Diskussionsgrundlage

Biomasse als ein Puzzleteil der Energiewende – Zwischen Intensivierung und Naturverträglichkeit

Eine Publikation im Rahmen des LE-Projektes *BIOKONAT - Biomasse im Kontext einer naturverträglichen Energiewende: Rolle, Chancen und Optionen*; durchgeführt vom Umweltdachverband mit den Projektpartnern Umweltmanagement Austria (UMA), Österreichischer Biomasse-Verband (ÖBMV) und Forum Wissenschaft und Umwelt (FWU).

Wien, August 2019

Mit Unterstützung von Bund und Europäischer Union

Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus

LE 14-20 Entwicklung für den Ländlichen Raum

Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums: Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung ... 3
1.1. Das Projekt BIOKONAT ... 3
1.2. Klimapolitischer Hintergrund ... 3
2. Treibhausgas- und Energieszenarien ... 5
2.1. Zukunftsfähige Energieversorgung für Österreich ... 5
2.2. Energiezukunft Österreich. Szenario für 2030 und 2050 ... 7
2.3. Szenarien des Umweltbundesamtes ... 8
2.3.1. Szenarien WEM, WAM und WAM Plus ... 8
2.3.2. Szenario erneuerbare Energie 2030 und 2050 ... 9
2.3.3. Szenario „Transition“ ... 11
2.4. Gegenüberstellung der Szenarien ... 12
3. Chancen und Optionen der Biomassenutzung aus Sicht des ÖBMV ... 13
3.1. Bioenergie wird bedeutendster Energieträger ... 13
3.2. Aus weniger wird mehr – Entwicklung auf den Märkten ... 14
3.3. Energiewende: Nebenprodukt der Holzwirtschaft und Bioökonomie? ... 16
3.4. Bioenergie als Schlüsselelement für nachhaltige Forstwirtschaft ... 17
3.5. Potenzialgrenzen werden nicht ausgeschöpft ... 18
3.6. Kurzumtrieb bindet CO_2 und stellt Rohstoffe zur Verfügung ... 20
3.7. Teller, Trog, Tank, Heizung und Steckdose vom Acker ... 21
3.8. Mit Bioenergie von der Strom- zur Energiewende ... 21
3.9. Sektorkopplung Strom und Wärme ... 22
3.10. Es kommt auf den Zeitpunkt an ... 23
3.11. Bioenergie im Erdgasnetz ... 24
3.12. Der internationale Pelletshandel ... 25
3.13. Aktive Marktgestaltung oder Anreizpolitik ... 25
3.14. Entwicklungen mit Potenzial ... 27
4. Biomassenutzung aus ökologischer und waldbaulicher Sicht ... 28
4.1. Biomasseressource Wald ... 28
4.1.1. Forstliche Kenndaten ... 28
4.1.2. Holzverbrauch ... 33
4.2. Biodiversität und Klimawandel im Wald ... 37
4.2.1. Biomassenutzung und Biodiversität ... 37
4.2.2. Biomassenutzung und Klimawandel ... 38
4.3. Naturverträgliche Nutzung forstlicher Biomasse ... 39
5. Bioökonomiestrategie und „Greening the Gas“ ... 43
6. Ableitung der wesentlichen Diskussionspunkte ... 46
Literatur- und Quellenangaben ... 47

1. Einleitung

1.1. Das Projekt BIOKONAT

Unter den erneuerbaren Energieträgern kommt der Biomasse in Österreich aufgrund des mengenmäßigen Einsatzes und der damit einhergehenden mannigfaltigen Herausforderungen herausragende Bedeutung zu. Bei der Produktion und Nutzung von Biomasse sind wesentliche Rahmenbedingungen zu beachten, da Biomasse aufgrund eingeschränkter räumlicher Nutzungsmöglichkeiten nur begrenzt zur Verfügung steht. Andererseits stellt sie aufgrund ihrer Eigenschaften (u.a. Speicherbarkeit) eine wichtige Rolle im Gesamtsystem dar. Daher ist besonders unter der Annahme einer derzeit vorgesehenen, ausgeweiteten Nutzung auf einen ressourcenschonenden bzw. umwelt- und naturverträglichen Umgang zu achten. Auch die Forcierung einer Bioökonomie, wie sie in verschiedenen Strategien geplant ist, wird verstärkt zu berücksichtigen sein.

Das vorliegende Projekt bündelt erstmalig die Kompetenzen des Umweltdachverbandes und seiner Mitgliedsorganisationen, um sämtliche AkteurInnen mit Bezug zur Energiewende und Biomassenutzung zu vernetzen. Gemeinsame Lösungsansätze für eine naturverträgliche Nutzung des heimischen Biomassepotenzials sollen entwickelt werden. BIOKONAT dient insbesondere auch dazu, am Beispiel der Biomassenutzung den Bedarf und die Möglichkeiten der Etablierung einer bis dato in Österreich nicht existierenden, übergeordneten und dauerhaften „Vernetzungs- und Dialogplattform“ abzuwägen. Diese soll zum koordinierten Vorantreiben des naturverträglichen Ausbaus erneuerbarer Energien einen starken Beitrag leisten.

Im Rahmen eines lösungsorientierten Multi-Stakeholder-Diskurses werden die Vernetzung, der Wissenstransfer und die Dialogbereitschaft von BiomasseproduzentInnen und –nutzerInnen sowie von Naturschutzorganisationen und weiteren Verbänden erneuerbarer Energieträger gefördert.

Dieses Dokument dient als inhaltliche Begleitung des Projektes, um die Bandbreite der derzeitigen Ansprüche an die Biomasse zu beschreiben: Von den theoretisch möglichen Intensivierungspotentialen über Nutzungskonflikte bis hin zu Rahmenbedingungen für eine naturverträgliche Nutzung. Nach verschiedenen Gesprächsformaten sollen konkrete Empfehlungen für den Umgang mit Interessens- und Zieldifferenzen für eine naturverträgliche Nutzung des Biomassepotenzials im Kontext der gesamten Energiewende stehen.

1.2. Klimapolitischer Hintergrund

Das wichtigste Ergebnis der 21. Conference of the Parties (COP 21) in Paris 2015 ist das Ziel, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen, möglichst noch auf unter 1,5 °C. Nur dann können die schlimmsten Folgen der Klimaerhitzung weitgehend, wenn auch nicht vollständig, abgewendet werden.

Um zumindest das +2 °C-Ziel zu erreichen, müssen die anthropogenen Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) bis zur Mitte des Jahrhunderts um 80 % bis 95 % reduziert werden. Da die Hauptquelle der THG-Emissionen der Einsatz fossiler Energieträger ist, kann – und muss – die Energiewende hin zu einem naturverträglichen, zukunftsfähigen Energiesystem einen wesentlichen Beitrag zu diesem Ziel leisten.

Selbst exorbitante Steigerungen der Energieeffizienz in allen Bereichen reichen, auch gepaart mit Reduktionen des Energieverbrauchs, für die Energiewende nicht aus (siehe **Abbildung 1**). Ein weiterer Ausbau der erneuerbaren Energien ist daher unabdingbar.

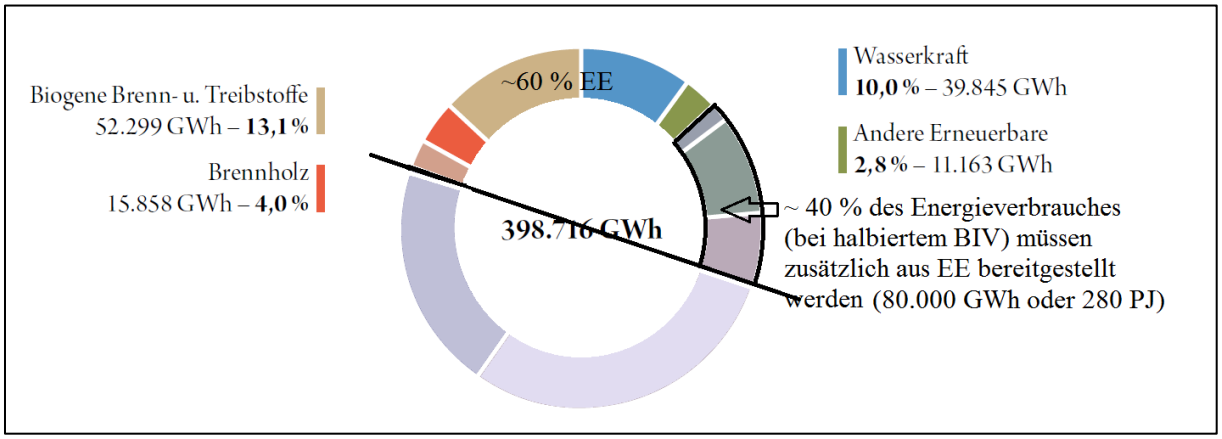


Abbildung 1: „Erneuerbaren-Lücke" selbst bei halbiertem Bruttoinlandsverbrauch anhand des Jahres 2016, Quelle: UBA 2018, abgeändert

Dabei ergeben sich aber zwangsläufig Spannungsfelder mit Umwelt- und Naturschutz. Verschärft wird diese Konfliktsituation durch den rasanten Biodiversitätsverlust aufgrund der Klimaerhitzung an sich. Auch zunehmende Konflikte zwischen den unterschiedlichen Nutzungsansprüchen sind – ganz besonders im Bereich der Biomasse – aufgrund der steigenden Nachfrage nach Ressourcen und Flächen zu erwarten.

Damit ergibt sich die Herausforderung einer Energiewende, die einerseits schnellstmöglich, andererseits im Sinne der Nachhaltigen Entwicklung unter Berücksichtigung ökonomischer, sozialer und ökologischer Aspekte, insbesondere im Einklang mit den Anforderungen an einen Umwelt-, Natur-, Landschafts- und Arten- bzw. Biodiversitätsschutz zu bewerkstelligen ist.

2. Treibhausgas- und Energieszenarien

Szenarien zur Beschreibung zukünftiger Energieverbräuche haben eine lange Tradition. Waren sie ursprünglich Prognoseinstrumente der Energiewirtschaft und auch der Politik (häufig „self-fulfilling prophecies“ für steigenden Energieverbrauch), so ist durch die Klimaerhitzung und die als Konsequenz angestrebte Energiewende eine neue Art an Szenarien hinzugekommen. Diese Art von Szenarien untersucht, wie und bis zu welchem Grad Energiesysteme im Sinne des Klimaschutzes von fossilen auf erneuerbare Energieträger umgestellt werden können. Dabei kommen auch Prognosetechniken zum Einsatz, die nicht im Wesentlichen nur Trends extrapolieren und die auch begrenzte Verfügbarkeiten sowie Effizienzpotenziale einbeziehen (siehe unten „Back-Casting“). Die wichtigsten dieser „neuen Szenarien“ werden im Folgenden vorgestellt.

2.1. Zukunftsfähige Energieversorgung für Österreich

Die Studie „Zukunftsfähige Energieversorgung für Österreich“ (ZEFÖ) (Christian et al., 2010) von Umwelt Management Austria wurde im Zeitraum von 2008 bis 2010 erstellt und betrachtet, ausgehend vom Basisjahr 2005, die Jahre 2020 und 2050. Um die Vergleichbarkeit mit neueren Studien herzustellen, die statt 2020 das Jahr 2030 betrachten, wurden einige Ergebnisse für 2030 intrapoliert.

ZEFÖ arbeitete erstmals mit der neuen Back-Casting-Methode: Für die Entwicklung des zukünftigen Energieverbrauchs wurde auf das Konzept der Energiedienstleistung zurückgegriffen. Anhand der zu erwartenden, aber auch der als erforderlich erachteten Rahmenbedingungen wurden jene Energiedienstleistungen abgeschätzt, die in den Jahren 2020 und 2050 den ÖsterreicherInnen gleichen Komfort und gleichen Wohlstand wie im Basisjahr bringen können. Unter Annahme des Einsatzes effizienter Technologie wurde aus diesen Energiedienstleistungen der Energieverbrauch der Zukunft in zwei Szenarien entwickelt. Die beiden Szenarien „Pragmatisch“ und „Forciert“ unterscheiden sich hauptsächlich hinsichtlich der angenommenen Effizienzsteigerungen (z.B. Zielwerte thermischer Sanierungen, Sanierungsraten, Verbrauch von Geräten), aber u.a. auch in Bezug auf Verhaltensweisen (z.B. Modal-Split). Parallel dazu wurden die Potenziale der erneuerbaren Energien in Literaturrecherche, Workshops und ExpertInnengesprächen erhoben.

Um Aufbringung und Verbrauch im Sinne eines Energieflussbildes verknüpfen zu können, galt es, sämtliche Aggregate der Gesamtenergiebilanz zu berücksichtigen. Die zehn Bilanzaggregate sind „inländische Erzeugung von Rohenergie“, „Import“, „Lager“, „Export“, „Umwandlungseinsatz“, „Umwandlungsausstoß“, „Verbrauch Sektor Energie“, „Transportverluste“, „nicht energetischer Verbrauch“ und „energetischer Endverbrauch“. Das (elfte und) zentrale Aggregat, der „Bruttoinlandsverbrauch“ (BIV), beschreibt jene Menge an Energieträgern, die jährlich für die Deckung des Österreichischen Bedarfs aufgebracht werden muss. Aufkommensseitig berechnet sich der BIV aus inländischer Erzeugung von Rohenergie plus Import plus/minus Lager minus Export, verbrauchsseitig aus Umwandlungsverlusten (Umwandlungseinsatz minus Umwandlungsausstoß) plus Verbrauch Sektor Energie plus nicht energetischer Verbrauch plus energetischer Endverbrauch (EE).

Tabelle 1 zeigt die Potenziale erneuerbarer Energieträger. Selbst bei Ausschöpfung des maximalen Potenzials 2050 können die Erneuerbaren den derzeitigen Energieverbrauch nicht decken, ganz besonders deswegen, weil es nicht ausreicht, den energetischen Endverbrauch zu bedienen. Die

entscheidende Größe ist der Bruttoinlandsverbrauch. Im Jahr 2016 betrug der energetische Endverbrauch rund 1.120 Petajoule (PJ), der Bruttoinlandsverbrauch rund 1.435 PJ.

		2020		2030		2050	
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Wasserkraft		141,5	144,2	143,0	146,9	145,9	152,3
Biomasse	Landwirtschaft	63,0	85,0	74,5	130,3	97,5	221,0
	Forstwirtschaft	173,6	193,5	168,9	200,9	159,5	215,6
Windenergie		25,9	26,3	35,3	40,2	54,0	68,0
Photovoltaik		7,2	10,8	16,8	38,7	36,0	94,5
Solarthermie		26,0	28,0	26,0	48,7	26,0	90,0
Wärmepumpe		25,0	45,0	21,7	62,9	15,0	98,8
Geothermie		0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	7,8
industrielle Abwärme		0,0	4,1	2,1	6,7	6,3	12,0
SUMME		462,2	536,9	488,2	677,9	540,2	960,0

Tabelle 1: Bandbreiten der Potenziale (PJ) erneuerbarer Energieträger in den Jahren 2020, 2030 und 2050 (Christian et al., 2010)

Tabelle 2 zeigt den BIV, EE und Stromverbrauch (Eel) in PJ sowie den jeweiligen Anteil Erneuerbarer für 2020, 2030 und 2050 im Szenario „Forciert" (Basisjahr 2005).

Szenario „Forciert"	2005	2020	2030	2050
BIV (PJ)	1.434	1.100	969	706
davon erneuerbar (%)	22	44	63	100
EE (PJ)	1.085	779	677	472
davon erneuerbar (%)	25	52	68	100
Eel (PJ)	203	227	226	225
davon erneuerbar (%)	65	76	84	100

Tabelle 2: Betrag (PJ) und erneuerbare Anteile (%) von BIV, EE und Eel im Jahr 2005 sowie im Szenario Forciert in den Jahren 2020, 2030, 2050 (Christian, et al., 2010)

Die Studie ZEFÖ zeigt also, dass der BIV so weit reduziert werden kann, dass er zu 100 % mit heimischen Erneuerbaren gedeckt werden kann. Die größten Reduktionen liefern die Sektoren Mobilität und private Haushalte bzw. die Nutzenergiekategorien Traktion und Raumwärme. Wesentliche Beiträge dazu leisten technische Effizienzsteigerungen wie beispielsweise die Elektromobilität oder Passivhäuser. Zur Veranschaulichung ist in **Tabelle 3** der EE des Basisjahres und in **Tabelle 4** jener des Szenarios „Forciert" im Jahr 2050 dargestellt.

	TRA	RW	BE	ecZ	D	IÖ	SM	Summe
LW	9.905	8.693	873	10	118	1.994	2.780	24.373
SGP	0	25.812	10.875	1.799	74.865	85.679	111.757	310.787
MOB	341.126	0	0	0	0	0	0	341.126
DL	0	83.596	13.806	3	3.609	21.795	12.775	135.584
HH	0	199.176	7.107	0	0	38.882	28.107	273.272
Summe	351.031	317.277	32.661	1.812	78.592	148.350	155.419	1.085.142

Tabelle 3: EE (TJ) im Basisjahr nach Sektoren und Nutzenergiekategorien

	TRA	RW	BE	ecZ	D	IÖ	SM	Summe
LW	9.905	8.693	873	10	118	1.994	2.780	24.373
SGP	0	24.131	2.076	1.354	69.091	73.782	98.054	268.488
MOB	69.095	0	0	0	0	0	0	69.095
DL	0	16.719	3.700	3	3.032	16.012	7.667	47.133
HH	0	27.100	2.440	0	0	23.052	9.882	62.474
Summe	79.000	76.643	9.089	1.367	72.241	114.840	118.383	471.563

Tabelle 4: EE (TJ) im Jahr 2050 des Szenarios „Forciert" nach Sektoren und Nutzenergiekategorien

In diesen Tabellen ist der EE gegliedert nach den fünf Sektoren – Landwirtschaft (LW), Sachgüterproduktion (SGP), Mobilität (MOB), Dienstleistungsbereich (DL) und private Haushalte (HH) – und den sieben Nutzenergiekategorien – Traktion (TRA), Raumheizung und Warmwasser (RW), Beleuchtung & EDV (BE), elektrochemische Zwecke (ecZ), Dampferzeugung (D), Industrieöfen (IÖ) und Standmotoren (SM). Dabei beschreiben die Sektoren, wer die Energie verbraucht, und die Nutzenergiekategorien, wofür die Energie verbraucht wird.

Die energiebedingten THG-Emissionen können also vollständig eingespart werden, allerdings verbleiben nicht energiebedingte Emissionen (z.B. Landwirtschaft, Abfallwirtschaft), die im Rahmen von ZEFÖ nicht näher betrachtet wurden.

2.2. Energiezukunft Österreich. Szenario für 2030 und 2050

Die Studie „Energiezukunft Österreich. Szenario für 2030 und 2050" (Veigl 2015) entwickelt eine Energiezukunft für die Jahre 2030 und 2050, die einerseits eine erneuerbare Vollversorgung und eine Reduktion der THG-Emissionen um 80 % bis 95 %, andererseits einen nachhaltigen Umgang mit den Bedürfnissen von Mensch und Natur zum Ziel hat.

Die Potenzialabschätzungen für die erneuerbaren Energien beruhen auf Bandbreiten aus der Literatur und Annahmen des Autors. Die folgende **Abbildung** zeigt die Bandbreiten aus der Literatur, die in der Studie gewählten Werte und die bereits 2013 realisierten Mengen.

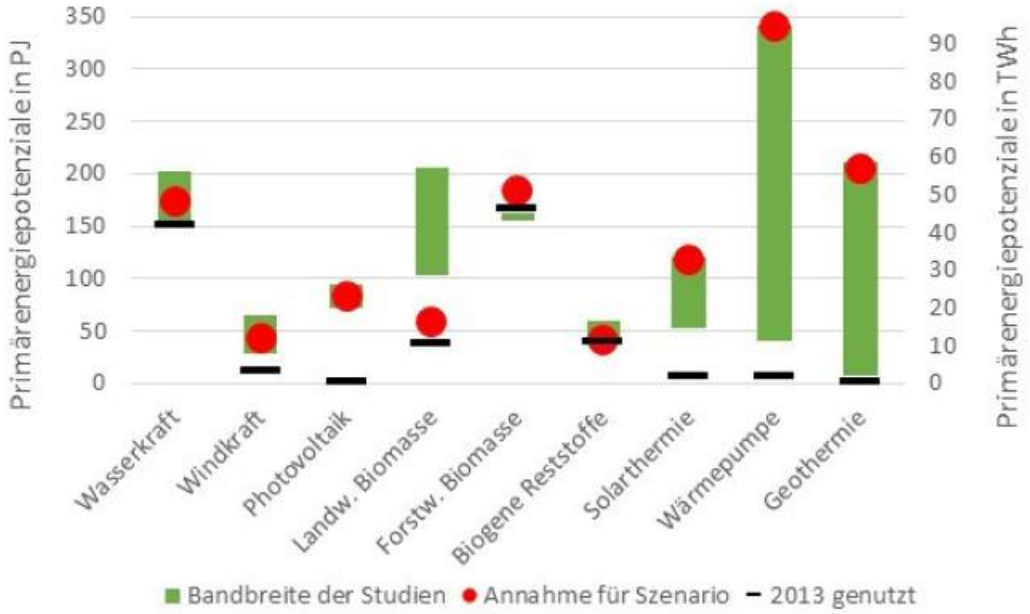


Abbildung 2: Primärenergiepotenziale aus der Literatur (grün), wie gewählt (rot) und realisierte Mengen 2013 (schwarz). Quellen: Bliem et al. (2011), Christian et al. (2011), Streicher et al. (2011), Statistik Austria (2014a), eigene Berechnungen (Veigl 2015)

Der EE sinkt von 1.119 PJ im Jahr 2013 auf 789 PJ im Jahr 2030 und auf 591 PJ im Jahr 2050, der BIV sinkt von 1.400 PJ auf 1.000 PJ im Jahr 2030 und auf 865 PJ im Jahr 2050. Theoretisch könnte damit das Energiesystem zu 100 % auf Erneuerbare umgestellt werden, es verbleiben aber Restmengen an fossilen Energieträgern, z.B. in der Stahlerzeugung, der chemischen und der Kunststoffindustrie. Die energiebedingten THG-Emissionen werden gegenüber 2005 aber um 68 % bis 2030 und um 97 % bis 2050 reduziert. Die Betrachtung sämtlicher THG-Emissionen zeigt Abnahmen von 81 Mio. t CO_2e im Jahr 2013 auf 42 Mio. Tonnen CO_2e im Jahr 2030 und auf 14 Mio. Tonnen CO_2e im Jahr 2050.

2.3. Szenarien des Umweltbundesamtes

Von den Szenarien des Umweltbundesamtes und Partnern werden die folgenden betrachtet:

- die Szenarien „with existing measures“ (WEM), “with additional measures” (WAM) und “with additional measures plus” (WAM Plus)
- das Szenario „Szenario erneuerbare Energie 2030 und 2050“
- das Szenario „Transition“

2.3.1. Szenarien WEM, WAM und WAM Plus

Das Szenario „With Existing Measures“ (WEM) (Umweltbundesamt 2015) beinhaltet bereits implementierte Maßnahmen, das Szenario „With Additional Measures“ (WAM) (Umweltbundesamt 2015) implementierte und geplante Maßnahmen (z.B. Maßnahmen der österreichischen Klimastrategie). Das Szenario "With Additional Measures plus" (WAM Plus) (Umweltbundesamt 2015) beinhaltet über das Szenario WAM hinausgehende Maßnahmen, d.h. ambitionierte Maßnahmen, die nach 2020 wirksam sind und im Hinblick auf die Klimaziele 2030 und 2050 gesetzt werden.

In **Tabelle 5** sind die Ergebnisse der drei Szenarien für die THG-Emissionen (ohne Emissionshandel) in den Jahren 2020, 2030 und 2050 dargestellt.

Inventur*				Szenario WEM			Szenario WAM			Szenario WAM Plus		
Sektoren	**2005**	**2010**	**2013**	**2020**	**2030**	**2050**	**2020**	**2030**	**2050**	**2020**	**2030**	**2050**
Energie und Industrie	6,5	6,7	6,4	6,9	7,4	7,5	6,6	7,2	7,3	6,4	6,0	4,0
Verkehr	24,6	22,0	22,2	22,9	22,7	21,1	18,4	16,2	13,8	17,9	13,5	6,8
Gebäude	12,6	10,5	8,3	8,3	6,1	4,0	7,9	5,2	3,3	7,9	4,9	1,7
Landwirtschaft	8,0	7,8	7,7	8,0	8,0	8,8	7,9	7,9	8,4	7,9	7,8	7,7
Abfallwirtschaft	3,2	3,1	3,0	2,6	2,3	2,1	2,6	2,3	2,1	2,6	2,3	1,7
Fluorierte Gase	1,8	1,9	2,0	2,3	1,6	1,5	2,3	0,9	0,6	2,3	0,9	0,6
Gesamt ohne EH	**56,7**	**52,0**	**49,7**	**51,0**	**48,0**	**45,0**	**45,7**	**39,6**	**35,5**	**45,0**	**35,3**	**22,5**

* Emissionen der Jahre 2005 bis 2012 ohne Emissionshandel in der für 2013 bis 2020 geplanten Sektoreinteilung

Tabelle 5: THG-Emissionen nach Sektoreinteilung des Klimaschutzgesetzes für die Szenarien WEM, WAM und WAM Plus für ausgewählte Jahre (in Mio. Tonnen CO_2-Äquivalent) (Umweltbundesamt 2015)

Es zeigt sich, dass selbst im Szenario WAM Plus die Reduktion der THG-Emissionen nicht ausreicht, um den Klimaschutzvertrag von Paris zu erfüllen. Deshalb werden diese Szenarien im Folgenden nicht weiter betrachtet.

2.3.2. Szenario erneuerbare Energie 2030 und 2050

Das „Szenario erneuerbare Energie 2030 und 2050“ (Krutzler et al. 2016) ist kein alternatives Szenario WAM plus, es liegt auch keine Modellstruktur zugrunde. Die Annahmen betreffend Maßnahmen und ihre Wirkungen werden aus ExpertInnenabschätzungen abgeleitet. Der Fokus liegt darauf aufzuzeigen, in welchen Sektoren der Einsatz welcher erneuerbarer Energieträger statt welcher fossiler Energieträger möglich ist. Das Ziel des Szenarios ist eine weitgehende Dekarbonisierung des Energiesystems bis zum Jahr 2050 (im Vergleich zu 2005) unter Einsatz von Energieeffizienz und erneuerbaren Energieträgern.

Für die Abschätzung der Potenziale erneuerbarer Energien wurden Studien des Österreichischen Biomasse-Verbandes (ÖBMV 2015) und des Verbandes Erneuerbare Energie Österreich (EEÖ 2015) herangezogen. In **Tabelle 6** sind die Potenziale und die im „Szenario erneuerbare Energie 2030 und 2050“ eingesetzten Mengen erneuerbarer Energieträger dargestellt.

Energieträger	Potentiale	Szenario erneuerbare Energie	
	2030 bzw. 2050	2030	2050
	in PJ		
Bioenergie	340	319	282
Wasserkraft	195	154	163
Wind	63	63	76
Umgebungswärme etc.	22	41	54
Solarthermie	27		
Photovoltaik	67	53	85
Summe	**714 bzw. 781**	**629**	**659**

Tabelle 6: Potentiale erneuerbarer Energieträger und eingesetzte Mengen im Szenario erneuerbare Energieträger (Quellen: EEÖ 2015, ÖBMV 2015, Umweltbundesamt) (Krutzler et al. 2016)

Zum Verbrauch im Bereich Biomasse ist anzumerken, dass er von 2010 bis 2030 – trotz beachtlicher Einsparungen in den Sektoren private Haushalte und Dienstleistungsbereich – insgesamt ansteigt. Speziell in der Industrie, im Verkehr und in der Fernwärmeerzeugung sind in diesem Zeitraum starke Zuwächse ausgewiesen. Von 2030 bis 2050 nimmt der Biomasseverbrauch aber in allen Sektoren ab, lediglich im Sektor Verkehr ist er in beiden Jahren gleich hoch.

Der EE sinkt von 1.138 PJ im Jahr 2010 auf 912 PJ im Jahr 2030 und auf 637 PJ im Jahr 2050. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse für den BIV dargestellt. Der BIV sinkt demgemäß von 1.467 PJ im Jahr 2010 auf 1.179 PJ im Jahr 2030 und auf 853 PJ im Jahr 2050.

	Bilanzjahr	Szenario erneuerbare Energie	
		in PJ	
Energieträger	**2010**	**2030**	**2050**
Kohle	143	46	1
Öl	549	309	82
Gas	344	216	135
Erneuerbare	395	629	659
Abfall	28	28	24
Wasserstoff	–	1	21
Nettostromimporte/-exporte	8	-51	-71
Bruttoinlandsverbrauch	**1.467**	**1.179**	**853**

Tabelle 7: Bruttoinlandsverbrauch nach Energieträgern für ausgewählte Jahre im Szenario erneuerbare Energie (auf ganze Zahlen gerundet) (Quellen: STATISTIK AUSTRIA 2013, Umweltbundesamt) (Krutzler et al. 2016)

In diesem Szenario wird also der BIV – wie ein Vergleich der **Tabelle 6** mit **Tabelle 7** zeigt – nicht zur Gänze mit heimischen Erneuerbaren gedeckt. Allerdings sinken die energiebedingten Emissionen gegenüber 2005 bis 2030 um 60 % und bis 2050 um 92 %. Die gesamten THG-Emissionen werden bis 2030 auf 47,2 Mio. t CO_2e und bis 2050 auf 20,3 Mio. t CO_2e reduziert. Bei THG-Emissionen in Höhe von 92,5 Mio. t CO_2e im Jahr 2005 entspricht das Reduktionen von 50 % bzw. 78 %, die Reduktion erreicht also nicht das für die Erreichung des Paris-Ziels „notwendige Ausmaß“.

2.3.3. Szenario „Transition“

Mit dem Szenario „Transition“ (Krutzler et al., 2017) soll aufgezeigt werden, wie eine Umsetzung des Pariser Klimaübereinkommens erfolgen kann, indem die THG-Emissionen bis zum Jahr 2050 um mindestens 80 % gegenüber 1990 reduziert werden.

Aus der Publikation „Energie- und Treibhausgas-Szenarien im Hinblick auf 2030 und 2050, Synthesebericht 2017“ gehen die angenommen Potenziale Erneuerbarer nicht klar hervor, es finden sich lediglich folgende Angaben zum Potenzial erneuerbarer Stromerzeugung bis 2050:

- Wasserkraft: rd. 47 TWh/a
- PV: 26,4 GW (Ausbaupfad U)
- Wind: 10,5 GW (Anstieg Volllaststunden neu installierter Anlagen auf 2.500 bis 2030 und 2.700 bis 2050)
- Biomasse: 1.000 MW
- Biogas: 394 MW

Um diese Potenziale einfach vergleichen zu können, werden für die PV 1.000 Volllaststunden und für die Windkraft die angegebenen 2.700 Volllaststunden herangezogen. Damit ergeben sich Potenziale von rund 170 PJ für Wasserkraft, 95 PJ für PV und 102 PJ für Wind. Für Biomasse und Biogas ist keine solche Aussage möglich. Allerdings liegen die Beiträge der Biomasse zum Bruttoinlandsverbrauch bei 241 PJ im Jahr 2015, bei 231 PJ im Jahr 2020, bei 212 PJ im Jahr 2030 und bei 240 PJ im Jahr 2050, jene zur Stromerzeugung bei 8, 10, 12 und 30 PJ. Eine nähere Unterscheidung in Biomasse und Biogas wird hier allerdings nicht getroffen.

Damit liegen die aus Wasserkraft, PV und Wind realisierten Mengen über jenen des Szenarios erneuerbare Energie, für Wasserkraft und Wind auch deutlich über jenen der Studie ZEFÖ. Der Bruttoinlandsverbrauch an Biomasse von 240 PJ ist gering, der Einsatz zur Stromerzeugung aber etwas höher als beispielsweise in ZEFÖ.

Die vorübergehende Abnahme des Biomasse-Einsatzes ist vor allem auf geringere Verbräuche in den Bereichen Haushalte, Dienstleistungen und Fernwärmeerzeugung zurückzuführen. Der spätere Trend der Zunahme bis 2050 beruht auf verstärktem Einsatz in der Industrie sowie der Strom- und Fernwärmeerzeugung.

In **Tabelle 8** ist die Entwicklung von EE und BIV dargestellt.

	2015	2020	2030	2050
EE	1.087	1.064	904	623
BIV	1.409	1.347	1.162	802

Tabelle 8: EE (PJ) und BIV (PJ) in den Jahren 2015, 2020, 2030 und 2050 (Krutzler et al. 2017)

Die gesamten THG-Emissionen sinken auf 73,6 Mio. t CO_2e im Jahr 2020, 57,0 Mio. t CO_2e im Jahr 2030 und 15,3 Mio. t CO_2e im Jahr 2050. Das entspricht einer Reduktion von gut 83 % gegenüber 2005. Mit dieser Reduktion fällt auch dieses Szenario in den vielzitierten 80 % bis 95 % Reduktionsbereich, für den das IPCC eine Wahrscheinlichkeit von 66 % für einen Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur unter 2 °C angibt.

2.4. Gegenüberstellung der Szenarien

Die kurz vorgestellten Szenarien zeigen eines ganz deutlich: die Energiewende kann gelingen! Die dafür benötigten Anstrengungen – sowohl aufbringungs- als auch verbrauchsseitig – sind allerdings eine gewaltige politische und gesellschaftliche Herausforderung. So muss der BIV praktisch halbiert werden (auf 700 bis 850 PJ) und dennoch der Ausbau der erneuerbaren Energieträger stetig und konsequent, aber ebenso unter Berücksichtigung von Natur- und Umweltschutz vorangetrieben werden.

Die Bandbreiten der Potenziale der erneuerbaren Energie sind teilweise äußerst groß, wie auch **Abbildung 2** veranschaulicht. Das liegt nur zum Teil am Konfliktpotenzial mit Umwelt-, Natur-, Landschafts- und Arten- bzw. Biodiversitätsschutz. Wesentlichen Einfluss haben auch Annahmen zu Technologieentwicklung und Flächenverfügbarkeit. Die Flächenverfügbarkeit betrifft dabei keineswegs nur Konkurrenzen der Erneuerbaren untereinander (z.B. PV vs. ST), sondern natürlich auch Konfliktsituationen mit Umwelt- und Naturschutz. So ist beispielsweise die Wasserkraft in Österreich praktisch vollständig ausgebaut – die Vernichtung letzter freier Fließstrecken wird durch die erzielbaren Erträge nicht gerechtfertigt. Teilweise ergeben sich auch Schwierigkeiten aufgrund von herrschenden Eigentumsverhältnissen, aktuellen Nutzungen und von Spezifika der örtlichen Gegebenheiten, Lage und Struktur. Bei einigen erneuerbaren Energieträgern ist schließlich auch fraglich, ob die Potenziale überhaupt sinnvoll ausgeschöpft werden können (z.B. Solarthermie, Geothermie).

Aus Sicht der gegenständlichen Publikation ist unter den Erneuerbaren die forstwirtschaftliche Biomasse von besonderem Interesse. In diesem Bereich werden – wie die **Abbildung 2** zeigt – die Potenziale in den hier dargestellten Szenarien ZEFÖ und Energiezukunft Österreich sowie von Streicher et al. (Energieautarkie für Österreich 2050) und Bliem et al. (Energie [R]evolution Österreich 2050) erstaunlich einheitlich gesehen und das in einer Größenordnung, die schon heute realisiert ist. Das zeigt einerseits, dass „der Wald“ in Österreich bereits in hohem Maße (die inländische Erzeugung von Rohenergie aus Holz beträgt dzt. rund 155 PJ und liegt damit an erster Stelle unter den Erneuerbaren) genutzt bzw. bewirtschaftet wird, andererseits, dass in die Potenzialabschätzungen auch Probleme der Aktivierung weiterer Forstflächen aufgrund von Lage, Eigentümerstruktur etc. eingeflossen sind.

Die BIVs liegen im Jahr 2050 relativ einheitlich im Bereich von 700 bis 850 PJ. Theoretisch wäre eine vollständige Deckung mit Erneuerbaren möglich, die meisten Szenarien gehen allerdings davon aus, dass auch im Jahr 2050 die fossilen Energieträger vor allem im stofflichen Einsatz noch nicht zur Gänze durch Erneuerbare ersetzt sein werden.

Vergleicht man die Szenarien auf Ebene der energetischen Endverbräuche, so zeigt das Szenario „Forciert“ aus ZEFÖ die insgesamt größte Reduktion. Eine Ausnahme bildet der Sektor Sachgüterproduktion, wo die Reduktionen im Szenario „Transition“ am höchsten ausfallen. Dieser Vergleich zeigt, dass durchaus unterschiedliche Wege zur Energiewende existieren.

Die energiebedingten THG-Emissionen werden in allen Szenarien um über 90 % reduziert. Damit steigt natürlich die Bedeutung der THG-Emissionen in den Sektoren Landwirtschaft, Abfallwirtschaft und fluorierte Gase. Für diese Sektoren können – und müssen – eigene Reduktionspfade entwickelt werden.

3. Chancen und Optionen der Biomassenutzung aus Sicht des ÖBMV

3.1. Bioenergie wird bedeutendster Energieträger

Der Einsatz von Biomasse zur Energieerzeugung in Österreich hat sich seit den 1970er-Jahren mehr als verfünffacht. Möglich wurde dies primär durch die Entwicklung neuer Technologien. Anfänglich war die Nutzung von Biomasse auf die Verbrennung in Scheitholzkesseln und -öfen begrenzt. Den ersten großen Modernisierungsschub löste die Einführung von automatischen Hackgutfeuerungen aus, die einen wesentlichen Komfortgewinn im Vergleich zu den händisch zu beschickenden Scheitholzkesseln darstellten und sich vorwiegend in land- und forstwirtschaftlichen Betrieben durchsetzten. Mit Rinden und Hackgut befeuerte Nahwärmeanlagen wurden ab den 1980er-Jahren breit eingeführt. Die Entwicklung von Pellets (Presslinge aus Sägespänen) als Brennstoff ermöglichte automatische Feuerungen im kleinen Leistungsbereich, die sich auch für Einfamilienhäuser bestens eignen. Anfang der 2000er-Jahre wurden die ersten Stromerzeugungsanlagen auf Basis Hackgut entwickelt und über Einspeiseförderungen der Bundesländer und später über das Ökostromregime des Bundes installiert. Mithilfe eines Investitionsförderprogramms wurden in der Papier- und Zellstoffindustrie seit den 1990er-Jahren Laugenkessel installiert, die es ermöglichten, aus Rinde und Lauge Energie zu erzeugen. Biodiesel und Bioethanol setzten sich in Österreich, unterstützt durch die Beimischungsregelungen für Diesel und Benzin, ab dem Jahr 2005 durch.

Im Jahr 2016 wurden in Summe fast 250 PJ Bioenergie eingesetzt. Weitere Wachstumsmöglichkeiten bei der Bioenergie hängen nicht nur von der Mobilisierung zusätzlicher Potenziale aus Land-, Forst- und Abfallwirtschaft ab, sondern auch von:

- Effizienzsteigerungen in der Anlagentechnik
- Fortschritt bei der Gebäudesanierung
- Entwicklungen auf internationalen Rohstoffmärkten
- der Implementierung neuer Technologien

Eine Potenzialabschätzung des Österreichischen Biomasse-Verbandes geht bis 2030 von einem realisierbaren Bioenergiepotenzial von 340 PJ aus; bis 2050 wäre ein Bioenergieeinsatz von etwa 450 PJ möglich.

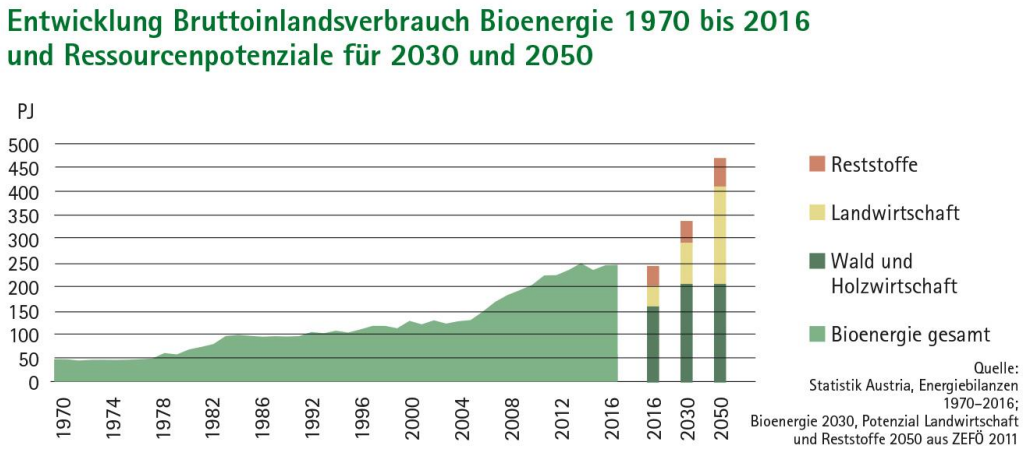


Abbildung 3: Die Bioenergienutzung hat sich seit 1970 mehr als verfünffacht, die größten Potenziale bestehen in der Land- und Forstwirtschaft.

Abbildung 3 zeigt den Verlauf der Bioenergienutzung über die vergangenen Jahrzehnte und die nachhaltig zur Verfügung stehenden Potenziale 2030 und 2050. Aktuell wird der Ausbau der Bioenergie nicht durch die Verfügbarkeit von Biomasse, sondern durch die Aufnahmefähigkeit der Märkte (Raumwärme, Verkehr, Strom, Fernwärme etc.) begrenzt. Dieses Bild wird auch durch mehrere in Österreich zur Verfügung stehende Studien zur Energiewende bestätigt, die vom Umweltbundesamt, den Umwelt-NGOs, dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), dem Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT), dem Klima- und Energiefonds und von den Erneuerbare-Energie-Verbänden selbst in Auftrag gegeben und von verschiedenen Institutionen bearbeitet wurden.

Generell sind die vorliegenden Konzepte von einer starken Reduktion des Energieverbrauchs gekennzeichnet, wodurch sich die Marktanteile der Bioenergie auch in Szenarien ohne signifikante Mengensteigerung massiv erhöhen. Obwohl sich die eingesetzten Biomassemengen und Vorstellungen zu Marktdurchdringung und verwendeten Technologien teilweise stark unterscheiden, entwickelt sich die Biomasse in praktisch allen vorliegenden Energiewendeszenarien bundesweit zum bedeutendsten Energieträger und überholt damit bereits mittelfristig Erdöl und Erdgas. Die eingesetzte maximale Biomassemenge schwankt je nach Szenario zwischen etwa 230 PJ und 319 PJ.

Tabelle 9 verdeutlicht, dass die Energiewendeszenarien die Potenzialgrenzen der Biomasseverfügbarkeit nicht voll ausschöpfen und nur zwischen 50 % und 76 % der für die energetische Verwendung vorhandenen Biomasse eingesetzt werden. Die höchsten ungenutzten Potenziale werden im Bereich der landwirtschaftlichen Biomassen gesehen.

	Bedeutendste Energieträger 2050	**Potenzialausschöpfung Bioenergie 450 PJ**	**Maximal eingesetzte Bioenergiemenge**
UBA WEM	Öl, Gas, Biomasse	51 %	232 PJ
UBA EE	Biomasse, Wasser, PV	71 %	319 PJ
UBA Transition	Biomasse, Wasser, Wind	51 %	231 PJ
ZEFÖ	Biomasse, Wasser, PV	68 %	310 PJ
Energieautarkie	Biomasse, Umweltwärme, Geothermie	68 %	307 PJ
Bioenergie 2030	k. A.	76 %	340 PJ

Tabelle 9: Die Bedeutung von Biomasse in Energiewendeszenarien (Statistik Austria, Umweltbundesamt, ÖBMV)

3.2. Aus weniger wird mehr – Entwicklung auf den Märkten

Der Einsatz von Bioenergie kann durch mehrere Faktoren erhöht werden. Ein gutes Beispiel ist der für die Bioenergie sehr bedeutende Raumwärmemarkt. Die TU Wien hat dazu eine Studie veröffentlicht, in der ein mögliches Szenario für den Ausstieg aus fossilen Energieträgern im Raumwärmemarkt untersucht wurde. Die Studie kommt zum Ergebnis, dass trotz einer Vervierfachung der aktuellen Biomassekesselinstallationen auf jährlich über 40.000 Stück der Bioenergieeinsatz in diesem Bereich mittelfristig sinken wird. Der Grund sind die enormen

Einsparungen, die mit moderner Technik und Dämmmaßnahmen im Gebäudebestand erreicht werden können. Freiwerdende Biomassemengen werden in diesem Szenario für den Ausbau der Fern- und Nahwärme, die kombinierte Strom- und Wärmeproduktion oder die Produktion von Holzgas verwendet. Insgesamt könnten so künftig mehr als die Hälfte aller Gebäude mit Bioenergie (Zentralheizungen, Öfen, Fernwärme oder Biogas) beheizt werden, ohne dass dafür mehr Biomasse benötigt wird (**Abbildung 4, Abbildung 5, Abbildung 6**).

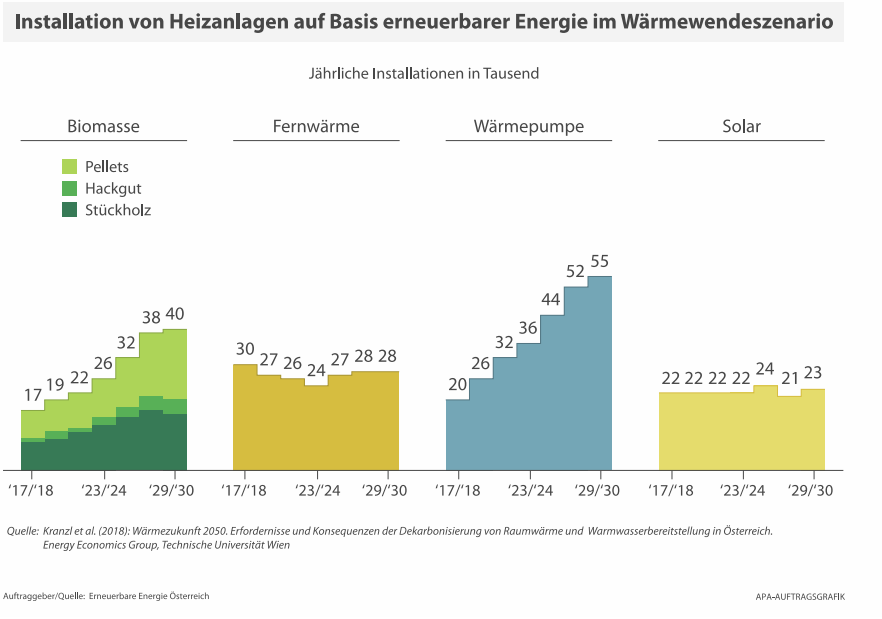


Abbildung 4: Notwendige Installation „erneuerbarer" Heizsysteme im Wärmewendeszenario der TU Wien

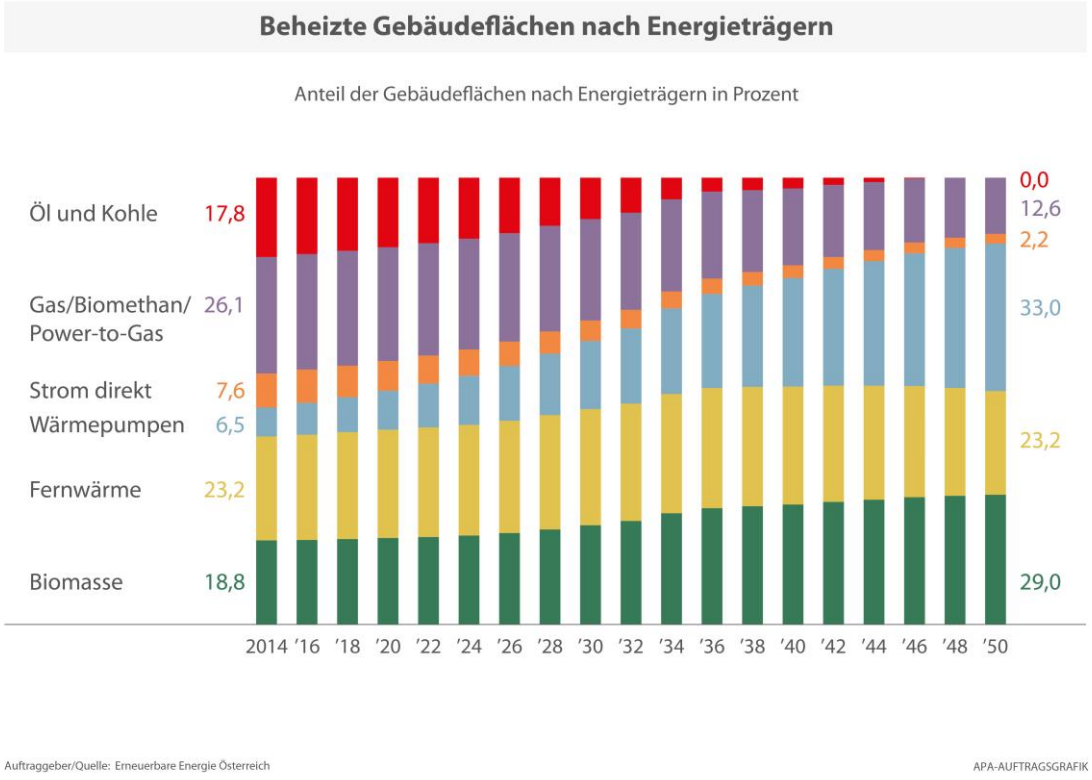


Abbildung 5: Entwicklung der beheizten Bruttogrundflächen bis 2050 im Wärmewendeszenario der Studie

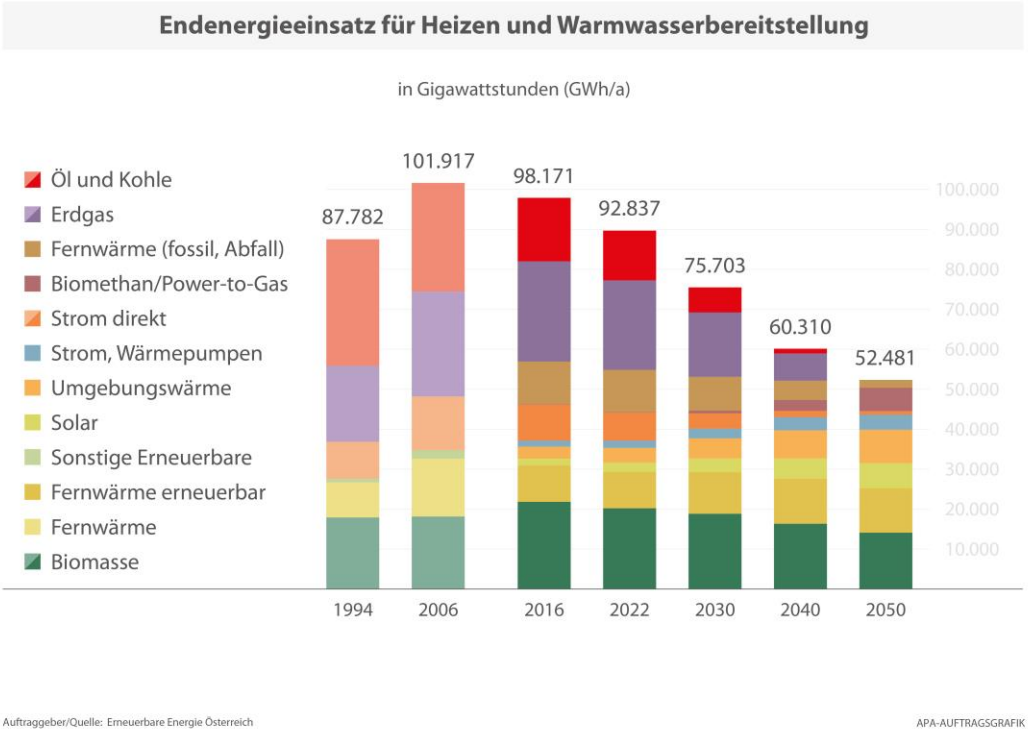


Abbildung 6: Der Endenergieeinsatz für Heizen und Warmwasser halbiert sich bis 2050 auf etwa 50 TWh.

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Strom- und Fernwärmeproduktion aus Biomasse. Durch die Nutzung von Abwärme aus der Stromproduktion, den Einsatz von Rauchgaskondensation oder Wärmepumpen und flexiblen Steuerungen können sehr hohe Wirkungsgrade erreicht werden. Ist ein Biomassekessel zur Fernwärmeproduktion am Ende seiner Lebensdauer angelangt und wird durch einen moderneren Kessel oder eine Kraftwärmekopplung ersetzt, wird gewöhnlich mit weniger Biomasseeinsatz mehr Energie produziert. Die Verwendung dieser Techniken kann allerdings zu höheren Gesamtkosten führen, welche die Wettbewerbsfähigkeit von Bioenergie gegenüber fossilen Brennstoffen verschlechtern. Bei der breiten Einführung dieser Techniken muss darauf Rücksicht genommen werden. 81 % der Bioenergie wurden im Jahr 2016 in Form von Wärme (Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme, Abwärme aus Heizkraftwerken), 11 % in Form von Treibstoffen (Bioethanol, Biodiesel, Pflanzenöl) und 8 % als Strom (aus Kraftwerken und Heizkraftwerken) konsumiert.

3.3. Energiewende: Nebenprodukt der Holzwirtschaft und Bioökonomie?

Die Bioenergie ist ein integraler und notwendiger Bestandteil der nachhaltigen Bewirtschaftung land- und forstwirtschaftlicher Flächen und der darauf basierenden Wertschöpfungskette. Obwohl Bioenergie etwa 18 % des österreichischen Primärenergiebedarfs und damit 57 % der erneuerbaren Energien stellt, stammt die eingesetzte Biomasse zum überwiegenden Anteil von Neben- oder Koppelprodukten aus der Urproduktion und der Verarbeitung von Biomasse zu Produkten. In Österreich werden etwa 45 Mio. Tonnen Biomasse genutzt, 12 Mio. Tonnen davon werden energetisch in den Verarbeitungsbetrieben selbst, in anderen Branchen oder in Haushalten verwertet. Die Mengen der importierten und exportierten Biomasse halten sich in der Bilanz in etwa die Waage, alleine der Holzsektor erzielte im Jahr 2017 aber Außenhandelsüberschüsse von 4 Mrd. Euro. Die

Verarbeitung von Biomasse zu Produkten steht nicht in Konkurrenz zur Bioenergienutzung, sondern bildet deren Grundlage, da ohne die Produktion von Gütern kaum Biomasse für die Energieproduktion anfallen würde. Andererseits ist der Einsatz von Bioenergie im Produktionsprozess maßgeblich für die positive Treibhausgasbilanz vieler Holzprodukte verantwortlich. Ohne die Nutzung von Rinde zur Holztrocknung, von Schwarzlauge zur Prozessdampfgewinnung oder von Sägenebenprodukten zur Produktion von Strom und Wärme müssten diese Energiemengen mit fossilen Brennstoffen bereitgestellt werden. **Abbildung 7** zeigt, dass Industrie und Gewerbe in Summe die meiste Bioenergie einsetzen. Viele der in der Abbildung als eigene Kategorien zusammengefassten Kraftwerke, Heizkraftwerke und Heizwerke sind zusätzlich in den Produktionsprozess der Holzindustrie eingebunden oder befinden sich in deren unmittelbarem Umfeld. In Österreich gelangen etwa 80 % der eingesetzten Bioenergie aus Verarbeitungsprozessen von Industrie und Gewerbe in den Energiemarkt. Direkt aus der Forstwirtschaft, also ohne den Umweg über die Industrie, werden etwa 2 bis 3 Mio. Tonnen Biomasse in Form von qualitativ minderwertigen Baumteilen energetisch verwertet.

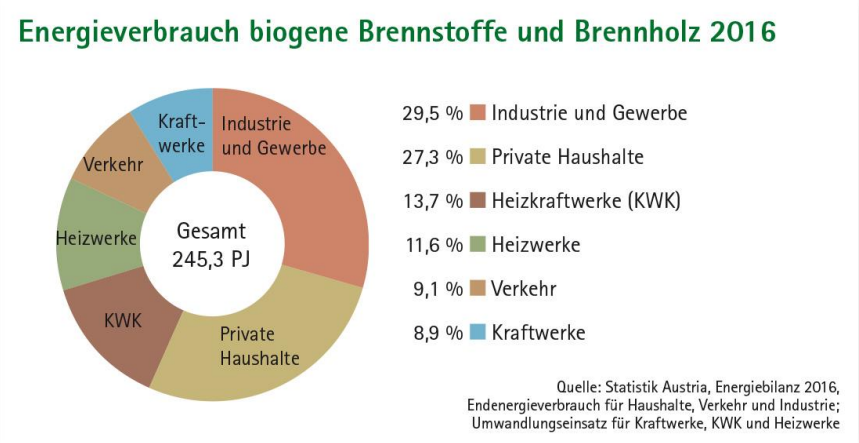


Abbildung 7: Industrie und Gewerbe (vor allem Holz- und Papierindustrie) sowie private Haushalte sind die größten Nutzer von Bioenergie in Österreich.

3.4. Bioenergie als Schlüsselelement für nachhaltige Forstwirtschaft

Energieholz, wie es für den Betrieb von Nahwärmeanlagen oder zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen verwendet wird, ist ein Koppelprodukt der nachhaltigen Waldbewirtschaftung und kann nur zu sehr geringen Erlösen vermarktet werden. Die Bewirtschaftung von Wald primär zum Zwecke der Energieproduktion würde sich daher meist nicht lohnen. Die energetische Verwendung von hochwertigem Rundholz wäre ökonomisch widersinnig, da die Erntekosten meist über den Verkaufserlösen für Energieholz liegen (**Abbildung 8**). Betrieben mit hohem Laubholzanteil kann (neben der Erzeugung von hochwertigem Furnier- und Sägerundholz) auch der Verkauf von Brennholz an Endkunden als Scheit- bzw. Ofenholz eine solide Einkommensquelle ermöglichen. Hierbei handelt es sich jedoch um eine arbeitsintensive Weiterverarbeitung (ablängen, spalten, trocknen, kürzen) des geernteten Holzes. Mit der Bioenergienutzung wurde es der Forstwirtschaft möglich, die bei der Ernte anfallenden und für die Waldgesundheit insbesondere bei der Fichte oft problematischen Nebenprodukte zu verwerten.

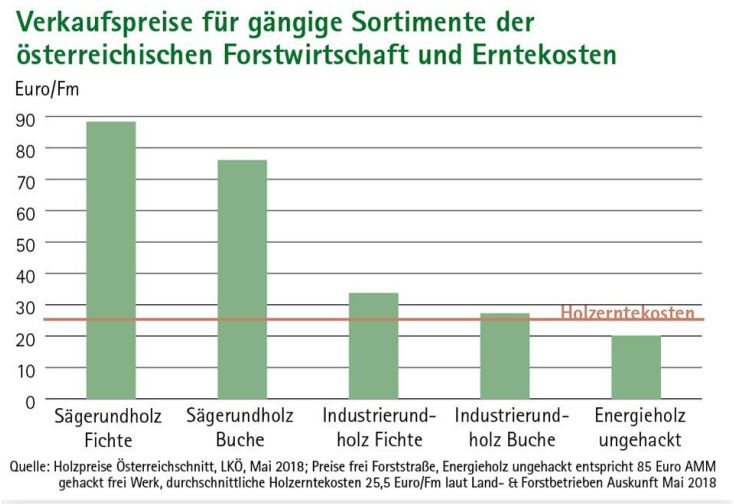


Abbildung 8: Die Erlöse für Energieholz liegen unter den durchschnittlichen Erntekosten, es wird als Koppelprodukt zu höherwertigen Sortimenten vermarktet.

Welche Baumteile für eine ausgeglichene Nährstoffbilanz auf der Waldfläche verbleiben, welche Sortimente und Bäume aufgrund ihres Gefahrenpotenzials für den Wirtschaftswald (Käferschäden, Pilzerkrankungen etc.) entfernt werden müssen, ist eine Entscheidung, die von dem/der FörsterIn oder WaldbesitzerIn selbst getroffen wird und von den Rahmenbedingungen (Bodenbeschaffenheit, Erreichbarkeit, Erntetechnik, Wetter, Baumartenzusammensetzung etc.) abhängt. Die nachhaltige Bewirtschaftung unserer Wälder und die dafür benötigte Ausbildung ist im österreichischen Forstgesetz geregelt, das weltweit zu den strengsten zählt.

3.5. Potenzialgrenzen werden nicht ausgeschöpft

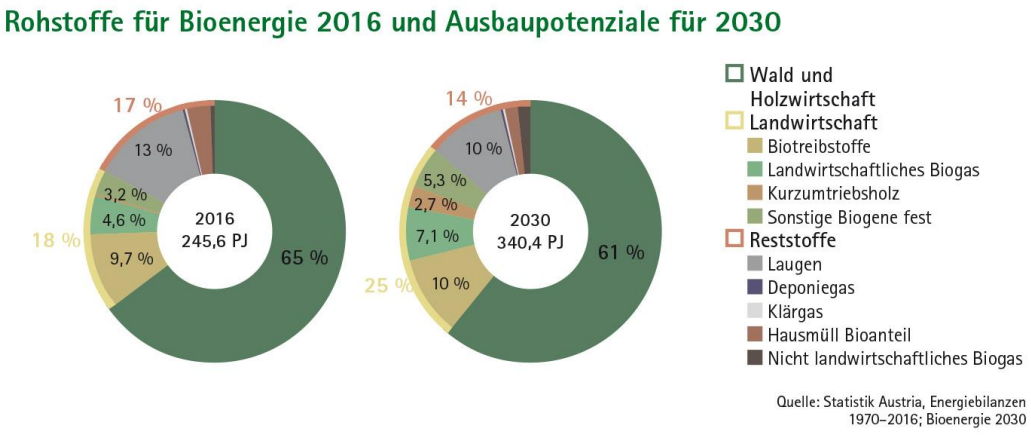


Abbildung 9: Vor allem die Anteile landwirtschaftlicher Biomasse (Biogas, Kurzumtrieb) könnten künftig steigen.

Österreich verfügt über ein beträchtliches Ausmaß an nicht genutzten Biomassepotenzialen in der Land- und Forstwirtschaft (**Abbildung 9**). Die vergangenen Jahrzehnte in der Waldbewirtschaftung waren von einem massiven Aufbau des Holzvorrats geprägt, da kontinuierlich weniger Holz geerntet wurde als zuwächst und ehemalige Agrarflächen (Grenzertragsböden, Almflächen etc.) zu Wald umgewandelt wurden. Der Holzvorrat hat sich seit den 1970er-Jahren um mehr als 40 % auf 1.135

Mio. Vorratsfestmeter erhöht (**Abbildung 16,** Seite 29). Ob sich die Entwicklung der steigenden Holzvorräte weiter fortsetzt, hängt maßgeblich von der Klimaerwärmung ab. Viele Baumarten geraten aufgrund der zunehmenden Hitzeperioden und des damit verbundenen Trockenstresses immer stärker unter Druck. Bei der Fichte führen diese Witterungsveränderungen in vielen Regionen zu hoher Anfälligkeit für Borkenkäfer. Auch andere Baumarten sind zunehmend gefährdet. Das Ulmen- und Eschentriebsterben, aber auch neue eingeschleppte Schädlinge wie der Asiatische Laubholzbockkäfer sind mittlerweile nicht nur Forstleuten ein Begriff. Extremwetterereignisse wie Sturm oder starker Schneefall tun ihr Übriges, um den Schadholzanteil in der Holzernte zu vergrößern.

Der Anfall von Käferholz erreichte im Jahr 2018 mit 5,2 Mio. Festmetern einen historischen Höchststand (**Abbildung 20,** Seite 31). Insgesamt sind 2018 etwa 9 Mio. Festmeter Schadholz in Österreich angefallen. Besonders in tieferen Lagen versucht man, die Bestandesstabilität durch Forcierung von Mischwäldern meist mit einem höheren Anteil an Laubhölzern zu steigern, deren Wuchsform und mangelnde industrielle Verwertungspfade einen hohen Energieholzanteil bedingen. Wie **Abbildung 10** verdeutlicht, wird bei Laubholz nur etwa ein Drittel des Holzanfalls zu Säge- und Industrierundholz verarbeitet, bei Nadelholz sind es dagegen 80 %. Infolge des zunehmenden Laubholzanteils im österreichischen Wald, des Anstiegs des Schadholzanfalls sowie einer Nutzungssteigerung von Schlagabraum und sonstigem Ernterücklass wird sich auch der Anteil an Energieholz an der Holzernte tendenziell erhöhen. Durch die Heranführung der Holzernte an den Zuwachs und die Nutzung von bisher ungenutztem Ernterücklass könnte das Biomasseaufkommen aus dem Wald und von sonstigen Grünflächen (Parkanlagen, Autobahntrassen) sowie Kurzumtriebsflächen um 2 bis 6 Mio. Tonnen gesteigert werden, die direkt oder über einen industriellen Verwertungspfad auch für die energetische Nutzung zur Verfügung stehen. Für die Potenzialabschätzung wird angenommen, dass der Primärenergieertrag aus der Forst- und Holzwirtschaft inklusive Laugen und Kurzumtrieb um 3,3 Mio. Tonnen gesteigert wird, was eine Erhöhung der Energieproduktion von derzeit 193 PJ auf 251 PJ bedeutet.

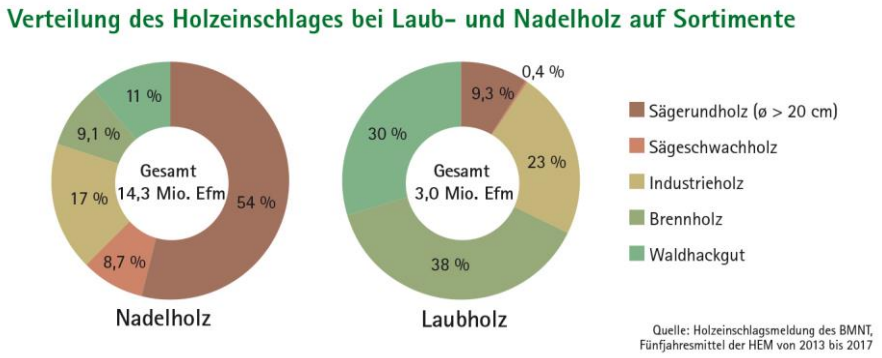


Abbildung 10: Mangels Absatzmöglichkeiten werden über zwei Drittel der Laubholzernte energetisch genutzt.

Aufgrund der hohen Unsicherheit im Hinblick auf den Klimawandel ist eine exakte Abschätzung dieser Menge bis 2050 schwierig und wird daher konservativ als konstant angenommen. Kommt es aufgrund steigender Schadereignisse oder eines massiven Temperaturanstiegs zu flächigem Ausfall von Baumarten und damit zu einem Vorratsabbau, liegen die Potenziale (und Verarbeitungsnotwendigkeiten) wesentlich höher. Ein weiterer Ansatz liegt in einer bewussten Reduktion der Umtriebszeiten (Ernteintervalle), etwa zur Steigerung der Wertholzproduktion oder zum schnelleren Umbau der Bestände, was ebenfalls einen höheren Mengenanfall bedingen könnte. Für die Potenzialabschätzung wurden diese möglichen Entwicklungen allerdings nicht berücksichtigt.

3.6. Kurzumtrieb bindet CO_2 und stellt Rohstoffe zur Verfügung

Eine Erweiterung der Holzproduktion auf landwirtschaftliche Flächen sind Kurzumtriebsflächen. Darunter versteht man Acker-, Stilllegungs- oder Grünlandflächen, die mit ausschlagsfähigen Laubbaumarten mit raschem Jugendwachstum wie Pappel, Weide, Schwarzerle, Grauerle oder Birke bepflanzt werden, wobei die Bäume über einen Zeitraum von ca. 20 Jahren wiederholt gänzlich vom Stock abgeerntet werden (Tretter & Lang 2010). Die zurückgesetzten Stöcke treiben wieder aus und können in kurzen Intervallen (alle drei bis sechs Jahre) mehrmals geerntet werden. Kurzumtriebsflächen stellen dann keinen Wald im Sinne des Forstgesetzes dar, wenn sie auf landwirtschaftlichen Flächen angelegt und innerhalb von zehn Jahren nach der Pflanzung der zuständigen Bezirksbehörde als solche gemeldet werden (Landwirtschaftskammer OÖ 2013).

Laut aktuellen Daten der STATISTIK AUSTRIA (2018) gibt es in Österreich insgesamt 2.421 ha Energieholzflächen. Die optimierten Züchtungen und die im Vergleich zu Waldböden oft fruchtbareren Standorte ermöglichen hohe Zuwächse. Während im österreichischen Wald etwa 9 Festmeter Holz pro Hektar im Jahr zuwachsen, sind es auf Kurzumtriebsflächen 25 bis 50 Festmeter.

Kurzumtriebsflächen könnten in Zukunft nicht nur für die Biomasseproduktion, sondern auch für die CO_2-Speicherung an Bedeutung gewinnen. Geht man von einer 5 Hektar großen Fläche aus, bei der jedes Jahr ein Hektar geerntet wird (5-jähriger Umtrieb), würde der CO_2-Speicher auf einem optimalen Standort auf über 200 Tonnen anwachsen und auf Jahrzehnte konstant bleiben. Die Reduktion von fossilen CO_2-Emissionen durch den Einsatz von Biomassebrennstoffen würde sich über 30 Jahre auf über 3.000 Tonnen summieren. Die im Vergleich zum herkömmlichen Ackerbau geringere Bewirtschaftungsintensität (weniger Einsatz von Treibstoff, Dünger und Herbiziden) und die dadurch niedrigeren THG-Emissionen wurden in dieser Rechnung nicht berücksichtigt. Je nach Standort sind für 1 PJ zusätzliche Primärenergie zwischen 3.000 und 6.000 Hektar erforderlich. Für die Potenzialanalyse wurden bis 2030 10 PJ Primärenergie aus Kurzumtriebsflächen vorgesehen. Bei einer Berücksichtigung dieser positiven Effekte in der künftigen Agrar- und Klimapolitik könnten diese Flächen stark ausgeweitet werden. Sie können in waldarmen Regionen Funktionen des Waldes übernehmen, dienen als Windschutz, verringern die Erosion und bieten zahlreichen Tierarten ein natürliches Rückzugsgebiet. Eine weitere Möglichkeit ist die Produktion regionaler Holzkohle zur CO_2-Bindung in Böden.

Eine Möglichkeit der alternativen Biomasseproduktion stellen neben dem Kurzumtrieb auch Agroforstflächen dar. Dieses Produktionssystem kombiniert mehrjährige Nutzhölzer und einjährige landwirtschaftliche Nutzpflanzen auf derselben Fläche. Die Erzeugung von Wertholz und/oder Holzbiomasse kann den Wert von Flächen mit geringem Ertragsniveau erhöhen.

Mögliche Einsatzgebiete sind Ackerflächen, ebenso wie erosionsgefährdete Flächen und Grenzertragsstandorte wie etwa Hanglagen. Die Bäume (z. B. Kirsche, Nuss oder Birke) verbessern den Wasser- und Nährstoffhaushalt und speichern CO_2 langfristig in Ackerböden. Agroforstflächen vermindern im Vergleich zu intensiv bewirtschafteten Ackerflächen Wasser- und Winderosion, verbessern das Kleinklima und bieten ein Habitat für Lebewesen.

3.7. Teller, Trog, Tank, Heizung und Steckdose vom Acker

Durch die Nutzung von landwirtschaftlichen Nebenprodukten, wie Landschaftspflegeheu, Stroh, Maisspindeln und Gülle, ergibt sich weiteres Potenzial zur Bioenergieproduktion in der Landwirtschaft. Im Vergleich zu Holz sind diese Fraktionen aber in der Regel durch geringe Energiedichten gekennzeichnet, was die Aufbereitung und den Transport teuer macht. Außerdem ist die Anlagentechnik für die Ernte und die weitere Verwertung meist aufwendiger als bei holziger Biomasse. Da aktuell ausreichend feste Biomasse zu vergleichsweise geringen Preisen zur Verfügung steht, kann dieser Bereich nur durch unterstützende Maßnahmen aufgebaut werden.

Auch die Produktion von Bioenergie aus nachwachsenden Rohstoffen, wie Miscanthus, Mais, Raps oder Weizen, sollte nicht vernachlässigt werden. Da mit dem Ausstieg aus der fossilen Energieversorgung mittelfristig keine fossilen Treibstoffe mehr für die Bewirtschaftung der Flächen zur Verfügung stehen, müssen diese ebenfalls nachhaltig produziert werden. Österreichische Firmen sind im Bereich der kombinierten Produktion von Lebensmitteln und Treibstoff weltweit Vorreiter. Moderne Technologien ermöglichen, dass von einem Hektar Körnermais über die kombinierte Produktion von Eiweißfuttermitteln, Treibstoffen, Strom und Wärme die Grundbedürfnisse eines durchschnittlichen Haushalts an Nahrung, Wärme, Strom und Mobilität mehr als erfüllt werden können. Gelingt es, die Energieverbräuche (für Wärme, Strom und Treibstoff) in Zukunft zu senken, die Erträge zu steigern, die Lebensmittelverschwendung einzudämmen und auf einen bewussteren Fleischkonsum zu achten, lässt sich die Versorgungsbilanz aus der Flächenbewirtschaftung noch deutlich verbessern.

3.8. Mit Bioenergie von der Strom- zur Energiewende

Mit den Pariser Klimazielen ergibt sich ein Paradigmenwechsel in der Energiepolitik, weil der vollständige Ausstieg aus fossilen Energien erforderlich wird. Aktuell dominieren rohstoffgebundene Energieträger (Erdöl, Gas, Biomasse und Kohle) unser Energiesystem. Da sie in gespeicherter Form vorliegen und so relativ problemlos bevorratet und (auch zur Stromproduktion) eingesetzt werden können, spielt die Volatilität im Energieverbrauch eine untergeordnete Rolle.

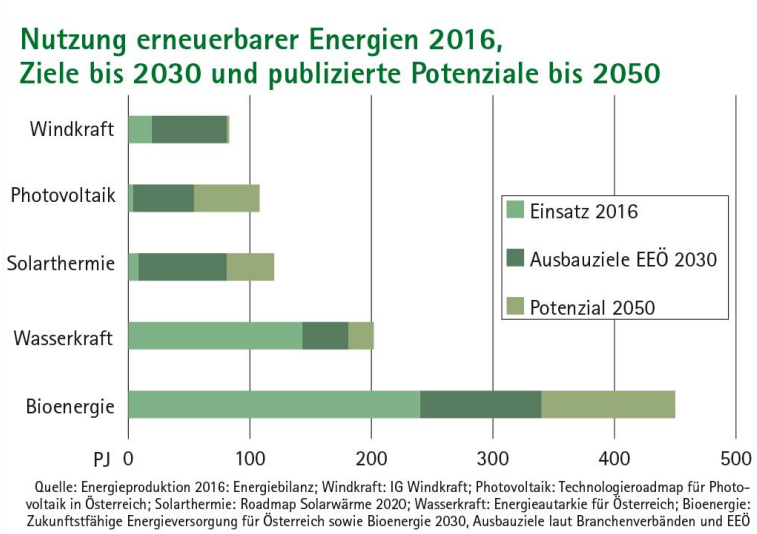


Abbildung 11: Bioenergie birgt mit Abstand die größten Ausbaupotenziale unter den erneuerbaren Energieträgern.

Die zur Verfügung stehenden Potenziale erneuerbarer Energien liegen neben der Biomasse etwa zur Hälfte in Form der mehr oder weniger volatilen und großteils über Elektrizität genutzten

Energieträger Wind, Wasser und Sonne vor (**Abbildung 11**). Mittelfristig wird jedoch nur mehr Bioenergie als rohstoffgebundener flexibel einsetzbarer Energieträger in größerem Umfang zur Verfügung stehen. Aus Strom hergestellte Treibstoffe (Power-to-Liquid oder Power-to-Gas) könnten zumindest in Nischen an Bedeutung gewinnen, sind aber aufgrund des hohen Strombedarfs eher begrenzt verfügbar. Elektrizität wird in unserem Energiesystem jedenfalls eine wichtigere Rolle einnehmen müssen als derzeit. Aktuell werden etwa 20 % des Endenergiebedarfs elektrisch gedeckt, künftig könnten es durch die Nutzung der Wind-, Wasser- und Photovoltaikpotenziale wesentlich mehr sein. Da Strom nur unter sehr hohem technischen Aufwand gespeichert werden kann (Pumpspeicher, Batterien bzw. Power-to-Liquid), sollten Produktion und Verbrauch möglichst parallel erfolgen.

3.9. Sektorkopplung Strom und Wärme

Der Einsatz von rohstoffgebundenen Energieträgern zur Stromerzeugung wird meist unterschätzt, da viele Statistiken lediglich den erzeugten Strom, jedoch nicht die eingesetzte Primärenergie zeigen. Die Unterschiede in der Darstellung sind durch die erreichbaren elektrischen Wirkungsgrade bei der Stromerzeugung begründet. Je nach Technologie und eingesetztem Brennstoff liegen diese zwischen 20 % und 60 %. Durch Nutzung der Abwärme und moderne Technik können bis zu 100 % Gesamtwirkungsgrad (bezogen auf den Brennwert) erreicht werden. Dies ist jedoch nur bei konstanter Fahrweise und Wärmeabnahme (Bandlast) möglich. Je flexibler die gewünschte Betriebsweise der rohstoffgebundenen Stromerzeugung ist, umso geringer sind die erzielbaren Wirkungsgrade. Feste Biomasse eignet sich zur Bereitstellung von Bandlast und Fernwärme, erneuerbares Gas kann auch zur Abdeckung von Spitzenlasten eingesetzt werden. Kraftwärmekopplungsanlagen wirken sich doppelt positiv auf das Energiesystem aus, da sie auch Strom produzieren, wenn wenig volatile Energie vorhanden ist (Wintermonate, Schlechtwetter- oder Dürreperioden) und weil sie das Energiesystem gleichzeitig durch die Produktion von Wärme entlasten. **Abbildung 12** visualisiert die Zusammenhänge zwischen Stromproduktion, Rohstoffeinsatz und Fernwärmeproduktion 2015 und in einem Stromsystem mit 100 % erneuerbarem Strom (bilanziell) im Jahr 2030, wie es in etwa den Zielen der Bundesregierung entspricht. Die rohstoffgebundene Stromerzeugung in KWK-Anlagen verbindet die Sektoren Strom und Fernwärme.

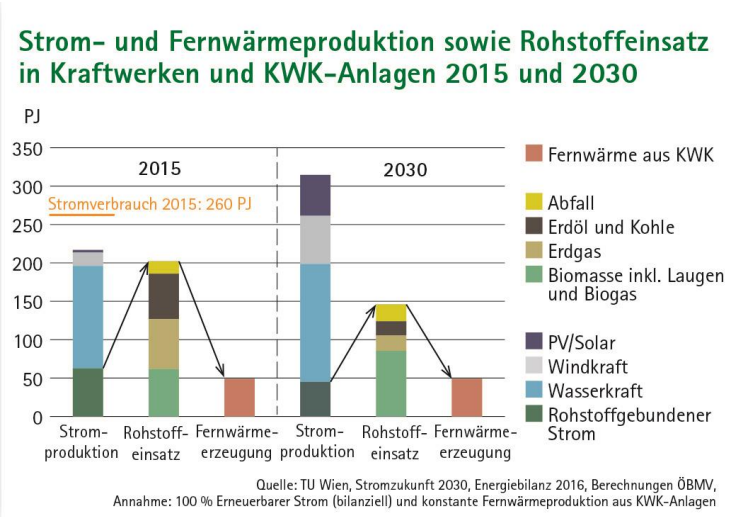


Abbildung 12: Laut Szenario Stromzukunft 2030 reicht ein Rohstoffeinsatz von etwa 145 PJ aus, um die Versorgungssicherheit mit Strom zu gewährleisten.

Die TU Wien kommt in der Studie Stromzukunft 2030 zum Schluss, dass das Erreichen des Energieziels 100 % aus Erneuerbaren technisch möglich und sogar wirtschaftlich günstiger ist als ein Szenario mit einem hohen fossilen Energieanteil. Im berechneten Szenario würde ein Rohstoffeinsatz von etwa 145 PJ für die Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit ausreichen. Der Bioenergieanteil an der rohstoffgebundenen Stromerzeugung kann in diesem Szenario von derzeit 30 % auf 59 % erhöht werden. Der fossile Energieeinsatz in Kraftwerken und Heizkraftwerken in Form von Erdgas, Kohle und Erdöl würde sich dadurch von 150 PJ im Jahr 2015 auf 60 PJ im Jahr 2030 verringern. Ein Stromsystem, das etwa die Hälfte der Energie bereitstellt und zur Gänze auf volatilen Energieträgern beruht, ist auch aus technologischer Sicht kaum zu realisieren und würde sehr hohe Kosten und Natureingriffe (Pumpspeicher, Leitungen, Batteriekapazitäten) erfordern. Der Einsatz von Bioenergie zur Stromerzeugung ist im Vergleich dazu konkurrenzlos günstig. Zusätzlich kann in Österreich zum Großteil bestehende Infrastruktur genutzt werden, was die Kosten weiter senkt.

3.10. Es kommt auf den Zeitpunkt an

Die zeitliche Trennung von Energieerzeugung und -verbrauch sind für das Verständnis eines versorgungssicheren und kosteneffizienten Energie- und Stromsystems unumgänglich. Der Energieverbrauch weist innerhalb eines Tages, einer Woche oder auch saisonal starke Schwankungen auf. Besonders deutlich wird dies, wenn man die Energieverbräuche für Strom, Wärme und Mobilität gemeinsam betrachtet. Die minimale Leistung, die ein Haushalt in einem Einfamilienhaus benötigt, liegt in Zeiten geringen Verbrauchs unter 1 kW. Die Maximalleistung kann dagegen an einem kalten Wintertag bei laufender Heizung und an die Steckdose angeschlossenem Elektroauto 30 kW betragen. Diese Leistungsschwankungen über das Stromsystem bereitzustellen, ist sehr aufwendig – besonders, wenn man davon ausgeht, dass während dieser Lastspitzen nur wenig erneuerbare Energie aus Wasserkraft und Photovoltaik erzeugt werden kann.

Der Schlüssel für das Energiesystem der Zukunft liegt in einem intelligenten Zusammenspiel verschiedener Technologien. Eine Biomasseheizung oder ein Fernwärmeanschluss sind in der Lage, Lastspitzen durch hohen Wärmeverbrauch problemlos bereitzustellen. Leistungsspitzen von 20 kW für ein saniertes Einfamilienhaus sind hier durchaus notwendig. Ein Elektroauto lässt sich bei hohem Energiebedarf und geringem Angebot erneuerbarer Energien nur mit niedriger Leistung aufladen, eventuell kann mittels Nutzung eines (Plug-in-)Hybrides auf Basis Biotreibstoff auch auf das Laden verzichtet werden. Eine Photovoltaikanlage mit kombiniertem Batteriespeicher erhöht den Eigennutzungsgrad des selbst erzeugten PV-Stroms und kann in Kombination mit einer elektrischen Warmwasserbereitung oder einem Heizstab im Pufferspeicher einer Heizanlage zur Wärmebereitung in der Übergangszeit verwendet werden. Batterie und Heizstab können bei Stromerzeugungsspitzen allerdings auch als Stromsenken dienen. Selbstverständlich ist auch eine Fülle anderer Kombinationen mit Solarthermie, Biomasseöfen, Kachelöfen und/oder Wärmepumpen möglich. Für die Sektorkopplung zwischen dem Strom-, Wärme- und Mobilitätsbereich steht eine Vielzahl von Optionen bereit, es sollten jedoch folgende Grundsätze beachtet werden:

- Energieverbraucher mit hohem Lastbedarf bei geringem erneuerbaren Stromaufkommen sollten möglichst nicht bzw. nur unter strengen Effizienzauflagen teilelektrifiziert werden
- Kombinierte flexible Strom- und Biomassesysteme mit intelligenten Steuerungen sind zu implementieren
- Bei der Wärmeerzeugung aus rohstoffgebundenen Energieträgern sollte, wo möglich, auch Strom erzeugt werden (KWK und Mikro-KWK)

- Stromverschwendung bei Lastspitzen durch Elektrodirektheizungen und ineffiziente Wärmepumpen eindämmen
- Lastverschiebungen zur Anpassung des Verbrauchs an die volatile Produktion nutzen
- Intelligente Gerätesteuerungen weiterentwickeln und implementieren

3.11. Bioenergie im Erdgasnetz

Österreich verfügt über ein sehr gut ausgebautes Erdgasnetz und große Erdgasspeicher. Damit können bedeutende Energiemengen ressourcenschonend transportiert und gespeichert werden. Bioenergie und Erdgas werden in vielen Anwendungsbereichen noch als direkte Konkurrenten betrachtet. Mit dem Ausstieg aus dem fossilen Energiesystem steht diese Infrastruktur jedoch über kurz oder lang für die Energiewende zur Verfügung und sollte auch systemdienlich eingesetzt werden. Mit der Einführung neuer Technologien zur Aufbereitung von Biomassen zu gasförmigen Brennstoffen können relevante Bioenergiemengen über das Erdgasnetz verteilt werden. Der Erdgaseinsatz lag 2016 bei etwa 300 PJ, das sind etwa 8 Mrd. m³ Erdgas. Eine Studie der Johannes Kepler Universität Linz geht davon aus, dass über die Biogastechnologie und Power-to-Gas bis 2050 etwa 2 Mrd. m³ erneuerbares Gas bereitgestellt werden könnten. Hinzu kommt der Einsatz von neuen Technologien wie der Synthesegasproduktion aus fester Biomasse.

Verbunden mit einer Verbrauchsreduktion in Haushalten, Industrie und Kraftwerken besteht theoretisch die Möglichkeit, den Gasbedarf im Jahr 2050 zum überwiegenden Anteil erneuerbar bereitzustellen. Das Umweltbundesamt geht in den aktuellen Energieszenarien (**Tabelle 10**) im Jahr 2050 von einem Erdgasverbrauch von 78 PJ im Szenario Transition und 209 PJ im Szenario WEM aus. Die in beiden Szenarien ungenutzten Bioenergiepotenziale liegen deutlich über dem ausgewiesenen Gasbedarf. Die Erdgasinfrastruktur inklusive Endverbrauchsgeräten und Speichern muss dafür langfristig so umgestaltet werden, dass sie zu 100 % mit erneuerbarer Energie betrieben werden kann. Dazu ist ein konkreter Umstiegsplan zu entwickeln, der neben dem Umbau auch eine notwendige Verbrauchsreduktion von Erdgas vorsieht. Erneuerbares Erdgas ist ein Hightech-Produkt und sollte für den Einsatz in Hochtemperaturanwendungen in der Industrie, zur Spitzenlastabdeckung des Stromsystems, zur Spitzenlastabdeckung in Kraftwerken und im Verkehrsbereich vorgesehen werden.

PJ	Bilanzjahr 2015	UBA WEM 2050	UBA Transition 2050
Stromerzeugung	22	3	5
Fernwärme	29	19	2
Haushalte und Dienstleistungen	66	32	17
Industrie	105	109	40
Landwirtschaft	1	0	1
Verkehr	11	6	0
Sonstige Verbräuche	55	39	14
Summe	288	209	78

Tabelle 10: Erdgasverbrauch Österreich 2015 und 2050 laut UBA-Szenarien (Statistik Austria, Umweltbundesamt)

3.12. Der internationale Pelletshandel

In den vergangenen zehn Jahren hat sich die Pelletsproduktion in Österreich verdoppelt. Ein Nachlassen der Dynamik bei der Produktionsentwicklung ist derzeit nicht absehbar, aktuell ist eher eine Beschleunigung zu erwarten. Hinsichtlich des Rohstoffs werden Pellets derzeit fast zur Gänze aus Hobel- und Sägespänen hergestellt, die in der heimischen Sägeindustrie anfallen. Signifikante heimische Rohstoffpotenziale bieten sich in Form von Hackgut, das ebenfalls in der Sägeindustrie anfällt, oder von Faserholz. Derzeit werden diese Rohstoffe aus Kostengründen nicht eingesetzt. International wird durch wegfallende Kapazitäten in der Holzindustrie auch Faserholz zur Pelletsproduktion verwendet. Auch in Österreich ist ein Unternehmen, das seine Produktion auf Faserholz aufbaut, in Betrieb, ein weiteres befindet sich in der Bauphase.

Bis zum Jahr 2030 können in Österreich über 2 Mio. Tonnen Pellets erzeugt werden. Holzpellets und in Zukunft voraussichtlich auch Pellets aus agrarischen Reststoffen werden bereits heute als Commodity (standardisierte Handelsware) in ähnlicher Weise wie Kohle rund um den Globus gehandelt. Trotz der hohen Transportdistanzen ist die CO_2-Bilanz dieser Energieträger eine sehr gute. Für fossile Energieträger ist es eine Selbstverständlichkeit, dass sie global produziert und gehandelt werden. In einem wesentlich geringeren Ausmaß wird auch für Pellets der internationale Handel eine Rolle spielen. Einer Nutzung dieses Energieträgers in Großanlagen in Österreich stehen somit aus Sicht der Versorgung keine relevanten mengenmäßigen Beschränkungen entgegen, da die Verbräuche selbst sehr großer Anlagen im Vergleich zum globalen Marktvolumen gering sein werden.

3.13. Aktive Marktgestaltung oder Anreizpolitik

Bioenergie ist bereits in vielen Bereichen konkurrenzfähig. Dies gilt besonders im Wärmemarkt bei einem höheren Energieverbrauch. Die TU Wien hat Heizsysteme für verschiedene Gebäudeklassen mit unterschiedlichen Sanierungsstufen verglichen und kommt zum Ergebnis, dass praktisch in allen Bereichen konkurrenzfähige erneuerbare Heizsysteme zur Verfügung stehen. Bioenergie (Scheitholz, Pellets, Hackgut) zählt meist zu den kostengünstigsten Lösungen. Die Heizsysteme wurden auch hinsichtlich ihres Kostenrisikos für KonsumentInnen bewertet, auch hier zählen Biomasseheizsysteme zu den preissichersten Varianten. **Abbildung 13** (siehe Seite 28) zeigt eine Übersicht der Ergebnisse.

Eine Preiserhöhung für fossile Rohstoffe in Form einer Klimaschutzabgabe im Ausmaß von 100 Euro pro Tonne CO_2 würde der Bioenergie in allen Bereichen zur Marktfähigkeit verhelfen. **Tabelle 11** zeigt die Rohstoffpreise im Sommer 2018 und die Preise bei der Einführung einer Klimaschutzabgabe von 100 Euro pro Tonne CO_2-Emission im Brennstoff. Ohne diesen Eingriff in die Marktgestaltung werden weiterhin umfangreiche Anreizprogramme in Form von Förderprogrammen oder regulativen Eingriffen erforderlich sein.

	Energiepreise 2018 Stand 28.06.		**Energiepreise inkl. 100 Euro/Tonne CO_2**		**CO_2-Faktor inkl. Vorkette**
	€/Einheit	**Cent/kWh**	**€/Einheit**	**Cent/kWh**	**kg CO_2/kWh**
Brennholz	85,38 (rm)	4,53	89,30 (rm)	4,73	0,02
Pellets	237,71 (t)	4,84	256,76 (t)	5,24	0,04
Heizöl	0,76 (l)	7,57	1,10 (l)	10,97	0,34
Erdgas	0,08 (kWh)	8,02	0,10 (kWh)	10,42	0,24
Diesel	1,13 (l)	11,33	1,46 (l)	14,63	0,33
Benzin	1,12 (l)	12,43	1,41 (l)	15,63	0,32
Strom	0,20 (kWh)	20,11	0,23 (kWh)	23,11	0,3

Tabelle 11: Energiepreise für Haushalte mit und ohne Klimaschutzabgabe (proPellets, Landwirtschaftskammer Österreich, E-Control, IWO, eigene Berechnungen); **Basis:** Bezugswert ist der Heizwert, Pelletsbestellmenge 6 t, Scheitholz regional zugestellt,15.000 kWh bei Gas, 1.000 l bei Heizöl (Standaufnahme), inkl. MwSt., zugestellt, exkl. Abfüllpauschale.

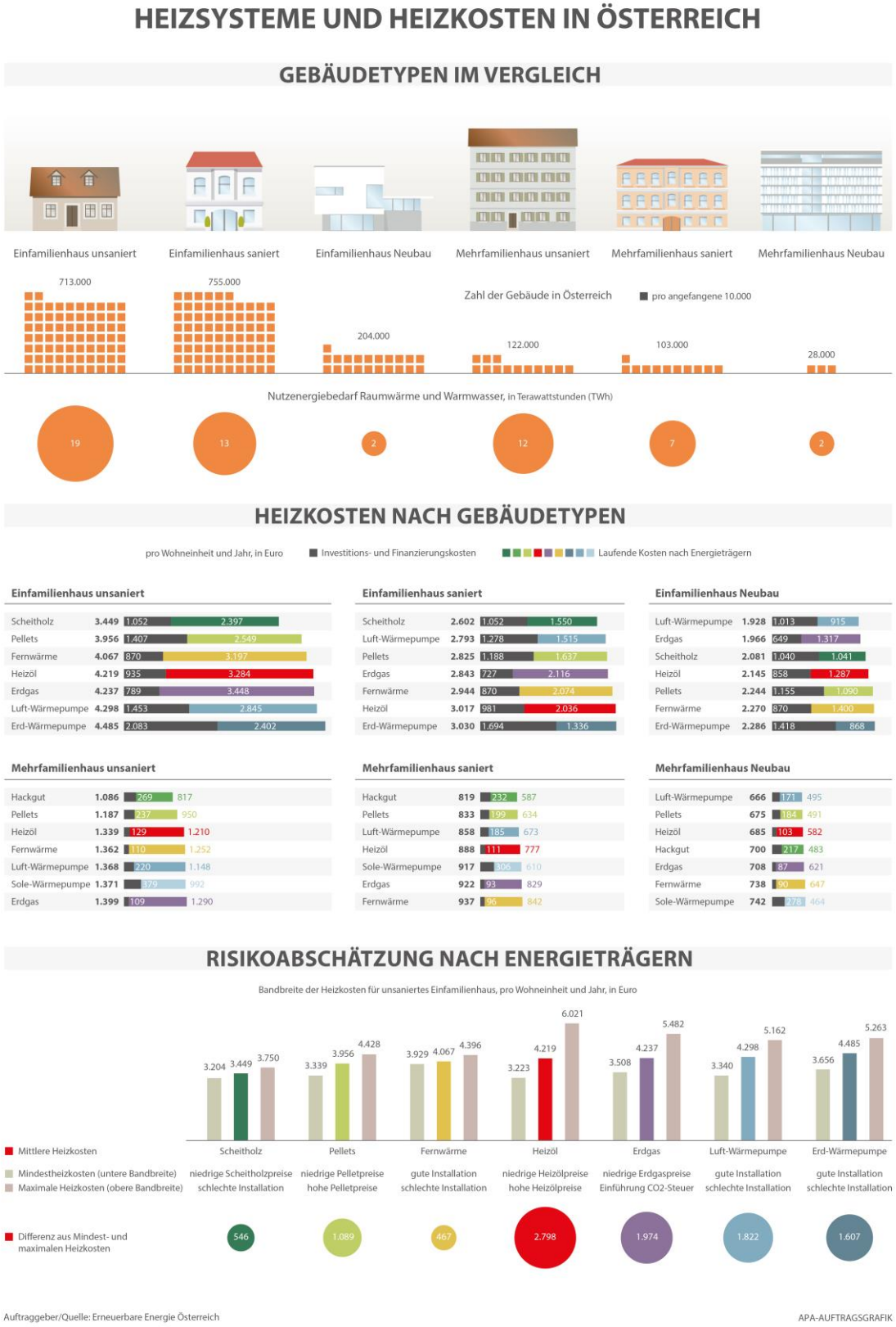


Abbildung 13: Energiebedarf pro Gebäudetyp, Heizkosten nach Gebäudetypen und Energieträgern sowie Risikoschätzung nach Energieträgern

3.14. Entwicklungen mit Potenzial

Wird die Energiewende ernsthaft angegangen, steht ein neuer Wachstumsschub für die Bioenergiebranche bevor. Folgende technische Entwicklungen erscheinen dabei von besonderem Interesse:

- Synthesegasproduktion, über die aus verschiedenen Biomassen Treibstoffe, Wasserstoff oder Erdgas hergestellt werden können
- die Bioökonomie, die den Einsatz von Biomasse generell ankurbeln könnte und neue Reststoff- und Nebenproduktpotenziale eröffnet
- Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität
- Einführung von kleinen Kraftwärmekopplungsanlagen auf der Basis von Holzgas
- Einführung von Pyrolyseanlagen zur Verkohlung von Biomasse
- Herstellung von Treibstoffen aus Lauge und landwirtschaftlichen Reststoffen
- Einführung von Biomasseheizungen mit niedrigsten Emissionswerten
- Einführung neuer Feuerungen für agrarische Reststoffe
- Kombination verschiedener Techniken zu Hybridanlagen
- Verknüpfung von EnergieproduzentInnen und -konsumentInnen durch Digitalisierung und die dadurch mögliche Öffnung der Märkte und Netze
- der international boomende Pelletshandel
- neue Geschäftsmodelle durch Kohlenstoffspeicherung
- Zusammenschlüsse von ProduzentInnen und KonsumentInnen zu virtuellen oder regionalen Energienetzen

4. Biomassenutzung aus ökologischer und waldbaulicher Sicht

4.1. Biomasseressource Wald

4.1.1. Forstliche Kenndaten

Die Waldfläche stellt den wichtigsten und größten Vegetationstyp in Österreich dar und ist seit Jahrzehnten im Wachsen begriffen (Schindler et al. 2016). Sie bedeckt rund 4 Mio. ha bzw. 47,6 % der gesamten Staatsfläche und liegt über dem EU-Durchschnitt von 43 % (siehe **Abbildung 14** und **Abbildung 15**) (BMLFUW 2017).

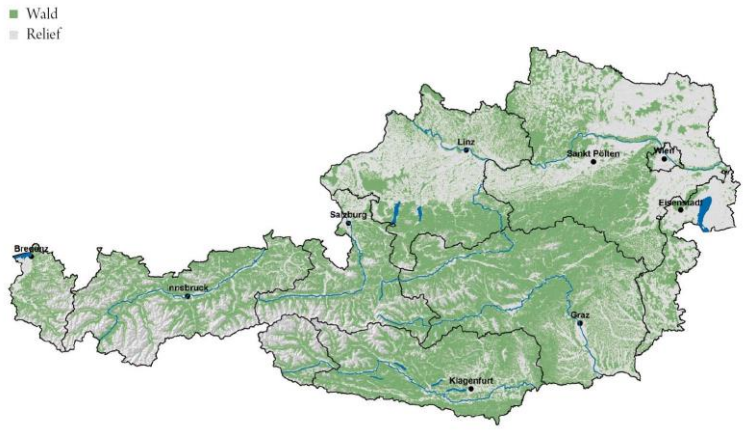


Abbildung 14: Waldkarte Österreichs (aus: BMLFUW 2017, Quelle: BFW, Österreichische Waldinventur)

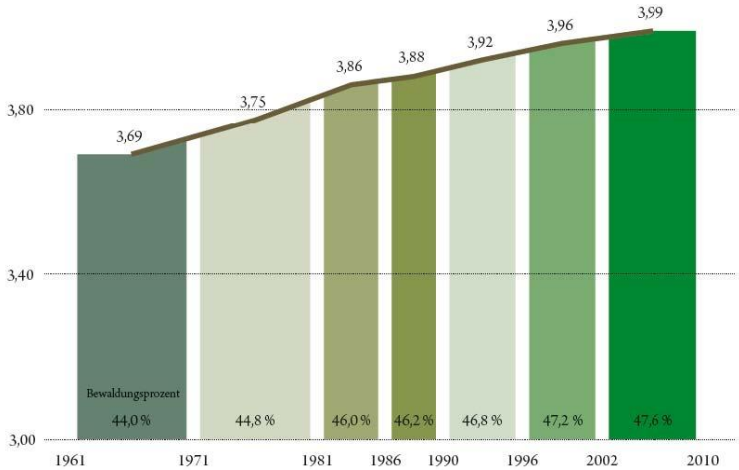


Abbildung 15: Entwicklung der Waldfläche und der Bewaldungsprozente (in Mio. ha/Anteil an der Gesamtfläche in %) (aus: BMLFUW 2017, Quelle: BFW, Österreichische Waldinventur)

Die Zunahme der Waldfläche ist vor allem eine Folge des seit vielen Jahrzehnten voranschreitenden Strukturwandels in der Landwirtschaft. Durch die Abnahme landwirtschaftlicher Betriebe und das Aufgeben traditioneller Formen der Bewirtschaftung wird landwirtschaftliche Nutzfläche in Wald umgewandelt. In der Hauptsache handelt es sich in Österreich um das Zuwachsen von Almen und das Aufforsten von landwirtschaftlichen Grenzertragsböden (APCC 2014).

Die Eigentumsverhältnisse machen deutlich, dass sich 82 % des österreichischen Waldes in Privatbesitz von rund 145.000 Eigentümern befinden. Die durchschnittliche Waldgröße pro Betrieb jener 50 % der Waldeigentümer, die weniger als 200 ha besitzen, beträgt 9,2 ha. Die restlichen 18 %, der sogenannte „öffentliche Wald", werden von den Österreichischen Bundesforsten und Gebietskörperschaften bewirtschaftet (BFW 2016).

Der Holzvorrat ist im Vergleich zu den Vorperioden mit 1.135 Mio. Vfm (Vorratsfestmeter) auf Rekordniveau (siehe **Abbildung 16**). Im Kleinprivatwald stockt mit durchschnittlich 354 Vfm/ha der größte Vorrat aller Eigentumsarten. Die Vorratszunahme ist nicht nur durch die Flächenzunahme bedingt, sondern auch durch einen deutlichen Produktivitätsanstieg – vor allem durch die Verlängerung der Vegetationsperiode und den Düngeeffekt infolge erhöhter CO_2-Gehalte und Stickstoffeinträge – im Wald selbst (UBA 2007, APCC 2014, BMLFUW 2017).

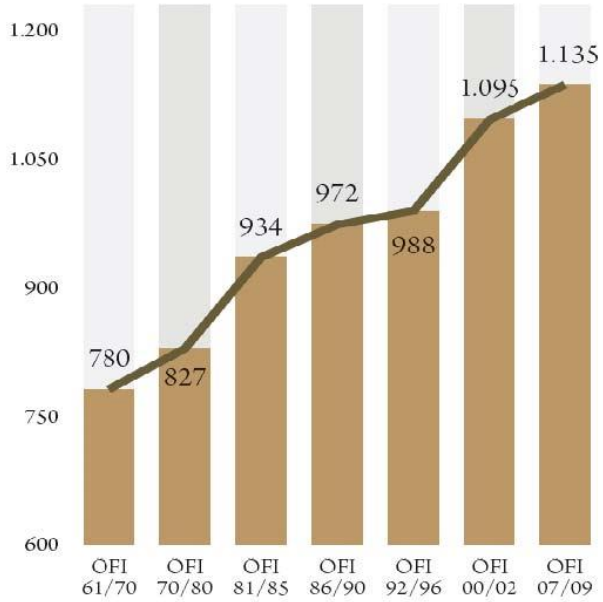


Abbildung 16: Vorratsentwicklung in Mio. Vfm seit 1961 (aus: BMLFUW 2017, Quelle: BFW, Österreichische Waldinventur)

Zur Abschätzung der Größenordnung des heimischen Holzvorrates sei erwähnt, dass die Abholzung aller österreichischen Waldflächen den österreichischen Primärenergiebedarf nur für ca. sechs Jahre decken könnte (UBA 2007).

Seit Beginn der Erhebungen in den 1960er-Jahren lag die Holznutzung immer unter dem Zuwachs (siehe **Abbildung 17**). Der aktuelle jährliche Zuwachs beträgt 30,4 Mio. Vfm, während 25,9 Mio. Vfm genutzt werden, was rund 85 % des Zuwachses entspricht (BMLFUW 2017). Der nicht genutzte Zuwachs liegt entweder in steilen Schutzwäldern, deren Durchforstung derzeit (noch) unökonomisch kostenintensiv ist, oder in privaten Klein- und Kleinstwäldern, deren Potenziale einer systematischen Nutzung ebenfalls schwer zugänglich sind (Landesumweltanwaltschaft Wien et al. 2013).

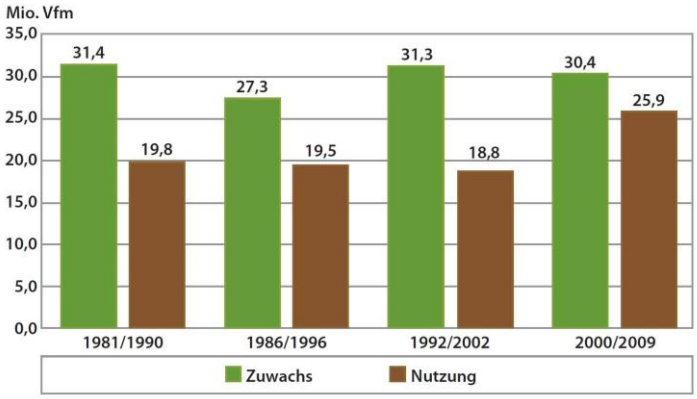


Abbildung 17: Gesamtzuwachs und Gesamtnutzung (aus: BMLFUW 2017, Quelle: BFW, Österreichische Waldinventur)

Die jährliche durchschnittliche Nutzung wurde zwischen den beiden jüngsten Inventuren um 2,1 Vfm/ha auf 7,7 Vfm/ha gesteigert, blieb aber immer noch unter dem Zuwachs von 9,0 Vfm/ha. Anfallende Schadholzmengen durch Sturmkatastrophen wie Kyrill (2007), Paula und Emma (2008) führten zu vergleichsweise hohen Nutzungszahlen (ÖBMV 2017). Großbetriebe und die Österreichischen Bundesforste nutzten in den vergangenen Jahren erstmals mehr als jährlich zuwächst (Büchsenmeister 2011, Böhmer et al. 2014).

Die Kohlenstoffbilanz des Waldes ist die mit großem Abstand wichtigste Einflussgröße auf die Treibhausgasbilanz des gesamten Landnutzungssektors (BMLFUW 2017). Der österreichische Wald stellte bis etwa 2003 eine bedeutende Senke für CO_2 dar; seither ist seine Senkenfunktion geringer und in manchen Jahren nahe Null. Der Rückgang der Kohlenstoffsenke kann dabei neben einer Veränderung der Berechnungsmethode (Berücksichtigung des Bodenkohlenstoffpools) vor allem durch den signifikanten Anstieg der Erntemengen nach dem Jahr 2002 erklärt werden (siehe **Abbildung 18**) (APCC 2014).

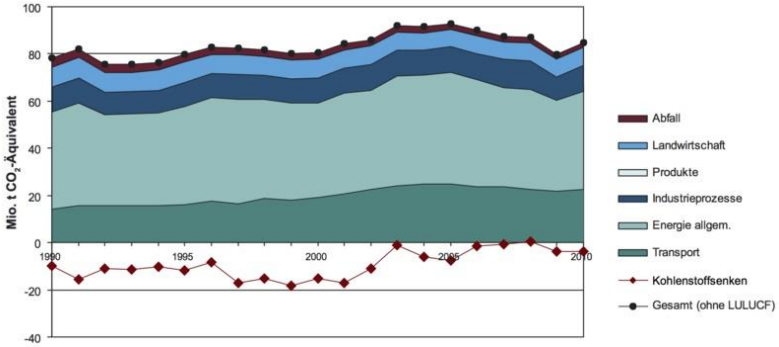
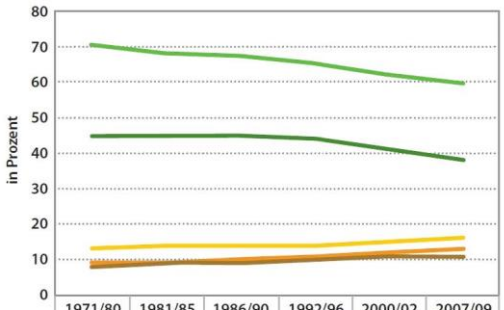


Abbildung 18: Offiziell berichtete THG-Emissionen Österreichs (nach IPCC Quellsektoren mit gesondert ausgewiesen Emissionen des Transports). Die weitgehend unter der Nulllinie liegende Kurve gibt die „Kohlenstoffsenken" wieder. In den letzten Jahren war diese Senke deutlich geringer bzw. in manchen Jahren gar nicht mehr vorhanden. Dies war vor allem eine Folge höherer Holzeinschläge; auch Veränderungen in der Erfassungsmethode trugen zu diesem Ergebnis bei (aus: APCC 2014, Quelle: UBA 2012)

Bei der Baumartenzusammensetzung dominiert die Fichte mit einer Fläche von 1,7 Mio. ha den österreichischen Ertragswald. Im Vergleich zur Waldinventur 2000/02 ist ihre Fläche jedoch um 100.000 ha zurückgegangen. Ein Grund dafür sind die Windwurfkatastrophen von 2007 und 2008, die auch zu einem Anstieg von Blößen und Lücken geführt haben. Allgemein geht der Trend in Österreichs Waldbewirtschaftung hin zu mehr Naturnähe. Dies zeigt sich durch den steigenden

Anteil an Laubhölzern und Sträuchern sowie den Rückgang von Fichtenreinbeständen und der Entwicklung hin zu Mischbeständen (siehe **Abbildung 19**) (BMLFUW 2017, ÖBMV 2017).



	1971/80	1981/85	1986/90	1992/96	2000/02	2007/09
Nadelholz Reinbestände	70	68	67	65	62	60
Fichten Reinbestände	45	45	45	44	41	38
Nadel-Laubholz Mischbestände	13	14	14	14	15	16
Laubholz Reinbestände	9	9	10	11	12	13
Laub-Nadelholz Mischbestände	8	9	9	10	11	11

Abbildung 19: Waldflächenanteile in % nach Mischungstypen im Ertragswald (aus: BMLFUW 2017, Quelle: BFW, Österreichische Waldinventur)

Waldschäden durch Sturm, Schnee und Borkenkäferbefall gehören zu den bedeutendsten Ereignissen der letzten Jahrzehnte (siehe **Abbildung 20**). Zudem gibt es Faktoren, die den Bestand einzelner Baumarten österreichweit gefährden wie z.B. ein Pilz, der verantwortlich für das Eschentriebsterben ist. Schäden durch Wild liegen seit vielen Jahren auf hohem Niveau und verhindern häufig die notwendige Verjüngung (BMLFUW 2017).

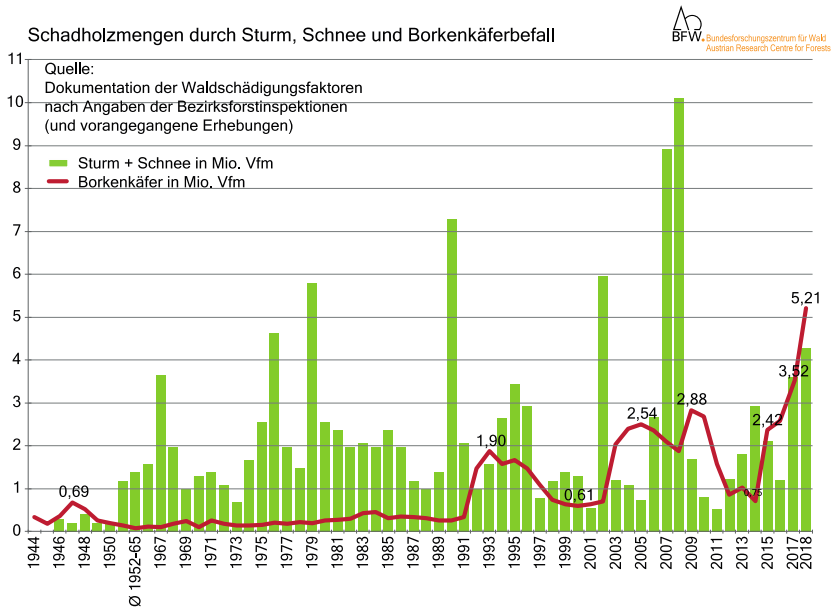


Abbildung 20: Schadholzmengen durch Sturm, Schnee und Borkenkäferbefall (BFW, 2019)

Totholz ist ein wesentliches Element von Waldökosystemen sowie von hervorragender Bedeutung für Nährstoffzyklen und fast alle Waldarten. Es trägt auch zu höherer Struktur- und Habitatvielfalt in Wäldern bei und kann Nährstoffe und Wasser speichern. Nach der Humifizierung wird es zu einem wichtigen Bestandteil des Waldbodens. Totholz stellt somit einen wesentlichen Indikator für mehrere ökologische Prozesse in Waldökosystemen dar (Schindler et al. 2016). Seit den 1990er-Jahren hat

sich der Anteil des stehenden Totholzes fast verdoppelt und liegt bei 8,4 Vfm/ha, das sind 2,5 % des Gesamtvorrates (siehe **Abbildung 21**) (Hauk 2011, BMLFUW 2017).

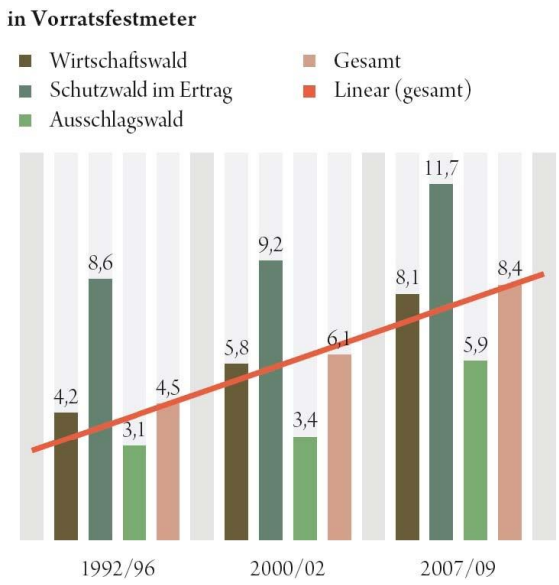


Abbildung 21: Zeitreihe stehendes Totholz in Österreich (aus: BMLFUW 2017, Quelle: ÖWI 1992/96 bis ÖWI 2007/09, BFW, 2014)

In Österreich sind rund 830.000 ha Wald, also etwa 21,5 % der Gesamtwaldfläche, naturschutzrechtlich ausgewiesenen Schutzgebieten (z.B. Nationalparks, Natura-2000-Gebiete etc.) zugeordnet. Die Schutzgebiete entsprechen den Klassen 1 und 2 nach den Kriterien von Forest Europe (siehe **Abbildung 22**) (BMLFUW 2017).

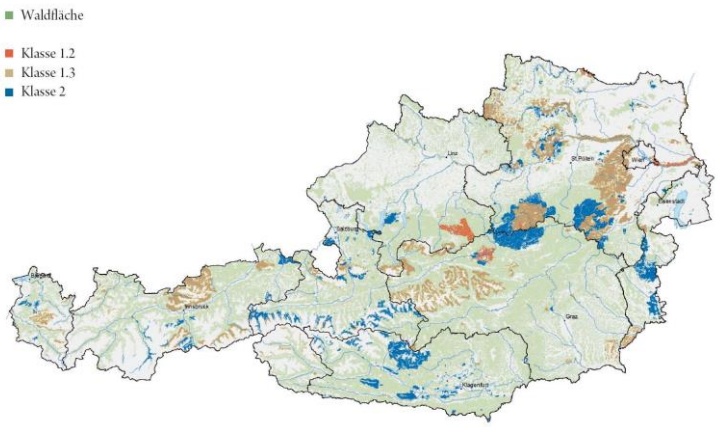


Abbildung 22: Wald in Schutzgebieten (aus: BMLFUW 2017, Quelle: UBA, 2014)

Die Forstwirtschaft ist zusammen mit der Säge-, Papier- und Plattenindustrie in Österreich ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. Der Anteil des Waldsektors am BIP betrug 2013 zwar nur 2,5 %, absolut betrug die Bruttowertschöpfung 8 Mrd. Euro. Mit einem Außenhandelsbilanzüberschuss im Jahr 2016 von 4,16 Mrd. Euro zählt die Wertschöpfungskette Forst-Holz-Papier aber zu den wichtigsten Positionen des österreichischen Außenhandels (BMLFUW 2017).

Rund 300.000 Personen beziehen ein Einkommen aus dem Wald- und Holzsektor. Die seit Beginn der 1980er-Jahre stark zunehmende Mechanisierung und technische Weiterentwicklung der Holzernte und Holzverarbeitung sowie Rationalisierungsmaßnahmen im Verwaltungsbereich führten

zu einem Rückgang der Beschäftigtenzahlen. Derzeit sind rund 7.000 ArbeitnehmerInnen im Forstbereich im engeren Sinn beschäftigt (BMLFUW 2017).

4.1.2. Holzverbrauch

Holzstromanalysen in Form von Sankey-Diagrammen zeigen, wie forstliche Biomasse sowohl als Rohstoff für Produkte als auch als Energieträger genutzt wird (Nemestóthy 2012).

Die Holznutzungspfade im Hauptdiagramm „Holzströme in Österreich" (siehe **Abbildung 24**, Seite 37) dokumentieren, dass in Österreich 2016 mehr als 47 Mio. FMe (Festmeteräquivalent) Holz eingesetzt und zum Großteil für die Exportmärkte weiterverarbeitet wurden. Das Frischholzaufkommen in Österreich betrug in diesem Zeitraum etwa 30,9 Mio. FMe. Es setzte sich aus 19,6 Mio. FMe gemäß Holzeinschlagsmeldung und 11,3 Mio. FMe Importen zusammen. Etwa 60 % dieses Holzaufkommens wurden als hochwertiges Sägerundholz an die heimische Sägeindustrie geliefert, die eine zentrale Rolle für den gesamten Holzmarkt hat. 20 % gingen als Industrierundholz an Betriebe der Holzwerkstoff- sowie der Papier- und Zellstoffindustrie. Insgesamt durchliefen somit 80 % des Holzes einen kaskadischen Nutzungspfad (stoffliche vor energetischer Nutzung). Nur rund 20 % wurden in Form von Brennholz und Hackgut direkt energetisch genutzt (vgl. ÖBMV 2016, 2017). Neben dem österreichischen und dem aus den Nachbarländern importierten Holz stammen geschätzte 7,7 Mio. FMe aus sonstigem Holzaufkommen. Dazu zählen beispielsweise Brennholz für den Eigengebrauch aus dem „Kleinstwald", Nutzung von Flurgehölzen, Grünschnitt oder auch Recyclingholz (BMLFUW 2015).

Das Zusatzdiagramm „Holzströme in Österreich – Energetische Verwendung" (siehe **Abbildung 25**, Seite 38) stellt die Fortführung des Hauptdiagramms „Holzströme in Österreich" dar. Es veranschaulicht, dass im Jahr 2016 in Österreich 25,3 Mio. FMe Holz (davon 6,5 Mio. FMe Brennholz, 2,7 Mio. FMe Pellets und Briketts, 5,4 Mio. FMe Hackgut, 2,8 Mio. FMe Rinde, 3,5 Mio. FMe [Industrie-]Restholz und Sägenebenprodukte sowie 4,4 Mio. FMe Lauge als Nebenprodukt der Zellstoffproduktion) energetisch verwertet wurden, und zwar 8,9 Mio. FMe in KWK-Anlagen und für die Prozessdampferzeugung (vorwiegend Industrie), 2,0 Mio. FMe in Heizanlagen > 1 MW (vorwiegend Nahwärmeanlagen), 7,2 Mio. FMe in automatischen Heizanlagen < 1 MW (Hackgut- und Rindenfeuerungen für Objektwärmeversorgungen in Gewerbe und Landwirtschaft und Pelletsheizungen in Gewerbe und Haushalten) sowie 7,2 Mio. FMe in Brenn- und Scheitholzfeuerungen (vorwiegend Haushalte und Landwirtschaft) (vgl. ÖBMV 2016). Etwa 80 % der energetisch verwerteten Biomasse beruhen auf Holz. Der restliche Biomasseeinsatz setzt sich aus flüssigen und gasförmigen Energieträgern (in erster Linie landwirtschaftlicher Herkunft), sowie sonstigen biogenen Abfällen zusammen (APCC 2014, ÖBMV 2016).

Laut Schadauer (2012) hat Holz bei gleicher Heizleistung einen deutlich höheren CO_2-Ausstoß als fossile Energieträger. Erdgas emittiert 0,20 kg CO_2 pro kWh und Heizöl 0,27 kg. Der Wert für Holz liegt bei rund 0,36 kg und ist in etwa gleich hoch wie für Braun- und Steinkohle. Die Effizienz des emittierten Kohlenstoffs ist bei Holz damit geringer als bei fossilem Gas oder Öl.

Bei der Holzverbrennung wird nur jene Menge an CO_2 emittiert, die der Atmosphäre zuvor beim Baumwachstum entzogen wurde – Holz ist im Gegensatz zu fossilen Brennstoffen somit als Energieträger CO_2-neutral. **Abbildung 23** (Seite 36) veranschaulicht den CO_2-Kreislauf. Die Verwendung von Holz ersetzt unter hohem Energieaufwand erzeugte Bau- und Werkstoffe (Kunststoff, Beton oder Stahl) sowie fossile Brennstoffe (Erdgas, Erdöl oder Kohle) und sorgt dafür, dass große Mengen an fossilem CO_2 in der Erdkruste verbleiben können.

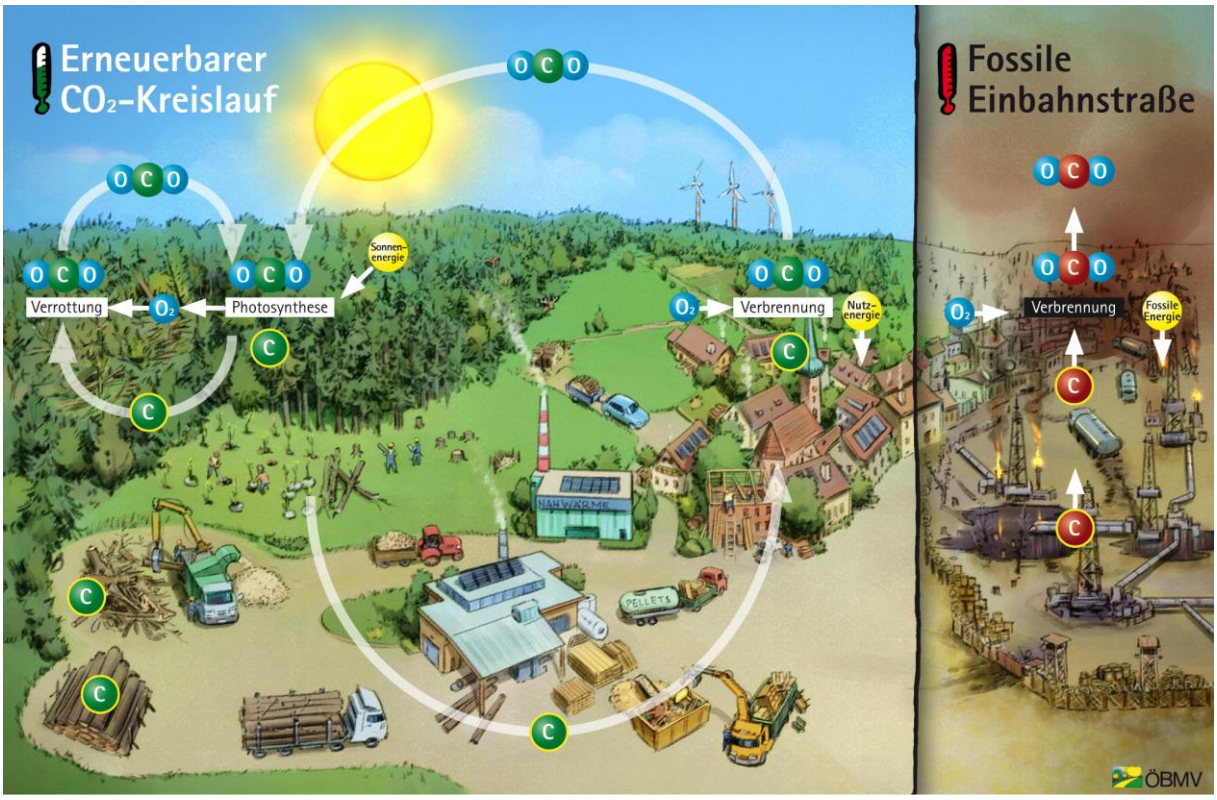


Abbildung 23: Holz gibt bei der Verrottung oder Verbrennung genau so viel Kohlendioxid (CO2) an die Atmosphäre ab, wie es zuvor bei der Photosynthese aus der Luft aufgenommen hat. Durch die Nutzung von Holz können fossile Bau- oder Brennstoffe ersetzt werden – fossiler CO2-Ausstoß wird vermieden.

Im Sinne des Klimaschutzes sollten Holzprodukte dort eingesetzt werden, wo sie möglichst lange CO_2 speichern können und/oder Produkte ersetzen, die hohe CO_2-Emissionen verursachen (Kunststoff, Stahl, Kohle etc.) („Substitutionseffekt") (BFW o.J.). Dies entspricht einer kaskadischen Biomassenutzung, bei der vorwiegend Neben- und Abfallprodukte der Holznutzung etappenweise oder am Ende des Verarbeitungsprozesses einer energetischen Verwertung zugeführt werden (UBA 2007, Landesumweltanwaltschaft Wien et al. 2013).

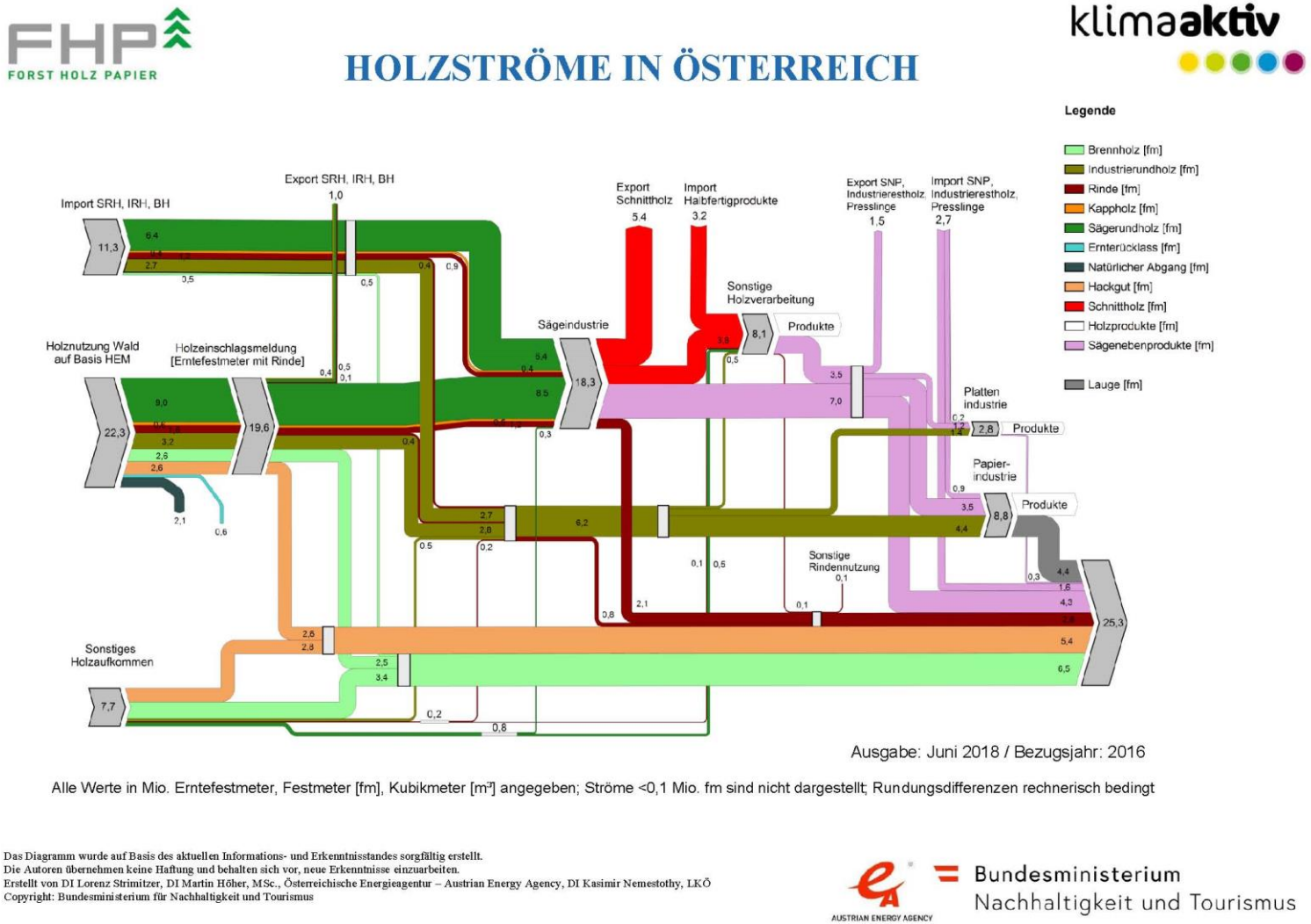


Abbildung 24: Holzströme in Österreich 2016 (klimaaktiv 2018a, Quelle: BMNT, BFW, FHP, Statistik Austria, AEA, LKÖ)

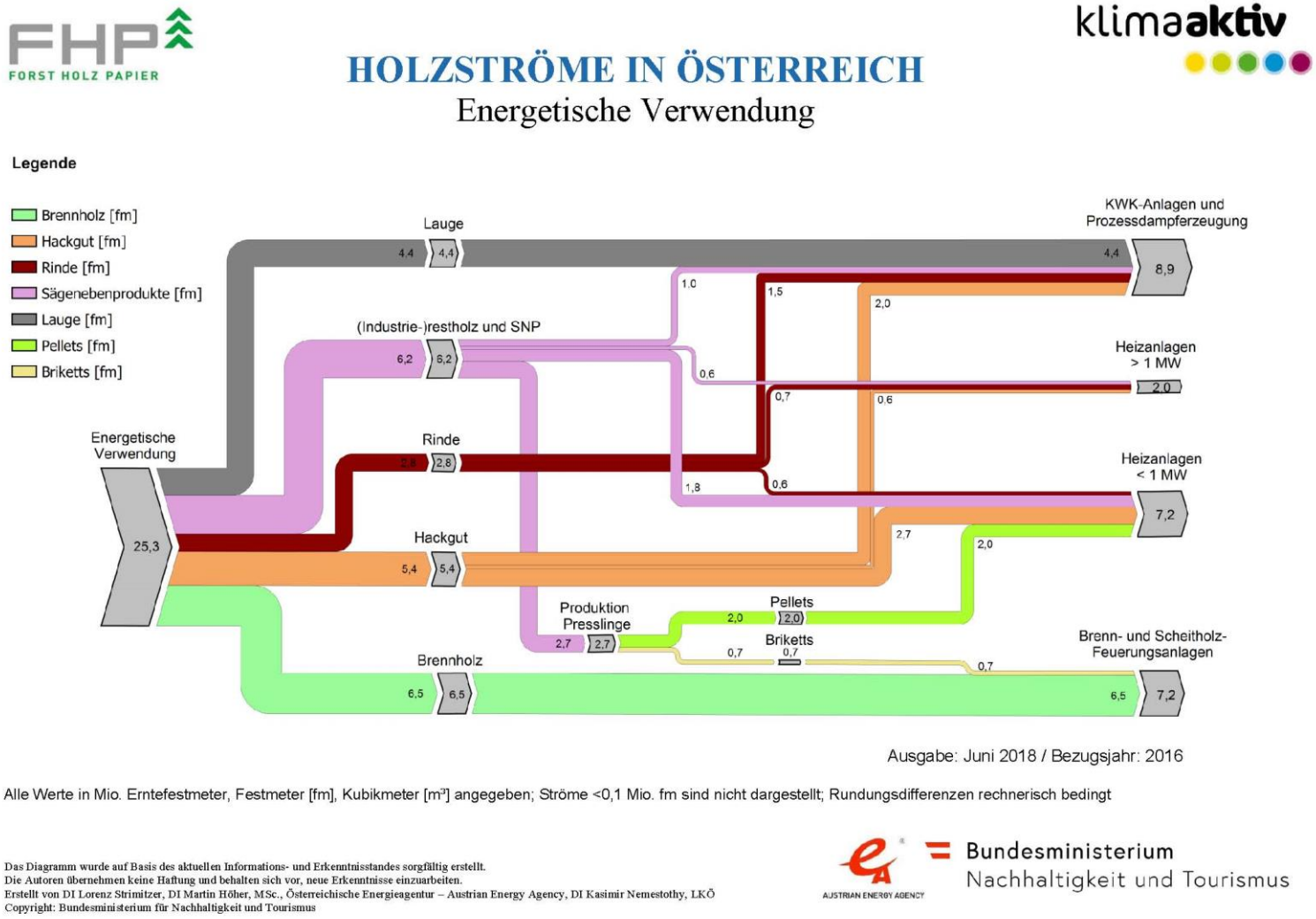


Abbildung 25: Holzströme in Österreich 2016 – Energetische Verwendung (klimaaktiv 2018b, Quelle: BMNT, BFW, FHP, Statistik Austria, AEA, LKÖ)

4.2. Biodiversität und Klimawandel im Wald

4.2.1. Biomassenutzung und Biodiversität

Die österreichische Forstpolitik und -wirtschaft verfolgen das Ziel einer nachhaltigen, multifunktionalen Waldbewirtschaftung. Neben der Wohlfahrts- und Schutzfunktion der Wälder wird in internationalen Abkommen (Ministerkonferenz zum Schutz der Wälder in Europa, Biodiversitätskonvention) besonders dem Schutz der Biodiversität in Wäldern Rechnung getragen (Sauberer et al. 2007). Auch zur Umsetzung und Erreichung der Visionen und Ziele sowohl der Österreichischen Waldstrategie 2020+ (BMLFUW 2016) als auch der Biodiversitäts-Strategie Österreich 2020+ (BMLFUW 2014) ist die Erhaltung und Förderung der Waldbiodiversität von hoher Wichtigkeit.

Maßnahmen für eine kontinuierliche Steigerung des Holzzuwachses und der Holzernte im österreichischen Wald unter Einhaltung der Grundprinzipien einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung werden in der österreichischen Klima- und Energiestrategie (BMNT & BMVIT 2018) als wichtige Beiträge zum Klimaschutz gesehen. Damit soll das Ziel, die Kohlenstoffspeicherung im Waldbestand und in langlebigen Holzprodukten im Kontext mit der EU-Verordnung zu Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF-VO) langfristig zu stärken, erreicht werden.

Die Entnahme von Biomasse aus Wäldern hat jedoch Auswirkungen auf deren Biodiversität. Studien zeigen eine statistisch signifikante Beziehung zwischen der Entnahme von Biomasse aus Ökosystemen und der Artenzahl. Bei hohem Biomasseentzug kommt es zur Reduktion der Artenzahlen und damit zu einer Abnahme der Biodiversität (Baaske & Plattner 2007). Andererseits lassen sich laut Studie des deutschen Bundesamtes für Naturschutz (Bundesamt für Naturschutz 2017) trotz einer seit 2005 deutlich gesteigerten Energieholznutzung in den Wäldern in Deutschland in den naturschutzfachlich bedeutsamen Waldstrukturen bislang keine Auswirkungen einer Nutzungsintensivierung oder einer verstärkten Energieholznutzung erkennen. Die Eingriffe in den Vorrat lebenden und toten Holzes werden bislang in der Mehrzahl der Regionen durch den Zuwachs überkompensiert und haben weder zu einem überregionalen Rückgang dicker, alter Bäume noch zu einer Verarmung an Baumarten geführt. Auch bei den betrachteten Vogelgemeinschaften sind keine negativen Auswirkungen der gesteigerten (Energie-)Holznutzung nachzuweisen.

Von überragender Bedeutung für die Waldbiodiversität ist der Bestand an Totholz. Die vollständige Entnahme abgestorbenen Holzes und die Unterbrechung des Totholzangebotes durch intensive Biomassenutzung kann nicht ohne gravierende Auswirkungen auf die nachhaltige Funktionsfähigkeit und Produktivität des Ökosystems Wald bleiben (Pro Silva Austria 2011 u. 2015). Eine gezielte Nutzung des Totholzvorrates als Biomasse wäre auch aus ökonomischer Sicht nicht zielführend, da es flächig über den Wald verteilt ist und eine Bringung nicht kostendeckend durchführbar wäre (WWF & ÖBf 2006). Nach Sauberer et al. (2007) lässt sich für die Sicherung der Biodiversität im Wald kein eindeutiger Schwellenwert für die Totholzmenge angeben, da je nach von Totholz abhängiger Art unterschiedliche Mengen an abgestorbenem Baummaterial benötigt werden. Im österreichischen Ertragswald beträgt das Volumen des stehenden und liegenden Totholzes ca. 20 Vfm/ha und liegt damit gar nicht so weit unter dem vom Bundesforschungs- und Ausbildungszentrums für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW) angegebenen Optimalwert von 33 Vfm/ha bzw. 10 % des Gesamtvorrates (Hauk 2011, Landesumweltanwaltschaft Wien et al. 2013). Eine Bewirtschaftung von Waldbeständen mit mehr als 40 Vfm/ha gilt als schwierig bis unmöglich (Kohler 2015).

Bei entsprechender Umsetzung sind aber auch Synergien zwischen energetischer Biomassenutzung und Biodiversität möglich. Beispiele sind die Erhaltung von Nieder- und Mittelwäldern, die Erhöhung von Strukturvielfalt und Stabilität bei Durchforstungen, die Förderung von Laubbäumen (die für Energieholznutzung besonders gut geeignet sind) und ein beschleunigter Umbau sekundärer Nadelwälder (WWF & ÖBf 2006).

Um eine Gefährdung der biologischen Vielfalt von Waldbeständen möglichst zu vermeiden, sollten ökologische und standörtliche Nachhaltigkeitskriterien berücksichtigt werden (z.B. über ökologisch und wirtschaftlich fundierte österreichweite Potenzialabschätzung, Entwicklung von Kriterien und Mindeststandards für eine naturverträgliche Biomasseentnahme, insbesondere von Ausschlusskriterien für die Vollbaumernte und besonders sensible Waldtypen) (UBA 2007).

4.2.2. Biomassenutzung und Klimawandel

Ein nach dem Muster der „IPCC-Assessment-Reports“ verfasster Sachstandsbericht zum Klimawandel in Österreich stellt fest, dass die klimawandelbedingte Temperaturerhöhung in Österreich weit fortgeschritten ist. So ist die Temperatur hierzulande seit 1880 um nahezu 2 °C gestiegen, verglichen mit einer globalen Erhöhung um 0,85 °C. Der rasche Anstieg ist speziell auch für die Zeit ab 1980 zu beobachten, in welcher dem globalen Anstieg von etwa 0,5 °C eine Temperaturzunahme von etwa 1 °C in Österreich gegenübersteht. Diese Änderungen wurden überwiegend durch anthropogene Emissionen von Treibhausgasen sowie andere menschliche Aktivitäten, welche die Strahlungsbilanz der Erde beeinflussen, verursacht (APCC 2014).

Da ein weiterer Temperaturanstieg als sehr wahrscheinlich gilt (siehe **Abbildung 26**), werden die Auswirkungen des Klimawandels speziell im Alpenraum überdurchschnittlich ausgeprägt sein, wie es etwa der Rückgang von Gletscherflächen oder die Veränderung der Artenvielfalt bereits vorzeichnen. Häufiger auftretende Hitze- und damit verbundene Dürreperioden lassen massive Probleme für die Land- und Forstwirtschaft befürchten. Im urbanen Raum ist mit einer stärkeren Ausprägung des Wärmeinseleffekts („Hot Spots“) zu rechnen (UWD 2016).

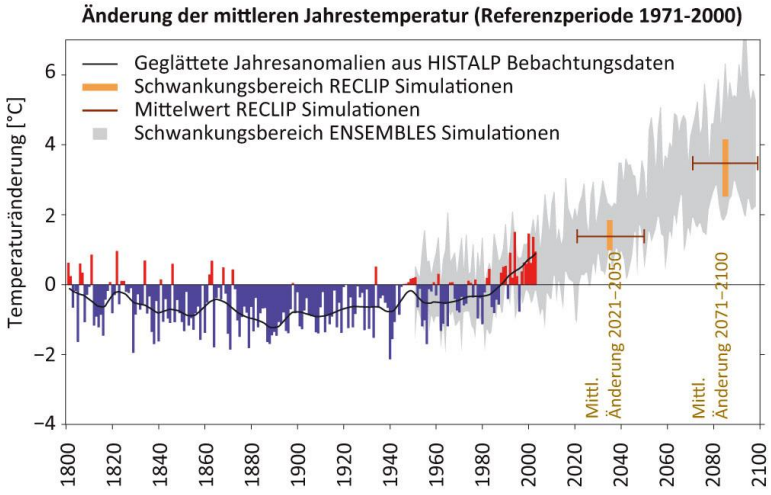


Abbildung 26: Mittlere Oberflächentemperatur (°C) in Österreich von 1800 bis 2100, angegeben als Abweichung vom Temperaturmittel der Periode 1971 bis 2000. Messungen bis zum Jahre 2010 sind in Farbe dargestellt, Modellberechnungen für ein IPCC-Szenario im höheren Emissionsbereich (IPCC SRES A1B Szenario) in Grau. Wiedergegeben sind Jahresmittelwerte (Säulen) und der über 20 Jahre geglättete Verlauf (Linie). Man erkennt die Temperaturabnahme bis knapp vor 1900 und den starken Temperaturanstieg (ca. 1 °C) seit den 1980er-Jahren. Bis Ende des Jahrhunderts ist bei diesem Szenario ein Temperaturanstieg um 3,5 °C zu erwarten (RECLIP-Simulationen) (aus: APCC 2014, Quelle: ZAMG)

Durch die Langlebigkeit und die daraus resultierende langsame Anpassungsfähigkeit der Bäume sind Waldökosysteme von einer Klimaänderung besonders betroffen (WWF & ÖBf 2006). Die Biomasseproduktion von Wäldern wird neben den Bodeneigenschaften ganz wesentlich von der verfügbaren Niederschlagsmenge und der Temperatur gesteuert. So bewirkt ein wärmeres Klima eine Steigerung der Wuchsleistung, solange die Wasserversorgung ausreichend bleibt. Größere Verbesserungen der Wuchsbedingungen sind daher in Berglagen und in Regionen mit genug Niederschlag zu erwarten. Die Waldgrenze würde sich in Folge nach oben verschieben. In Tieflagen, speziell im Osten und Nordosten Österreichs, könnten hingegen Trockenperioden zu einer Abnahme der Produktivität führen und im Zusammenhang mit einem veränderten Risiko – insbesondere durch biotische Schadfaktoren wie z.B. wärmeliebende Borkenkäfer oder eingeschleppte bzw. aus südlicheren Regionen einwandernde Organismen – die Zusammensetzung der Baumarten und folgend auch der Sortimentsanfall grundlegend verändert werden. Auch wird damit gerechnet, dass höhere Temperaturen die Vegetationszeit verlängern. Die Störungen in Waldökosystemen nehmen unter allen diskutierten Klimaszenarien an Intensität und Häufigkeit zu. Abiotische Störungsfaktoren wie etwa Stürme, Spät- und Frühfröste sowie Nassschnee-Ereignisse oder Waldbrände könnten höhere Schäden als bisher verursachen. Derartige Störungen führen zu geringeren Erlösen in der Holzproduktion. Auch die Schutzfunktion der Wälder vor beispielsweise Steinschlag, Muren und Lawinen sowie die Kohlenstoffspeicherung leiden darunter (APCC 2014, Neumann 2016). Nicht zuletzt lassen die prognostizierten Klimaänderungen auch weit reichende Auswirkungen auf die biologische Vielfalt der Waldökosysteme befürchten (WWF & ÖBf 2006).

Durch den Klimawandel und den Temperaturanstieg wird sich das Waldbild in Österreich stark verändern. Laubholzarten werden gegenüber Nadelholzarten an Ausbreitung gewinnen. Eine nachhaltige Bewirtschaftung von Fichtenwäldern in tieferen Lagen, die in der Vergangenheit außerhalb ihrer natürlichen Verbreitungsgebiete begründet wurden, scheint zukünftig weitgehend ausgeschlossen zu sein (Lexer et al. 2001, Lexer et al. 2002).

Die Anpassung an den Klimawandel stellt für die heimische Forstwirtschaft aufgrund der hohen Komplexität der Waldökosysteme und langen Planungszeiträume eine besondere Herausforderung dar. Beispiele für Maßnahmen neben der natürlichen Anpassungsfähigkeit der Bäume sind kleinflächigere Bewirtschaftungsformen, standortstaugliche Mischbestände, die Sicherstellung der natürlichen Waldverjüngung durch angepasstes Wildtiermanagement und die Wahl geeigneter, klimatoleranter Baumarten bei Aufforstungen. Problematisch sind vor allem Fichtenbestände auf Laubmischwaldstandorten sowie Fichtenreinbestände in den Bergwäldern mit Schutzfunktion. Die Anpassungsmaßnahmen in der Forstwirtschaft sind mit beträchtlichen Vorlaufzeiten verbunden (APCC 2014, BIOSA 2018).

4.3. Naturverträgliche Nutzung forstlicher Biomasse

Viele ökologische und ökonomische Gründe (Verfolgung der Klimaziele zur Verringerung der CO_2-Emissionen, hoher Erdölpreis, Stärkung des ländlichen Raumes etc.) sprechen für nachwachsende Rohstoffe aus dem Wald. Er ist und bleibt die bedeutendste Rohstoffquelle für den Biomassesektor. Holz stellt damit den wichtigsten erneuerbaren Energieträger in Österreich dar (ÖBMV 2015, Nemestóthy 2012). Zu beachten ist jedoch, dass das theoretische Biomassepotenzial nicht dem wirtschaftlich realisierbaren und dieses wiederum nicht dem ökologisch nachhaltig nutzbaren Potenzial entspricht. Eine nachhaltige Biomassenutzung muss sich neben quantitativen vor allem an ökologischen Kriterien orientieren, die von Standort zu Standort und je nach Nutzungsform (Nieder- und Mittelwaldwirtschaft, Dickungspflege, Durchforstung etc.) variieren können. Es ist darauf zu achten, dass die Biomassenutzung durch Beeinträchtigung der Biodiversität nicht in Widerspruch zu

Zielen des Naturschutzes und der multifunktionalen nachhaltigen Waldbewirtschaftung gerät. Dabei sollte der Österreichischen Waldstrategie 2020+ entsprochen und eine forcierte Nutzung im naturverträglichen Ausmaß vollzogen werden (UBA 2007, Baaske & Plattner 2007, UWD 2016).

Ein besonders wichtiges Argument für eine nachhaltige forstliche Biomassenutzung ist ihre Wirkung auf die Treibhausgasbilanz. Holz verstärkt kaskadisch zu nutzen und dadurch fossile und energieintensive Rohstoffe zu ersetzen, wirkt sich langfristig am günstigsten auf das Klima aus, wenn Vorratsnachhaltigkeit und Langlebigkeit der Holzprodukte gewährleistet sind. Ein Vorratsaufbau im Wald durch geringere Holznutzung hat kurzfristig positive Effekte auf die Treibhausgasbilanz (wenn die Schnittholzproduktion nicht zu sehr eingeschränkt wird), führt langfristig jedoch zu einer schlechteren jährlichen Treibhausgasbilanz (siehe **Abbildung 27**) (Weiss et al. 2015).

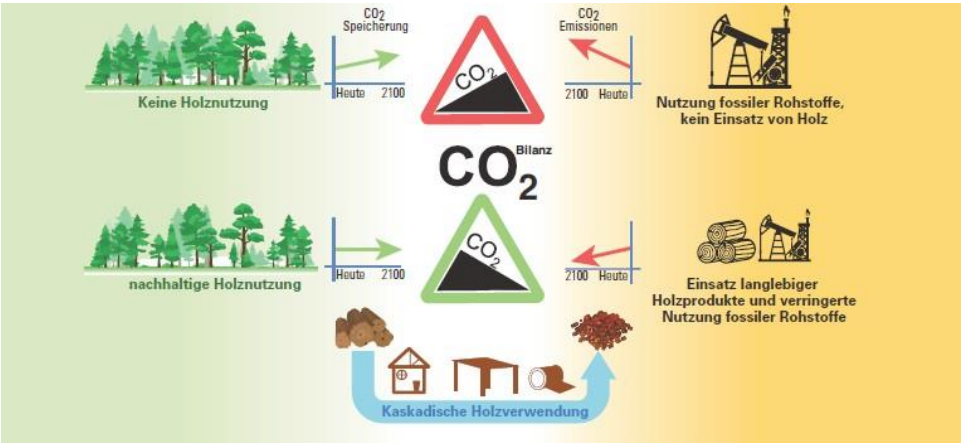


Abbildung 27: Effekte der Holznutzung auf die CO_2-Bilanz in Österreich (aus: Weiss et al. 2015, Infografik: Carlos Trujillo-Moya/fotolia.com/BFW)

In der Studie „Holz- und Biomassenaufkommen für Österreich" (HOBI) (BFW 2009), bei der die verfügbare oberirdische Holz- und Biomasse, ihre Veränderung über die Zeit und die nachhaltig nutzbaren Mengen bis zum Jahr 2020 unter Zugrundelegung verschiedener Szenarien abgeschätzt wurden, wird ein hohes zusätzliches Nutzungspotenzial für den österreichischen Wald aufgezeigt. In einem Maximalszenario beträgt das Nutzungspotenzial bis zu 31,1 Mio. Efm (Erntefestmeter) inklusive Rinde, Äste und Nadeln. Unterlegt man ein – bei allen Unsicherheiten – aus heutiger Sicht realistisches Szenario, kann von einer jährlichen Zusatzmenge von rund 4 Mio. Erntefestmeter-Äquivalenten ausgegangen werden (Mannsberger 2016).

Das größte zusätzliche Biomassepotenzial besteht im ungenutzten laufenden Holzzuwachs sowie in Durchforstungsrückständen, die bei verstärkter Nutzung künftig jedoch in abnehmenden Umfang verfügbar wären. Ein großer Teil dieses Potenzials ist technisch und wirtschaftlich aber nur schwer ausschöpfbar (WWF & ÖBf 2006, UBA 2007).

Abhängig von Standort und Nutzungsform birgt eine intensivierte Biomassenutzung ökologische Risiken. Gesteigerte Biomasseentnahme ist mit erhöhten Nährstoffverlusten für Waldökosysteme verbunden und kann zu Nährstoffungleichgewichten, Arten- und Strukturverarmung, Bodendegradation sowie Zuwachsverlusten führen. Vor allem die Vollbaum- bzw. Ganzbaumnutzung (Ernte von Holz, Ästen, Zweigen, Rinde und Nadeln bzw. Blättern) ist sowohl aus wirtschaftlicher als auch aus ökologischer Sicht problematisch, weil sie mit überproportional hohem Nährstoffentzug bei relativ geringem zusätzlichem Biomassegewinn verbunden ist (siehe **Abbildung 28**). Der Biomasseanteil von Nadeln und Ästen macht z.B. bei der Fichte nur 21 % aus. In ihnen befindet sich jedoch der größte Teil der Nährstoffe (68 % der Stickstoffmenge, 72 % der Phosphormenge, 58 %

der Kaliummenge und 50 % der Kalziummenge). Auf eine ausreichende Ausstattung mit Totholz ist bei der Biomassenutzung ebenfalls zu achten. Insbesondere in Schutzgebieten und in seltenen oder sensiblen Waldbiotoptypen muss besondere Rücksicht auf Biodiversitätsziele genommen werden (Baaske & Plattner 2007, UBA 2007).

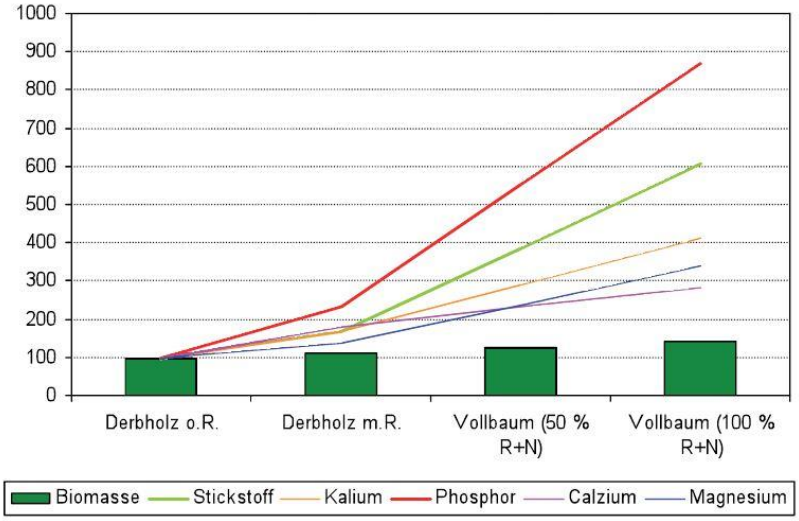


Abbildung 28: Biomasse- und Nährstoffentzüge bei unterschiedlichen Nutzungsverfahren (in %) (aus: Pro Silva Austria 2011 u. 2015, Quelle: Kreutzer 1979)

Die umfassende Studie „Potenziale der Biomassenutzung aus dem Österreichischen Wald unter Berücksichtigung der Biodiversität" (WWF & ÖBf 2006) gibt einen guten Überblick über geeignete Maßnahmen für eine naturverträgliche Nutzung forstlicher Biomasse. Darin werden an die Forstwirtschaft folgende konkrete Empfehlungen gerichtet:

- Biomasse sollte bei Vornutzungen und aus Holzsortimenten schwächerer Dimension bei der Endnutzung gewonnen werden. Eine Verringerung der Umtriebszeit im Hochwald zum Zwecke der Biomassenutzung ist aus ökologischer und ökonomischer Sicht nicht zielführend.

- Durchforstungen bieten ein bedeutendes Potenzial zur Biomassenutzung, sollten aber im Sinne der Nachhaltigkeit den Aufbau stabiler, stufiger, strukturierter Waldbestände zum Ziel haben. Vornutzungen, die eine Homogenisierung der Bestandesstruktur oder andere Verschlechterungen der Biodiversität mit sich bringen, wirken diesem Ziel entgegen und stellen aus Sicht der Biodiversität keine Form einer nachhaltigen Biomassenutzung dar.

- Das Befahren des Waldbodens sollte sich auch bei der Biomassenutzung auf wiederauffindbare Erschließungslinien beschränken. Hierzu sind eine geeignete Ernte- und Bringungstechnik sowie ein angepasstes, dauerhaft markiertes Feinerschließungssystem in bereits erschlossenen Wäldern notwendig.

- Bei der Feinerschließung als auch insbesondere bei der Erschließung bisher unerschlossener Waldgebiete sollte eine Kosten-Nutzen-Abwägung unter Berücksichtigung des ökologischen Wertes dieser Gebiete vorgenommen werden.

- Biomassenutzung sollte sich an der Nährstoffverfügbarkeit der Standorte orientieren. Insbesondere auf nährstoffarmen Böden sollten Wipfel und Äste auf der Fläche verbleiben. Vor einer Ganzbaumnutzung ist eine Standortskartierung wünschenswert. Düngung führt zu einer Verschiebung des Artenspektrums und Artenverarmung und ist daher als Ausgleich für

einen durch Biomassenutzung verursachten Nährstoffentzug aus ökologischer Sicht nicht vertretbar. Vor einer Rückführung der Asche aus Biomasseverbrennung sollten die Auswirkungen auf das Ökosystem Waldboden und dessen Biodiversität geprüft werden. Bei der Rückführung des Feinanteils von < 10 mm des Hackgutes aus dem Schlagabraum wird zumindest ein Teil der dem Standort entzogenen Biomasse mit hohem Nährelementanteil wieder dem Nährstoffkreislauf des Waldes zugeführt.

- Die Nutzung von Wurzelstöcken ist aus ökologischer Sicht nicht vertretbar, da sie neben einem unzulässig hohen Nährstoffentzug einer starke Schädigung des Waldbodens und dessen Biodiversität mit sich bringt.

- Im Zuge der Biomassenutzung ist auf einen in Menge und Qualität ausreichenden Bestand an Biotopbäumen und Totholz Rücksicht zu nehmen, da diese einen hohen ökologischen Wert hinsichtlich der Biodiversität im Wald aufweisen.

- Nieder- und Mittelwälder sollten als historische und selten gewordene Bewirtschaftungsformen erhalten und gepflegt werden, wozu die Biomassenutzung einen Beitrag leisten kann. In Hinsicht auf die Biodiversität sollten gefährdete Waldbiotoptypen nicht umgewandelt werden.

- Laubbäume sind für die Biomassenutzung gut geeignet und dominieren die potenziell natürliche Vegetation der tieferen Lagen. Um deren Anbau und Nutzung zu verstärken, sollte die Nachfrage nach Laubschnitt- und Laubfurnierholz gefördert werden.

- Vorwälder aus schnellwachsenden Pionierbaumarten können eine Biomassenutzung bereits im jungen Bestandesalter ermöglichen, wirken sich positiv auf den Zuwachs der Hauptbaumart(en) aus und fördern die Biodiversität. Möglichkeiten eines verstärkten Anbaus von Vorwäldern und deren bestandesschonende Nutzung sollten deshalb unter Berücksichtigung des betriebswirtschaftlichen Aspekts geprüft werden.

- Eine frühzeitige, aktive Umwandlung sekundärer Nadelwälder ist vor allem in Regionen mit einem hohen Anteil dieser Wälder in Erwägung zu ziehen. Die Biomassenutzung kann hier zusammen mit staatlichen Förderungen für die Begründung naturnaher Mischwälder aus standortsgerechten, autochthonen Baumarten einen Beitrag zur Kostendeckung leisten.

- Schnittgut aus der Pflege von Waldrändern kann als Biomasse genutzt werden, wenn dabei die ökologischen Funktionen von Waldrändern beachtet werden. Auf Formen der Biomassenutzung, die zu einer Verschlechterung dieser ökologischen Funktionen führen, sollte verzichtet werden.

5. Bioökonomiestrategie und „Greening the Gas“

Im Sinne der Nachhaltigkeit müssen nicht nur alle fossilen Ressourcen durch erneuerbare ersetzt werden, auch eine Entwicklung hin zur Kreislaufwirtschaft ist anzustreben. Zu beiden Zielen soll die österreichische Bioökonomiestrategie beitragen. In **Abbildung 29** sind die insgesamt sechs strategischen Zielfelder der Bioökonomiestrategie dargestellt.

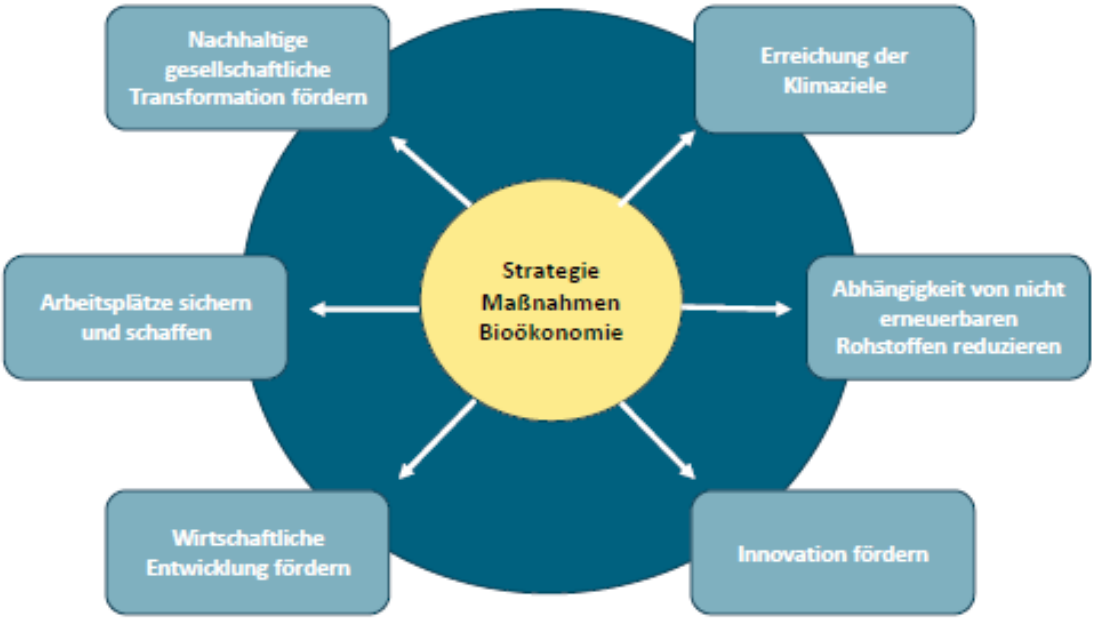


Abbildung 29: Strategische Zielfelder der österreichischen Bioökonomiestrategie (aus: Albert et al. 2019)

Die Bioökonomiestrategie enthält gute Ansätze und Vorhaben. So sollen beispielsweise die *Sustainable Development Goals*, Ressourceneffizienz und weitere ökologische Kriterien durchgängig berücksichtigt werden. Angestrebt werden Kaskade, Fraktionierung und Kreislaufführung – jeweils mit thermischer Nutzung als letzter Stufe. Da land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen – ganz im Sinne einer Bioökonomiestrategie – als Rohstoffquellen betrachtet werden, will die Strategie in Abstimmung mit den Bundesländern auch die stetige Versiegelung bis 2030 erheblich reduzieren.

Dennoch kommt die Bioökonomiestrategie zu dem Schluss, dass ein 1:1-Ersatz fossiler Rohstoffe durch biobasierte nicht gelingen kann. Derzeit und, sofern ein Stopp der Flächenversiegelung gelingt, auch zukünftig werden in Österreich rund 7,3 Mio. ha land- bzw. forstwirtschaftlich genutzt. Der 1:1-Ersatz würde laut Bioökonomiestrategie einen zusätzlichen Flächenbedarf von 0,9 bis 3,8 Mio. ha nach sich ziehen.

Aus der Bioökonomiestrategie geht nicht hervor, wie dieser zusätzliche Flächenbedarf abgeschätzt wurde. Klar ist hingegen, dass diese Fläche schlicht nicht verfügbar ist und Ertragssteigerungen alleine das Problem keinesfalls lösen können. Einen wesentlichen Beitrag soll eine effizientere Nutzung leisten, einerseits durch den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft, andererseits durch verbesserte Optionen der kaskadischen Nutzung. Teilweise geht die Bioökonomiestrategie aber auch davon aus, dass Importe nötig sein werden.

In der Forstwirtschaft soll die Bioökonomiestrategie die Holzmobilisierung aus heimischen Wäldern forcieren. Einerseits sollen Hektarerträge durch standortangepasste Baumarten bzw. Waldgesellschaften gesteigert und andererseits die Vitalität und Resilienz des Waldes durch Waldpflege- und Durchforstungsmaßnahmen verbessert werden. Die Bioökonomiestrategie soll zur effizienten nachhaltigen Nutzung des Rohstoffes Holz beitragen.

Ein besonders aktueller Punkt ist „Greening the Gas", also die Gewinnung von Biogas aus Biomasse sowie die Produktion synthetischer Gase (H_2, CH_4) aus (erneuerbarem) Strom im Rahmen von Power-to-Gas (P2G). Während nach dem ursprünglichen P2G-Konzept Überschuss-Strom zwecks längerfristiger Speicherung (saisonale Speicher) in Gas umgewandelt werden sollte, geht „Greening the Gas" weit darüber hinaus – damit soll die (fossile) Gasinfrastruktur aufrechterhalten werden. Aktuelle Ansätze wie einzelne Szenarien der „long-term strategy" der EU oder auch die Wasserstoff-Initiative gehen noch weiter. Hier ist auch der Einsatz im motorisierten Individualverkehr angedacht.

Dabei ist ganz besonders die Rolle von P2G kritisch zu betrachten. Österreich ist seit 2001 durchgängig Strom-Nettoimporteur (E-Control o.J.). Im Jahr 2019 konnte zwar in drei der ersten sechs Monate (Mai, Juni, Juli) ein Export-Überschuss erzielt werden (E-Control 2019), die Jahre 2018 (E-Control 2018) und 2017 (E-Control 2017) zeigen mit Export-Überschüssen in jeweils zwei Monaten (Mai, Juni bzw. August, September) aber, dass es sich bereits dabei um eine Ausnahme handeln dürfte, Österreich also über einen Großteil des Jahres hinweg mehr Strom importiert als es exportiert.

Wie bereits dargestellt verfügt Österreich über große Potenziale zur Gewinnung von erneuerbarem Strom. Allerdings steigt einerseits der Verbrauch – und speziell beim Energieträger Strom ist hier kein Ende des Trends abzusehen – andererseits müssen damit auch fossile Energieträger in der Stromgewinnung ersetzt werden. Auf absehbare Zeit wird es also kaum Bedarf für saisonale Speicher geben, geschweige denn solche Mengen an Überschuss-Strom, dass wir nach Belieben Wasserstoff und Methan daraus erzeugen können.

Selbst wenn man diese Betrachtungen außer Acht lässt stellt sich die Frage, warum man Strom in Wasserstoff oder gar flüssige Treibstoffe umwandeln sollte, um damit beispielsweise Pkws zu betreiben. Schließlich bringt jeder Umwandlungsschritt auch Umwandlungsverluste mit sich. In **Abbildung 30** werden Nutzungsketten für Pkws mit unterschiedlichen Antriebskonzepten dargestellt, und zwar ausgehend von erneuerbarem Strom bis zum fahrenden Auto. Verglichen werden Elektroauto, Brennstoffzellenauto und Auto mit Verbrennungsmotor.

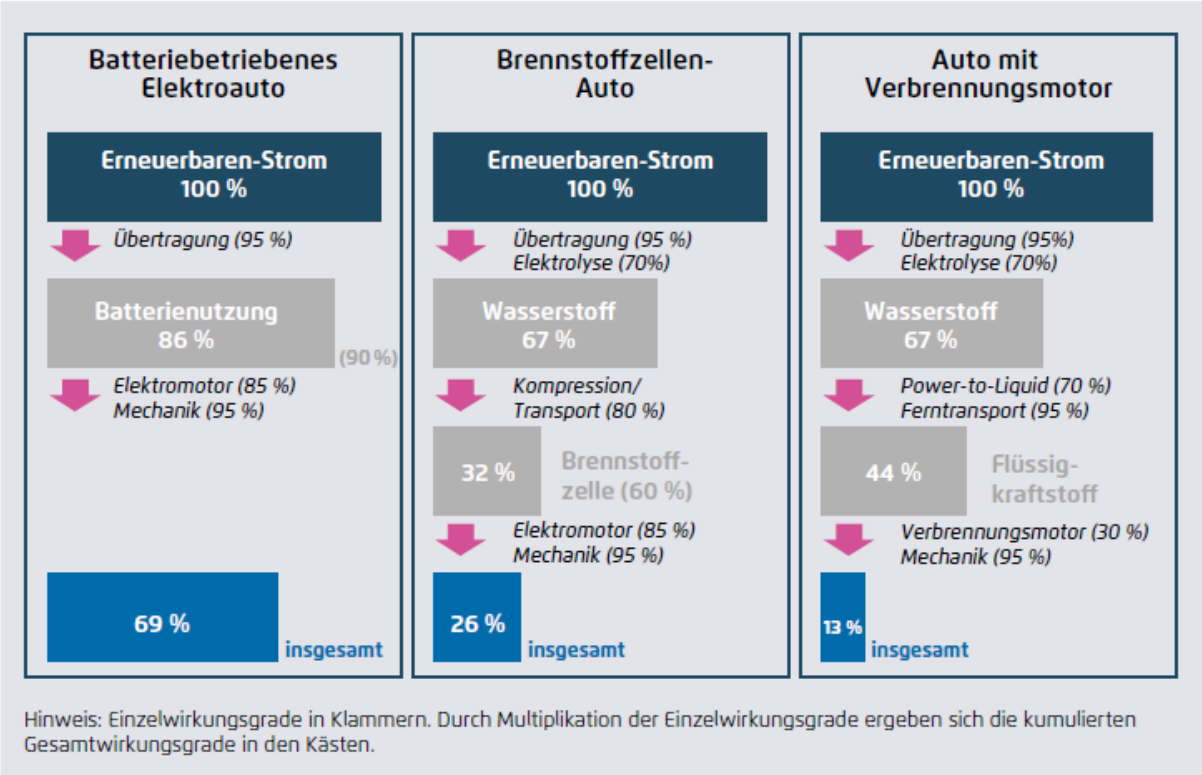


Abbildung 30: Einzel- und Gesamtwirkungsgrade von Pkws mit unterschiedlichen Antriebskonzepten ausgehend von erneuerbar erzeugtem Strom (aus: Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und Frontier Economics 2018)

Mit der Umwandlung in jedem weiteren Einzelprozess verringert sich der jeweilige Gesamtwirkungsgrad. Der höchste Gesamtwirkungsgrad ergibt sich für das Elektroauto mit 69 %. An zweiter Stelle folgt das Brennstoffzellenauto mit 26 %. Hier machen sich die Wasserstofferzeugung mittels Elektrolyse und die Brennstoffzelle als Zwischenschritte deutlich bemerkbar. Am ineffizientesten ist das Auto mit der Nutzung von synthetischen Kraftstoffen im Verbrennungsmotor. Durch die doppelte chemische Umwandlung sowie den im Verhältnis besonders ineffizienten Verbrennungsmotor ergibt sich ein Gesamtwirkungsgrad von 13 %.

Sehr ähnlich stellt sich die Situation im Bereich Raumwärme dar. Um das ohne groß ins Detail zu gehen zu plausibilisieren, genügt folgende Betrachtung: es ist, und zwar völlig zu Recht, verpönt, Strom zu verheizen. Das verbessert sich natürlich nicht, wenn man den Strom zuerst in Wasserstoff oder Methan umwandelt und die zusätzlichen Umwandlungsverluste in Kauf nimmt.

Diese Beispiele zeigen deutlich, dass wir, gerade im Rahmen einer Bioökonomiestrategie, genau abwägen müssen, wie und wofür wir biobasierte Rohstoffe einsetzen. Ganz besonders der Ansatz, Erdgas aufgrund der vorhandenen Infrastruktur 1:1 zu ersetzen, birgt die große Gefahr, zu einem fossilen Lock-In-Effekt zu werden. Auch um diesen Lock-In zu vermeiden, müssen Einsatz und Anwendungen von Biogas an den zur Verfügung stehenden Mengen orientiert werden. Eine Dekarbonisierungsstrategie mit dem Ziel 100 % erneuerbares Gas bis 2040 ist vorzulegen und ein weiterer Betrieb vorhandener bzw. die Errichtung neuer Gasinfrastruktur darauf auszulegen.

6. Ableitung der wesentlichen Diskussionspunkte

Aus den hier dargestellten Aspekten der Energiewende und der Biomassenutzung ergeben sich **3 Hauptdiskussionspunkte**, welche in den Einzelgesprächen und Round Tables laufend weiter vertieft werden sollen:

a) **Aus welchen Elementen besteht die Energiewende und wie können sie umgesetzt werden**:
   I. Senkung des Bruttoinlandsverbrauches inkl. Effizienssteigerung als Voraussetzung einer hundertprozentigen Energiewende,
   II. Zusammenspiel mit den anderen erneuerbaren Energien Wind, PV, Wasser, Umgebungswärme;
   III. Potentiale für alle erneuerbaren Energien.

b) **Potentialabschätzung**: Diskussion der unterschiedlichen Potentialannahmen für die Intensivierung der Biomassenutzung.

c) **Rahmenbedingungen** für eine naturverträgliche und klimaoptimierte Biomasseintensivierung.

Literatur- und Quellenangaben

Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und Frontier Economics, 2018: Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe.

Albert R. et al., 2019: Bioökonomie. Eine Strategie für Österreich.
https://www.bmnt.gv.at/umwelt/klimaschutz/biooekonomie/Bio%C3%B6konomie-Strategie-f%C3%BCr-%C3%96sterreich.html

APCC – Austrian Panel on Climate Change, 2014: Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien.
http://hw.oeaw.ac.at/APCC_AAR2014.pdf

Baaske M. & Plattner G., 2007: Biomassenutzung – Chance oder Gefährdung für nachhaltige Waldwirtschaft und Biodiversität? Österreichische Bundesforste.
https://www.bundesforste.at/fileadmin/publikationen/studien/KurzzusammenfassungBiomassestudie.pdf

BFW – Bundesforschungszentrum für Wald, 2016: Wem gehört Österreichs Wald? Folder. Wien.
http://bfw.ac.at/cms_stamm/050/PDF/folder_wem_gehoert_oesterreichs_wald_end.pdf

BFW – Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, 2009: Holz- und Biomassenstudie. BFW-Praxisinformation 18. Wien.
https://bfw.ac.at/030/pdf/1818_pi18.pdf

BFW – Bundesforschungszentrum für Wald, o.J.: Bioenergie. Fact Sheet. Wien.
https://bfw.ac.at/cms_stamm/050/PDF/Bioenergie_Vers140902.pdf

BIOSA – Biosphäre Austria, 2018: GENial – Der Wald im Klimawandel. Broschüre. Wien.
http://telemotion-film.at/images/BROSCHUERE-GENial-Der_Wald_im_Klimawandel.pdf

BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.), 2017: Nachhaltige Waldbewirtschaftung in Österreich. Leitindikatoren 2017. Wien.
https://www.bmnt.gv.at/dam/jcr:d51a4047-bbea-4d1c-af42-f1f7198d991d/Leitindikatoren%202017%20Deutsch.pdf

BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.), 2016: Österreichische Waldstrategie 2020+. Wien.
https://www.bmnt.gv.at/dam/jcr:83044fce-28ee-43bd-9a50-507de437978b/Waldstrategie%202020_DE.pdf

BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.), 2015: Nachhaltige Waldwirtschaft in Österreich. Österreichischer Waldbericht 2015. Wien.
https://www.bmnt.gv.at/dam/jcr:f11131d2-9b5f-4e31-b55e-e4db98193213/Waldbericht%202015.pdf

BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.), 2014: Biodiversitäts-Strategie Österreich 2020+. Wien.
https://www.bmnt.gv.at/dam/jcr:7dd9ff6f-1a39-4f77-8c51-6dceaf6b195f/Biodiversit%C3%A4tsstrategie2020_dt.pdf

BMNT – Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus & BMVIT – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.), 2018: #mission2030 – Die österreichische Klima- und Energiestrategie. Wien.
https://mission2030.info/wp-content/uploads/2018/06/Klima-Energiestrategie.pdf

Böhmer S., Gössl M., Krutzler T. & Pölz W., 2014: Effiziente Nutzung von Holz: Kaskade versus Verbrennung. REP-0493. Umweltbundesamt, Wien.
http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0493.pdf

Büchsenmeister R., 2011: Waldinventur 2007/09: Betriebe und Bundesforste nutzen mehr als den Zuwachs. BFW-Praxisinformation 24: 6-9.
https://bfw.ac.at/030/pdf/1818_pi24.pdf

Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), 2017: Energiewende und Waldbiodiversität. Bonn.
http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/rohstoffpflanzen/dateien/ewald_bfn-skritpen_455_energiewende_waldbiodiversitaet.pdf

Christian R., Bolz R., Christian R., Feichtinger R., Windsperger A., Hummel M., et al., 2010: Zukunftsfähige Energieversorgung für Österreich. St. Pölten.

E-Control, 2019: Betriebsstatistik 2019, Gesamte Elektrizitätsversorgung: Monatliche Bilanz elektrischer Energie [Zugriff: 28.08.2019]

E-Control, 2018: Betriebsstatistik 2018, Gesamte Elektrizitätsversorgung: Monatliche Bilanz elektrischer Energie [Zugriff: 28.08.2019]

E-Control, 2017: Betriebsstatistik 2017, Gesamte Elektrizitätsversorgung: Monatliche Bilanz elektrischer Energie [Zugriff: 28.08.2019]

E-Control, o.J.: Betriebsstatistik, Jahresreihen, Gesamte Elektrizitätsversorgung: Jährliche Bilanz elektrischer Energie [Zugriff: 28.08.2019]

EEÖ, 2015: Energiewende 2013-2030-2050. Wien.

Hauk E., 2011: Biodiversität in Österreichs Wald. BFW-Praxisinformation 24: 17-21.
https://bfw.ac.at/030/pdf/1818_pi24.pdf

klimaaktiv, 2018a: Holzströme in Österreich 2016.
https://www.klimaaktiv.at/dam/jcr:5f2993ff-1add-4fe2-9802-a6df6535d2e9/Holzstr%C3%B6me_%C3%96sterreich_Juni2018_final.pdf

klimaaktiv, 2018b: Holzströme in Österreich 2016 – Energetische Verwendung.
https://www.klimaaktiv.at/dam/jcr:12905172-9b48-4b66-9f39-2cd72eb13407/Holzstr%C3%B6me_%C3%96sterreich_Juni2018_energetische_Verwendung_final.pdf

Kohler B., 2015: Naturschutz: Anforderungen an Waldbewirtschaftung hinsichtlich Biodiversität im Wald. BFW-Praxisinformation 37: 31-32.
https://bfw.ac.at/cms_stamm/050/PDF/Praxistag2015/BFW-Praxisinfo%E2%80%9337_web.pdf

Kreutzer K.,1979: Ökologische Fragen zur Vollbaumernte. Forstwissenschaftliches Centralblatt 98: 298-308.

Krutzler T., Zechmeister A., Stranner G., Wiesenberger H., Gallauner T., Gössl M., et al., 2017: Energie- und Treibhausgas-Szenarien im Hinblick auf 2030 und 2050. Wien.

Krutzler T., Wiesenberger H., Heller C., Gössl M., Stranner G., Storch A., et al., 2016: Szenario erneuerbare Energie 2030 und 2050. Wien.

Landesumweltanwaltschaft Wien, Niederösterreich, Oberösterreich, Burgenland, Steiermark, Salzburg, Kärnten, Tirol & Vorarlberg, 2013: Nachhaltige Nutzung von Bioenergie in Österreich. Positionspapier.
http://wua-wien.at/images/stories/publikationen/luas-nachhaltige-nutzung-bioenergie-oesterreich.pdf

Landwirtschaftskammer OÖ (Hrsg.), 2013: Kurzumtrieb. Merkblatt. Linz.
https://ooe.lko.at/media.php?filename=download%3D%2F2013.02.25%2F13617935929951 11.pdf&rn=Kurzumtrieb_Stand_02_2013.pdf

Lexer M.J., Hönninger K., Scheifinger H., Matulla C., Groll N., Kromp-Kolb H., Schadauer K., Starlinger F. & Englisch M., 2002: The sensitivity of Austrian forests to scenarios of climatic change: a large-scale risk assessment based on a modified gap model and forest inventory data. Forest Ecology and Management 162: 53-72.

Lexer M.J., Hönninger K., Scheifinger H., Matulla C., Groll N., Kromp-Kolb H., Schadauer K., Starlinger F. & Englisch M., 2001: The Sensitivity of the Austrian forests to Scenarios of Climatic Change. A Large-scale Risk Assessment. M-132. Umweltbundesamt, Wien.
http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/M132.pdf

Mannsberger G., 2016: Waldbewirtschaftung, Holznutzung und Klimaschutz – ein Siegerteam. 6-9. In: ÖBMV – Österreichischer Biomasse-Verband (Hrsg.): Bioenergie und Umweltschutz. Wien.
https://www.biomasseverband.at/wp-content/uploads/Mannsberger_Holznutzung_Klimaschutz.pdf

Nemestóthy K.P., 2012: Die Bedeutung von Holz als erneuerbarer Energieträger. BFW-Praxisinformation 28: 5-8.
https://bfw.ac.at/050/pdf/BFW-Praxisinfo%2028_2012_KL.pdf

Neumann M., 2016: Auswirkungen des Klimawandels auf Baumartenzusammensetzung und Holzsortimente. 38-45. In: ÖBMV – Österreichischer Biomasse-Verband (Hrsg.): Bioenergie und Umweltschutz. Wien.
http://www.biomasseverband.at/publikationen/broschueren/?eID=dam_frontend_push&docID=4403

ÖBMV – Österreichischer Biomasse-Verband (Hrsg.), 2019: Bioenergie-Atlas Österreich 2019. Wien.
https://archiv.biomasseverband.at/fileadmin/bioenergieatlas2019/#page=1

ÖBMV – Österreichischer Biomasse-Verband (Hrsg.), 2017: Basisdaten 2017 Bioenergie. Wien.
https://www.biomasseverband.at/wp-content/uploads/Basisdaten_Bioenergie_2017.pdf

ÖBMV – Österreichischer Biomasse-Verband (Hrsg.), 2016: Bioenergie-Atlas Österreich. Wien.

ÖBMV – Österreichischer Biomasse-Verband (Hrsg.), 2015: Bioenergie 2030. Wien.
https://www.biomasseverband.at/wp-content/uploads/Bioenergie_2030_klein.pdf

Pro Silva Austria, 2011 u. 2015: Nutzung der Biomasse aus dem Wald. Eine Entscheidungshilfe. Positionspapier.
https://www.prosilvaaustria.at/fileadmin/prosilva/3_Naturnahe_Waldwirtschaft/32_Positionen/322_Biomassenutzung/Biomasse-Folder_2018.pdf

Sauberer N., Hochbichler E., Milasowszky N., Panagoitis B. & Sachslehner L., 2007: Nachhaltiges Waldbiomassenmanagement im Biosphärenpark Wienerwald. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien.
http://www.austriaca.at/0xc1aa5576%200x0015cbfb.pdf

Schadauer K., 2012: Hilft die Holznutzung dem Klima? BFW-Praxisinformation 28: 3-4.
https://bfw.ac.at/050/pdf/BFW-Praxisinfo%2028_2012_KL.pdf

Schindler S., Zulka K. P., Sonderegger G., Oberleitner I., Peterseil J., Essl F., Ellmauer T., Adam M. & Stejskal-Tiefenbach M., 2016: Entwicklungen zur biologische Vielfalt in Österreich. Schutz, Status, Gefährdung. REP-0542. Umweltbundesamt, Wien.
http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0542.pdf

STATISTIK AUSTRIA – Bundesanstalt Statistik Österreich (Hrsg.), 2018: Statistik der Landwirtschaft 2017. Wien.
http://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_PDF_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=118903

Tretter H. & Lang B., 2010: Energieholz von Kurzumtriebsflächen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
https://www.klimaaktiv.at/dam/jcr:8275bba8-cdc3-45b8-95c7-970ee616830b/Thema_Kurzumtrieb.pdf

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.), 2007: Umweltsituation in Österreich. Achter Umweltkontrollbericht des Umweltministers an den Nationalrat. Wien.
http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0106.pdf

UBA – Umweltbundesamt, 2015: Hauptergebnisse der THG-Szenarien bis 2050 inkl. WAM plus. Wien.

UBA – Umweltbundesamt (Ed.), 2012: Austria's National Inventory Report 2012. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. REP-0381. Vienna.
http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0381.pdf

UWD – Umweltdachverband, 2016: „Für eine naturverträgliche Energiewende". Positionspapier des Umweltdachverbandes – einstimmig beschlossen von der Vollversammlung am 13.10.2016, Linz.
https://www.umweltdachverband.at/uwd-positionspapier-energiewende

Weiss P., Braschel N., Braun M., Büchsenmeister R., Freudenschuss A., Fritz D., Gschwantner T., Jandl R., Ledermann T., Neumann M., Pölz W., Schadauer K., Schmid C., Schwarzbauer P. & Stern T., 2015: Treibhausgasbilanz der österreichischen Holzkette: Zusammenfassung der Ergebnisse aus drei KLIEN-Projekten. BFW-Praxisinformation 38: 16-19.
https://bfw.ac.at/cms_stamm/500/PDF/BFW_praxisinformation38_treibhausgasbilanz.pdf

Veigl A., 2015: Energiezukunft Österreich Szenario für 2030 und 2050. Wien.

WWF Österreich – World Wide Fund For Nature & ÖBf – Österreichische Bundesforste, 2006: Potenziale der Biomassenutzung aus dem Österreichischen Wald unter Berücksichtigung der Biodiversität. Naturverträgliche Nutzung forstlicher Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung unter besonderer Berücksichtigung der Flächen der Österreichischen Bundesforste. Endfassung.
https://www.bundesforste.at/uploads/publikationen/Biomassestudie.pdf