge von Kulturpflanzen (1995-2019)

Jahr	Weizen	Gerste	Körnermais inkl. CCM	Kartoffel	Zucker- rübe	Raps und Rübsen	Soja bohne
1995	1.301.445	1.065.188	1.473.492	724.426	2.885.807	267.596	31.121
1996	1.239.723	1.082.789	1.735.568	768.974	3.131.307	120.757	26.763
1997	1.352.281	1.257.800	1.841.682	676.872	3.011.921	129.084	33.477
1998	1.341.820	1.211.557	1.645.607	646.915	3.314.143	128.374	50.457
1999	1.416.200	1.152.801	1.699.939	711.729	3.216.731	194.265	50.449
2000	1.312.962	854.667	1.851.728	694.609	2.633.532	125.353	32.843
2001	1.508.283	1.012.407	1.771.081	694.602	2.773.478	146.525	33.875
2002	1.434.208	861.391	1.955.595	684.321	3.043.398	128.647	35.329
2003	1.191.380	882.322	1.707.771	560.340	2.485.386	77.721	39.465
2004	1.718.825	1.006.742	1.944.882	693.054	2.901.902	120.815	44.824
2005	1.453.072	879.628	2.020.955	763.165	3.083.792	104.303	60.573
2006	1.396.300	914.052	1.746.185	654.621	2.493.097	137.303	64.960
2007	1.399.341	810.980	1.994.698	668.755	2.656.214	144.706	52.902
2008	1.689.688	967.921	2.448.538	756.945	3.091.432	174.592	54.095
2009	1.523.368	835.107	2.168.838	722.098	3.083.135	171.073	71.333
2010	1.517.805	777.961	1.955.989	671.722	3.131.666	170.584	94.544
2011	1.781.837	859.375	2.453.133	816.070	3.456.227	179.669	109.378
2012	1.275.498	662.466	2.351.370	665.416	3.114.426	148.869	104.143
2013	1.597.706	734.051	1.639.019	604.051	3.465.791	196.828	82.780
2014	1.804.018	845.705	2.334.385	750.637	4.244.219	198.286	118.132
2015	1.725.737	840.433	1.637.905	536.473	2.853.282	111.745	136.195
2016	1.970.364	859.702	2.179.587	767.261	3.534.415	141.893	152.599
2017	1.437.143	782.029	2.075.983	653.400	2.993.710	116.835	193.416
2018	1.370.960	695.072	2.130.339	697.931	2.150.192	120.690	184.342
2019	1.604.642	832.970	2.298.882	751.264	1.965.150	107.171	215.278

Tabelle 19: Aufkommen von Holz nach verschiedenen Industrien in Mio. fm (2010-2018)

Aufkommen Holz [in Mio fm]	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Sägeindustrie	18,8	19,6	17,8	17,3	16,1	17,5	18,3	19,6	20,6
Plattenindustrie	3,6	3,8	3,1	3	3	2,9	2,8	2,7	2,9
Papierindustrie	8,1	8,5	8,2	8,5	8,1	7,7	8,8	8,6	8,8

Tabelle 20: Rohdaten Bioenergiequellen

<b>Biomasse</b>	<b>Anteile an Bioenergie ÖSTAT in %</b>	<b>PJ</b>
Holzabfall	0,37	85,65
Brennholz	0,229	53,01
Ablauge Papierindustrie	0,141	32,64
Bioethanol, Biodiesel, Pflanzenöle	0,09	20,83
Pellets	0,058	13,43
Bio-, Deponie-, und Klärgas	0,045	10,42
Hausmüll -Bioanteil	0,034	7,87
Tiermehl, Klärschlamm, Stroh	0,033	7,640
Holzkohle	0,002	0,46
Summe	1,000	231,96
<b>Anteil kaskadisch/primär</b>		
Kaskadische Biomasse	0,681	157,65
Primäre Biomasse	0,321	74,31

Tabelle 21; Rohdaten Import und Export von Kulturarten (2019)

	<b>Import [t]</b>	<b>Export [t]</b>	<b>Differenz</b>	
Getreide	2.677.604	1.986.280	691.324	Netto-Import
Öle	3.434.667	165.494	3.269.173	Netto-Import
<i>Zucker (Weißzuckerwert)</i>	<i>169.261</i>	<i>56.215</i>	<i>113.046</i>	<i>Netto-Import</i>
<i>Zuckererzeugnisse (weißzuckerwert)</i>	<i>229.716</i>	<i>411.860</i>	<i>-182.144</i>	<i>Netto-Export</i>
Summe Zucker	398.977	468.075	-69.098	Netto-Export
<i>Rind</i>	<i>24.017</i>	<i>15.606</i>	<i>8.411</i>	<i>Netto-Import</i>
<i>Schaf, Ziege</i>	<i>14</i>	<i>444</i>	<i>-430</i>	<i>Netto-Export</i>
Summe Wiederkäuer	24.031	16.050	7.981	Netto-Import
Schwein	39.779	1.121	38.658	Netto-Import
<i>Eier (Schaleneiwert)</i>	<i>27.452</i>	<i>3.568</i>	<i>23.884</i>	<i>Netto-Import</i>
<i>Eiprodukte (Schaleneiwert)</i>	<i>23.443</i>	<i>26.012</i>	<i>-2.569</i>	<i>Netto-Export</i>
Summe Eier	50.895	29.580	21.315	Netto-Import

Tabelle 22: Rohdaten Import und Export von Papier (2000-2019)

Papier	Import [t]	Export [t]
2000	1.263.094	3.668.014
2010	1.456.876	4.293.032
2017	1.345.838	4.292.042
2018	1.297.959	4.433.856
2019	1.257.356	4.406.788

Tabelle 23: Rohdaten Import und Export von Holzwaren (2014-2018)

in fm/m <sup>3</sup>	2014	2015	2016	2017	2018
Import Rohholz	12.115.776	11.643.236	9.869.832	9.561.851	10.979.056
Export Rohholz	1.049.376	905.898	894.796	897.457	977.930
Import Schnittholz	1.948.497	1.543.115	1.998.717	1.952.046	2.083.867
Export Schnittholz	5.229.613	5.440.726	5.460.623	5.605.702	6.091.003
Import SNP	1.681.049	1.679.745	2.042.254	2.396.769	2.811.370
Export SNP	1.967.060	2.456.390	1.334.505	1.477.242	1.695.061
Import Werkstoffe	777.158	820.032	941.165	1.155.255	1.134.664
Export Wertstoffe	2.553.219	2.362.566	2.807.845	2.831.738	2.744.728
Import Summe	16.522.480	15.686.128	14.851.968	15.065.921	17.008.957
Export Summe	10.799.268	11.165.580	10.497.769	10.812.139	11.508.722

Tabelle 24: Berechnung des mittleren Raumdichtezahl-Faktors auf Grundlage des ROLAND-Modells (\*berechneter Faktor)

	Zuwachs [1000 Vfm]	Raumdichtezahl [t TM/Vfm]	Zuwachs Dendromasse [1000t TM]
Aggregate			
Fichte	17.304	0,4300	7.440,72
Tanne	1.071	0,4100	439,11
Kiefer	1.862	0,5350	996,17
Lärche	1.592	0,5500	875,60
sonst. Nadelbäume	98	0,4350	42,63
Buche	2.223	0,6800	1.511,64
Eiche, Esche, Hainbuche	1.418	0,6800	964,24
sonst. Laubbäume	1.770	0,4900	867,30
SUMME	27.338	0,4806*	13.137,41

Tabelle 25: Rohdaten Zuwachs aus Waldinventuren

Zuwachs	[1000 Vfm]			
	Jahr	2016/18	2007/09	2000/2002
WiWa		27.775	28.689	29.602
SWiE		1.486	1.491	1.393
AuW		461	691	922
Summe		29.722	30.871	31.917

Tabelle 26: Rohdaten Flächen außer Ertrag aus Waldinventuren

	100 ha			
	ROLAND (1995)	2000/02	2007/2009	2016/2018
SWaE	466	473	501	528
HBaE	106	116	127	148
Blößen	45	33	66	77
Lücken	172	195	239	255
Sträucher	42	53	77	110
Strauchflächen	26	29	24	30

Tabelle 27: Rohdaten Holznutzung aus Waldinventuren

Nutzung	[1000 Vfm]		
Jahr	2000/2002	2007/09	2016/18
WiWa	17.664	24.584	24.402
SWiE	829	1.105	1.289
AuW	286	317	476
Summe	18.779	26.006	26.167

Tabelle 28: Berechnung Verbleib auf Basis der Waldinventuren

[1000 t TM/a]	ROLAND - Basisjahr	2000/2002	2007/09	2016/18
Zuwachs	13.137	15.320	14.818	14.266
Nutzung	9.381	9.013	12.482	12.560
Verbleib	3.756	6.306	2.335	1.706