



architektur +  
raumplanung

DIPLOMARBEIT

**Der Boden ist alle(s)**

**Analyse der Wechselwirkungen zwischen Biodiversität, Flächeninanspruchnahme von Böden und energetischer Nutzung von Biomassen im Kontext des Klimawandels in der Modellregion Lungau**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
Diplom-Ingenieur  
eingereicht an der TU-Wien  
Fakultät für Architektur und Raumplanung

Von

**Stefan Franz Santner**, BSc  
Matrikelnummer: 01633067

unter Betreuung von  
Senior Scientist Dr.techn. Dipl.-Ing. **Hartmut Dumke**  
E280-07 Forschungsbereich Regionalplanung und Regionalentwicklung  
Institut für Raumplanung  
Technische Universität Wien  
Karlsplatz 13, 1040 Wien, Österreich

Wien, am 21.10.2024

## KURZFASSUNG

Die vorliegende Arbeit untersucht die Wechselwirkungen zwischen Biodiversität, Flächeninanspruchnahme und der Nutzung von holzartiger Biomasse in Biomasseheizwerken im Kontext der Klimawandelanpassung. Dabei wird einerseits der Flächenbedarf von Biomasseheizwerken in der Modellregion Lungau unter der Annahme einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft analysiert. Andererseits werden die Auswirkungen von diversen Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel betrachtet, die sich auf verschiedene Weisen auf die Flächennutzung und die Biodiversität auswirken. Durch die Nutzung der HANPP (Human Appropriation of Net Primary Production; auf Deutsch: die menschliche Aneignung der Nettoprimärproduktion) wird die Intensität der menschlichen Eingriffe in die trophische Energie von Ökosystemen gemessen und somit kann auf den Grad der Biodiversität geschlossen werden. Mit dieser Methode wurden Szenarien entwickelt, die die Auswirkungen der Klimawandelanpassungsmaßnahmen in unterschiedlichen Intensitätsgraden vergleichen. Die Ergebnisse zeigen, dass eine nachhaltige Flächennutzung und der Schutz der Biodiversität entscheidend sind, um negative ökologische Effekte der Biomassenutzung zu minimieren und gleichzeitig die Wärmeversorgung sicherzustellen. Trotz des großen Waldanteils der Modellregion ist von einem Flächenbedarf von 146% der Waldfläche durch die Biomasseheizwerke im Lungau auszugehen, womit eine Abhängigkeit von Holzimporten besteht. Durch die Umsetzung von gewählten Klimawandelanpassungsmaßnahmen kann der Flächenbedarf auf bis zu 94% reduziert werden. Zudem kann durch die Umsetzung der ausgewählten Maßnahmen der prognostizierte Flächenverlust landwirtschaftlicher Flächen von 3.341 ha auf 576 ha abgeschwächt werden. Die Arbeit unterstreicht die Notwendigkeit, integrierte Ansätze in der (Energie-)Raumplanung zu entwickeln, weiterzudenken und zu optimieren, die sowohl die energetische Nutzung von Biomasse fördern als auch die langfristige Resilienz von Ökosystemen in der Region stärken. Um hierbei einen Beitrag zu leisten, wurde ein Tool entwickelt, das darauf abzielt, Maßnahmenbewertungen in Regionen im Kontext der Flächeninanspruchnahme, Biodiversität und Nutzung von erneuerbaren Energien einfach und effizient durchführen zu können. Weiterer Forschungsbedarf besteht vor allem im Bezug zur den standortabhängigen Wachstumsbedingungen und deren Einfluss auf den Flächenverbrauch von Biomasseheizwerken. Die Datenverfügbarkeit stellt hierbei die größte Herausforderung dar. Gesetzesänderungen und Initiativen der EU (wie RED III) könnten zukünftig die weitere Forschung erleichtern.

## ABSTRACT

This thesis examines the interactions between biodiversity, land use, and the utilization of woody biomass for district heating plants within the context of climate change adaptation. On one hand, the land consumption of district heating plants in the Lungau region is analyzed under the assumption of a functioning circular economy. On the other hand, the effects of various climate change adaptation measures, which impact land use and biodiversity in different ways are analyzed. The usage of HANPP (Human Appropriation of Net Primary Production) as an index for the human appropriation of ecosystems allows conclusions to be drawn about the level of biodiversity. This method was used to develop scenarios that assess the impact of climate change adaptation measures at varying levels of intensity. The results show, that sustainable land use and biodiversity protection are crucial to minimizing the negative ecological effects of biomass utilization while ensuring enough energy supply at the same time. Despite the large proportion of the forest area in the model region, the district heating plants in the Lungau are expected to require 146% of the available forest area, indicating a reliance on wood imports. Through the implementation of selected climate adaptation measures, the required area can be reduced to 94%. Additionally, the predicted loss of 3,341 hectares of agricultural land can be mitigated to 576 hectares by adopting these measures. This thesis highlights the need to develop, rethink, and optimize integrated approaches in spatial planning combined with energy planning, that not only promote the use of biomass energy but also enhance the long-term resilience of ecosystems in regions. To support this goal, a tool was developed to facilitate simple and efficient assessments of measures in regions, with a focus on land use, biodiversity, and the utilization of renewable energies. There is a need for further research, especially in relation to the location-dependent growth conditions and their influence on the land consumption of biomass heating plants. Data availability is the biggest challenge here. Legal changes and EU initiatives (such as RED III) could make further research easier in the future.



## EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese vorliegende Arbeit selbst und ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Ich habe keine weiteren als die angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Alle Stellen, die sinngemäß oder wörtlich aus Veröffentlichungen übernommen wurden, sind als solches gekennzeichnet. Ich erkläre, dass alle weiteren Exemplare dieser wissenschaftlichen Arbeit mit der eingereichten Version übereinstimmen. Die Arbeit wurde von mir weder im In- noch Ausland bei einer Prüfungsbehörde vorgelegt.

Wien, am 21.10.2024



## DANKSAGUNG

Mit großer Dankbarkeit blicke ich auf die Entstehung dieser Masterarbeit zurück. Ohne die Unterstützung vieler Personen wäre dies nicht möglich gewesen.

Zunächst möchte ich mich bei Hartmut bedanken. Deine Hilfe bei der Themenfindung war ein entscheidender Schritt auf dem Weg zum Abschluss und dein wertvolles Feedback hat mir immer wieder geholfen, mein Vorhaben zu schärfen, zu verbessern und vielleicht in die ein oder andere Richtung zu lenken. Vielen Dank für deine Zeit, Geduld und Expertise.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern. Ohne eure jahrelange Unterstützung, egal ob emotional oder finanziell, wäre ich niemals an diesem Punkt angekommen. Ihr habt mir immer den Rücken gestärkt und dafür bin ich euch unendlich dankbar.

Ich möchte mich auch beim Regionalverband Lungau und der KEM-Lungau für das Feedback zu dem von mir entwickelten Tool bedanken, welches im Rahmen dieser Arbeit entstanden ist. Eure Rückmeldungen haben mir gezeigt, dass meine Arbeit auch einen praktischen Nutzen haben kann und für die Region von Bedeutung ist.

Ein großes Dankeschön gilt auch den Betreiber:innen der Biomasseheizwerke im Lungau, die mir nicht nur umfassende Informationen und Daten zur Verfügung gestellt haben, sondern mir auch durch persönliche Führungen wertvolle Einblicke in die Praxis ermöglichten. Diese Erfahrungen haben diese Arbeit sehr bereichert.

Zu guter Letzt danke ich meinen Freund:innen und meiner Familie, die mir während dieser intensiven Zeit emotionale Unterstützung gegeben haben. Die schwierigen Phasen wurden durch euren Zuspruch und eure Aufmunterungsversuche um ein Vielfaches einfacher.

Vielen Dank euch allen!

# INHALTSVERZEICHNIS

Kurzfassung.....	ii
Abstract.....	iii
Eidesstattliche Erklärung .....	v
Danksagung .....	vii
Inhaltsverzeichnis .....	viii
Abkürzungen.....	xii
<b>1 Einführung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangslage .....	1
1.2 Erkenntnisinteresse .....	1
1.3 Forschungsfragen.....	2
1.4 Methodologie .....	4
1.5 Struktur.....	5
1.6 Begriffsdefinition .....	6
<b>2 Forschungsgegenstand .....</b>	<b>13</b>
2.1 Klimakrise .....	13
2.1.1 Begriffsdefinition .....	14
2.1.2 Entwicklung.....	14
2.1.3 Treibhauseffekt .....	16
2.1.4 Biodiversität, Flächenbedarf und Biomasse .....	17
2.1.5 Energiewirtschaft.....	20
2.1.6 CO <sub>2</sub> -Österreich .....	28
2.1.7 Erreichte Ziele .....	31
2.2 Raumplanung.....	32
2.3 Rechtliche Grundlagen .....	35
2.3.1 Raumplanung.....	35
2.3.1.1 EU.....	35
2.3.1.2 Bund.....	36
2.3.1.3 Länder .....	37
2.3.2 Energieraumplanung .....	38
2.3.2.1 EU.....	38
2.3.2.2 Bund.....	39

2.3.2.3	Länder .....	40
2.3.3	Zwischenfazit.....	41
3	Instrumente.....	41
3.1	Strategien .....	42
3.1.1	Biodiversitätsstrategie Österreich .....	42
3.1.2	Bioökonomiestrategie Österreich .....	43
3.1.3	Alpenkonvention – Aktionsprogramm Grünes Wirtschaften im Alpenraum .....	44
3.1.4	Makroregionale EU-Strategie für den Alpenraum .....	45
3.1.5	Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich .....	46
3.1.6	Aktionsplan Klimawandel.....	48
3.1.7	Der europäische Grüne Deal .....	48
3.1.8	Österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie .....	49
3.1.9	Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel .....	50
3.1.10	Lokale Entwicklungsstrategie 2023-2027 Lungau .....	51
3.1.11	Zwischenfazit.....	51
3.2	ÖREK.....	53
3.2.1	Flächenverbrauch.....	53
3.2.2	Biodiversität .....	55
3.2.3	Biomasse .....	57
3.2.4	Zwischenfazit.....	58
3.3	Analyse .....	59
4	Methodik.....	66
4.1	Beispielregion.....	66
4.2	Charakteristika .....	66
4.2.1	Siedlungsstruktur .....	67
4.2.2	Geographie.....	68
4.2.3	Demographie.....	68
4.2.4	Politik.....	69
4.2.5	Wirtschaftsstruktur .....	70
4.2.6	Pendlerbeziehungen .....	70
4.2.7	Raumplanungspolitik .....	73
4.2.8	Biodiversität .....	74
4.2.9	Flächenverbrauch.....	75
4.2.10	Energieerzeugung und die Rolle von Biomasse .....	76
4.2.11	Zwischenfazit.....	80

4.3	Datengrundlage .....	81
4.4	Flächenbedarf von Biomasseheizwerken .....	81
4.5	HANPP.....	93
4.5.1	NPP <sub>pot</sub> .....	95
4.5.2	NPP <sub>act</sub> .....	97
4.5.2.1	Versiegelte Fläche .....	98
4.5.2.2	Ackerland .....	99
4.5.2.3	Grünland .....	99
4.5.2.4	Gemüse- und Obstflächen .....	99
4.5.2.5	Gartenflächen .....	100
4.5.2.6	Waldflächen .....	100
4.5.2.7	Gewässer .....	101
4.5.2.8	Urvegetation .....	101
4.5.3	HANPP <sub>harv</sub> .....	102
4.5.3.1	Versiegelte Fläche .....	102
4.5.3.2	Ackerland .....	102
4.5.3.3	Grünland .....	102
4.5.3.4	Gemüse- und Obstflächen .....	102
4.5.3.5	Gartenfläche .....	103
4.5.3.6	Waldfläche .....	103
4.5.3.7	Gewässer .....	103
4.5.3.8	Urvegetation .....	103
4.5.4	NPP <sub>eco</sub> .....	103
4.5.5	HANPP <sub>2023</sub> .....	103
4.5.6	HANPP <sub>2050</sub> .....	104
4.6	Szenarien .....	105
4.6.1	Szenario „Moderat“ .....	106
4.6.1.1	Versiegelte Flächen .....	106
4.6.1.2	Ackerland .....	107
4.6.1.3	Grünland .....	108
4.6.1.4	Gemüse- und Obstflächen .....	109
4.6.1.5	Gartenflächen .....	109
4.6.1.6	Waldflächen .....	109
4.6.1.7	Gewässer .....	110
4.6.1.8	Urvegetation .....	110
4.6.1.9	Energie .....	110
4.6.2	Szenario „Maximum“ .....	111
4.6.2.1	Versiegelte Flächen .....	111
4.6.2.2	Ackerflächen .....	112

4.6.2.3	Grünflächen.....	112
4.6.2.4	Obst- und Gemüseflächen.....	112
4.6.2.5	Gartenflächen .....	112
4.6.2.6	Waldflächen .....	112
4.6.2.7	Gewässer .....	112
4.6.2.8	Urvegetation .....	112
4.6.2.9	Energie .....	112
4.7	Freiflächen.....	113
4.7.1.1	Biodiversitätsfläche .....	113
4.7.1.2	Energiefläche.....	113
5	Ergebnisse .....	116
5.1	Hypothese 1 .....	116
5.2	Hypothese 2 .....	121
5.3	Hypothese 3 .....	125
5.4	Freiflächen.....	129
6	Diskussion .....	136
7	Conclusio.....	144
8	Literaturverzeichnis.....	150
9	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	160
10	Anhang .....	166
10.1	Bewertung der Eignung ausgewählter Instrumente .....	166
10.2	Beispielhafter Auszug aus dem Maßnahmenbewertungstool .....	177

## ABKÜRZUNGEN

°C.....	Grad Celsius	HANPP.....	Human Appropriation of Net Primary Production
a.....	Jahr	HANPP <sub>2050</sub> .....	HANPP im Jahr 2050
ANPP.....	oberirdische Nettoprimärproduktion	HANPP <sub>2050_a</sub> .....	HANPP im Jahr 2050 mit Ertragsfortschreibung
AR5 .....	Fünfter Sachstandsbericht des IPCC	HANPP <sub>harv</sub> .....	menschliche Aneignung durch die Ernte
AR6 .....	Sechster Sachstandsbericht des IPCC	HANPP <sub>harv2050</sub> .....	menschliche Aneignung durch die Ernte im Jahr 2050
BMFHW .....	Biomassefernheizwerk	HANPP <sub>harv2050_a</sub> .....	menschliche Aneignung durch die Ernte im Jahr 2050 mit Ertragsfortschreibung
B-VG .....	Bundes-Verfassungsgesetz	HANPP <sub>luc</sub> .....	menschliche Aneignung durch Landnutzungsänderungen
CBD.....	Convention on Biological Diversity	HANPP <sub>luc2050</sub> .....	menschliche Aneignung durch Landnutzungsänderungen im Jahr 2050
CH <sub>4</sub> .....	Methan	HANPP <sub>luc2050_a</sub> .....	menschliche Aneignung durch Landnutzungsänderungen im Jahr 2050 mit Ertragsfortschreibung
cm.....	Centimeter	HANPP <sub>s1</sub> .....	HANPP von Szenario „Moderat“
CO.....	Kohlenstoffmonoxid	HANPP <sub>s1harv</sub> .....	menschliche Aneignung durch die Ernte im Szenario „Moderat“
CO <sub>2</sub> .....	Kohlenstoffdioxid	HANPP <sub>s1luc</sub> .....	menschliche Aneignung durch Landnutzungsänderungen im Szenario „Moderat“
CPIA .....	China Photovoltaic Industry Association	HANPP <sub>s2</sub> .....	HANPP von Szenario „Maximum“
e.....	evennes-Index	HANPP <sub>s2harv</sub> .....	menschliche Aneignung durch die Ernte im Szenario „Maximum“
EED .....	Energieeffizienz-Richtlinie	HANPP <sub>s2luc</sub> .....	menschliche Aneignung durch Landnutzungsänderungen im Szenario „Maximum“
EEffG .....	Energieeffizienzgesetz	IPBES .....	Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services
EFRE.....	Europäischer Fonds für regionale Entwicklung		
EIWOG.....	Elektrizitätswirtschafts- und Organisationsgesetz		
ESDP .....	European Spatial Development Perspective		
EU .....	Europäische Union		
EUSALP .....	EU Strategie für den Alpenraum		
FKW .....	Fluorkohlenwasserstoffe		
FCKW .....	Fluorchlorkohlenwasserstoffe		
fm .....	Festmeter		
FM .....	Feuchtmasse		
ForstG .....	Forstgesetz		
GJ.....	Gigajoule		
GVE.....	Großvieheinheit		
GWh .....	Gigawattstunden		
GWP .....	Global Warming Potential		
H .....	Shannon-Index		
H <sub>2</sub> O .....	Wasser		
ha.....	Hektar		

IPCC.....	Intergovernmental Panel on Climate Change	OENACE.....	Österreichische Klassifikation der wirtschaftlichen Tätigkeiten
kg.....	Kilogramm	ÖREK.....	Österreichisches Raumentwicklungskonzept
km.....	Kilometer	ÖROK.....	Österreichische Raumordnungskonferenz
km <sup>2</sup> .....	Quadratkilometer	PJ.....	Petajoule
KSG.....	Klimaschutzgesetz	PKW.....	Personenkraftwagen
KUP.....	Kurzumtriebsplantagen	PM <sub>10 &amp; 2,5</sub> .....	Feinstaub
kWh.....	Kilowattstunden	PV.....	Photovoltaik
kWh <sub>el</sub> .....	Kilowattstunden (elektrisch)	qm.....	Quadratmeter
kWh <sub>th</sub> .....	Kilowattstunden (thermisch)	RED II.....	Erneuerbare-Energien-Richtlinie 2
KWK.....	Kraft-Wärme-Kopplung	RED III.....	Erneuerbare-Energien-Richtlinie 3
kWp.....	Kilowatt-Peak	REK.....	Räumliches Entwicklungskonzept
l.....	Liter	ROG.....	Raumordnungsgesetz
LEG.....	Landeselektrizitäts-gesetz	S.....	Anzahl an Arten
LES.....	Lokale Entwicklungsstrategie	SPI.....	Sustainable Process Index
m.....	Meter	srm.....	Schüttraummeter
m <sup>2</sup> .....	Quadratmeter	SUP.....	Strategische Umweltprüfung
m <sup>3</sup> .....	Kubikmeter	t.....	Tonnen
Mio.....	Millionen	TEN-E.....	Trans-European Networks for Energy
MIV.....	motorisierter Individualverkehr	TJ.....	Terajoule
MJ.....	Megajoule	TM.....	Trockenmasse
Mrd.....	Milliarden	TWh.....	Terawattstunden
MW.....	Megawatt	UNESCO.....	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
MWh.....	Megawattstunden	UNFCCC.....	United Nations Framework Convention on Climate Change
N.....	gesamter Bedeutungswert der Arten	UV.....	Ultraviolett
N <sub>2</sub> O.....	Distickstoffmonoxid	UVP.....	Umweltverträglichkeitsprüfung
NECPs.....	integrierte nationale Energie- und Klimapläne	UVP-G.....	Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz
NEKP.....	Integrierter Nationaler Energie- und Klimaplan	Vfm.....	Vorratsfestmeter
NH <sub>3</sub> .....	Ammoniak	W.....	Watt
n <sub>i</sub> .....	Bedeutungswert der Art i	WRG.....	Wasserrechtsgesetz
NMVOC.....	Flüchtige organische Verbindungen		
NO <sub>x</sub> .....	Stickoxide		
NPP.....	Nettoprimärproduktion		
NPP <sub>act</sub> .....	NPP der aktuellen Vegetation		
NPP <sub>eco</sub> .....	im Ökosystem verbleibende NPP		
NPP <sub>pot</sub> .....	NPP der hypothetischen natürlichen Vegetation		
NSchG.....	Naturschutzgesetz		

*„Etwas zu verbrennen,  
um Wärme zu gewinnen,  
ist ein nostalgischer Akt.“  
(Zeiningger 2022)*

# 1 EINFÜHRUNG

## 1.1 AUSGANGSLAGE

Die Lebensgrundlage des Menschen wird durch den Klimawandel und die zunehmende Nachfrage nach Ressourcen bedroht. In diesem Zusammenhang stellt der Boden ein unerlässliches Gut für das menschliche Dasein dar. Flächeninanspruchnahme und Flächenversiegelung entziehen fruchtbaren Böden das Potenzial zur natürlichen Nutzung für die landwirtschaftliche Produktion von verschiedenen Gütern, aber auch den Nutzen als Bestandteil des natürlichen Ökosystems. (Foldal et al. 2022) Dadurch verringern sich die verfügbaren Flächen für die Nahrungsmittelproduktion, für die Biodiversität und die Bereitstellung von Energie in Form von Biomasse. In ganz Europa nimmt die Flächenversiegelung kontinuierlich zu, wobei Österreich besonders stark betroffen ist. Besonderen Einfluss haben die unstrukturierte Siedlungsentwicklung und der Verkehrsausbau. Der Wettbewerb um die verbleibenden unversiegelten Flächen steigt immer weiter an, was den Druck auf landwirtschaftlich nutzbare Böden, als auch auf natürliche Lebens- und Erholungsräume erhöht. (ÖROK 2021, 58–59) Böden sind die Grundlage für pflanzliches Wachstum und somit nicht nur für die menschliche Ernährung, sondern auch für die energetische Nutzung in Form von Biomasse von entscheidender Bedeutung. Der wachsende Energiebedarf und die Notwendigkeit, fossile Brennstoffe durch erneuerbare Energien zu ersetzen, führen in der Zukunft zu einer verstärkten Nutzung von Biomasse als erneuerbare Energieträger. (Österreichischer Biomasse-Verband 2023b, 3) Doch je intensiver Flächen für die Biomasseproduktion genutzt werden, desto mehr geraten natürliche Ökosysteme und ihre Biodiversität unter Druck. Viele fruchtbare Böden stehen zwar unter Schutz, jedoch wird ein nicht insignifikanter Anteil davon nicht für die Nahrungsmittelproduktion

oder den Biodiversitätserhalt genutzt. Der Verlust von Biodiversität auf ausgerechnet diesen Böden und die Zunahme an Bodenversiegelung stehen dabei in einem direkten Zusammenhang mit der menschlichen Nutzung der Böden. Es droht der Verlust von Lebensräumen wie Wäldern und Feuchtgebieten, welche eine hohe Artenvielfalt aufweisen. Das Spannungsverhältnis zwischen dem Infrastrukturausbau, Anbauflächen für energetisch genutzte Biomasse, Freiflächen für Photovoltaikanlagen und Biodiversitätsflächen wird immer intensiver. Es ist erforderlich, einerseits genügend Flächen für die Energieproduktion bereitzustellen, da auf den steigenden Energiebedarf einzugehen ist und um die Reduzierung von Treibhausgasemissionen zu gewährleisten. Andererseits ist der Erhalt der Biodiversität und der Bodenschutz von entscheidender Bedeutung, um langfristig die natürliche Vegetation sicherzustellen. (Bundesamt für Naturschutz 2019) In der nahen Zukunft wird dieses Spannungsfeld wohl immer relevanter. Es müssen Lösungen entwickelt werden, die sowohl den Schutz des Bodens und die Erhaltung der Biodiversität sichern als auch den Energiebedarf abdecken. Ansätze wie die Kreislaufwirtschaft, in der nachhaltige Ressourcennutzung angestrebt wird, können dazu beitragen, den Flächenbedarf zu reduzieren und das Ökosystem zu schützen. Es gilt, geeignete Strategien zu finden, die eine Balance zwischen der energetischen Nutzung von Biomasse, dem Erhalt der Biodiversität und einem verantwortungsvollen Umgang mit Bodenflächen ermöglichen, um den vielfältigen Ansprüchen an die begrenzte Ressource Boden gerecht zu werden.

## 1.2 ERKENNTNISINTERESSE

Das Ziel dieser Arbeit liegt darin, die Zusammenhänge zwischen Biodiversität, Flächenverbrauch und Energieerzeugung durch erneuerbare Energieträger (mit dem Fokus auf Biomasse) zu erkunden sowie den Einfluss durch Klimawandelanpassungen zu

bewerten. Zu diesem Zweck erfolgt zunächst eine quantitative Analyse der Biomasseakteure in der Beispielregion Lungau. Dabei wird der Flächenbedarf von Biomasseheizwerken unter der Annahme einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft ermittelt. Als zweiter Schritt wird die HANPP-Berechnung für die Region durchgeführt, wodurch auf den Grad der Biodiversität und den Flächenbedarf verschiedener Flächennutzungen geschlossen wird. Die HANPP steht für die menschliche Aneignung der Nettoprimärproduktion und kann als Indikator für den Druck auf das Ökosystem gebraucht werden, was wiederum auf den Grad der Biodiversität schließen lässt. Anschließend werden die Erkenntnisse beider Analysen kombiniert und die Entwicklung bis 2050 mittels einer Szenarienanalyse ausgewertet. Durch den direkten Vergleich der Szenarien wird gezeigt, wie sich verschiedene Planungsinteressen auf die HANPP und die Landnutzung, sowie den Flächenbedarf von Biomasseheizwerken auswirken. Es entsteht ein ganzheitlicher Einblick in das Wirkungsgeflecht der ausgewählten Themenbereiche, unter Berücksichtigung der Folgen des Klimawandels durch Adaptions- und Mitigationsmaßnahmen. Zusätzlich soll das energetische und biodiversitätsfördernde Potenzial von Freiflächen dargestellt werden, die ohne planerische Eingriffe verloren gehen würden. Das Produkt der Arbeit versteht sich als Maßnahmenbewertungstool für die Regionalplanung. Es bietet die Möglichkeit, Auswirkungen von Planungsvorhaben auf die Biodiversität und den Flächenverbrauch zu quantifizieren und verschafft einen Überblick über den Erfüllungsgrad von klimarelevanten Vorgaben von Österreich und der EU.

### 1.3 FORSCHUNGSFRAGEN

Folgende Hypothesen wurden in der vorliegenden Arbeit diskutiert:

Der Klimaschutz und die Klimawandelanpassung verfolgen das Ziel, die globale Erwärmung zu verlangsamen und sich, so gut wie möglich, auf die Folgen der Erderwärmung vorzubereiten. Weniger intensive Eingriffe in die Natur bzw. geringe Landnutzungsänderungen, wie der Verlust von Waldflächen durch Abholzung, um andere Nutzungen auf den Flächen einzuführen, können dazu führen, dass weniger Treibhausgase ausgestoßen werden und Kohlenstoffspeicher im Ökosystem bleiben. Stabiles Klima fördert gesunde und widerstandsfähige Ökosysteme. Biodiversitätsmaßnahmen befassen sich mit dem Artenschutz und versuchen den Verlust von natürlichen Lebensräumen zu stoppen. Dadurch steigt die ökologische Vielfalt, was die menschlichen Eingriffe abschwächen soll. In solch einem biodiversen System sind die Prozesse der Biomasseproduktion weniger schädlich für das Ökosystem und führen zu einer Reduktion der HANPP, da weniger intensive Eingriffe des Menschen erfolgen. Eine geringere Versiegelung bedeutet mehr Platz für natürliche Vegetation und weniger intensive Nutzung der Naturressourcen. Der Erhalt eines natürlichen Ökosystems setzt den Verzicht oder zumindest die Reduktion von anthropogenen Eingriffen voraus, was die Aneignung der Nettoprimärproduktion der natürlichen Vegetation reduzieren sollte. Daraus ergibt sich Hypothese 1:

**„Die österreichischen Klimaschutz-, Biodiversitäts- und Flächenverbrauchsmaßnahmen wirken sich mindernd auf die HANPP aus.“**

Moderne Technologien, wie Gentechnik, effiziente Bewässerungssysteme oder der Einsatz von Hightech-Maschinen führen dazu, dass Ernten auf landwirtschaftlichen Flächen gesteigert werden oder Flächen, die früher nicht nutzbar waren, landwirtschaftlich erschlossen werden können. Die Effizienz- und Ertragssteigerung resultiert in

einer höheren Extraktion von Biomasse und weist auf eine Erhöhung des menschlichen Eingriffs in die Natur hin. Auch in der Forstwirtschaft sind durch innovative Technologien und neue Erntemethoden Ertragssteigerungen zu erwarten. Der technologische Fortschritt zielt darauf ab, die Erträge pro Hektar zu maximieren. Zwar lässt sich durch intensivere Anbaumethoden die Produktivität erhöhen, doch geschieht dies oftmals zulasten der natürlichen Vegetation. Die geerntete Biomasse wird durch den Menschen in wirtschaftlich oder energetisch nutzbare Biomassen umgewandelt, was zu einer Steigerung der HANPP führen sollte. Es ist davon auszugehen, dass durch die technologischen Fortschritte auch marginale oder schwer zu bewirtschaftende Flächen in Zukunft kultiviert werden können, was wiederum zu einer Verdrängung von naturnahen Flächen führt. Aus diesem Grund lautet Hypothese 2 wie folgt:

**„Der technologische Fortschritt resultiert in dem Gebrauch intensiver Anbau- und Erntemethoden in der Land- und Forstwirtschaft und wirkt sich steigernd auf die HANPP aus.“**

Die Nutzung von Biomasse liefert attraktive Zusatzpotenziale bei der Wärmeerzeugung, jedoch ist noch auf wenigen Planungsebenen die Mobilisierung dieser Potenziale ein fester Bestandteil, und schon gar nicht die gemeinsame Betrachtung mit der Evaluierung der Biodiversität. Dieses, bis jetzt außer Acht gelassene, Spannungsfeld in der Regionalplanung war die Motivation für diese Arbeit. Um die genannten Überschneidungen zu erforschen, wurde eine repräsentative Modellregion gewählt, welche sowohl die Nutzung von Biomasse, als auch die Bewahrung der Biodiversität in ihrer Identität

verkörpert. Der Lungau im Süden Salzburgs bietet sich dafür perfekt an. Im Kapitel 4 wird dieser genauer vorgestellt. Der Lungau ist zu mehr als 40% von Wald bedeckt. Holzartige Biomasse ist daher im Überfluss vorhanden. Es wird angenommen, dass der vorhandene Holzbestand genügend Ressourcen bietet, um den regionalen Energiebedarf theoretisch eigenständig zu decken. Aufgrund der abgelegenen Lage des Lungaus in den Ostalpen wird verstärkt auf die Kooperation mit lokalen Waldeigentümer:innen und Forstbetrieben bei der Energieproduktion in Biomasseheizwerken gesetzt. Es entsteht eine beinahe geschlossene Wertschöpfungskette, welche die energetische Nutzung von Holzabfällen in den Biomasseanlagen anstrebt, die in der Vorproduktion<sup>1</sup> in diversen Sägewerken anfallen. In dieser Betrachtung ist die Holznutzung nicht ausschließlich auf die energetische Nutzung beschränkt, sondern es wird vielmehr ein kreislaufwirtschaftlicher Ansatz gewählt. Der Flächenbedarf, der für die Fernwärmeerzeugung durch Biomasse notwendig ist, bezieht sich auf die erzeugte Energie pro genutzter Waldfläche. Dabei wird von einem nachhaltigen Holzeinschlag ausgegangen, sodass die genutzten Waldflächen sich regenerieren können, was eine langfristige und kontinuierliche Bereitstellung von holzartiger Biomasse sichert. Unter dieser Annahme wird Hypothese 3 folglich formuliert:

**„Der Ressourcen- und Flächenbedarf für Fernwärme in Form von holzartiger Biomasse wird regional abgedeckt.“**

Neben den drei Hypothesen wird geprüft, wie sich die unterschiedlichen Nutzungsvarianten von Restflächen auf die HANPP und die Energieerzeugung auswirken können. Es

<sup>1</sup> Unter Vorproduktion werden in dieser Arbeit alle Tätigkeiten verstanden, die vor der energetischen Nutzung in Biomasseheizwerken geschehen. Resultat der Vorproduktion sind in dieser Auffassung die srm Holzackschnitzel, die ausgehend von fm Stammholz, in den Biomasseheizwerken ankommen.

handelt sich somit um die Betrachtung von Potenzialverlusten, die durch „unsaubere“ Planungen und Maßnahmenumsetzungen entstehen können.

## 1.4 METHODOLOGIE

Für die Beantwortung der Hypothesen wurde zunächst der Flächenbedarf der Biomasseheizwerke im Lungau ermittelt. Die

Ergebnisse fließen in die HANPP-Analyse ein und beeinflussen sich anschließend gegenseitig. In der Abbildung 1 stellen die Pfeile den Ablauf der Erkenntnisfindung dar. Es bestehen viele Wechselwirkungen, vor allem zwischen den Ergebnissen der HANPP und des Flächenbedarfs von Biomasse. Rückkopplungseffekte werden stets in den jeweils anderen Berechnungsschritt wieder

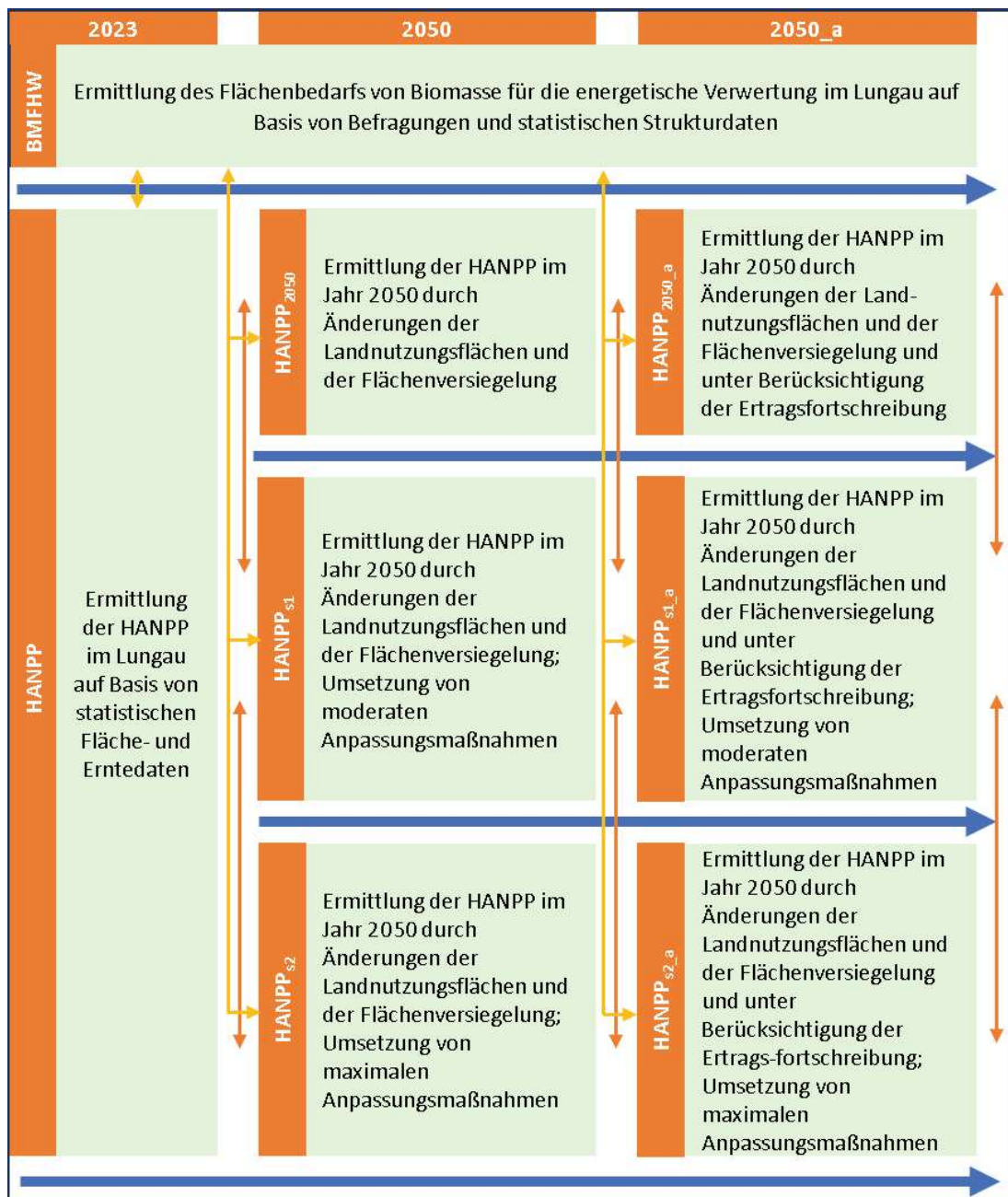


Abbildung 1: Ablauf der Erhebungs- und Berechnungsschritte (eigene Darstellung)

mitinkludiert. Die Ermittlung der HANPP findet für das Jahr 2023 und für das Jahr 2050 statt, wobei einmal mit und einmal ohne „Ertragsfortschreibung“<sup>2</sup> gerechnet wird. Dabei werden die erwarteten Landnutzungsänderungen verglichen und anschließend diskutiert. Zusätzlich wurden zwei Szenarien definiert und mittels einer Szenarienanalyse miteinander verglichen. Die Szenarien beziehen sich auf die Umsetzung von Klimaschutz- und -anpassungsmaßnahmen, sowie auf Maßnahmen und Ziele die den Schutz von Böden und Biodiversität verfolgen. Die Anpassungsparameter wurden durch eine Literaturanalyse ausgewählt. Dabei wurden diverse Strategien, Pläne und Konzepte Österreichs, der Europäischen Union und der Region Lungau auf das ausgewählte Themenspektrum untersucht. Somit wurde das Szenario „Moderat“ und das Szenario „Maximum“ definiert, die sich anhand der Intensität der Umsetzung ausgewählter Maßnahmen unterscheiden. Die Szenarien wirken sich unterschiedlich stark auf die HANPP-Berechnung, als auch durch die Koppelung mit den Biomasseheizwerken, auf den Flächenbedarf von holzartiger Biomasse aus. Die Ergebnisse wurden wieder verglichen und diskutiert. Zum Schluss ergibt sich ein Gesamtbild, welches alle Entwicklungsszenarien ganzheitlich betrachtet, und Rückschlüsse auf die Einflussfaktoren der HANPP-Änderungen gibt, als auch die Wirksamkeit von Klimawandelanpassungsmaßnahmen auf die Biodiversität, den Flächenverbrauch und die Energieerzeugung bewertet. All dies wird im Kontext der Reduktion des Flächenbedarfs von holzartiger Biomasse betrachtet, unter der Annahme einer funktionsfähigen Kreislaufwirtschaft.

## 1.5 STRUKTUR

Der Aufbau der Arbeit gliedert sich in 7 Hauptkapitel. Zunächst wird das Forschungsvorhaben vorgestellt, gefolgt von einer theoretischen Einführung in die Klimakrise und den Rahmenbedingungen der Raumplanung und Energieraumplanung (Kapitel 2). Danach werden die wichtigsten Instrumente betrachtet, die für die Klimawandelanpassung und den Klimaschutz zur Anwendung kommen. Dazu kommt ein Einblick in das ÖREK 2030 und die Bestimmungen zum Thema Biodiversität, Flächeninanspruchnahme und der Nutzung von Biomasse. Die Pläne, Programme und Konzepte werden anschließend analysiert und auf die wichtigsten Parameter zusammengefasst und in das Maßnahmenbewertungstool integriert (Kapitel 3). Im nachfolgenden Kapitel wird die Modellregion Lungau beschrieben, welche im Rahmen der Arbeit analysiert wird. Anschließend wird die Methodik der Ermittlung des Flächenbedarfs von Biomasse dargestellt und die Analyse von zwei konkreten Biomasseheizwerken vollzogen. Sofern nicht anders benannt sind Energieangaben in dieser Diplomarbeit immer auf das Kalenderjahr bezogen gemeint. Anschließend erfolgt die weitere Darstellung der Methodik der HANPP-Analyse des Lungaus. Zusätzlich werden die Szenarien beschrieben und wie sie die Berechnung der HANPP bei der Szenarienanalyse beeinflussen. Abschließend wird erklärt, wie mit Restflächen bzw. Freiflächen umgegangen wird, die im Rahmen der HANPP-Analyse entstehen. Im Kapitel 5 werden die Ergebnisse des Kapitels 4 beschrieben und dargestellt. In diesem Kapitel werden die drei Hypothesen geprüft, als auch das Potenzial der Restflächen genauer betrachtet. Im Kapitel 6 werden die

---

<sup>2</sup> fortlaufende Dokumentation von Veränderungen der Erträge durch Zugänge und Abgänge auf der Grundlage einer früher erfolgten Erhebung

Erkenntnisse der Ergebnisse diskutiert und in die Nutzung der HANPP in der Raumplanung hinterfragt, als auch die Potenziale des Maßnahmenbewertungstools als Endprodukt der Arbeit bewertet. Zudem wird über den Ablauf der Arbeit und die angewendeten Methoden reflektiert. Abgeschlossen wird die Arbeit mit der Conclusio im Kapitel 7.

## 1.6 BEGRIFFSDEFINITION

Seit dem Beginn der Menschheitsgeschichte sind Mensch und Tier den Naturgesetzen ausgesetzt. Gebäude verrotten, Gebirge werden abgetragen, Gletscher schmelzen, Lebewesen sterben. Ohne geordnete

Eingriffe des Menschen tendiert alles zur Gleichförmigkeit. Dies besagt das Gesetz der Zunahme der Entropie in geschlossenen Systemen. Daraus resultiert, dass das Leben auf der Erde langfristig überhaupt nicht möglich wäre, käme es nicht zu verschiedenen Energiezuflüssen von außen durch die Solarstrahlung als Primärenergiequelle. (Löschel et al. 2020, 1)

*"Menschliche Energienutzungen in Form von Nahrung für das eigene Leben und Einsatz von Energie für technische Systeme (Maschinen, Fahrzeuge, usw.) sind nur ein geringer Bruchteil der natürlichen Energieumsätze, die ständig im Bereich der Erde, ihrer Atmosphäre und auf der Erdoberfläche*

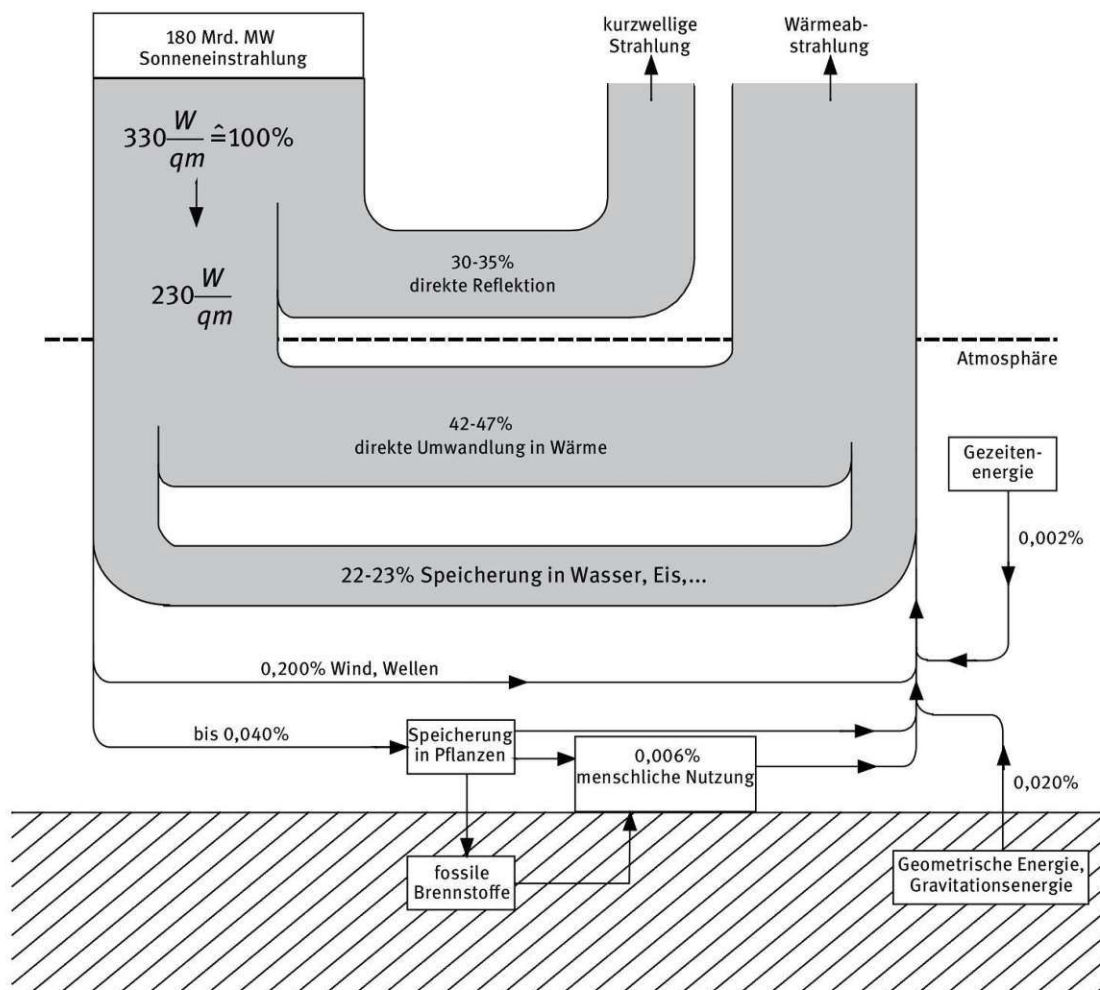


Abbildung 2: Natürliche und anthropogene Energieumsätze auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre (Löschel et al. 2020, 3)

registriert werden können." (Löschel et al. 2020, 2)

Rund ein Drittel der 180 Mrd. MW Sonneneinstrahlung wird vor dem Auftreffen auf die Erde reflektiert. Dies wird als Albedo bezeichnet. Der Rest wandelt sich in Wärmeenergie um. Mit einer Verzögerung wird die Wärme wieder in das Weltall zurückgestrahlt. (Löschel et al. 2020, 2) Dies kann in Abbildung 2 betrachtet werden.

Etwa 0,2% der Sonneneinstrahlung wird in Wind- und Wellenenergie umgewandelt (ca. 350 Mio. MW) und etwa 0,04% wird in Form von chemischer Energie mittels Photosynthese in Pflanzen gespeichert (ca. 75 Mio. MW). Der zivilisatorische Energieumsatz der Menschheit beläuft sich auf rund 10 Mrd. Tonnen Rohöleinheiten. Dies entspricht etwa 0,0075% der ständigen Sonneneinstrahlung bei 8.760 Jahresstunden bei einer durchschnittlichen Leistung von 13,7 Mio. MW. (Löschel et al. 2020, 2) *"Der biologische Energiebedarf für die Menschen beträgt bei der derzeitigen Erdbevölkerung rund 0,8–0,9 Mio. MW, die durch Nahrungsmittel, d. h. letztlich aus Photosynthese gedeckt werden müssen."* (Löschel et al. 2020, 2) Die Energiemenge für die Nahrungsmittelproduktion durch die Landwirtschaft lässt sich nicht decken. Für die direkte und indirekte Nahrungsmittelproduktion muss weit aus mehr Energie zur Verfügung gestellt werden. Dies liegt an den geringen Wirkungsgraden der Erzeugung von großen Mengen tierischen Eiweißes für den Fleischkonsum. Um den Energiegehalt eines Rindersteaks zu erhalten, muss ein Vielfaches der Energie durch die Fütterung von Pflanzen zur Verfügung gestellt werden. (Löschel et al. 2020, 3) *"Die Erdoberfläche ist somit unter Energieaspekten kein geschlossenes System, sondern weist eine Energiezufuhr von Sonne und in geringerem Ausmaß Erdwärme und umgewandelter Gravitationsenergie auf. Diese Energiezufuhr würde die*

*Erde immer wärmer werden lassen, wenn sie sich nicht mehr in einer Balance mit Wärmeabstrahlung ins kalte Weltall befindet."* (Löschel et al. 2020, 3)

"Energie" als Begriff kann unterschiedlich verwendet werden. In dieser Arbeit ist darunter die Fähigkeit des Leistens von Arbeit in einer bestimmten Zeit zu verstehen. Darunter versteht man chemische Umwandlungen (wie Schmelzen etc.), mechanische Arbeit wie beim Heben einer Masse, den Transport von Masse in endlicher Zeit von einem Ort zum anderen oder die Bereitstellung von warmem Wasser im Haushalt durch die Veränderung von Temperaturen. (Löschel et al. 2020, 4)

*"Unter einem Energieträger [...] wird ein Stoff verstanden, aus dem direkt oder durch eine oder mehrere Umwandlungen Nutzenergie gewonnen werden kann. Energieträger können nach dem Grad der Umwandlung unterteilt werden in Primär- und Sekundärenergieträger sowie Endenergieträger. Der jeweilige Energieinhalt dieser Energieträger ist die Primärenergie, die Sekundärenergie und die Endenergie."* (Kaltschmitt et al. 2009, 8)

In Abbildung 3 wird der Energieumwandlungsprozess der Energietypen dargestellt. Energieformen, die noch keinen Umwandlungsprozess erfahren haben, werden als Primärenergien bezeichnet (z. B. Rohsteinkohle, Roherdöl, Windkraft, etc.). (Kaltschmitt et al. 2009, 8) Werden Primärenergieträger mittels technischer Anlagen umgewandelt, so nennt man das Resultat Sekundärenergieträger. Auch die erneute Umwandlung von Sekundärenergieträgern wird als Sekundärenergieträger bezeichnet (z. B. Benzin, Heizöl, elektrische Energie, etc.). Bei Umwandlungsprozessen kommt es zu Umwandlungs- und Verteilungsverlusten. (Kaltschmitt et al. 2009, 8) Endenergieträger sind Energieformen, die

vom Endverbraucher bezogen werden. Sie sind das Resultat aus Primär- oder Sekundärenergieträgern, vermindert durch etwaige Verluste durch Umwandlung und Verteilung, Eigenverbrauch und nicht-energetischen Verbrauch. Für die Umwandlung in Nutzenergie werden Endenergieträger verwendet. (Kaltschmitt et al. 2009, 8–9) Nach der letzten Umwandlung in Geräten des Verbrauchers wird die Endenergie zur Nutzenergie. Es wird abgezielt auf die Befriedigung der jeweiligen Bedürfnisse (z. B. Heizen, Kochen, Beförderung, etc.). (Kaltschmitt et al. 2009, 9) Die Energiebasis bezeichnet die der Menschheit grundsätzlich zur Verfügung stehende Energie. Sie besteht aus Energievorräten und Energiequellen. (Kaltschmitt et al. 2016, 11)

- "Fossile Vorräte sind Energievorräte, die in geologisch vergangenen Zeiten durch biologische und/oder geologische bzw. geophysikalische Prozesse gebildet wurden. Dabei wird unterschieden zwischen fossil

biogenen und fossil mineralischen Energievorräten; erstere Energievorräte sind biologischen und letztere mineralischen Ursprungs. Zu den ersteren zählen u. a. die Kohle-, die Erdgas- und die Erdöllagerstätten und zu den letzteren u. a. die Energieinhalte der Uranlagerstätten und die Vorräte an Kernfusionsausgangsstoffen." (Kaltschmitt et al. 2016, 11)

- "Rezente Vorräte sind Energievorräte, die in gegenwärtigen Zeiten durch biologische und/oder geologische bzw. geophysikalische sowie sonstige natürlich ablaufende Prozesse (d. h. ohne Möglichkeit der signifikanten Einflussnahme durch den Menschen) gebildet werden. Hierzu gehören z. B. der Energieinhalt der Biomasse oder die potenzielle Energie des Wassers eines Sees." (Kaltschmitt et al. 2016, 11)

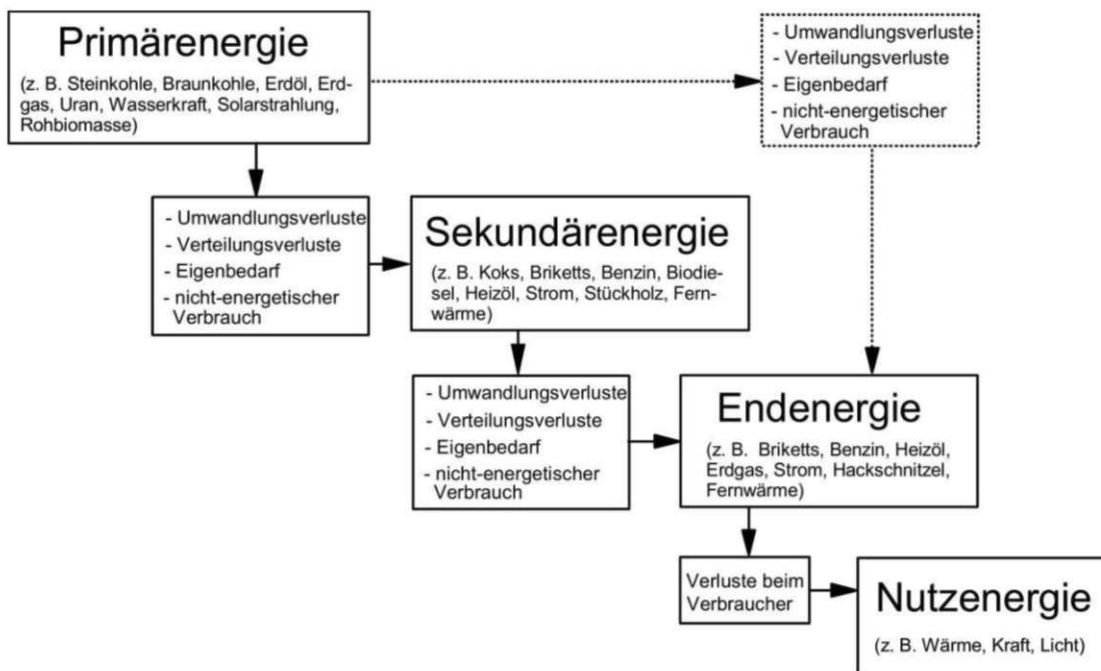


Abbildung 3: Energiewandlungskette (Kaltschmitt et al. 2009, 8)

Energiequellen liefern Energieströme. Diese sind immer endlich, jedoch in menschlichen Dimensionen betrachtet quasi unerschöpflich. Durch einen vom Menschen nicht beeinflussbaren Prozess werden diese Energieflüsse gebildet (z. B. durch Sonneneinstrahlung). Als erneuerbare Energien werden jene Primärenergien bezeichnet, deren Energiequelle, aus menschlicher Sicht, unerschöpflich ist. Dabei handelt es sich um die Einstrahlung der Sonne, welche viele weitere erneuerbare Energien erst ermöglicht (Windenergie, Wasserkraft, Biomasse). Dazu gehören auch die geothermische Energie und die Gezeitenergie. Abfälle aus der Nutzung von erneuerbaren Energien sind ebenfalls als erneuerbar einzustufen. Zusätzlich ist zu unterscheiden, ob es sich um Primär- oder Sekundärenergie handelt. Regenerative Energien sind ausschließlich Primärenergieträger. Durch die Umwandlung von Holz in Hackgut geht die Regenerativität verloren, da eine Weiterverarbeitung notwendig ist. Ohne eine Energieumwandlungsanlage verlieren Sekundärenergieträger den erneuerbaren Charakter. Umgangssprachlich wird trotzdem häufig von erneuerbaren Energien gesprochen, auch wenn Sekundärenergieträger verwendet werden. (Kaltschmitt et al. 2016, 11–12)

Die Möglichkeit der Nutzung von Energieträgern wird wesentlich von den vorhandenen Potenzialen bestimmt. Diese sind abhängig von der betrachteten Biomassefraktion, der Potenzialdefinition, der räumlichen Ebene, dem Zeitpunkt, der Datenerhebung und der Methodik. (Thrän und Diana 2021, 46)

Je nach Betrachtungsebene werden die Potenziale unterschiedlich definiert. Unterschieden wird zwischen Flächen-, Rohstoff-, Brennstoff- und Bioenergiepotenzial. Die verschiedenen Nutzungspfade der entsprechenden Potenzialbegriffe sind in Abbildung 4 ersichtlich. Die zur Verfügung stehenden

Flächen für eine bestimmte Biomasse werden durch das Flächenpotenzial beschrieben. Daraus kann mit Hilfe von Ertragsdaten auf die Menge an Biomasse geschlossen werden, die als Rohstoff nutzbar ist. Reststoffe können dabei Rohstoffpotenzial ohne Flächenrelevanz darstellen. Für die energetische Nutzung bestimmte Biomassen weisen große Unterschiede bezüglich der Substrateigenschaften auf, was in unterschiedlichen Konversionspfaden resultiert. Das bedeutet, es gibt Differenzen zwischen den Aufbereitungsschritten von verschiedenen Biomassen. Holzartige Biomassen benötigen minimale Aufbereitungen, bis sie energetisch genutzt werden können. Biogas kann hingegen erst nach einer Konversion genutzt werden. Das Produkt der Aufbereitungen beschreibt das Bioenergiepotenzial. Je nachdem, wie der Stoff im Energiesystem genutzt werden soll (Strom, Wärme, Kraftstoff) bezeichnet das Bioenergiepotenzial den Anteil der Endenergie, der nach Konversion in einzelnen Nutzungspfaden bereitgestellt wird. (Thrän und Diana 2021, 47)

Weitere Unterscheidungen sind bei den Bioenergiepotenzialen möglich. Hierbei wird zwischen theoretischen, technischen, wirtschaftlichen, erschließbaren und nachhaltig nutzbaren Potenzialen unterschieden. Die Beziehung der Potenzialarten bzw. deren Überschneidungen wird in der Abbildung 5 dargestellt.

- Theoretisches Potenzial: Das theoretische Potenzial beschreibt das in einer ausgewiesenen Fläche innerhalb eines fixierten Zeitraums theoretisch nutzbare Energieangebot (z.B. in der Pflanzenmasse gespeicherte Energie). Bestimmt wird das Potenzial durch die physikalischen Nutzungsgrenzen. Es stellt den Maximalwert der möglichen Energiebereitstellung dar. Dieses Maximum

kann in der Realität niemals ausgeschöpft werden, aufgrund von unüberwindbaren technischen, ökologischen, ökonomischen, sozialen, strukturellen und administrativen Barrieren. In der Praxis wird dem theoretischen Potenzial keine

Relevanz zugewiesen. (Kaltschmitt et al. 2016, 12)

- Technisches Potenzial: Nach dem Abziehen von technischen Restriktionen vom theoretischen Potenzial erhält man das technische Potenzial. Auch andere Ausschlusskriterien werden berücksichtigt.

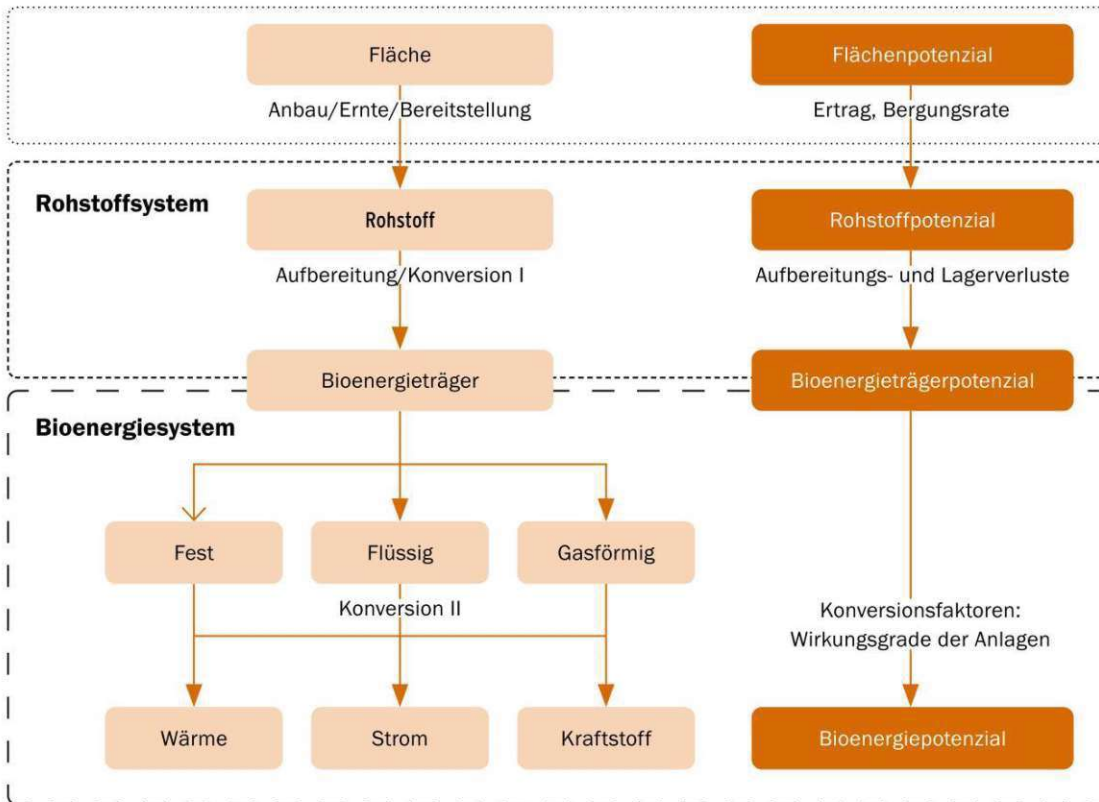


Abbildung 4: Darstellung der verschiedenen Ebenen des Nutzungspfades und der entsprechenden Potenzialbegriffe. (Thrän und Diana 2021, 48)

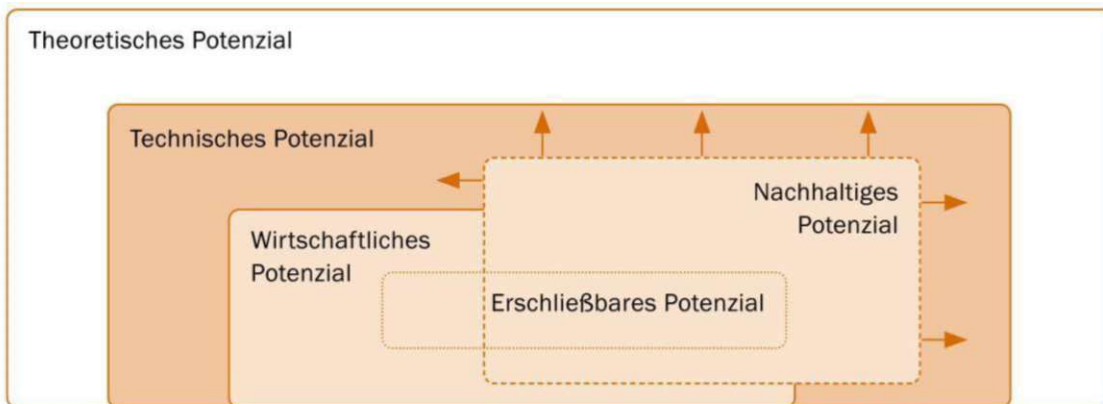


Abbildung 5: Schematische Darstellung der verschiedenen Potenzialarten und ihrer Beziehung untereinander (Thrän und Diana 2021, 49)

Dazu gehören strukturelle und gesetzliche Begrenzungen, als auch gesellschaftliche Restriktionen. Das technische Biomassepotenzial beschreibt also den Beitrag der Biomasse, welcher aus primär technischer Sicht möglich ist. Das Potenzial ist immer zeit- und ortsgebunden. Im Vergleich zum wirtschaftlichen Potenzial ist es deutlich geringeren zeitlichen Schwankungen unterworfen. Häufig wird daher nur das technische Potenzial erhoben und ausgewiesen. (Kaltschmitt et al. 2016, 12–13)

- **Wirtschaftliches Potenzial:** Durch die Berücksichtigung wirtschaftlicher Kriterien beim technischen Potenzial ergibt sich das wirtschaftliche Potenzial. Dabei wird sich auf den zeit- und ortsabhängigen Anteil bezogen. Es wird zwischen volkswirtschaftlicher und betriebswirtschaftlicher Sicht unterschieden. Durch die verschiedenen Definitionen von Wirtschaftlichkeit ergeben sich noch zahlreiche weitere Potenziale, die jeweils einen anderen Fokus legen. Aufgrund von bestimmten Kenngrößen, die die Wirtschaftlichkeit signifikant beeinflussen und kurzfristig stark verändern können, findet das wirtschaftliche Potenzial wenig Beachtung. (Kaltschmitt et al. 2016, 13)
- **Erschließbares Potenzial:** Das wirtschaftliche Potenzial kann nur innerhalb eines langen Zeitraumes erschlossen werden. Das erschließbare Potenzial nähert sich dem wirtschaftlichen Potenzial im Verlauf der Zeit an, ist aber stets kleiner als das wirtschaftliche Potenzial. (Kaltschmitt et al. 2016, 13)
- **Nachhaltiges (nutzbares) Potenzial:** Das nachhaltige Potenzial wird aus dem technischen Potenzial abgeleitet. Es kommt dabei zur Betrachtung von Nachhaltigkeitsrestriktionen, wie Klimaschutz, Natur- und Bodenschutz. Aufgrund der unterschiedlichen Nachhaltigkeitskriterien der jeweiligen Flächenstandorte kommt es zu massiven Variationen. Hinzu kommt, dass Nachhaltigkeitskriterien oft unscharf definiert sind. (Kaltschmitt et al. 2016, 13–14)

Neben den Begriffen aus der Energieerzeugung gilt es auch den Begriff der Biodiversität zu erläutern. Die Definition von Harper und Hawksworth wurde im Jahr 1995 bei der Convention on Biological Diversity wie folgt gewählt: „*the ecological complexes of which they are part; this includes diversity within species, between species and of ecosystems.*“ (Janisch und Gutmann 2001, 4) In dieser Definition werden Gegenstandsbeschreibungen, wie das Ökosystem, schon vorausgesetzt. Solbrig gibt eine eher allgemeine Bestimmung ab: Biodiversität wird dabei als die Eigenschaft von Gruppen verstanden nicht einheitlich zu sein. Das bedeutet, dass jede Klasse von Entitäten mehr als nur einen Typen enthält. Die Diversität wird dabei als wesentliche Eigenschaft eines jeden biologischen Systems verstanden. Aufgrund der hierarchischen Strukturierung biologischer Systeme, wird auch die Diversität hierarchisch betrachtet. Biodiversität ist eine Funktion von Raum und Zeit, die sich auf verschiedene Zeiträume und Betrachtungsräume beziehen kann. (Solbrig 1993, 17) Die Messung von Biodiversität ist komplex und nicht einheitlich definiert. Es gibt verschiedene Modelle, die jeweils andere Ansprüche und Vorgehensweisen haben. Solbrig schlägt die Messung der Biodiversität mittels drei Parameter vor. Alpha-

Diversität bezeichnet die Diversität an unterschiedlichen Arten in einem ausgewählten Habitat, Beta-Diversität beschreibt die Reichhaltigkeit von Nachbarschaften und die Gamma-Diversität gibt die Summe der Alpha- und Beta-Diversität an, was für Ökiodiversität stehen soll. (Barthlott 1996) Der Begriff der Biodiversität wird sowohl auf holistischer, als auch auf reduktivistischer Ebene verwendet. Besonders im „landscape ecosystem“ findet sich der holistische Ansatz wieder, welcher aber nicht auf „niedrigere“ Ebenen übertragbar ist. *„The entire landscape ecosystem is however very complicated and complex and can only be understood when we regard it on a regional level and take into account related biological, cultural and geoscientific aspects. Landscape ecosystems are thus ecosystems, and most current definitions fit landscape ecosystems well. However, they hold a special ranking within the scale hierarchy of ecosystems. They range in size from about a dozen square meters to sections of an entire continent. Accordingly, spatial dimension is a particular consideration. The attributed landscape underscores its link with the structural, functional and historical [...] peculiarities which are specific to a locality [...].”* (Leser und Nagel 2001, 131) Reduktive Forschungsansätze befassen sich eher mit der grundlegenden Ebene der biologischen Organisation und der Genetik. Aus der Reduktion von Biodiversität wird die zentrale Stellung des Artbegriffs angenommen. Erwin beschreibt die Biodiversität demnach als *„[...] species richness, that is the number of species, plus the richness of activity each species undergoes during its existence through events in the life of its members, plus the no phenotypic expression of its genome.”* (Erwin 1991, 20) Durch die Operationalisierung von Diversität entsteht ein Arten-Index. Eine Art wird dabei als „lebende Einheit“ verstanden. Was bei diesen Definitionen der Biodiversität auffällt ist,

dass immer die Biodiversität als Ressource gesehen wird, mit einem „genetischen Potenzial“. Was mit den Ressourcen gemacht wird, oder wie diese dem Menschen dienen können, hängt von der jeweiligen Betrachtungsweise ab. Bei der Messung der Biodiversität ist die Bestimmung der Artenanzahl und -zusammensetzung mit Problemen verbunden. Als Indizes für die Diversitätsbestimmung wird beispielsweise der Index für den Artenreichtum nach Odum angewandt. (Odum 1983, 228) Bei diesem Index wird die Anzahl der Arten, die in einer Gemeinschaft vorkommen, gezählt. Der Artenreichtum ist damit einfach zu bestimmen, sagt jedoch nicht viel über die Häufigkeit der jeweiligen Arten aus. Je mehr Arten zu finden sind, desto höher ist der Artenreichtum. Ein geeigneterer Index ist der „Shannon-Index“. Er wird mit der folgenden Formel berechnet:

$$H = - \sum \left( \frac{n_i}{N} \right) \log \left( \frac{n_i}{N} \right)$$

Dabei steht  $n_i$  für die Anzahl an Individuen der Art  $i$  und  $N$  steht für die Gesamtpopulation. Je größer  $H$ , desto größer die Diversität. (Odum 1983, 69) Wenn der Shannon-Index durch den natürlichen Logarithmus der Anzahl an Arten  $S$  geteilt wird, erhält man den „eveness-Index“:

$$e = \frac{H}{\log S}$$

Das Ergebnis liegt meist zwischen 0 und 1. Je näher  $e$  an 1 liegt, desto gleicher sind die Arten der Stichprobe verteilt. Das bedeutet, dass die Häufigkeiten der Arten im Vergleich zueinander bemessen wird. (Odum 1983, 235) Indizes wie der „Dominanz-Index“ beziehen sich direkt auf biologische Gegenstände. Bei diesem Index stellt  $n_i$  den Bedeutungswert für jede Art dar. Er kann sich auf die Anzahl an Individuen, Biomasse, etc. beziehen.  $N$  versteht sich als gesamten Bedeutungswert. Bei solchen Indizes ist die

Gegenstands- und Begriffsbestimmung im Vorhinein notwendig. Problem dabei ist, dass die tatsächliche Klärungsarbeit nicht bemessen werden kann. (Janisch und Gutmann 2001, 10) Unabhängig davon, ob es gelingt, formale „Diversitäts-Indizes“ bereitzustellen, ist die Verwendung der Indizes immer im Kontext der Fragestellung entscheidend. Unabhängig davon, ob es gelingt, formale „Diversitäts-Indizes“ bereitzustellen, ist die Verwendung der Indizes immer im Kontext der Fragestellung entscheidend. (Janisch und Gutmann 2001, 11) Der Versuch, Grundlagen für die Parametrisierung von Diversität zu formulieren, lässt sich durch grundlegende Reduktionsbasen oder Natureigenschaften nicht befriedigend durchführen. Besonders beim Vergleich von Lebewesen miteinander entstehen Probleme, wie deren Leistungsfähigkeit miteinander verglichen werden soll. Noch schwieriger wird dies beim Vergleich von Pflanzen und Tieren. (Janisch und Gutmann 2001, 13) Angesichts dieser themenübergreifenden Arbeit, indem neben der Biodiversität auch Aspekte der Energieerzeugung und des Flächenverbrauchs debattiert werden, erscheint die Nutzung eines herkömmlichen Indikators zur Identifikation des Grades der Biodiversität unbrauchbar. Deshalb wird im Rahmen dieser Arbeit die HANPP als Vergleichsindikator verwendet, da somit eine integrierte Betrachtung des komplexen Themenspektrums ermöglicht wird. Zu erwähnen ist jedoch, dass die HANPP (Human Appropriation of Net Primary Production) nicht explizit mit der Biodiversität gleichzusetzen ist. Jedoch kann durch die Betrachtung der HANPP auf den Einfluss auf die Biodiversität geschlossen werden. Ein hoher Wert weist auf eine hohe menschliche Aneignung des Ökosystems hin, während ein niedriger Wert ein naturnahes Ökosystem hinweist. (Haberl et al. 2007, 275–278) Diese Integration der Biodiversität findet in

der Arbeit ihren Einfluss. Hierzu gilt es noch den Sustainable Process Index (SPI) zu erwähnen und weist durchaus Ähnlichkeiten zur HANPP auf. (Doble und Kruthiventi 2007, 21-22) Er stellt eine Art ökologischen Fußabdruck dar, der ebenfalls die menschliche Aktivität misst, bei welcher Ressourcen verbraucht und Schadstoffe in die Natur abgegeben werden. Bei diesem Index wird, ähnlich wie bei der HANPP, der direkte Flächenverbrauch von Ressourcen berechnet, sowie die Flächen für die Langzeitspeicherung von fossilem Kohlenstoff, die Flächen für erneuerbare und nicht erneuerbare Rohstoffe, als auch die Flächen für die Aufnahme von Emissionen in die Luft, Wasser und Boden, die für die Herstellung von Produkten und Dienstleistungen benötigt werden. (Strateco) Die HANPP wird aufgrund der gewählten Fokussierung auf Biomasse in dieser Arbeit bevorzugt da die Analyse der Vegetation auf unterschiedlichen Flächennutzungstypen im Vordergrund steht und diese nicht explizit beim Sustainable Process Index berücksichtigt werden. Zudem wird bei der Verwendung der HANPP auf regionale Gegebenheiten, wie Höhenlage und Art der natürlichen Vegetation, Rücksicht genommen, was sich durch die alpinen Besonderheiten der Modellregion besonders bewährt.

## 2 FORSCHUNGSGEGENSTAND

### 2.1 KLIMAKRISE

Der Klimawandel ist immer mehr in der medialen Berichterstattung vertreten. Oft wird er in den Zusammenhang gebracht mit Katastrophen wie das Hochwasser im September 2024 in Niederösterreich. Der Klimawandel stellt das größte globale Problem der Menschheit dar. In der heutigen Zeit erscheint es vielmehr sinnvoll, nicht mehr

ausschließlich vom "Klimawandel" zu sprechen, sondern stattdessen Begriffe wie "Klimakrise" oder "Klimakatastrophe" zu verwenden. Die Wissenschaft sieht den Einfluss des Menschen zu 99% als gegeben an, wobei nur ein kleiner Anteil von „Experten“ den menschlichen Einfluss bezweifelt. Die Bedeutung der Klimakrise wird im folgenden Kapitel kurz näher betrachtet.

### 2.1.1 BEGRIFFSDEFINITION

Der Begriff „Klimakrise“ oder „Klimawandel“ setzt sich aus dem Wort „Klima“ und dem Wort „Krise“ bzw. „Wandel“ zusammen. Klima stammt vom griechischen Wort „klíma“ ab, das ursprünglich „Neigung“ oder „Gegend“ bedeutet. In diesem Zusammenhang bezieht es sich auf die geographische Lage und die dort herrschenden klimatischen Bedingungen. Das Wort „Wandel“ ist ein altes deutsches Wort für „Veränderung“. Zusammengesetzt bezeichnet „Klimawandel“ somit die Veränderung oder den Übergang des Klimas. „Krise“ stammt ebenfalls vom griechischen Wort „krísis“ und bedeutet so viel wie „Entscheidung“, „Wendepunkt“ oder „kritischer Moment“. Im Deutschen wird damit eine schwierige oder gefährliche Situation, die dringende Maßnahmen oder Entscheidungen erfordert, verstanden. Folglich bezeichnet die „Klimakrise“ eine ernstzunehmende, kritische Situation im Hinblick auf das Klima, das sofortiges Handeln notwendig macht. Der Begriff wird in den letzten Jahren vermehrt verwendet, um auf die Dringlichkeit und die potenziell katastrophalen Auswirkungen des menschengemachten Klimawandels hinzuweisen. Durch das Framing eines akuten Problems soll Bewusstsein geschaffen werden, unmittelbare und umfassende

Maßnahmen zu entwickeln, um der Klimakatastrophe entgegenzuwirken.

### 2.1.2 ENTWICKLUNG

Das Klima der Erde ist einem ständigen Wechsel unterzogen. Für menschliche Verhältnisse sind diese Prozesse äußerst lange. In der jüngeren Erdgeschichte traten etwa alle 100.000 Jahre Eiszeiten, gefolgt von kürzeren Wärmeperioden auf. Derzeit befinden wir uns im Holozän, welches vor etwa 11.700 Jahren begann. Der Übergang von Warmzeiten zu Eiszeiten kann durch natürliche Phänomene erklärt werden, wie etwa die Veränderungen in der Sonnenaktivität, Modifikationen der Erdbahn, vulkanische Aktivitäten, Schwankungen der Meeresströmungen sowie die Verschiebung von Kontinentalplatten. Diese Impulsträger sind kumulativ, heißt also, dass durch Überlagerungen schnelle Klimaänderungen möglich waren. Die Klimaänderungen heutzutage sind deshalb außergewöhnlich, da erstmals Lebewesen der Erde einen abrupten Klimawandel verursachen. (Quaschnig 2018, 43) Seit der letzten Eiszeit sind die Temperaturen um 3,5°C gestiegen, wodurch die Eismassen geschmolzen sind und den Meeresspiegel um 120 Meter ansteigen haben lassen. Seit etwa 7.000 Jahren blieben die Klimabedingungen der Erde konstant. Kleine Temperaturveränderungen haben große globale Auswirkungen zur Folge. Die letzten 100 Jahre wurde ein Anstieg von etwa 1°C verzeichnet, und dieser Anstieg wird weiterhin beschleunigt. (Quaschnig 2018, 44) In Abbildung 6 werden der Temperaturanstieg und die Auswirkungen auf den Meeresspiegel der letzten 22.000 Jahre dargestellt.

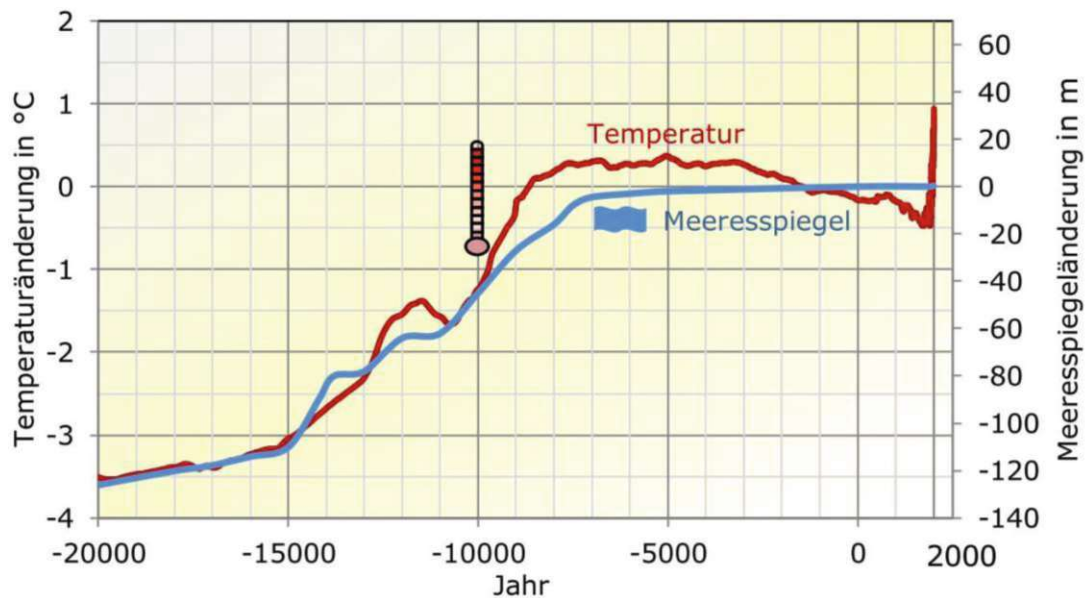


Abbildung 6: Temperatur- und Meeresspiegeländerung seit 20.000 BC bis 2016 (Quaschnig 2018, 44)

Quaschnig listet beispielhaft folgende beobachteten Klimaveränderungen auf:

- Die globale Oberflächentemperatur lag im Jahr 2016 bereits  $0,94^{\circ}\text{C}$  über dem Mittel von 1951 bis 1980.
- Die 2000er-Jahre waren die wärmste Dekade seit Beginn der Temperaturmessungen.
- Die Temperaturzunahme der letzten 50 Jahre ist doppelt so hoch wie die der letzten 100 Jahre. Die Erwärmung der Arktis erfolgte mehr als doppelt so schnell.
- Die Temperaturen der letzten 50 Jahre waren höher als jemals zuvor in den vergangenen 1.300 Jahren.
- Weltweit schrumpfen die Gletscher sowie die Eisschilde auf Grönland und der Antarktis. Die Alpengletscher haben zwischen 1850 und 2010 bereits zwei Drittel ihres Volumens verloren.
- Die sommerliche arktische Meereisbedeckung ist von 7,5 Millionen Quadratkilometern im Jahr 1982 auf 3,5 Millionen Quadratkilometer im Jahr 2012 zurückgegangen.
- Der Meeresspiegel ist seit 1993 durchschnittlich um  $3,1\text{ mm}$  pro Jahr gestiegen, im 20. Jahrhundert insgesamt um  $17\text{ cm}$ . Mehr als die Hälfte geht auf die thermische Ausdehnung der Meere zurück, etwa 25 Prozent auf Abschmelzen der Gebirgsgletscher und etwa 15 Prozent auf das Abschmelzen der arktischen Eisschilde.
- Die Häufigkeit von heftigen Niederschlägen hat zugenommen.
- Häufigkeit und Intensität von Dürren sind seit den 1970er-Jahren gestiegen.
- Die Häufigkeit von Temperaturextremen hat zugenommen.
- Die Intensität tropischer Wirbelstürme ist seit den 1970er-Jahren stärker geworden.

Durch den globalen Anstieg der Temperaturen nehmen Wetterextreme zu. Es entstehen heftige Stürme, starke Regenfälle, Hochwasser und Überschwemmungen. Bereits jetzt sind klimabedingte Extremwetterereignisse die Hauptursache für Vertreibung. Im Jahr 2016 mussten etwa

26,4 Mio. Menschen weltweit fliehen. Zwischen 2008 und 2023 waren es insgesamt 402 Mio. Menschen. (iDMC 2024)

### 2.1.3 TREIBHAUSEFFEKT

Der Treibhauseffekt beeinflusst die Temperatur auf der Erde. Es kommt zur Absorption von kurzweiliger Sonneneinstrahlung auf der Erdoberfläche, welche teilweise als langwellige Wärmestrahlung wieder reflektiert wird. Treibhausgase in der Atmosphäre fangen bei diesem Prozess einen Teil der Strahlung auf und werden anschließend an die Umgebung abgegeben und zur Erde zurückgeworfen. Dadurch kommt es zur Temperaturerhöhung. Treibhausgase sind neben den zuvor erwähnten Faktoren die Haupttreiber für das Klima heutzutage. Unsere Atmosphäre ermöglicht das Leben auf der Erde, indem UV-Strahlung der Sonne abgeschwächt wird. In der Atmosphäre sind die bedeutendsten Treibhausgase  $H_2O$  (Wasserdampf),  $CO_2$  (Kohlendioxid),  $CH_4$  (Methan) und  $N_2O$  (Lachgas). (myclimate Österreich 2023) Die Konzentration der Treibhausgase hat in den letzten 100 Jahren stark zugenommen. Die Industrialisierung hat bewirkt, dass das menschliche Handeln immer mehr Einfluss auf die Konzentration der Gase in der Luft hat. Seit 1750 wird ein Anstieg von 47% von  $CO_2$ , von 156% von  $CH_4$  und von 23% von  $N_2O$  verzeichnet. (IPCC 2023, 42) Der Anstieg von Kohlenstoffdioxid resultiert hauptsächlich aus der Nutzung von fossilen Energieträgern. Bei der Oxidation wird Wärme freigesetzt und als Abfallprodukt entsteht  $CO_2$  in enormen Mengen. Im Jahr 2016 wurden etwa 30 Mio. Tonnen freigesetzt. (Quaschnig 2018, 51–52) Nicht zu unterschätzen ist der  $CO_2$ -Ausstoß durch Flächenverbrauch und Landnutzungsänderungen, sowie Forstwirtschaft. Dieser beläuft sich auf etwa 5 Mio. Tonnen pro Jahr. (IPCC 2023, 43) Der anthropogene Klimawandel ist das Resultat von der steigenden Energienutzung, Landnutzung und -

veränderung, sowie die Änderung der Lebensstile der Menschen als auch das Konsum- und Produktionsverhalten. Die 10% der Haushalte mit den höchsten Pro-Kopf-Emissionen tragen 34–45% zu den globalen, auf Konsum basierenden Haushaltstreibhausgasemissionen bei, während die mittleren 40% der Haushalte etwa 40–53% beitragen und die unteren 50% der Haushalte nur etwa 13–15%. Ein zunehmender Anteil der Emissionen kann städtischen Gebieten zugeschrieben werden (ein Anstieg von etwa 62% auf 67–72% des globalen Anteils zwischen 2015 und 2020). Die Ursachen für städtische Treibhausgasemissionen sind komplex und umfassen Bevölkerungsgröße, Einkommen, den Grad der Urbanisierung und die urbane Siedlungsstruktur. (IPCC 2023, 44) Neben Kohlenstoffdioxid sind Gase wie Methan und fluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW und FCKW), sowie Ozon und Distickstoffoxid nicht zu unterschätzen. Sie haben zwar nur eine geringe Konzentration in der Erdatmosphäre, weisen aber ein höheres Treibhauspotenzial auf. Methan wirkt sich beispielsweise 21-mal so stark auf die Atmosphäre aus als Kohlendioxid. Methan entsteht beim Abbau fossiler Energieträger als auch in der Landwirtschaft. Die Viehzucht, sowie die Verrottung von Biomasse und der Reisanbau lassen Methan entstehen. Demnach ist das menschliche Konsumverhalten ebenfalls ein Treiber des Klimawandels. (Quaschnig 2018, 56) Die restlichen Treibhausgase entstehen vor allem durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern im Straßen- und Luftverkehr. Die Wissenschaft ist an dem Punkt angekommen, dass sie die verschiedenen Einflüsse der einzelnen Treibhausgase gut verstanden hat. Die Kombination aus dem Anstieg der Treibhausgase und dem Anstieg der Sonnenaktivität kann durch abkühlende Effekte wie andere von Menschen verursachte Aerosole wie Staub und Qualm und die damit verbundene

Wolkenbildung nicht ausreichend ausgeglichen werden. Auch das Ozonloch oder Landnutzungsänderungen verursachen einen kühlenden Effekt, wirkt sich in Summe aber nur leicht abschwächend auf die Erwärmung aus. Die Zunahme von Treibhausgasen und eine Abnahme von Aerosolen durch verbesserte Luftreinhaltung kann die Erwärmung in den nächsten Jahrzehnten sogar noch deutlich steigern. (Quaschnig 2018, 58)

#### 2.1.4 BIODIVERSITÄT, FLÄCHENBEDARF UND BIOMASSE

Ein entscheidender Bereich, der stark vom Klimawandel beeinflusst wird, ist die Biodiversität. Die Artenvielfalt wird gefährdet durch kleinste klimatische Änderungen wie die Temperatur, der Niederschlag und Wetterextreme. Gleichzeitig beeinflusst der Klimawandel auch den Flächenbedarf und die Nutzung von Biomasse, was wiederum verschiedene Rückkopplungseffekte auf die Umwelt mit sich bringt. Dieses Kapitel gibt einen Überblick über den komplexen Zusammenhang zwischen dem Klimawandel, der Biodiversität, dem Flächenbedarf und der Biomassenutzung.

Der Weltbiodiversitätsrat warnt davor, dass sich der Zustand der Ökosysteme rasant verschlechtert, wodurch unsere natürlichen Lebensgrundlagen gefährdet sind. Die Basis für unsere Wirtschaft, Ernährungssicherheit, Gesundheit und Lebensqualität sind gesunde Ökosysteme. Sie reinigen Luft und Wasser, dienen dem Wasserrückhalt und der Bodenbildung. Der Verlust von Artenvielfalt ist auf Landnutzungsveränderungen, Ressourcenextraktionen, Klimawandel und Schadstoffauswirkungen zurückzuführen. (IPBES 2019, 10–12) Durch den Klimawandel ändert sich das Zusammenleben von Pflanzen und Tieren enorm schnell. Die Anpassung ist für die Flora und Fauna nicht schnell genug möglich. Besonders sind

Lebensräume betroffen, die keine Korridore zum Wandern haben. Mit der fortschreitenden Erwärmung verkleinern sich die Lebensräume. Bei Pflanzen ändern sich die Wachstumsphasen, es kommt zur früheren Blüte. In der Tierwelt ist der Einfluss auf Zugvögel besonders deutlich erkennbar. Sie kommen früher aus ihren Winterquartieren zurück, beginnen früher zu brüten und bleiben länger in den Brutgebieten. Der Rhythmus zwischen den Arten gerät zunehmend durcheinander. Gleiches gilt für Räuber-Beute-Beziehungen oder Blütenbestäubungen durch Insekten. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022c, 9–10) Mit dem Temperaturanstieg von 1,5°C, was eine "erfolgreich" absolvierte Klimawandelanpassung bedeuten würde, ist mit einem Verlust von der Hälfte der Populationen von 6% der Insektenarten, 8% der Pflanzenarten und 4% der Wirbeltierarten zu rechnen. Bei einem Temperaturanstieg von 2°C verdoppeln sich die Populationsverluste. (IPCC 2023, 46) Die EU-Kommission betont, dass der Klimawandel und der Verlust der biologischen Vielfalt zusammen angegangen werden müssen. Der Schutz und die Wiederherstellung von Ökosystemen tragen dazu bei, die negativen Folgen des Klimawandels zu bewältigen und gleichzeitig die Biodiversität zu fördern. Naturbasierte Ansätze zur Klimaanpassung helfen, Lebensräume zu erhalten und geschädigte Ökosysteme wiederherzustellen. Diese Lösungen sind kosteneffizient und erhöhen die Widerstandsfähigkeit gegenüber Klimafolgen, vorausgesetzt, sie kommen der biologischen Vielfalt zugute und erhalten Ökosystemleistungen. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022c, 13) In der zweiwöchigen Konferenz der Convention on Biological Diversity (CBD) hat man sich auf 4 Ziele geeinigt. Ziel 1 zielt darauf ab, bis 2050 die Flächen der natürlichen

Ökosysteme zu vergrößern, die Ausrottung von bedrohten Arten zu stoppen und genetische Vielfalt der Arten zu bewahren. Ziel 2 möchte bis 2050 die nachhaltige Nutzung und Wertschätzung von Ökosystemdienstleistungen stärken, um die Entwicklung für zukünftige Generationen zu schützen. Ziel 3 fokussiert sich auf die faire Verteilung von Wissen über die monetäre und nicht-monetäre Nutzung von Ökosystemen. Ziel 4 sieht vor, das Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework umzusetzen, wofür finanzielle Ressourcen sowie wissenschaftliche Zusammenarbeit bereitgestellt werden sollen, und Finanzströme weltweit für die Umsetzung von Biodiversitätsmaßnahmen zu ermöglichen. (CBD 2022)

In Bezug auf die Ernährungssicherheit steht vor allem die Flächeninanspruchnahme im Fokus. Böden versorgen die Gesellschaft mit wichtigen Gütern, die das Zusammenleben der Menschen ermöglicht. Zum einen wird auf Böden die Lebens- und Futtermittelproduktion geregelt. Andererseits werden Baustoffe und erneuerbare Energieträger auf den Flächen bereitgestellt. Nicht zu vergessen ist die Funktion als Kohlenstoff- und Wasserspeicher. Dadurch werden unter anderem Pflanzen mit wichtigen Nährstoffen versorgt, die wiederum einen Beitrag bei der Regulierung der Treibhausgase leisten. Auch kulturelle und ästhetische Leistungen werden Böden zugeschrieben. Gerade im Kontext der Klimawandelanpassung kommt dem Boden ein hoher Grad der Wichtigkeit zu. Er stellt den wichtigsten Kohlenstoffspeicher dar. Durch Bebauung geht die Funktion der CO<sub>2</sub>-Speicherung verloren. Der Klimawandel wird voraussichtlich die Ertragsfähigkeit der Böden maßgeblich reduzieren. Insbesondere in bereits trockenen Regionen wird dies erwartet. Durch die Versiegelung gehen alle klima- und umweltrelevanten Bodenfunktionen verloren. Er dient dann ausschließlich der Trägerfunktion. Um

erfolgreich die Klimakrise zu meistern, müssen möglichst viele unbebaute Böden vorhanden bleiben. (Foldal et al. 2022)

Die Rolle von Biomasse im Diskurs des Klimawandels ist umstritten. Aufgrund dessen, dass durch das Biomassewachstum der Atmosphäre CO<sub>2</sub> entzogen und durch die Verbrennung für die Energiegewinnung wieder freigesetzt wird, wird Biomasse als "klimaneutraler" Energieträger angesehen. Bei der Betrachtung des Gesamtsystems ist das jedoch ein unvollständiges Bild. Die alternative Nutzung von Biomasse und deren Emissionen sind zu berücksichtigen. Biomasse hat einen Einfluss auf die Atmosphäre durch die Veränderung der Kohlenstoffspeicherung in Pools durch lebende Biomasse, Totholz, Boden und Holzprodukte. Hinzu kommen Veränderungen fossiler Emissionen bei der Herstellung von alternativen Nicht-Biomasseprodukten in Form von Substitutionseffekten. (Hennenberg und Böttcher 2023, 6) Die Biomasseproduktion ist auf verfügbare Flächen angewiesen, insbesondere in der Land- und Forstwirtschaft. Anbauverfahren beeinflussen die Kohlenstoffspeicher, da bewirtschaftete Flächen, wie Ackerland, nicht zu Wäldern heranwachsen können und somit die CO<sub>2</sub>-Bindung verhindern. Ähnliche Effekte zeigen sich auch in der Waldbewirtschaftung. Bei der Nutzung von Rest- und Abfallstoffen müssen Nutzungskonflikte und deren Auswirkungen auf Treibhausgasemissionen berücksichtigt werden, um Bioenergie umfassend zu bewerten. (Hennenberg und Böttcher 2023, 7) Die Nutzung von Biomasse in der Land- und Forstwirtschaft stellt als begrenzenden Faktor die Verfügbarkeit von Flächen dar, als auch die Nachfrage nach Biomasse. Aus der Sicht des Klimaschutzes müsste die Nutzung von Biokraftstoffen und Biogas reduziert werden und stattdessen andere alternative Energiequellen etabliert werden, wie PV-

Freiflächenanlagen oder die Aufforstung. Gleichzeitig wird die Verringerung von Produkten aus Tierhaltung empfohlen, da somit ebenfalls die Verringerung der benötigten Flächen erfolgt. Bei politischen Entscheidungen wäre es hilfreich, die Wechselwirkungen der Biomassenutzungen mit natürlichen Senken zu bewerten und diesbezügliche Steuerungsmaßnahmen zu entwickeln. (Hennenberg und Böttcher 2023, 22) Häufig wird davon ausgegangen, dass die Holzernte keine Auswirkungen auf die

CO<sub>2</sub>-Speicherfähigkeit des Waldes hat und somit klimaneutral ist. Das ist jedoch nicht ganz richtig, da durch einen weniger bewirtschafteten Wald mehr Kohlenstoff gespeichert werden kann. Wenn durch die Holzentnahme Kompensationsflächen, in Form von Aufforstung, etabliert werden, welche sogar durch die Wahl der Baumarten tendenziell höhere Kohlenstoffspeicher je Hektar aufweisen, können diese nicht zeitnah, sondern erst in Jahrzehnten die getätigte Entnahme kompensieren.

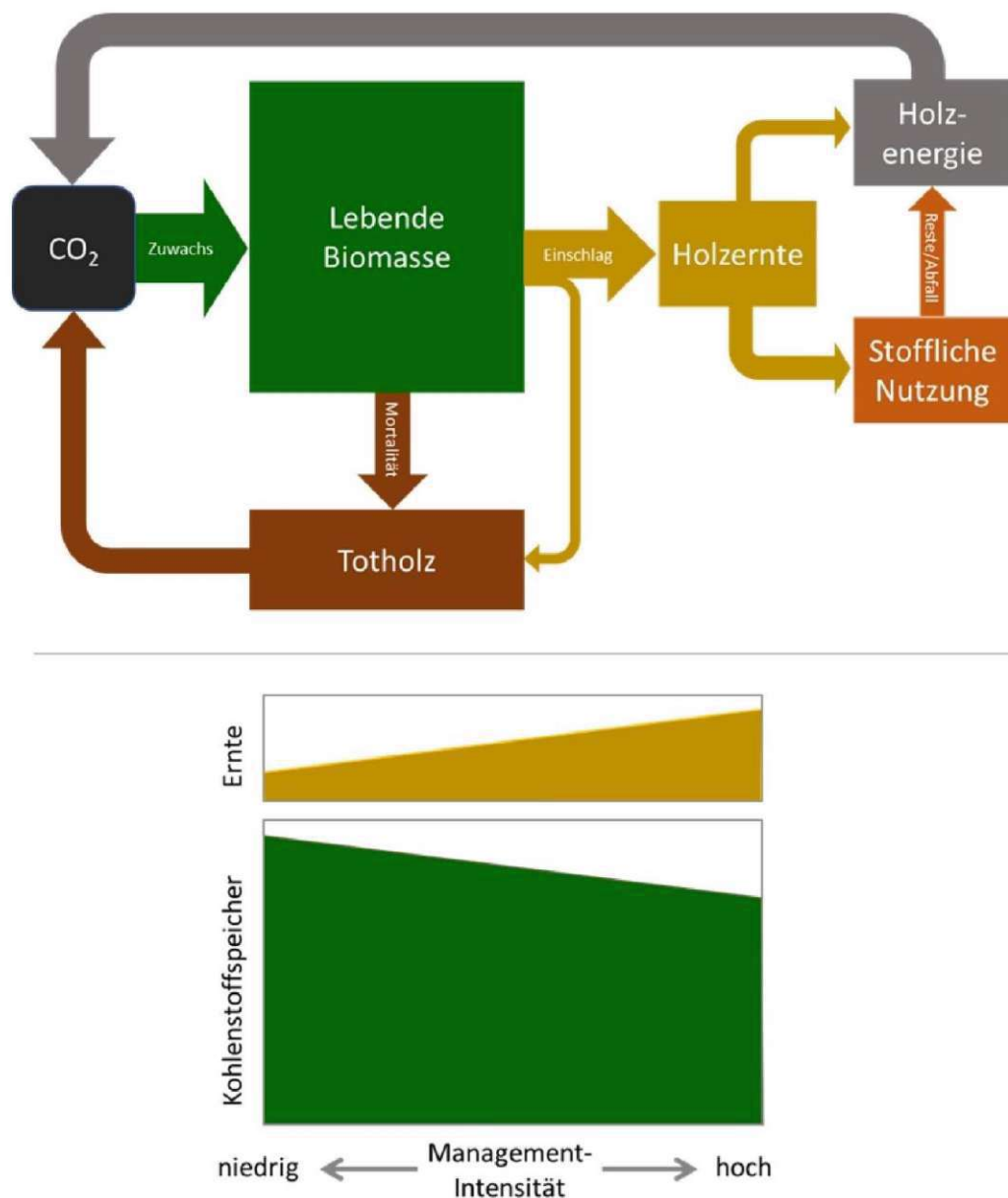


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Zusammenhänge zwischen Waldentwicklung und Holznutzung (Hennenberg und Böttcher 2023, 24)

Die CO<sub>2</sub>-Speicherleistung sinkt also. Dieses Zusammenspiel wird CO<sub>2</sub>-Speichersaldo genannt. Der CO<sub>2</sub>-Speichersaldo gibt an, wie stark die mögliche CO<sub>2</sub>-Speicherleistung des Waldes durch die Entnahme von einem Kubikmeter Holz verringert wird. Er wird angegeben in Tonnen CO<sub>2</sub> je Holzentnahme in Kubikmetern. (Hennenberg und Böttcher 2023, 23) Abbildung 7 zeigt die CO<sub>2</sub>-Speicherung durch Biomasse. Für die energetische Nutzung von Hackschnitzel würde sich, wenn die Veränderungen der Senkleistung von Waldflächen mitbetrachtet wird, sogar eine Verschlechterung für das Klima ergeben, was sogar die Klimaschädlichkeit von fossilen Energieträgern überbietet. (Hennenberg und Böttcher 2023, 28) Nichtsdestotrotz ist Biomasse wichtig für die Dekarbonisierung, da sie fossile Brennstoffe und Baumaterialien ersetzen kann. Allerdings führt eine erhöhte Biomassenachfrage zu Landnutzungsänderungen und könnte Ökosysteme schädigen. Die Kohlenstoffentfernung setzt auf verstärkte CO<sub>2</sub>-Senken in Wäldern, was die Verfügbarkeit von Biomasse als fossilen Ersatz beeinflusst. Politische Ziele fordern einen Fokus auf Biodiversität und naturbasierte Lösungen, was die Biomasseproduktion einschränkt. Zudem kann eine funktionierende Kreislaufwirtschaft die Nachfrage nach primärer Biomasse reduzieren. Dies zeigt die Herausforderungen bei der Biomassenutzung im Kontext des europäischen „Grünen Deals“. Maßnahmen zur Zielerreichung von einem Ziel können andere Ziele negativ beeinflussen. (Kowalczywska 2024)

### 2.1.5 ENERGIEWIRTSCHAFT

Der Energieverbrauch in Österreich wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst, darunter fallen wirtschaftliche Aktivitäten, Bevölkerungswachstum, politische Maßnahmen und technologische Fortschritte. Im letzten Jahrzehnt wurden Fortschritte bei der Verbesserung der Energieeffizienz

erzielt, was zu einem Rückgang des Energieverbrauchs pro Kopf geführt hat. Dies ist teilweise auf Maßnahmen zur Förderung von energieeffizienten Haushalten, Industrien und Verkehr zurückzuführen. Das Wachstum des Anteils an erneuerbaren Energien im österreichischen Energiemix trägt dazu bei, den Anteil an fossilen Brennstoffen zu reduzieren. Trotz des Ausbaus der erneuerbaren Energien ist Österreich in hohen Maßen von Energieimporten abhängig. Die Diversifizierung der Energiequellen und die Stärkung der heimischen Produktion sind daher wichtige Ziele für die Energiepolitik des Landes. Zur Steigerung der Energieeffizienz wurden verschiedene Programme und Initiativen in allen Sektoren implementiert. Maßnahmen wie Gebäudesanierungen, effiziente Industrieprozesse, Förderungen für nachhaltige Mobilität und die Verbesserung des öffentlichen Verkehrs gehören beispielsweise dazu. Im Diagramm 8 ist zu sehen, wie sich der Bruttoinlandsverbrauch und der energetische Endverbrauch in den letzten 50 Jahren entwickelt hat. Beim Bruttoinlandsverbrauch ist ein Wachstum von 70% und beim energetischen Endverbrauch ein Wachstum von beinahe 90% festzustellen. Der energetische Endverbrauch bezieht sich auf die tatsächliche Nutzung von Energie durch Haushalte, Industrie, Gewerbe und Verkehr. Der Bruttoinlandsverbrauch gibt den Gesamtverbrauch aller Energieträger in einem Land an und umfasst den Energieverbrauch für Endnutzung sowie den Verlust bei der Energieumwandlung und -übertragung.

In den Jahren 2008 und 2020 kam es zu Einbrüchen des Energieverbrauchs, welche auf zwei unterschiedliche Krisen zurückzuführen sind. Zum einen die Weltwirtschaftskrise im Jahr 2008 und zum anderen die COVID19 Pandemie im Jahr 2020. Speziell im Transportsektor ist eine massive Reduktion in der Abbildung 9 ersichtlich. In allen

Sektoren, bis auf den Landwirtschaftssektor, ist ein Wachstum des energetischen Endverbrauches in den letzten 50 Jahren von 60 bis 200% festzustellen. Der höchste Anstieg findet im Transportsektor statt. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde das Auto zum Motor des sogenannten Wirtschaftswunders. Förderungen für Pendler:innen, der Straßennetzausbau und die autofreundliche Stadtplanung waren Rahmenbedingungen, um die Verbreitung des PKWs zu begünstigen. Das Auto gilt nach wie vor als Statussymbol und als Vehikel des sozialen Aufstiegs. (WinFuture 2022) Die Anzahl an

PKWs ist seit 1990 um 70% von etwa 3 Mio. auf etwa 5,2 Mio. gestiegen. (Statistik Austria 2024)

Der energetische Endverbrauch im Jahr 2022 wird dominiert vom Transport- und Industriesektor, dicht gefolgt von den privaten Haushalten. Im Vergleich zum Vorjahr kam es zu einer Gesamtreduktion von über 5%. Insgesamt wurden 61 PJ weniger verbraucht als im Jahr zuvor. Ausschließlich im Industriesektor ist ein minimaler Anstieg von 1% zu betrachten.

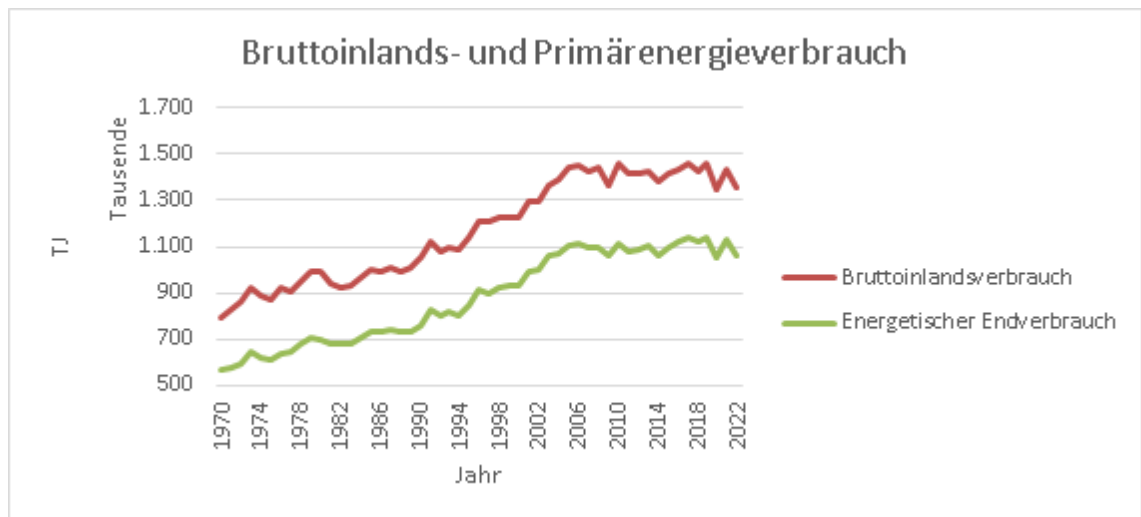


Abbildung 8: Entwicklung des Bruttoinlandsverbrauchs und des energetischen Endverbrauchs in TJ von 1970 bis 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung)

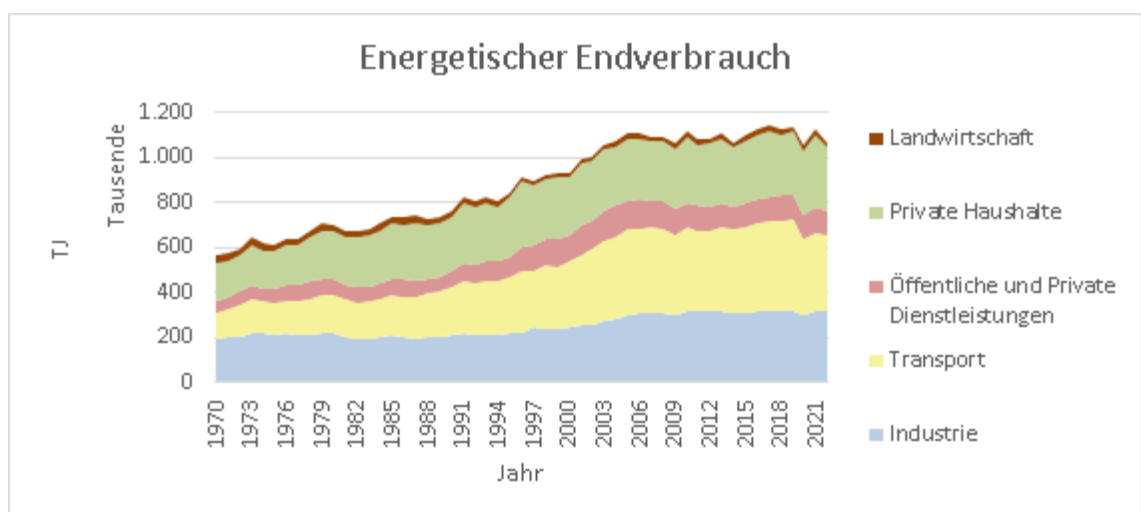


Abbildung 9: Entwicklung des energetischen Endverbrauchs nach Sektoren in TJ von 1970 bis 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung)

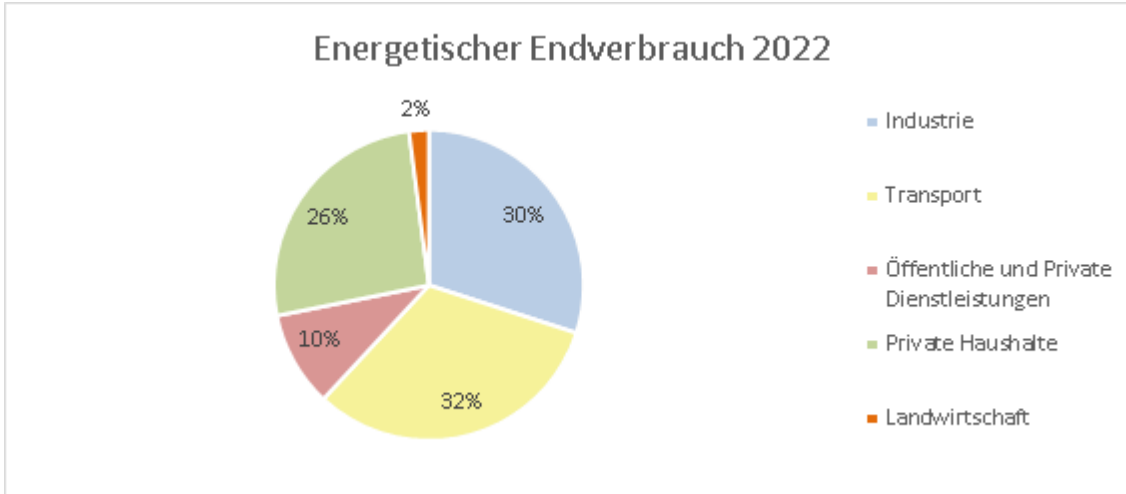


Abbildung 10: energetischer Endverbrauch im Jahr 2022 nach Sektoren (Statistik Austria, eigene Darstellung)

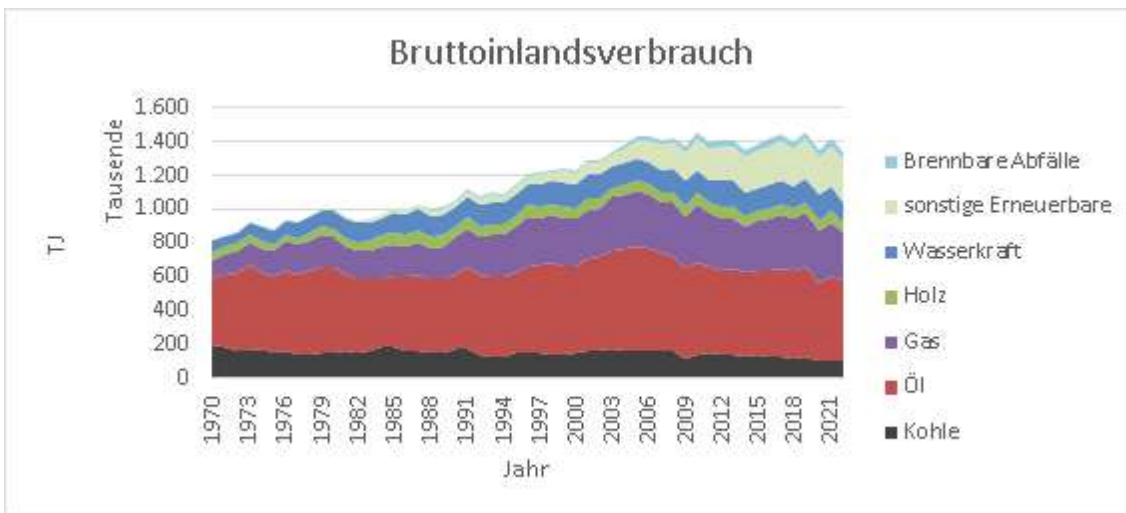


Abbildung 11: Entwicklung des Bruttoinlandsverbrauchs nach Energieträger in Tj von 1970 bis 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung)

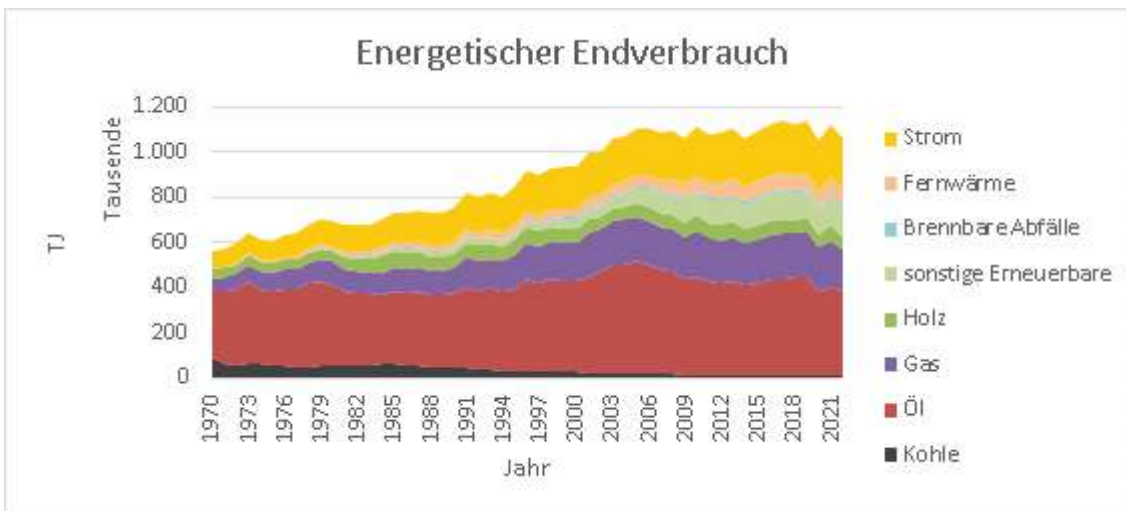


Abbildung 12: Entwicklung des energetischen Endverbrauchs nach Energieträgern in Tj von 1970 bis 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung)

Private Haushalte verzeichnen mit beinahe 15%, also etwa 49 PJ, den höchsten Rückgang des Energieverbrauchs. Grund dafür war die Energiekrise als Resultat des Angriffskrieges Russlands gegen die Ukraine. Wegen der enormen Energiekosten wurde weniger Energie verbraucht. Insgesamt beträgt der energetische Endverbrauch 1.065 PJ im Jahr 2022. Die Entwicklung des Bruttoinlandverbrauchs zeigt ein starkes Wachstum zwischen 1970 und 2004. Besonders der Anteil der erneuerbaren Energien hat sich in den letzten 20 Jahren vervielfacht. Der Verbrauch bleibt jedoch seither in etwa gleich. Grund dafür ist die Verschiebung des Verbrauchs. Durch den Anstieg der erneuerbaren Energien kommt es zum Rückgang von Kohle und Öl. Während der COVID19 Pandemie wurde 15% weniger Energie durch Kohle und Wasserkraft verbraucht. Der Verbrauch von brennbaren Abfällen und anderen erneuerbaren Energien stieg um etwa 8%.

Ähnliche Trends lassen sich beim energetischen Endverbrauch feststellen. Es fällt auf, dass der energetische Endverbrauch der Kohle fast komplett entfällt. Der Energieträger mit dem größten Anteil ist weiterhin das Öl, was zum Großteil auf den Transportsektor zurückzuführen ist. Der energetische Endverbrauch der erneuerbaren Energien hat sich in den letzten 30 Jahren vervierfacht. Auch die Fernwärme und brennbare Abfälle haben sich mehr als verdoppelt. Der energetische Endverbrauch der erneuerbaren Energien hat sich in den letzten 30 Jahren vervierfacht. Auch die Fernwärme und brennbare Abfälle haben sich mehr als verdoppelt. Der Einbruch des energetischen Verbrauchs beim Öl im Jahr 2020 lässt sich ebenfalls durch die COVID19 Pandemie begründen. Durch die „Coronamaßnahmen“ wurden Transportmittel weniger benutzt und somit weniger Energie verbraucht.

Der energetische Endverbrauch von Haushalten in Österreich ist ein wichtiger Teil des Gesamtenergieverbrauchs des Landes und umfasst den Verbrauch von Energie für Heizung, Warmwasser, Kochen und andere Zwecke in Privathaushalten. Zum Einsatz kommen Erdgas, Heizöl, Fernwärme, Strom und erneuerbare Energien wie Holzpellets oder Solarenergie. Insgesamt wurden in den Jahren 2021/22 ca. 313 PJ an Energie verbraucht. Erdgas und Heizöl waren traditionell wichtige Brennstoffe für die Raumwärme, während der Einsatz von erneuerbaren Energien wie Holz und Solarthermie in den letzten Jahren zugenommen hat. In Abbildung 13 wird dies deutlich. Interessant ist der Vergleich der Energienutzung für die Erhitzung von Wasser und für das Kochen, welche in den Abbildungen 14 und 15 ersichtlich ist. Mit Abstand am meisten Energie wird für die Raumwärme benötigt, wobei Holz als Energieträger mit 82 PJ hierbei den größten Anteil annimmt.

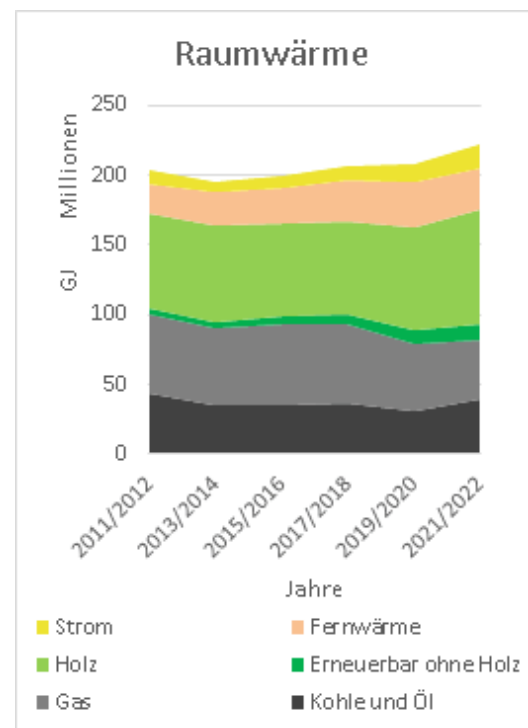


Abbildung 13: Entwicklung des Endenergieverbrauchs durch Raumwärme in GJ von 2011 bis 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung)

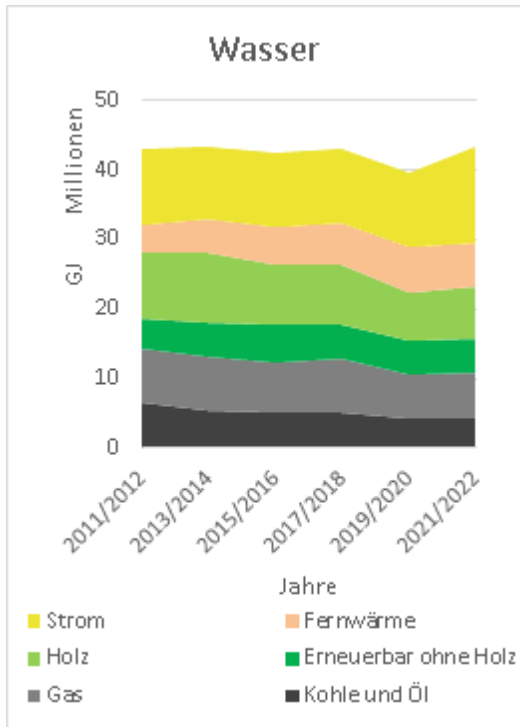


Abbildung 14: Entwicklung des Endenergieverbrauchs durch Warmwasser in GJ von 2011 bis 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung)

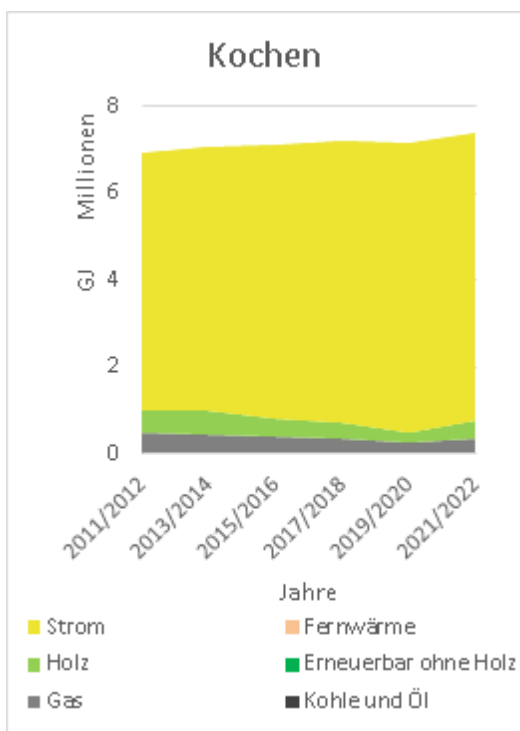


Abbildung 15: Entwicklung des Endenergieverbrauchs durch Kochen in GJ von 2011 bis 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung)

Für Warmwasser wird die elektrische Energie immer wichtiger. 13 PJ an Strom wird dafür im Jahr 2021/22 verwendet. Beim Kochen wird heutzutage fast ausschließlich elektrische Energie verwendet. 90% des Energieeinsatzes wird durch Strom beigesteuert. 4 PJ bzw. 13% des energetischen Endverbrauchs von Haushalten werden durch sonstige elektronische Geräte verbraucht. Die inländische Energieerzeugung in Österreich stützt sich auf eine Vielzahl von Energiequellen, wobei erneuerbare Energien mittlerweile den Hauptbestandteil darstellen. Österreich verfügt über beträchtliche Wasserkraftressourcen, die einen Großteil der inländischen Stromerzeugung ausmachen. Die Energieproduktion findet sowohl durch Laufkraftwerke bei Flüssen wie die Donau und die Drau als auch durch (Pump-)Speicherkraftwerke bei zahlreichen Bergseen statt. Besonders für die Versorgungssicherheit spielen Wasserkraftwerke eine große Rolle. Wasserkraft als Ressource gilt in Österreich seit den 90er-Jahren als beinahe komplett ausgenutzt. Es ist mit einer jährlichen Energieproduktion von etwa 120 bis 160 PJ zu rechnen. Es kommt zu Schwankungen aufgrund der sich jährlich bzw. täglich ändernden Energienachfrage. In Abbildung 16 ist der hohe Anstieg an Biomassen erkennbar. Diese enthalten unter anderem auch Pellets und ähnliche Energieträger. In den letzten 30 Jahren hat sich die Produktion von Biomassen verfünffacht. Auch die Verwertung von brennbaren Abfällen hat sich seit den 90ern fast verdreifacht. Durch den Ausbau der Windkraftwerke und Photovoltaikanlagen hat sich deren Energieproduktion in den letzten 10 Jahren vervierfacht. Bei der Betrachtung der fossilen Energieträger ist ein starker Rückgang feststellbar. Kohle wird seit 2005 überhaupt nicht mehr gefördert. Auch die Öl- und Gasproduktion ist seit 1970 um jeweils 81 und 67% geschrumpft.

Im Jahr 2022 waren Biomassen und Wasserkraft die größten Inlandsenergieerzeuger. 188 PJ wurden durch die Nutzung von Biomassen erzeugt. Weitere 52 PJ sind durch die energetische Verwertung von Rohholz zusätzlich erzeugt worden. Wasserkraft ist mit 125 PJ an zweiter Stelle. Etwa 40 PJ konnten durch Windenergie und Photovoltaik erzeugt werden. Der Anteil an fossilen Energieträgern beträgt etwa 8% mit einer Leistung von 44 PJ. Insgesamt wurden im Jahr 2022 in Österreich 508 PJ an Energie erzeugt.

Aufgrund der niedrigen Förderungszahlen von Gas und Öl ist Österreich stark importabhängig. Österreich importiert und exportiert Energie in verschiedenen Formen, wobei die Dynamik durch die Energiepolitik, die geographische Lage und die wirtschaftlichen Bedingungen beeinflusst wird. Österreich importiert einen Großteil seines Erdgasbedarfs, hauptsächlich aus Russland, Norwegen und anderen europäischen Ländern. Erdgas wird für die Stromerzeugung, Heizung und für industrielle Prozesse verwendet. Im Jahr 2020 fällt in der Abbildung 18 ein großer Einbruch der Gasimporte auf.

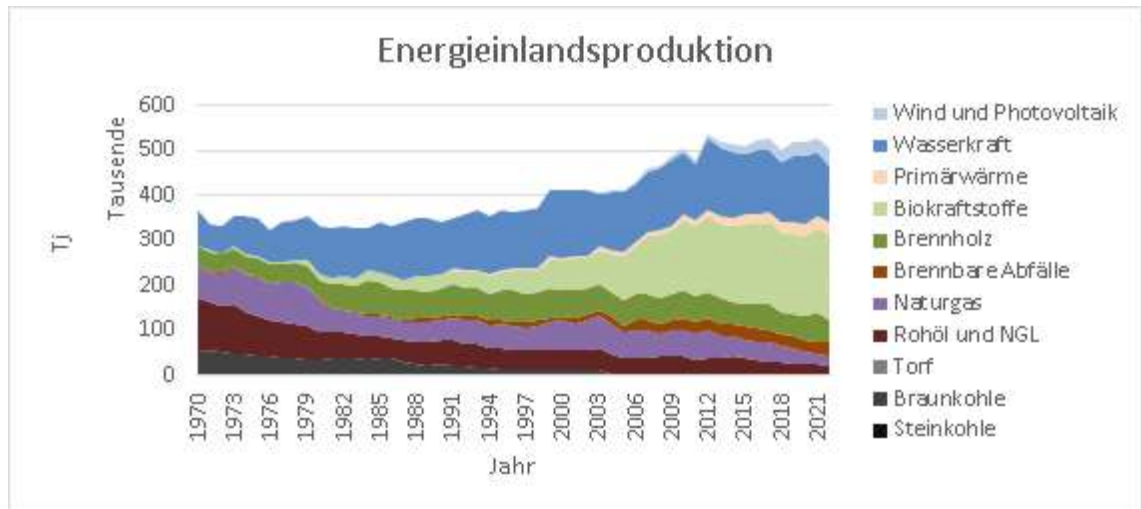


Abbildung 16: Entwicklung der Energieinlandsproduktion in Tj von 1970 bis 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung)

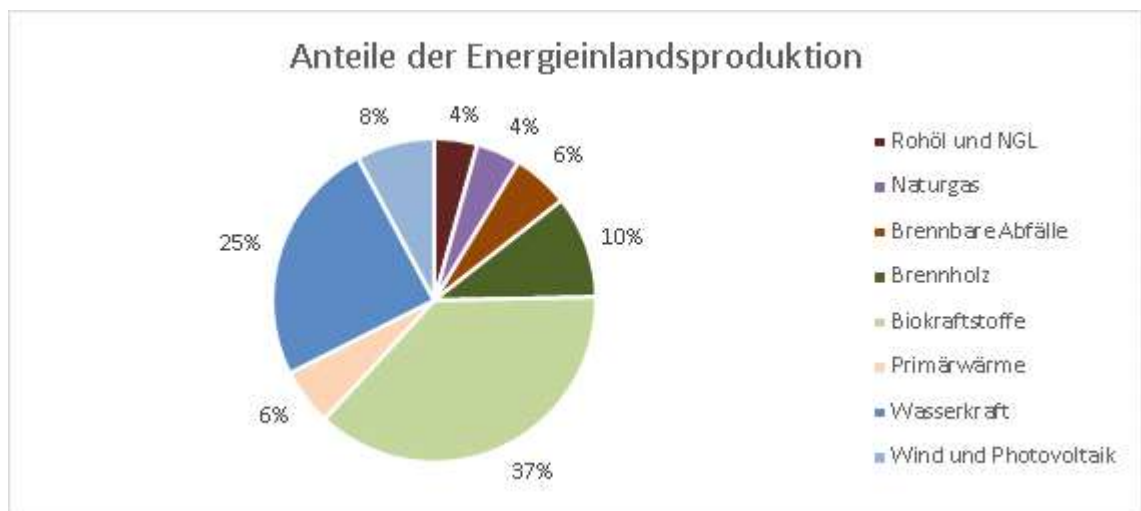


Abbildung 17: Energieinlandsproduktion in Tj im Jahr 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung)

Aufgrund des russischen Angriffskrieges kam es im gesamten Europa zu erschwerten Importbedingungen, welche sich auch auf andere Importgüter niederschlugen. Auch Öl als Importgut war davon betroffen. 2022 erholten sich die Importe wieder und erzielten einen Höchststand beim Gasimport. Insgesamt wurden 430 PJ an Gas importiert, sowie etwa 510 PJ an Öl. In Zeiten von Engpässen oder zur Ergänzung der inländischen Stromerzeugung importiert Österreich Elektrizität aus seinen Nachbarländern, insbesondere aus Deutschland, der Schweiz und Tschechien. Im Jahr 2022 waren dies etwa 103 PJ an elektrischer Energie. Österreich exportiert Elektrizität in die

benachbarten Länder, insbesondere in Perioden, in denen die inländische Stromerzeugung den Bedarf übersteigt. Außerdem wird ein Teil des in Österreich raffinierten Erdöls exportiert, vor allem in die umliegenden Länder. Der Gesamtenergieexport steigt seit 30 Jahren kontinuierlich an. Sowohl der Anteil an Strom als auch der Anteil an Ölexporten beträgt in etwa 41% mit rund 71 PJ. Der restliche Export findet anhand von Biomassen statt. Etwa 30 PJ wurden im Jahr 2022 exportiert. Der Bruttoinlandsverbrauch ging aufgrund der Verteuerungen von Erdöl und Erdgas als Folge der Energiekrise gegenüber dem Vorjahr um etwa 5% zurück. Im Jahr 2022 ergibt sich ein Verbrauch von 1.357 PJ,

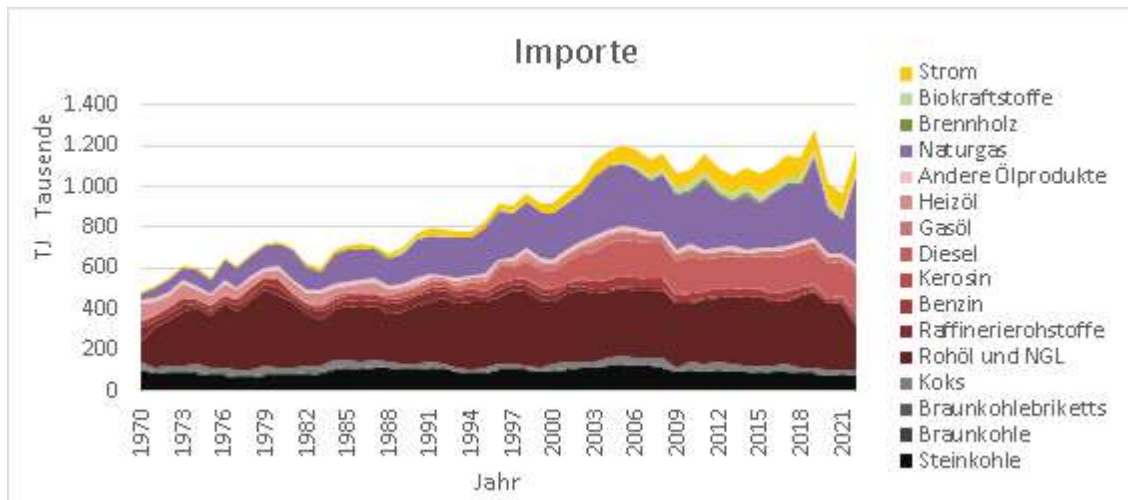


Abbildung 18: Entwicklung der Energieimporte in TJ zwischen 1970 und 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung)

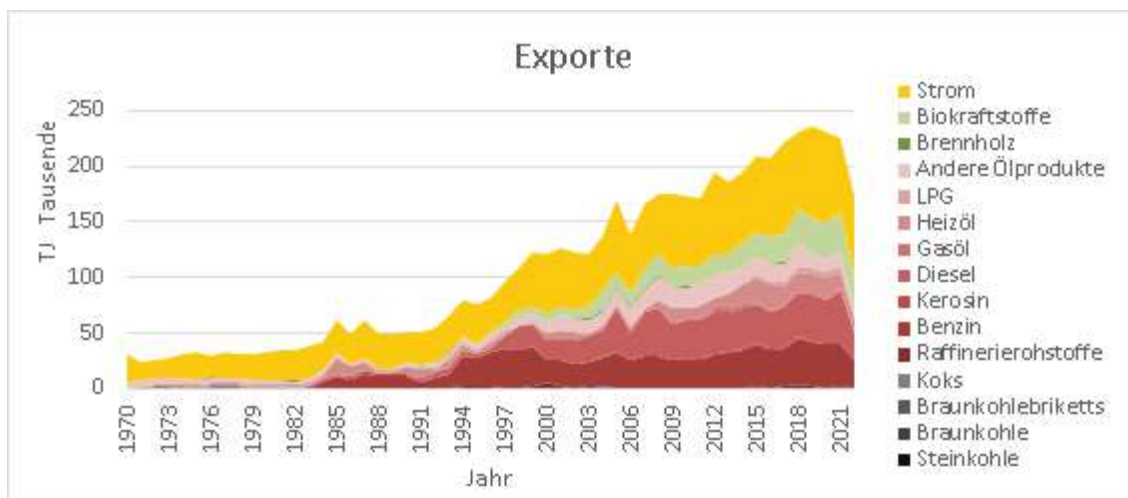


Abbildung 19: Entwicklung der Energieexporte in TJ zwischen 1970 und 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung)

wobei fossile Energieträger einen Anteil von 64% ausmachen. (Österreichischer Biomasse-Verband 2023a, 6) Bioenergie ist die bedeutendste erneuerbare Energiequelle Österreichs mit über 55%. Gefolgt von Wasserkraft mit 29%. Starke Zuwächse sind vor allem bei Wärmepumpen, Windkraft und Photovoltaik zu verzeichnen. Insgesamt beträgt der Bruttoinlandsverbrauch von erneuerbaren Energien 430 PJ im Jahr 2022. (Österreichischer Biomasse-Verband 2023a, 6)

Etwa 82% der energetisch genutzten Biomasse sind Holzbrennstoffe. Holzabfälle stellen mit 37% den größten Bestandteil dar. Gefolgt vom klassischen Scheitholz, welches meist zum Beheizen privater Haushalte verwendet wird. In Biomassekraftwerken werden Nebenprodukte aus der Holzindustrie, wie Hackgut und Rinde, energetisch verwertet. Ablaugen aus der Papierindustrie kommen bei der Erzeugung von elektrischer Energie zum Einsatz. Insgesamt wurden im Jahr 2022 237 PJ an Bioenergie verbraucht, wobei 195 PJ auf holzartige Biomassen zurückzuführen sind. (Österreichischer Biomasse-Verband 2023a, 6) Österreich hat das Pariser Klimaschutzabkommen unterzeichnet und verpflichtet sich mit dem Regierungsprogramm bis 2040 klimaneutral zu werden. Bis 2030 müssen die Treibhausgasemissionen im Nicht-Emissionshandelsbereich gegenüber 2005 um mindestens 36% reduziert werden. Dieses Ziel soll auf 48% verschärft werden. Der Umstieg von fossilen Brennstoffen auf erneuerbare Energieträger stellt den wichtigsten Hebel zur Reduktion der Emissionen dar. Der Bruttoendenergieverbrauch sollte bis 2020 einen Anteil von erneuerbaren Energieträgern von 20% erreichen. Das Ziel der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RL 2009/28/EG) wurde mit 22,1% erreicht. Für 2030 wurde mit RED III das Ziel auf 42,5% gesetzt. Ohne Bioenergie wird dies nicht möglich sein, welche

einen EU-weiten Anteil von 58% unter den erneuerbaren Energien erzielt. Österreich hat die Ziele für 2020 mit 36,5% eindeutig

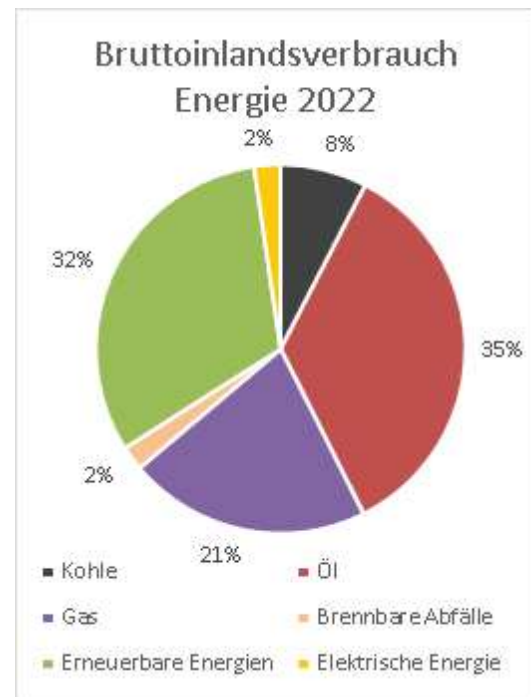


Abbildung 20: Anteile des Bruttoinlandsverbrauchs von Energie nach Energieträgern im Jahr 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung)

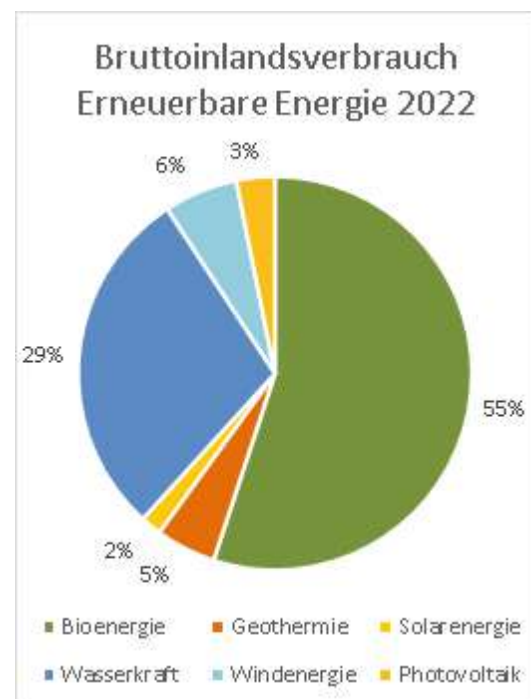


Abbildung 21: Anteile des Bruttoinlandsverbrauchs von erneuerbaren Energien nach Energieträgern im Jahr 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung)

überschritten. Hinter Schweden, Finnland und Lettland erzielt Österreich den viert-höchsten Erneuerbaren-Anteil. (Österreichischer Biomasse-Verband 2023b) Norwegen

erreicht sogar über 50% an erneuerbaren Energien bei der Nettoprimärproduktion. (IEA 2008)

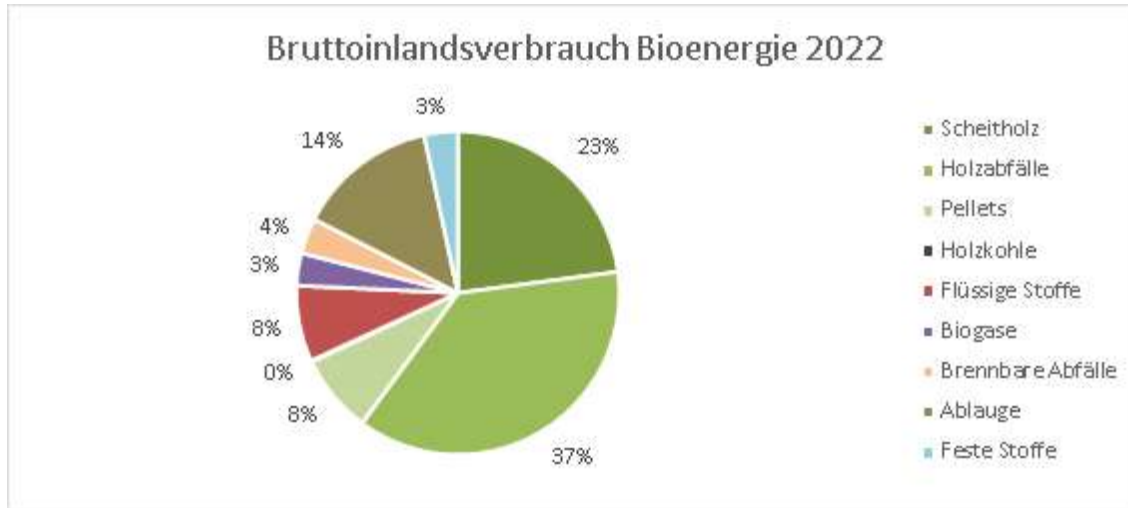


Abbildung 22: Anteil des Bruttoinlandsverbrauchs von Bioenergie im Jahr 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung)

### 2.1.6 CO<sub>2</sub>-ÖSTERREICH

Österreich hat sich dazu verpflichtet, im Rahmen des Kyoto-Protokolls, die Treibhausgasemissionen um 13% gegenüber dem Niveau von 1990 zu senken. (UN 1998, 3) Bis 2012 ist das nicht gelungen, weshalb Österreich Emissionszertifikate kaufen musste. In Diagramm 23 ist der Treibhausgasausstoß bis zum Jahr 2021 ersichtlich.

Bis etwa 2005 ist ein Anstieg der Treibhausgasemissionen in Österreich zu erkennen. Dies ist vor allem dem Industriegrowth und dem steigenden Mobilitätsgrad zuzurechnen. Ab 2005 stagniert der Anstieg der Emissionen und ging leicht zurück. Zu diesem Zeitpunkt wurden Investitionen in erneuerbare Energien erhöht und es kam vermehrt zur Umsetzung von Effizienzmaßnahmen.

Österreich hat sich 2020 zur Umsetzung der Ziele des „Europäischen Grünen Deals“ verpflichtet, der die Klimaneutralität bis 2050 erreichen will. Bis 2030 soll der CO<sub>2</sub>-Ausstoß um 55 % gegenüber 1990 reduziert werden. In der Darstellung 24 ist die Entwicklung der

Treibhausgasemissionen seit 1990 dargestellt, wobei der Indexwert 1 dem Jahr 1990 zugewiesen wurde. Mittels Trendfortschreibung wurden die vermuteten Emissionen bis 2030 dargestellt.

Die Erreichung des Ziels bis zum Jahr 2030 scheint nicht möglich zu sein, sollten nicht radikale Maßnahmen umgesetzt werden, die die Reduktion der Treibhausgase ermöglichen. Das Reduktionsziel wird bei den Treibhausgasen NO<sub>x</sub>, NMVOC, CO, und PM<sub>2,5</sub> erreicht. NH<sub>3</sub> scheint sogar zu wachsen. Die Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes ist derzeit viel zu gering, um die geforderten Ziele zu erreichen. Bis 2050 liegt Kohlenstoffdioxid immer voraussichtlich 17% über den Emissionen im Jahr 1990.

Treibhausgase können nicht so einfach miteinander verglichen werden. Eine Möglichkeit, dies zu lösen, sind sogenannte CO<sub>2</sub>-Äquivalente. 1990 wurde das GWP (Global Warming Potential) eingeführt, welches den Einfluss auf den Klimawandel von verschiedenen Stoffen bzw. Gasen beschreibt. Dafür wurde CO<sub>2</sub> als Vergleichsvariable gewählt,

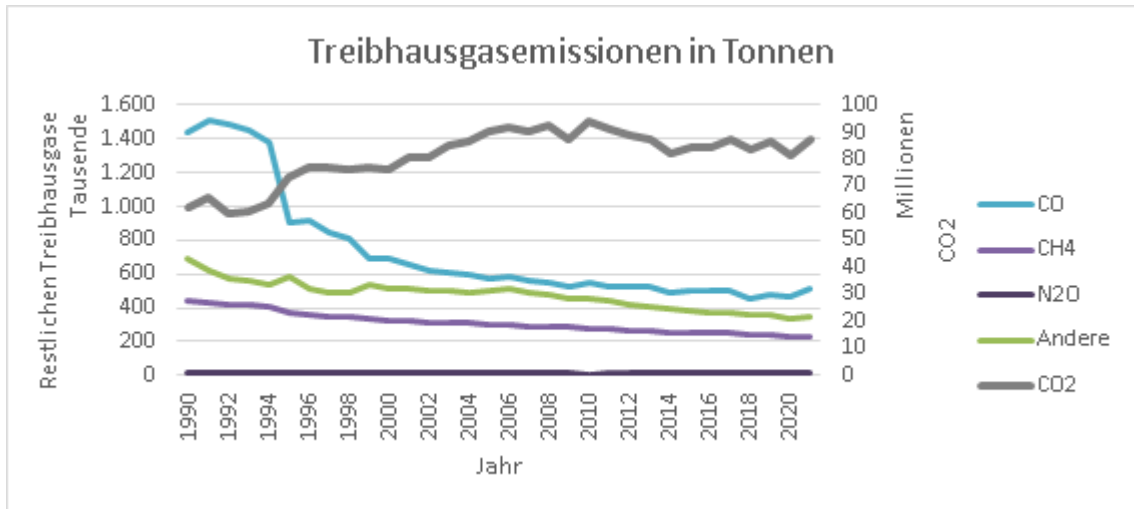


Abbildung 23: Treibhausgasemissionen bis 2021 (Statistik Austria, Umweltbundesamt, eigene Darstellung)

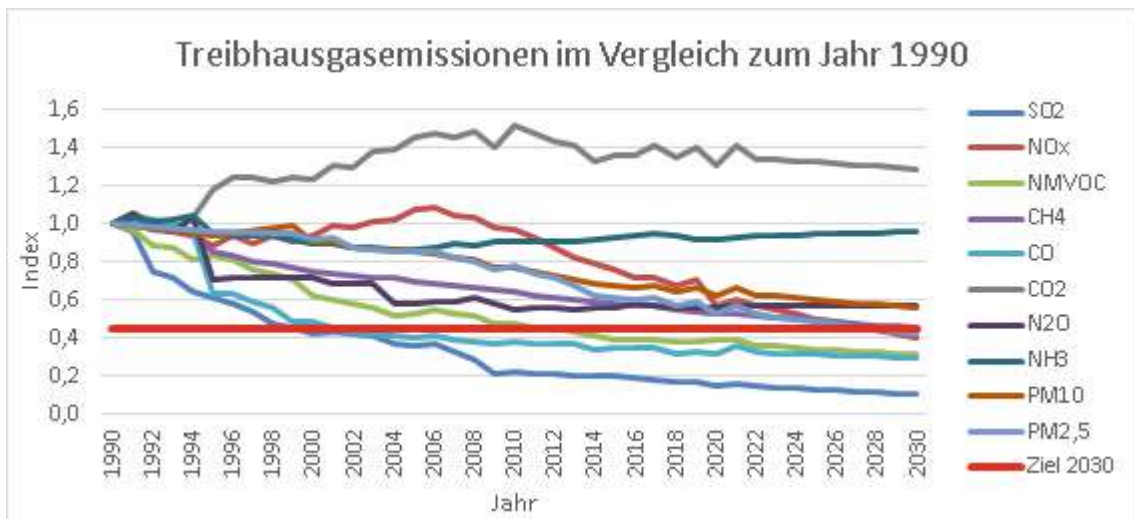


Abbildung 24: Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Jahr 1990 bis 2030 (Statistik Austria, Umweltbundesamt, eigene Darstellung)

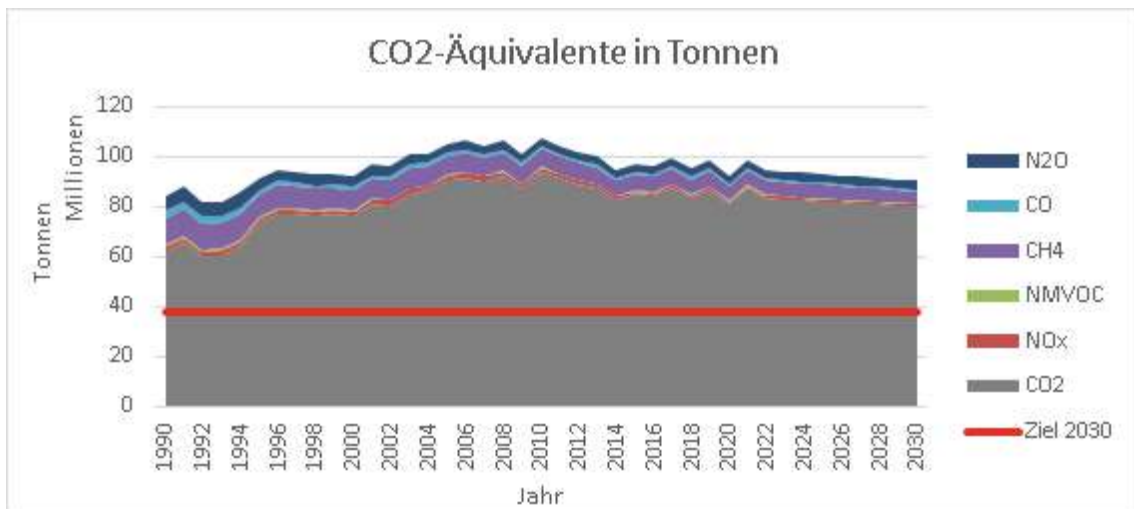


Abbildung 25: CO2-Äquivalente in Tonnen bis 2030 (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

worauf sich andere Gase beziehen können. Dadurch ist es möglich, den Einfluss von Gasen auf das Klima miteinander zu vergleichen. Methan ist beispielsweise 25-mal so "klimaschädlich" wie CO<sub>2</sub>. Das bedeutet, dass 1 kg Methan so schädlich für das Klima ist wie 25 kg CO<sub>2</sub>. (IPCC 1990, xix) Nicht alle Treibhausgase lassen sich damit umrechnen. In Diagramm 25 wird die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente dargestellt. Bei der Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente ist ein leichter Rückgang seit dem Beginn der 2010er Jahre zu erkennen. Trotzdem wird das Ziel des „Europäischen Grünen Deals“ bis 2030 nicht erreicht. Im Jahr 2021 werden in Österreich 99 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente ausgestoßen. Bis 2030 reduzieren sie sich auf 90 Millionen Tonnen und das ist immer noch 2,4-mal höher als der Zielbetrag. Bis 2050 wird eine Reduktion auf 80 Millionen Tonnen prognostiziert.

Bei der sektoralen Betrachtung der Treibhausgasemissionen fallen die emittierten Gase unterschiedlich ins Gewicht. CO<sub>2</sub>-Emissionen sind vor allem im Industrie- und Energiesektor vorhanden, wie auch im Verkehrssektor und bei privaten Haushalten. Im Vergleich zu 2008 ist sogar ein Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Industriesektor, bei der Verwaltung und bei sonstigen Dienstleistungen verzeichnet. Die Kohlenstoffdioxid-

emissionen im Energiesektor sind um etwa 20% gesunken, was auf den Ausbau von erneuerbaren Energien zurückzuführen ist. Im Handel und in der Gastronomie sind sogar Reduktionen von bis zu 80% verzeichnet. Die Emissionen des Verkehrssektors liegen immer noch bei etwa 72% der CO<sub>2</sub>-Emissionen von 2008. Wenn die CO<sub>2</sub>-Äquivalente im Vergleich zu 1990 betrachtet werden, so ergeben sich massive Fortschritte im Sektor der Abfallwirtschaft, Landwirtschaft, bei Gebäuden und der Energieerzeugung und Industrie. Zwischen 1 und 6 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente werden derzeit je Sektor weniger erzeugt, als im Jahr 1990. Jedoch ist der Anstieg im Verkehrswert massiv, welcher fast 7 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente ausmacht und somit die Fortschritte der anderen Sektoren annulliert. (Umweltbundesamt 2022) Wie in der Grafik 26 erkennbar ist, sind für die Land- und Forstwirtschaft vor allem die Treibhausgase CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O und NH<sub>3</sub> ausschlaggebend. Methan entsteht unter anderem beim Vergärungsprozess von Biomasse. Für die Düngung kommen N<sub>2</sub>O und NH<sub>3</sub> zum Einsatz. Der Methanausstoß bleibt bei der Landwirtschaft seit 2008 konstant, wobei beim Infrastruktur- und Energiesektor massive Reduktionen ersichtlich sind. Auch ein Wachstum des CH<sub>4</sub>-Ausstoßes ist im Verwaltungssektor und bei

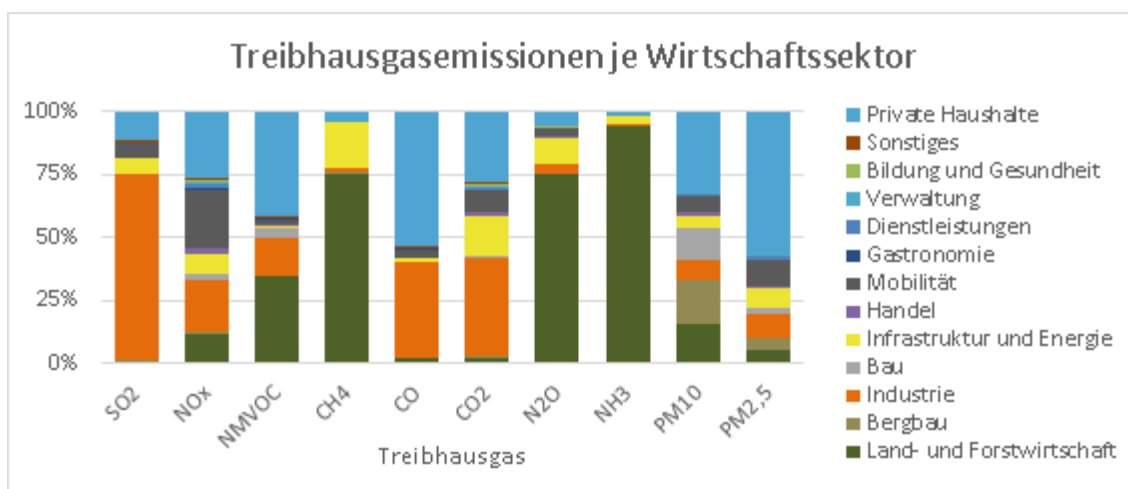


Abbildung 26: Treibhausgase je Wirtschaftssektor (Statistik Austria, eigene Darstellung)

sonstigen Dienstleistungen verzeichnet. Bei  $N_2O$  ist ein leichter Rückgang seit 2008 merkbar. Der Ausstoß der Landwirtschaft blieb jedoch seither gleich und erneut ist ein Wachstum bei der Verwaltung und sonstigen Dienstleistungen verzeichnet. Die  $NH_3$ -Emissionen steigen seit 2008 an. Ein großer Teil davon ist auf die intensive Düngung im Landwirtschaftssektor zurückzuführen. Im Mobilitätssektor, als auch in der Verwaltung und Energieproduktion wird ein Anstieg der Emissionen verzeichnet. Der Ausstoß von Schwefeldioxid ist zu über 70% der Industrie zuzurechnen. Seit 2008 wurde aber ein Rückgang der Emissionen in allen Sektoren von mindestens 20% erreicht. Die Industrie konnte durch Energieeffizienzmaßnahmen und den verstärkten Einsatz von erneuerbaren Energien ihre Emissionen moderat senken. Der Bau- und Gebäudesektor hat ebenfalls Fortschritte bei der Reduktion von  $CO_2$ -Emissionen gemacht, vor allem durch strengere Energieeffizienzvorschriften für Neubauten. Trotz Fortschritten gibt es weiterhin große Herausforderungen im Verkehrs- und Bausektor. Hier sind die Emissionen nach wie vor hoch und bedürfen weiterer politischer und technologischer Maßnahmen. Der Ausbau erneuerbarer Energien und die politischen Maßnahmen zur  $CO_2$ -Bepreisung und Klimaneutralität sind zentrale Hebel für die kommenden Jahre.

### 2.1.7 ERREICHTE ZIELE

Internationale Klimaabkommen, steigende nationale Klimaschutzambitionen und ein zunehmendes öffentliches Bewusstsein beschleunigen die Bemühungen, den Klimawandel auf mehreren Regierungsebenen anzugehen. Klimaschutzmaßnahmen haben zu einem Rückgang der globalen Energie- und  $CO_2$ -Intensität beigetragen, wobei mehrere Länder seit über einem Jahrzehnt Reduzierungen der Treibhausgasemissionen erzielen konnten. Emissionsarme Technologien werden immer erschwinglicher, und es

stehen mittlerweile viele emissionsarme oder emissionsfreie Optionen für Energie, Gebäude, Verkehr und Industrie zur Verfügung. Fortschritte bei der Anpassungsplanung und -umsetzung haben zahlreiche Vorteile gebracht, wobei wirksame Anpassungsoptionen das Potenzial haben, Klimarisiken zu verringern und zu einer nachhaltigen Entwicklung beizutragen. Die weltweit verfolgte Finanzierung für Klimaschutz und Anpassung verzeichnet seit dem Fifth Assessment Report (AR5) der IPCC einen Aufwärtstrend, bleibt aber hinter den Bedürfnissen zurück. (IPCC 2023, 52) In den letzten Jahren wird der Trend zur Unterstützung von verschiedenen Klimaverträgen, wie das United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), das Kyoto Protokoll und das Pariser Klimaabkommen immer stärker. Die Ambitionen von Regierungen zur Umsetzung von klimapolitischen Maßnahmen steigen an. Auch sind ein Anstieg des öffentlichen Bewusstseins und die zunehmende Vielfalt von Akteur:innen mit politischem Engagement erkennbar. (IPCC 2023, 52) Es wurden bis zum Jahr 2020 in 56 Ländern Gesetze umgesetzt, die die Reduktion von Treibhausgasemissionen festlegen. Damit sind 53% der globalen Emissionen abgedeckt. Darunter fallen vor allem kombinierte Mitigationsmaßnahmen wie beispielsweise der Wandel von Lebensstilen und die Änderung des Alltagsverhaltens durch die Etablierung von begehbaren urbanen Gebieten in Kombination mit Elektrifizierungsmaßnahmen und erneuerbarer Energien. (IPCC 2023, 52–53) Seit 2010 fiel der Preis von Technologien mit geringen Emissionen wie Solar-, Windenergie und Lithium-Ionen-Batterien. Die Kosten von Solarenergie sind um 85% gefallen, von Windenergie um 55% und die Batteriekosten um 85%. (IPCC 2023, 53) Während die globalen Netto-Treibhausgasemissionen seit 2010 gestiegen sind, ist die globale Energieintensität zwischen 2010 und 2019 im Jahresvergleich um 2% gesunken. Auch die globale Kohlenstoffintensität ist im Jahresvergleich um 0,3% gesunken, was hauptsächlich auf die Umstellung des Brennstoffs

von Kohle auf Gas und den verstärkten Einsatz von erneuerbaren Energien zurückzuführen ist. In vielen Ländern haben politische Maßnahmen die Energieeffizienz verbessert, die Entwaldungsraten verringert und den Technologieeinsatz beschleunigt, was zu reduzierten Emissionen geführt hat. Mindestens 18 Länder haben seit 2005 über einen Zeitraum von mehr als zehn Jahren durch die Dekarbonisierung der Energieversorgung, Steigerungen der Energieeffizienz und eine Reduzierung der Energienachfrage eine Reduzierung der absoluten CO<sub>2</sub>- und Treibhausgasemissionen sowie des verbrauchsbedingten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes erzielt, was sowohl auf politische Maßnahmen als auch auf wirtschaftliche Veränderungen zurückzuführen ist. (IPCC 2023, 53) In allen Sektoren und Regionen wurden Fortschritte bei der Anpassungsplanung und -umsetzung beobachtet. Die Anpassung an wasserbezogenen Risiken und Auswirkungen macht den Großteil aus (etwa 60%). Ein großer Teil dieser Anpassungsmaßnahmen findet im Agrarsektor statt. Bei Überschwemmungen im Binnenland können Kombinationen aus nichtbaulichen Maßnahmen wie Frühwarnsystemen, der Verbesserung des natürlichen Wasserrückhalts, beispielsweise durch die Wiederherstellung von Feuchtgebieten und Flüssen, und der Landnutzungsplanung, beispielsweise durch Bauverbotszonen oder vorgelagerte Waldbewirtschaftung, das Überschwemmungsrisiko verringern. Zu den Anpassungsmaßnahmen, die die Widerstandsfähigkeit der Biodiversität und der Ökosystemleistungen gegenüber dem Klimawandel erhöhen, gehören Maßnahmen wie die Reduzierung der Fragmentierung, die Vergrößerung der Ausdehnung, Konnektivität und Heterogenität natürlicher Lebensräume sowie der Schutz kleiner Refugien, in denen Mikroklimabedingungen das Fortbestehen von Arten ermöglichen können. (IPCC 2023, 55) Es gibt Anpassungsmöglichkeiten, die Klimarisiken für bestimmte Kontexte, Sektoren und Regionen wirksam reduzieren und positiv zur nachhaltigen Entwicklung und anderen

gesellschaftlichen Zielen beitragen. Ökosystembasierte Anpassungsansätze wie städtische Begrünung, Wiederherstellung von Feuchtgebieten und vorgelagerten Waldökosystemen verringern eine Reihe von Risiken des Klimawandels, darunter Überschwemmungsrisiken und städtische Hitze, und bieten zahlreiche Zusatznutzen. Einige landbasierte Anpassungsmöglichkeiten bieten unmittelbare Vorteile, während Aufforstung und Wiederaufforstung, die Wiederherstellung kohlenstoffreicher Ökosysteme, Agroforstwirtschaft und die Sanierung degradierter Böden mehr Zeit benötigen, um messbare Ergebnisse zu liefern. (IPCC 2023, 55–56) Zum Zeitpunkt des AR6 der IPCC gibt es Lücken zwischen den globalen Ambitionen und der Summe der erklärten nationalen Ambitionen. Hinzu kommen Lücken zwischen den nationalen Zielen und den tatsächlichen Umsetzungen auf Länderebene in allen Aspekten des Klimaschutzes. Zur Eindämmung des Klimawandels würden die globalen Treibhausgasemissionen im Jahr 2030 eine Erwärmung von mehr als 1,5°C im 21. Jahrhundert wahrscheinlich machen und es erschweren, die Erwärmung auf unter 2°C zu begrenzen. Trotz der Fortschritte bestehen weiterhin Anpassungslücken, da viele Initiativen der kurzfristigen Risikominderung Priorität einräumen und so eine transformative, langfristige Anpassung behindern. Systemische Hindernisse wie Finanzierungs-, Wissens- und Praxislücken einschließlich mangelnder Klimakompetenz und fehlender Daten, erschweren die weitere Klimawandelanpassung. Unzureichende Finanzierung schränkt den Klimaschutz insbesondere in Entwicklungsländern ein. (IPCC 2023, 57)

## 2.2 RAUMPLANUNG

Der Begriff Raumplanung wird verstanden als gezieltes Einwirken auf die räumliche Entwicklung der Gesellschaft, Wirtschaft und der natürlichen, gebauten und sozialen Umwelt in einem Gebiet. (Danielzyk und

Müntner 2018, 1932) Es geht auf allen Ebenen um die Koordination von teils konkurrierenden Flächennutzungsansprüchen im Raum, von Siedlungsentwicklung über Handel und Verkehr bis zu Erholung und Naturschutz. Raumplanung stellt ein überfachliches, querschnittsorientiertes, integriertes System dar. (Danielzyk und Müntner 2018, 1932) Der Begriff der Energieraumplanung wurde erstmals in der ÖROK-Partnerschaft Energieraumplanung definiert. „*Energieraumplanung ist jener integrale Bestandteil der Raumplanung, der sich mit den räumlichen Dimensionen von Energieverbrauch und Energieversorgung umfassend beschäftigt.*“ (Stöglehner et al. 2014, 9) In dieser Partnerschaft war das Ziel, eine gemeinsame, umsetzungsorientierte Vision zur Energieraumplanung für unterschiedliche räumliche Strukturen zu erarbeiten, bestehende Planungsinstrumente zu analysieren, Empfehlungen für die Integration von Kriterien in Gesetzesmaterien der Raumordnung und Standards für energieoptimierte räumliche Strukturen anzudenken. Dadurch wird die Raumplanung zu einem bedeutenden Handlungsfeld im Klimaschutz. (Stöglehner et al. 2014, 10) Die Energieraumplanung unterteilt sich in neun Handlungsfelder, welche zwei Zielebenen verfolgen. Zielebene 1 befasst sich mit erneuerbaren Energieträgern und sieht folgende Handlungsfelder vor:

- Freihaltung von geeigneten Räumen zur Gewinnung, Speicherung und Verteilung erneuerbarer Energien von konfliktträchtigen Nutzungen einschließlich Erhaltung von Pufferflächen
- Freigabe von geeigneten Räumen zur Gewinnung, Speicherung und Verteilung erneuerbarer Energien
- Bereitstellung von Planungsgrundlagen und Planungsmethoden für

örtliche und überörtliche Energie- und Mobilitätskonzepte

- Wahrnehmung der Rolle als Plattform zum Interessensausgleich

Die Zielebene 2 befasst sich mit räumlichen Strukturen und verweist auf folgende Handlungsfelder:

- Stärkung von Zentralität und kurzen Wegen
- Abstrebung von Dichte und Funktionsmischung
- Innen- vor Außenentwicklung
- Abstimmung von Nutzungsentwicklung und Mobilitätsangebot (mit Umweltvebund)
- Optimierung und Attraktivierung ungenutzter Energiepotenziale (Stöglehner et al. 2014, 27)

Bereits in vielen politischen Strategiepapieren wird auf die Energieraumplanung Bezug genommen. Beispielsweise in der Energiestrategie Österreichs, in der Anpassungsstrategie an den Klimawandel, im ÖREK als auch in verschiedenen Arbeitsübereinkommen von Bundesländern wie in Salzburg. Auch Forschungsprojekte, die den Zusammenhang zwischen der Energiewende und der Raumplanung aufzeigen, als auch Planungswerkzeuge für die örtliche Raumplanung werden bereitgestellt. (Stöglehner et al. 2017, 8–9) In die Wiener Bauordnung wurde erstmals am 21.12.2018 die Integration der Energieraumplanung durch die Erstellung von Energieraumplänen veranlasst. (§ 2b W-BO) Seit der erstmaligen Definition der Energieraumplanung im Jahr 2011 hat sich einiges getan. Good-Practice-Beispiele auf Siedlungs- und Quartiersebene sind die Energiezonenplanung Freistadt in Oberösterreich, die Siedlung „Rosa Zukunft“ in Salzburg, der Smart Block Geblergasse in Wien oder auch Zell am See – Sonnengarten Limberg in Salzburg. (Dumke und Geier 2021, 41) Bei der Umsetzung wurden wenigstens

4 Handlungsfelder gemäß der ÖROK-Partnerschaft 2014 umgesetzt. Nach den Einschätzungen von Dumke und Geier sind jedoch noch einige Verbesserungsmöglichkeiten in der Energieraumplanung zu verzeichnen. Es fehlt an Energieversorgern und Netzbetreibern als Beteiligte und Mitgestalter. Auf der regionalen Ebene gibt es zu wenige verbindliche Steuerungsansätze, die über die lokalen Ebenen wirken. Die Datenbasis der Bundesländer ist inkonsistent. Flächenwidmungs- und Bebauungspläne adressieren die Energierrelevanz nur implizit und nicht explizit. Verbindliche Instrumente wie die Bauordnung beziehen sich im Sinne der Energieraumplanung nur auf einzelne Gebäude und nicht auf Gebäudeensembles auf Quartiers- und Siedlungsebene. Die Wirkmacht der Steuerungsansätze auf Quartiers- und Siedlungsebene ist noch nicht sehr ausgeprägt, es fehlt an Analysen (Dumke und Geier 2021, 42) Es wurden folgende neue Handlungsfelder der Energieraumplanung vorgeschlagen, die sich auf die genannten Probleme beziehen.

- Infrastrukturplanung und -koordination in Richtung Dekarbonisierung
- Sektorübergreifende Planungs- und Entscheidungsprozesse
- Erhebung von erneuerbaren Energiepotenzialen inkl. Abwärme
- Wärmebedarfsprognosen und -planung mit Hilfe von Wärmekatastern
- Sektorübergreifende Datengrundlage
- Regionale- und kleinräumige Mobilitätsmodelle (Dumke und Geier 2021, 44)

Diese Arbeit legt einen Fokus auf die Erhebung von erneuerbaren Energiepotenzialen unter Berücksichtigung von Biodiversität und Flächeninanspruchnahme bzw. Flächenverlusten.

Auch wenn keine vollständige Integration der Energieraumplanung derzeit erreicht wird, sind die Einflüsse der „herkömmlichen“ Raumplanung auf den Klimaschutz bzw. die Klimawandelanpassung nicht zu unterschätzen. Gemäß des Salzburger Raumordnungsgesetzes wird das Ziel verfolgt, gleichwertige Lebensbedingungen zu schützen sowie die Natur als natürliche Lebensgrundlage zu pflegen und zu nutzen. (§ 2 S-ROG) Der vorausschauende Charakter trägt dazu bei, dass räumliche Aktivitäten einen Beitrag zum Klimaschutz leisten müssen oder zumindest den Zustand nicht verschlechtern. Im Themenbereich der Mobilität kann die Raumplanung sich einerseits klimaschonend durch die Verkehrsvermeidung und andererseits durch Verkehrsverlagerungen entfalten. In Landesentwicklungsprogrammen können angestrebte Verkehrs- und Mobilitätsentwicklungen festgelegt werden, die sich mindernd auf die Treibhausgasausstöße auswirken. (§ 9 S-ROG) Die Vermeidung von Zersiedelung und die Innenentwicklung vor Außenentwicklung trägt dazu bei, dass weniger Strecken mit dem MIV zurückgelegt werden und stellen somit Verkehrsvermeidungen dar. Die Schaffung von weiteren Fuß- und Radwegen trägt zur potenziellen Verkehrsverlagerung bei. Ein weiterer für die Raumplanung relevanter Themenbereich im Bezug zum Klimawandel ist die Bodenversiegelung. *„Bodenversiegelung bedeutet, dass der Boden luft- und wasserdicht abgedeckt wird, wodurch Regenwasser nicht oder nur unter erschwerten Bedingungen versickern kann und der Gasaustausch des Bodens mit der Atmosphäre gehemmt oder ganz verhindert wird. Boden ist für den Klimaschutz deshalb eine sehr wichtige Ressource, weil in ihm Kohlendioxid gespeichert wird und er kühlend auf die Umgebung wirkt.“* (eurac research 2024) Die Raumplanung hat durch die Ausweisung von Widmungszuweisung einen großen Einfluss auf die Reduzierung des

Versiegelungsgrades. Maßnahmen wie regionale Siedlungsgrenzen, Vertragsraumordnung sowie die Entwicklung von Entsiegelungsprogrammen und Brachflächenkatastern können dazu beitragen, den Flächenverbrauch zu reduzieren und somit einen positiven Einfluss zum Klimaschutz beizutragen. Eine weitere Form der Kohlenstoffspeicherung ist in Form von Biomasse. Dafür sind vor allem Wälder ausschlaggebend. Die forstliche Raumplanung in Form der sektoralen Fachplanung des Bundes kann hierbei einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Es ist möglich, Aufforstungsgebiete auszuweisen sowie die Anpassung von Waldfunktionen laut Bundesgesetz durchzuführen, was die Abholzung, und somit den Verlust von Kohlenstoffspeichern reduziert. Die Optimierung von Abfallwirtschaftskonzepten kann im Zusammenhang mit der Siedlungsentwicklung zur Reduktion von Transportwegen führen. Jedenfalls ist zu erkennen, dass die Raumplanung samt ihren sektoralen Fachgebieten einen massiven Einfluss auf die Anpassung zum Klimawandel hat, auch wenn dies nicht der ausschließliche Fokus ist. Durch eine verbesserte Integration der Energieraumplanung mittels der Umsetzung der neuen Handlungsfelder können in Zukunft gezieltere Planungsprozesse durchgeführt werden, indem der Klimawandel sogar im Vordergrund steht. In den nachfolgenden Kapiteln wird noch näher auf österreichische Strategien, Pläne und Konzepte bezüglich der Klimawandelanpassung, Schutz der Biodiversität, Reduktion der Flächeninanspruchnahme und Energieerzeugung mit dem Fokus auf Biomasse eingegangen.

## 2.3 RECHTLICHE GRUNDLAGEN

Die Raumplanung steht vor massiven Herausforderungen, welche durch das immer komplexer werdende Umfeld stetig zunehmen. Die Vielzahl der Akteure, wie private

Investoren, Kommunen oder Umweltverbände, vertreten unterschiedliche Interessen und konkurrieren miteinander. Gerade deshalb ist ein integrierter Planungsansatz von höchster Bedeutung. Klimawandel, Flächeninanspruchnahme und Biodiversität sind Themenbereiche, die nicht isoliert betrachtet werden können. Es bedingt eine ganzheitliche Betrachtung, die Faktoren aus allen Bereichen und den daraus entstehenden Wechselwirkungen berücksichtigt. Nur dadurch kann eine nachhaltige Entwicklung der Lebensräume gewährleistet werden, die möglichst alle relevanten Akteure in den Planungsansatz einbindet. In Österreich sind die Raumplanung und Energieraumplanung auf verschiedenen Ebenen geregelt: EU-Ebene, Bundesebene und Länderebene. Jede Ebene hat unterschiedliche Kompetenzen und Rechtsgrundlagen. Die wichtigsten rechtlichen Grundlagen werden in diesem Kapitel vorgestellt.

### 2.3.1 RAUMPLANUNG

Zunächst wird auf die rechtlichen Grundlagen der Raumplanung eingegangen. Die folgenden Kapitel geben einen Einblick in die Rahmenbedingungen der Raumplanung.

#### 2.3.1.1 EU

Die EU ist nicht unmittelbar für die Raumplanung der Mitgliedsstaaten zuständig. Trotzdem wird die Gesetzgebung durch eine Vielzahl an Richtlinien und Verordnungen beeinflusst. Die wichtigsten europäischen Festlegungen werden hier kurz vorgestellt.

Das Europäische Raumentwicklungskonzept (ESDP) wurde 1999 verabschiedet. Es stellt die gemeinsame Vision der räumlichen Entwicklung der EU dar. Zu den Hauptzielen gehört die polyzentrische Stadtentwicklung sowie ein verbesserter Zugang zu Infrastrukturen. Das ESDP ist rechtlich nicht verbindlich. Die Leitlinien und Empfehlungen sollen trotzdem die territoriale Entwicklung

fördern und haben somit indirekt einen Einfluss auf die Mitgliedsstaaten. (Europäische Kommission 1999, 7–8)

Die „Territoriale Agenda“ der EU wurde erstmals 2007 verabschiedet und zuletzt 2020 aktualisiert. Die Agenda wurde durch informelle Treffen der Minister:innen für Raumordnung, Raumentwicklung und territorialen Zusammenhalt der Länder entwickelt. Sie bietet einen strategischen Rahmen für die territoriale Entwicklung und Kohäsion in der EU und betont die Bedeutung der räumlichen Dimension bei der Umsetzung der EU-Entscheidungen. Die Agenda sichert die Kohärenz auf allen Planungsebenen und fördert somit eine integrierte Raumplanung. Die „Territoriale Agenda“ bezieht sich auf Erkenntnissen des "State of the European Territory Report" (2019) und des "European Territorial Reference Framework" (2019) sowie des 7. Berichts der Europäischen Kommission über den wirtschaftlichen, sozialen und territorialen Zusammenhalt (2017). Es wird auch vorgesehen, die Strategien und Maßnahmen des "European Green Deal" zu integrieren bzw. zu übernehmen. (Europäische Union 2020, 2–7)

Da sich diese Arbeit auf die Nutzung von Biomasse konzentriert, werden im Folgenden nur rechtliche Grundlagen angegeben, die damit zu tun haben. Anzumerken ist, dass es noch eine Vielzahl an weiteren Grundlagen gibt, diese jedoch aufgrund der Eingrenzung hier nicht erwähnt werden. Die Kohäsionspolitik der EU verfolgt das Ziel, territoriale Disparitäten innerhalb der Europäischen Union zu reduzieren. Dabei sollen verschiedene Fonds wie der EFRE oder die Kohäsionsfonds Initiativen fördern, die die regionale Entwicklung und die Infrastruktur optimieren. Durch die Bereitstellung finanzieller Mittel für Projekte in den Gebieten Verkehr, Umweltschutz und nachhaltige Stadtentwicklung beeinflusst die Kohäsionspolitik die nationale und regionale Raumplanung direkt. (Schwarz 2024)

Die Richtlinie 2001/42/EG über die Strategische Umweltprüfung (SUP) und die Richtlinie 2011/92/EU zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) sind Instrumente der EU, mit denen die Umweltauswirkungen von verschiedenen Plänen, Projekten und Programmen bewertet werden können und müssen. Die SUP zielt darauf ab, „[...] im Hinblick auf die Förderung einer nachhaltigen Entwicklung ein hohes Umweltschutzniveau sicherzustellen und dazu beizutragen, dass Umwelterwägungen bei der Ausarbeitung und Annahme von Plänen und Programmen einbezogen werden, indem dafür gesorgt wird, dass bestimmte Pläne und Programme, die voraussichtlich erhebliche Umweltauswirkungen haben, entsprechend dieser Richtlinie einer Umweltprüfung unterzogen werden.“ (EU-Richtlinie 2001/42/EG vom 27.06.2001) Die UVP hat ähnliche Ziele, bezieht sich jedoch nur auf Umweltauswirkungen von Projekten in Form von baulichen Anlagen oder sonstigen Eingriffen in die Natur und Landschaft. (EU-Richtlinie 2001/92/EU vom 13.12.2001) Diese Instrumente stellen sicher, dass Umweltauswirkungen frühzeitig in der Planung berücksichtigt werden, was die Raumplanung nachhaltig und umweltverträglich machen soll.

### 2.3.1.2 BUND

Die Raumplanung stellt in Österreich eine Querschnittsmaterie dar. In der Bundesverfassung ist festgelegt, dass alle Angelegenheiten, die nicht ausdrücklich durch die Verfassung der Kompetenz des Bundes zugeschrieben werden, dem selbstständigen Wirkungsbereich der Länder verbleibt. (Art 15 B-VG) In den Kompetenzbereich des Bundes fallen beispielsweise das Forstgesetz (ForstG) und das Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG). Das Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVP-G) enthält die Vorgaben der EU zur Durchführung von Prüfungen von Projekten hinsichtlich ihrer Umweltverträglichkeit. Der Bund ist zuständig für die Gesetzgebung und Planung der

überregionalen Verkehrsinfrastruktur. Dazu gehören das Bundesstraßengesetz 1971 und das Eisenbahngesetz 1957.

Neben den Bundesgesetzen spielt die ÖROK auf Bundesebene ebenfalls eine wichtige Rolle. Die ÖROK ist eine ständige Einrichtung, die 1971 gegründet wurde. Die Aufgabe besteht darin, Empfehlungen und Leitlinien für die Raumplanung in Österreich zu entwickeln. (ÖROK 2021, 8) Die ÖROK erstellt das Österreichische Raumentwicklungskonzept (ÖREK). Es legt die strategischen Ziele und Schwerpunkte der Raumentwicklung fest, wie etwa nachhaltige Siedlungsentwicklung, Verkehrsinfrastruktur und Umweltschutz. (ÖROK 2021, 8–9) In einem späteren Kapitel wird das ÖREK 2030 genauer analysiert.

Anzumerken ist noch, dass der NEKP (Nationale Energie- und Klimaplan) auch in die Verantwortung des Bundes fällt. Gleiches gilt für die kommenden Beschleunigungsgebiete der RED III. Im Kapitel 3 wird näher darauf eingegangen.

### 2.3.1.3 LÄNDER

Wie schon erwähnt wurde, fallen durch Artikel 15 des B-VG alle nicht konkret in der Bundesverfassung genannten Sach- und Fachbereiche in die Kompetenz der Bundesländer. Dies ermöglicht es den Bundesländern, eigene Raumordnungsgesetze und -programme zu erarbeiten. Diese Gesetze regeln unter anderem die Raumnutzung, die Siedlungsentwicklung und die Bewahrung natürlicher Ressourcen. Jedes österreichische Bundesland hat ein eigenes Raumordnungsgesetz, das die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Planung und Entwicklung des Landes festlegt. Dadurch kommt es zu erheblichen Unterschieden in manchen Vorgaben. Was alle Bundesländer gemeinsam haben, ist die Existenz von Flächenwidmungsplänen (bis auf Wien), Bebauungsplänen und Raumordnungs-

programmen als raumplanerische Instrumente. Am Beispiel des Salzburger Raumordnungsgesetzes 2009 werden die wichtigsten Instrumente kurz beschrieben.

In Salzburg wird Raumordnung als planmäßige Gestaltung eines Gebietes verstanden. Sie hat die bestmögliche Nutzung und Sicherung des Lebensraums im Interesse des Gemeinwohles zum Ziel und nimmt dabei Bedacht auf die natürlichen Gegebenheiten sowie – unter Respektierung der Grund- und Freiheitsrechte – auf die abschätzbaren wirtschaftlichen, sozialen, gesundheitlichen und kulturellen Bedürfnisse der Bevölkerung. (§ 1 Abs 1 S-ROG) Die Raumplanung wird als örtliche Raumplanung (Art 118 Abs 3 Z 9 B-VG) im eigenen Wirkungsbereich der Gemeinde, oder als überörtliche Raumplanung vom Land oder in Form von Regionalplanung von Regionalverbänden zusammen mit dem Land besorgt, wenn es über die örtliche Raumplanung hinaus geht. (§ 1 Abs 2 S-ROG) Die Aufgabe der Landesplanung ist unter anderem die Erstellung von Landesentwicklungsprogrammen. Die Regionalplanung erstellt Regionalprogramme als auch regionale Entwicklungskonzepte. (§ 6 Abs 1 & 2 S-ROG) Im Landesentwicklungsprogramm werden Grundsätze und Leitlinien festgelegt und Aussagen über angestrebte Entwicklungen getroffen. Es müssen dabei die Planungsinteressen von Regionalverbänden und Gemeinden berücksichtigt werden. (§ 9 Abs 1 & 2 S-ROG) Regionalverbände haben die Aufgabe, ein Regionalprogramm auszuarbeiten, in dem für die regionale Entwicklung erforderliche Ziele und Maßnahmen festgelegt sind. (§ 10 Abs 2 S-ROG) Neben den Regionalprogrammen müssen auch regionale Entwicklungskonzepte ausgearbeitet werden, um die Koordination der Mitgliedsgemeinden zu verbessern. Diese Konzepte sind jedoch unverbindlich. (§ 10 Abs 5 S-ROG) Der örtlichen Raumplanung obliegt die räumliche

Ordnung und Planung des Gemeindegebietes. Dafür stehen das räumliche Entwicklungskonzept (REK), der Flächenwidmungsplan und Bebauungspläne als Instrumente zur Verfügung. (§ 17 Abs 1 & 2 S-ROG) Das REK dient als Grundlage für die Entwicklung der Gemeinde, im Besonderen für die Flächenwidmungsplanung und Bebauungsplanung. (§ 23 Abs 1 S-ROG) Im REK werden unter anderem Entwicklungsziele der Gemeinde definiert und planerisch dafür Flächen ausgewiesen. (§ 25 Abs 2 & 3 S-ROG) Auf der Grundlage des REK ist ein Flächenwidmungsplan für das gesamte Gemeindegebiet durch Verordnung zu erlassen. Er besteht aus der planlichen Darstellung der Katastergrundlage und dem dazu erforderlichen Wortlaut. Es werden Nutzungsarten und Widmungen festgelegt, als auch Kennzeichnungen und Kenntlichmachung verzeichnet. (§ 27 Abs 1-3 S-ROG) Auf der Grundlage des REK und des Flächenwidmungsplans sind für Gebiete, die im Planungszeitraum von längstens 10 Jahren liegen, Bebauungspläne durch Verordnung zu erstellen. Diese regeln die städtebauliche Ordnung eines Gebietes unter Bedachtnahme eines sparsamen Bodenverbrauchs und einer geordneten Siedlungsentwicklung. Auch Aspekte wie Feuersicherheit, Hygiene, Umweltschutz und Endenergieeffizienz werden berücksichtigt. (§ 50 Abs 1 & 3 S-ROG)

Die Festlegungen der Naturschutzgesetze der Bundesländer finden in der regionalen und lokalen Raumplanung ihren Einfluss. Sie werden in die entsprechenden Konzepte und Pläne integriert. Es werden Gebiete zum Schutz der Natur ausgewiesen, zur Erhaltung von Artenvielfalt oder zur nachhaltigen Nutzung von Ressourcen. Sie finden auch Einfluss auf die Bewahrung der Flora, Fauna und des Landschaftsbilds. Salzburg setzt sich beispielsweise das Ziel, dem Schutz und der Pflege der heimatischen

Natur und der vom Menschen gestalteten Kulturlandschaft nachzukommen. Damit ist der Erhalt, die nachhaltige Sicherung, die Verbesserung und Wiederherstellung der Vielfalt, Eigenart, Schönheit und der Erholungswert der Natur, die natürlichen Lebensräume für Menschen und Tiere, der Artenreichtum als auch die Leistungsfähigkeit und Selbstregulierungsvermögen der Natur gemeint. (§ 1 NSchG)

### 2.3.2 ENERGIERAUMPLANUNG

Nach der Betrachtung der Raumplanung wird in den folgenden Kapiteln ein Überblick über relevante gesetzliche Rahmenbedingungen der Energieraumplanung gegeben.

#### 2.3.2.1 EU

Die EU verfolgt das Ziel, den Energiemarkt für alle Mitgliedsstaaten zu öffnen. Dafür muss der grenzüberschreitende Handel mit Energie erleichtert werden und gleichzeitig die Versorgungssicherheit gewährleistet werden, während der Energiepreis für die Verbraucher gesenkt wird. Die Elektrizitätsbinnenmarktlinie regelt beispielsweise den Strommarkt und definiert Rahmenbedingungen für die Organisation und den Betrieb von Strommärkten. Dazu gehört der Zugang zu Netzen, Verbraucherrechten und die Förderung von erneuerbaren Energien. (EU-Richtlinie 2019/944 vom 05.06.2019) Die Verordnung regelt den Strombinnenmarkt einschließlich Vorschriften zur Kapazitätsallokation, Engpassmanagement und zur Förderung des Wettbewerbs im Stromsektor. (EU-Verordnung 2019/943 vom 05.06.2019) Diese Regelungen fördern die grenzüberschreitende Energieinfrastruktur und erfordern eine Abstimmung der Länder über den Netzausbau.

Die Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (RED II) zielt auf die Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien in der EU ab, um den Anteil erneuerbarer Energiequellen am

Gesamtenergieverbrauch zu steigern. Die Richtlinie fordert, dass der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch in der EU bis 2030 auf mindestens 32% erhöht wird. Die Mitgliedstaaten müssen geeignete Flächen für die Erzeugung erneuerbarer Energien ausweisen, insbesondere für Windkraft- und Solaranlagen. (EU-Richtlinie 2018/2001 vom 11.12.2018) Die Förderung von dezentralen Energiesystemen erhöht die Chancen der regionalen Raumplanung, um individuelle Entwicklungsschwerpunkte zu setzen.

Ebenfalls relevant auf der EU-Ebene ist die Energieeffizienz-Richtlinie (EED). Ziel ist die Verbesserung der Energieeffizienz in der EU, um den Energieverbrauch zu senken und den Klimaschutz zu unterstützen. Die Richtlinie verpflichtet die Mitgliedstaaten zur Festlegung von Energieeffizienzzielen und zur Umsetzung von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in Gebäuden, Industrie und Verkehr. (EU-Richtlinie 2012/27/EU vom 25.10.2012) Die Richtlinie fördert eine energieeffiziente Stadt- und Siedlungsentwicklung einschließlich der Verbesserung der Infrastruktur für nachhaltige Mobilität und der Förderung energieeffizienter Versorgungsnetze.

In der Richtlinie wird die Schaffung eines Rahmens für die Energieunion einschließlich der Festlegung von Zielen für Energieeffizienz, erneuerbare Energien und Treibhausgasemissionen festgelegt. Die Verordnung fordert die Mitgliedstaaten auf, integrierte nationale Energie- und Klimapläne (NECPs) zu erstellen, die ihre Strategien und Maßnahmen zur Erreichung der EU-Klimaziele darlegen. (EU-Verordnung 2018/1999 vom 11.12.2018) Die NECPs enthalten Maßnahmen zur Entwicklung erneuerbarer Energien, zur Energieeffizienz und zur Modernisierung der Energieinfrastruktur, was die Raumplanung auf nationaler und regionaler Ebene beeinflusst.

Die TEN-E-Verordnung fördert den Ausbau grenzüberschreitender Energieinfrastrukturprojekte. Das Ziel ist die Erhöhung der Versorgungssicherheit. Sie legt Prioritäten für die Entwicklung von Energieinfrastruktur fest und ermöglicht die Finanzierung von Projekten von gemeinsamem Interesse, die für die Integration des Energiemarktes und die Versorgungssicherheit wichtig sind. (EU-Verordnung 347/2013 vom 17.04.2013) Der Ausbau der Energieinfrastruktur, einschließlich Stromleitungen, Gaspipelines und Speicheranlagen, erfordert eine allumfassende Raumplanung, um Umweltauswirkungen und Raumwiderstände zu berücksichtigen.

Der Europäische Grüne Deal zielt darauf ab, Europa bis 2050 zum ersten klimaneutralen Kontinent zu machen. (Europäische Union 2019, 2) Das "Fit for 55"-Paket setzt ehrgeizige Ziele für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen bis 2030. (Europäische Union 2021, 1) Beide Dokumente umfassen eine Reihe von Gesetzesinitiativen zur Erreichung der Klimaziele. Die Umsetzung des Grünen Deals und des "Fit for 55"-Pakets erfordert eine Integration von Energie- und Klimaschutzzielen in die Raumplanung auf Bundes- und Länderebene, insbesondere in den Bereichen Mobilität, Infrastruktur und Stadtentwicklung.

### 2.3.2.2 BUND

In diversen Bundesgesetzen sind Regelungen festgeschrieben, die die Energieraumplanung betreffen. Grundsätzlich wird darauf abgezielt, die Energiewende voranzutreiben, die Energieeffizienz zu steigern und den Anteil der erneuerbaren Energien zu erhöhen.

Eins dieser Gesetze ist das Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz (EIWOG). Hierbei wird die Organisation des Elektrizitätsmarktes in Österreich geregelt. Dazu gehören die Erzeugung, Übertragung, Versorgung und Verteilung mit Elektrizität.

Es setzt die EU-Richtlinien zum Elektrizitätsbinnenmarkt in nationales Recht um. (§ 4 El-WOG) Das Gesetz enthält Bestimmungen zur Förderung erneuerbarer Energien, zur Schaffung eines wettbewerbsfähigen Elektrizitätsmarktes und zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit.

Das Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz (EAG) bildet den rechtlichen Rahmen für den Ausbau erneuerbarer Energien in Österreich. Es wird unter anderem das Ziel verfolgt, den Anteil erneuerbarer Energiequellen am Gesamtenergieverbrauch zu erhöhen und den Weg zur Klimaneutralität bis 2040 zu ebnen. (§ 4 EAG) Das Gesetz fördert den Ausbau von Wind-, Solar-, Wasser- und Biomasseenergie durch verschiedene Fördermechanismen, einschließlich Investitionszuschüssen und Marktprämien. Das EAG beeinflusst die Raumplanung, indem es Vorgaben für den Standort und den Ausbau erneuerbarer Energieanlagen macht. Die Raumplanung auf Landes- und Gemeindeebene muss sicherstellen, dass geeignete Flächen für die Errichtung solcher Anlagen zur Verfügung stehen.

Das Energieeffizienzgesetz (EEffG) setzt die EU-Energieeffizienzrichtlinie in nationales Recht um und hat unter anderem zum Ziel, den Energieverbrauch in Österreich zu reduzieren und die Energieeffizienz in allen Sektoren zu steigern. (§ 35 EEffG) Das Gesetz enthält beispielsweise Bestimmungen zur Energieeffizienz in Gebäuden, zur Förderung energiesparender Maßnahmen und zur Einführung von Energiemanagementsystemen in Unternehmen. Für die Energierraumplanung ist vor allem der Gebäudesektor und die Siedlungsentwicklung relevant. Es wird eine energieeffiziente Bauweise gefördert sowie die Sanierung von Bestandsgebäuden, was in der örtlichen Raumplanung berücksichtigt werden muss.

Ein weiteres Gesetz auf Bundesebene ist das Klimaschutzgesetz (KSG). Es werden die rechtlichen Rahmenbedingungen für den Klimaschutz in Österreich festgelegt und verpflichtet den Bund und die Länder zur Erreichung bestimmter Treibhausgas-Reduktionsziele. (§ 1-3 KSG)

Die Energiestrategie Österreich ("Mission 2030") legt die Leitlinien für die Energiepolitik und Energierraumplanung in Österreich fest und zielt darauf ab, den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem zu fördern. (BMNT und BMVIT 2018, 8) Die Strategie umfasst eine Vielzahl an Zielen und Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz, zur Förderung erneuerbarer Energien und zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen. (BMNT und BMVIT 2018, 15–20) Es werden Impulse an die Energierraumplanung gesetzt, indem der Ausbau der erneuerbaren Energien, die Verbesserung der Energieeffizienz in Gebäuden und die Modernisierung der Energieinfrastruktur gefördert werden.

### 2.3.2.3 LÄNDER

Wie schon bei der Raumplanung beschrieben wurde, hat jedes Bundesland in Österreich eigene Gesetze über bestimmte Sach- und Fachbereiche, sofern dies nicht in der Bundesverfassung konkret dem Wirkungsbereich des Bundes zugewiesen wird. Die Betrachtung der Landesebene wird wieder durch das Beispiel von Salzburg betrachtet.

Seit der letzten Novellierung des Salzburger Raumordnungsgesetzes im Jahr 2018 wird die Berücksichtigung von klima- und energiebezogenen Fragestellungen gesetzlich vorgesehen. Davon betroffen ist unter anderem die langfristige Planung der Gemeinden, welche über die räumlichen Entwicklungskonzepte (REK) festgelegt wird. (§ 24-25 S-ROG) Es werden energierelevante Gegebenheiten in der Bestandsaufnahme berücksichtigt und somit können Aussagen

zur angestrebten Energieversorgung getroffen werden. Gemeinden leisten somit über die Raumplanung einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz. (Land Salzburg 2021a)

Das Salzburger Landeselektrizitätsgesetz (LEG) regelt die Erzeugung, Übertragung und Verteilung von Elektrizität im Bundesland Salzburg. Es setzt den Rahmen für den Ausbau erneuerbarer Energien und die Versorgungssicherheit. (§ 1 S-LEG) Das Gesetz fördert die Nutzung erneuerbarer Energiequellen wie Wasserkraft, Windenergie und Solarenergie. Es enthält Regelungen zum Netzausbau und zur Integration erneuerbarer Energien in das Stromnetz. (§ 2 S-LEG)

Die Klima- und Energiestrategie Salzburg 2050 sieht vor, dass strategische Planungsdokumente und Umsetzungsprogramme erstellt werden. Das aktuelle Umsetzungsprogramm ist der Masterplan Klima + Energie 2030. Es wird sich zum Ziel gesetzt bis 2030 die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zu 2005 deutlich zu reduzieren. Die Reduktion wird insbesondere in den Sektoren Energie, Mobilität und Gebäude angestrebt. Weiters soll der Anteil der erneuerbaren Energien signifikant erhöht werden, wobei der Ausbau von Solar- und Wasserenergie, als auch Energie aus Biomasse im Fokus steht. Auch die Energieeffizienz soll gesteigert werden und der Umstieg auf eine klimafreundliche Mobilität geschaffen werden. (Land Salzburg 2021b, 11–12)

### 2.3.3 ZWISCHENFAZIT

Bei der Betrachtung der rechtlichen Rahmenbedingungen fällt auf, dass integrierte Ansätze fehlen, die mehrere Themenbereiche bzw. gesetzliche Grundlagen miteinander verbinden. Verfahren und Vorschriften sind oftmals fragmentiert und berücksichtigen nicht ausreichend die komplexen Wechselwirkungen zwischen Raumplanung, Energiebedarf, Klimaschutz und Biodiversität. Die Planungsprozesse

sind derzeit nicht effektiv genug, um die nachhaltige Entwicklung der menschlichen Lebensräume in einem gemeinsamen Kontext aller Themenbereiche zu gewährleisten. In der Praxis wird beispielsweise die Umsetzung von Maßnahmen zur Flächennutzung und der Energiegewinnung unabhängig voneinander geplant. Es entstehen langfristig suboptimale Lösungen, die früher oder später entweder ökologische oder soziale Fragen aufwerfen. Es besteht also eine Lücke zwischen diesen Fragestellungen, die es gilt mit entscheidenden Tools, Verfahren oder gesetzlichen Rahmenbedingungen zu schließen. Dafür muss ein integrierter Ansatz gewählt werden, um Synergien zwischen verschiedenen Akteuren zu schaffen oder diese zu verbessern. Es fehlt sowohl auf der Ebene des Bundes, aber auch auf der Ebene der Bundesländer komplett an Biomasseausschluss- und -eignungszonen. Durch die Umsetzung dieser Zonen kann die nachhaltige Entwicklung gefördert werden, um die Folgen der Klimakrise abzuschwächen und die Frage nach der Ressourcenknappheit effektiv zu beantworten. Ein Beitrag zur Schließung dieser Lücke könnte das Maßnahmenbewertungstool sein, welches im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wird.

## 3 INSTRUMENTE

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Instrumente vorgestellt, die sich mit der Klimakrise, der Biodiversität, der Energieerzeugung mit Fokus auf Biomasse und der Flächeninanspruchnahme auseinandersetzen. Zunächst wird auf verschiedene Strategien und Pläne in Österreich, der EU und auf regionaler Ebene eingegangen und deren Einfluss auf die gewählten Themenbereiche erklärt. Anschließend werden ausgewählte Ziele der ÖROK bzw. des ÖREK analysiert und im Anschluss mit den Strategien und Plänen verglichen. Daraus werden

folglich die verschiedenen Ziele und Maßnahmen auf konkrete numerische Vergleichswerte heruntergebrochen und in das Tool zur Maßnahmenbewertung integriert.

### 3.1 STRATEGIEN

In Österreich und auch der EU gibt es eine Vielzahl an Strategien und Plänen, die sich mit den Themenbereichen Biodiversität, Flächeninanspruchnahme und erneuerbare Energieerzeugung mittels Biomasse auseinandersetzen. Die Dokumente weisen unterschiedliche Zielsetzungen und Maßnahmen auf, die sich teilweise gegenseitig widersprechen. In diesem Kapitel wird ein Überblick über einen Auszug an verschiedenen Strategien und Plänen vermittelt und werden Gemeinsamkeiten und Unterschiede erörtert.

#### 3.1.1 BIODIVERSITÄTSSTRATEGIE ÖSTERREICH

Die Biodiversitätsstrategie Österreich befasst sich mit der biologischen Vielfalt in Österreich und verfolgt das Ziel, den fortschreitenden Biodiversitätsverlust zu minimieren, wobei gleichzeitig soziale und wirtschaftliche Vorteile erreicht werden sollen. Die Strategie orientiert sich an den internationalen Zielen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt (CBD) und der EU-Biodiversitätsstrategie. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022a, 3) Wie der Titel der Strategie schon sagt, liegt der Fokus auf dem Schutz der Biodiversität in Österreich. Die gesamtheitliche Beschreibung der Ziele und Maßnahmen dieser Strategie zum Thema Biodiversität kann aus Kapazitätsgründen nicht durchgeführt werden, jedoch können die wichtigsten Punkte kurz erwähnt werden. Die Hauptziele, welche die Biodiversität

betreffen, lauten: Verbesserung von Status und Trends der Arten und Lebensräume, effektiver Schutz und Vernetzung aller ökologisch wertvollen Lebensräume, Wiederherstellung für Biodiversität und Klimaschutz besonders wichtiger Ökosysteme, entscheidende Reduktion von Flächeninanspruchnahme und Fragmentierung, „Mainstreaming“<sup>3</sup>, Stärkung des globalen Engagements, Verbesserung der rechtlichen Rahmenbedingungen für den Biodiversitätserhalt, Sicherstellung der Finanzierung von Biodiversitätserhalt und Unterstützung für biodiversitätsförderndes Handeln, Wertschätzung der Biodiversität in Gesellschaft und Wirtschaft und die Verbesserung der wissenschaftlichen Grundlagen zur Erreichung und Evaluierung der Biodiversitätsziele. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022a, 16–17) Um die Ziele umzusetzen, wurden Maßnahmen gewählt wie die Durchführung einer Analyse, welche Lebensräume und Arten durch welche aktiven Maßnahmen in welchen Regionen verbessert werden können und nicht von anderen Effekten überlagert werden (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022a, 20), die Sicherung einer gelenkten Bestoßung der Almen z. B. durch GVE bezogene Förderungen sowie Obergrenzen für den Viehbesatz (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022a, 62) oder die Integration der Biodiversitätsziele in touristischen Entwicklungskonzepten sowie in Bundes-, Länder- und regionale Tourismus-Strategien, (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022a, 95) um nur ein paar zu nennen. Bezüglich der Flächeninanspruchnahme werden Ziele definiert, die

<sup>3</sup> "[...] Integration der Biodiversität in alle Sektoren" (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022a, 83).

tägliche Flächeninanspruchnahme unter Berücksichtigung zukünftiger Ziele der Bodenstrategie substanziell zu reduzieren. Im Hinblick auf das Regierungsprogramm 2020-2024 soll die zusätzliche Flächeninanspruchnahme auf 2,5 ha pro Tag reduziert werden. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022a, 79) Um dieses Ziel zu erreichen ist die Erarbeitung und Umsetzung der Bodenstrategie für Österreich zur Reduktion der weiteren Flächeninanspruchnahme und Bodenversiegelung unter Berücksichtigung der Biodiversität geplant. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022a, 80) Weiters soll jede Flächeninanspruchnahme durch Entsiegelung von entsprechenden Flächen kompensiert werden, um längerfristig in Summe eine tägliche Flächeninanspruchnahme von 0 ha zu erreichen. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022a, 81) Die Energieerzeugung (mit Fokus auf Biomasse) findet sich durch einen Systemwechsel von fossilen Energieträgern auf 100% erneuerbare Energien wieder. Das Ziel ist, alle Optionen zum Ausbau der erneuerbaren Energien und zur Effizienzsteigerung bei der Energieerzeugung und beim Energieeinsatz auszuschöpfen. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022a, 87) Als Maßnahmen sind die verstärkte Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen sowie biogenen Abfällen für die Energiegewinnung aus Land- und Forstwirtschaft vorgesehen unter Berücksichtigung des Prinzips der kaskadischen Nutzungsoptionen. Zudem soll ein Verwertungskonzept für anfallende Biomasse durch Bauwerksbegrünungen entwickelt werden. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022a, 89)

### 3.1.2 BIOÖKONOMIESTRATEGIE ÖSTERREICH

Die Bioökonomiestrategie Österreich ist eine nationale Strategie und verfolgt den Übergang zu einer nachhaltigen biobasierten Wirtschaft. Unter anderem spielt die Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Ressourcen eine Rolle, um sowohl ökologische als auch ökonomische Nachhaltigkeit sicherzustellen. Die Bioökonomie spielt eine zentrale Rolle im Übergang zu einer klimaneutralen und ressourceneffizienten Wirtschaft. (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus et al. 2019, 9–11) Die Bioökonomiestrategie verfolgt dieselben landwirtschaftlichen Ziele wie die Biodiversitätsstrategie. Sie sieht Nutzungsbeschränkungen und Schutzfunktionen von Wäldern und landwirtschaftlichen Flächen vor, um auch in Zukunft Kohlenstoffsenken zu schützen. (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus et al. 2019, 27) Landwirtschaftliche Betriebe erzeugen eine Vielzahl an Rohstoffen für die Bioökonomie. Dafür ist eine entsprechende Flächenverfügbarkeit als auch ein gewisser Hektarertrag gegeben. Die Vermehrung von beiden ist nicht unbegrenzt möglich. Biodiversität benötigt eher extensiv genutzte Flächen und damit entsteht ein höherer Flächenbedarf. (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus et al. 2019, 38) Die Bioökonomiestrategie sieht vor, die Unterstützung von Sonderkulturen, Zwischenfrüchten und Vertragsanbau mit Bedacht auf mögliche negative Auswirkungen auf Biodiversität zu verstärken. (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus et al. 2019, 40) Bezüglich der Flächeninanspruchnahme, welche derzeit bei 12 ha/Tag liegt, muss laut der Bioökonomie unbedingt etwas unternommen werden. Es benötigt Konzepte zur Rekultivierung bereits bestehender Brachflächen und die Vermeidung von Flächenverlusten durch Versiegelungen muss als

Maßnahme angestrebt werden. Es ist vorgesehen, dass Flächen explizit für die Bioökonomie gesichert werden sollen. (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus et al. 2019, 39) Ein Ziel ist die Reduktion der Abhängigkeit von fossilen Ressourcen. Dafür sind die Substitutionen aller fossilen Materialien durch biobasierte Stoffe notwendig. Dies würde jedoch einen zusätzlichen Flächenbedarf von bis zu 3,8 Mio. ha nach sich ziehen. Es ist also ein Anstieg der Produktionsleistung nötig, um die zusätzlichen Flächen zu kompensieren. (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus et al. 2019, 16) Es ist vorgesehen, die Wechselwirkungen zwischen Klimawandel und verstärkter Biomasseproduktion sowie Biodiversität zu bewerten. (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus et al. 2019, 23) Ein gesonderter Fokus wird auf feste Biomasse in Form von Holz gelegt. Neben der Prozess- und Raumwärmeproduktion leistet feste Biomasse auch einen Beitrag zur Ökostromproduktion. Etwa 2 TWh können pro Jahr somit eingespeist werden. Die Bioökonomiestrategie sieht vor, dass sowohl eine Entwicklung von Alternativen zu Holz für energetische Nutzungen als auch der Weiterbetrieb regionaler Biomasseanlagen durch Steigerung der Brennstoff- und Ressourceneffizienz verfolgt werden. (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus et al. 2019, 62)

### 3.1.3 ALPENKONVENTION – AKTIONSPROGRAMM GRÜNES WIRTSCHAFTEN IM ALPENRAUM

Die Alpenkonvention hat mit dem Aktionsprogramm zum „Grünen Wirtschaften“ im Alpenraum eine Initiative ins Leben gerufen, die sich zur Aufgabe macht, die Wirtschaft auf eine nachhaltige Weise zu fördern. Wirtschaftliche Aktivitäten sollen so gestaltet werden, dass ökologische und soziale Besonderheiten der Alpen respektiert werden und im Einklang zur Natur stehen. Langfristig wird der Übergang zu einer Wirtschaft, die die Herausforderungen des Klimawandels und der knappen Ressourcen der Alpenregion beachtet, verfolgt. Umweltschutz, nachhaltige Produktion und Konsum sowie Klimaschutz und -anpassung stehen dabei im Fokus. Dazu zählt auch die Schaffung von Rahmenbedingungen für ein "grünes Wirtschaften"<sup>4</sup>. Um die Ziele erreichen zu können, müssen langfristige Wirtschaftsstrategien entwickelt und die regulatorischen Rahmenbedingungen angepasst werden. (Alpenkonvention 2017, 9) Das Programm sieht vor, Biodiversität und Ökosysteme monetär im Alpenraum zu betrachten. Dafür soll deren Wert auch in wirtschaftlicher Hinsicht betrachtet und integriert werden. Entscheidungsträger:innen sollen die Vorteile der innovativen Konzepte wie Natur- und Kulturkapital erklärt werden und gemeinsam mit der Forschung einen Ansatz zur Beurteilung und Bewertung von Ökosystemleistung finden. (Alpenkonvention 2017, 10) Maßnahmen, die die Anerkennung und Vermittlung von Biodiversität als wirtschaftliches Gut vorsehen,

---

4 „[...] als eine Wirtschaft, die menschliches Wohlergehen und soziale Gerechtigkeit fördert, indem sie zugleich Umweltrisiken und ökologische Schäden deutlich reduziert. Möglichst einfach ausgedrückt, ist eine grüne Wirtschaft eine kohlenstoffarme, ressourceneffiziente und sozial ausgewogene Wirtschaft. In einer grünen Wirtschaft wird das Wachstum von Einkommen und Beschäftigung durch öffentliche und private Investitionen angetrieben, die zur Reduzierung von Kohlenstoffemissionen und Umweltverschmutzung, zur Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz und zur Verhinderung des Verlustes von Biodiversität und Ökosystemleistungen führen.“ (UNEP 2011 in Alpenkonvention 2017, 13)

sollen umgesetzt werden. Dabei wird eine Chance der Verbesserung des Artenschutzes erkannt. Auch Schutzgebiete sollen hierbei integriert werden. Maßnahmen, wie die Entwicklung von Projekten zur Vereinbarung der Wirtschaftsentwicklung mit Naturschutz und sozialer Integration, zu fördern, die soziale Innovation im ländlichen Raum unterstützen sollen umgesetzt werden. Gleiches gilt für gute Praxisbeispiele von Biodiversitätsmanagements für Regionen. (Alpenkonvention 2017, 32) Im Bezug zum Flächenverbrauch wird das Ziel der ressourcenschonenden und kostengünstigen Kreislaufwirtschaft betrachtet. Die Reduktion des Flächenverbrauchs und des Verlusts von fruchtbaren Böden ist hierbei inkludiert. Entscheidungen zum Flächenverbrauch sollten auf einer ganzheitlichen Berücksichtigung von Flächennutzungszielen und dem Schutz des Umwelt- und Kulturerbes beruhen. (Alpenkonvention 2017, 10) Die Raumplanung spielt bei der Umsetzung eine große Rolle. Die Schaffung einer weitverbreiteten nachfrageorientierten Flächenentwicklungspolitik kann hierbei ein erster Schritt sein, um die Reduzierung des Flächenverbrauchs zu erlangen. Es wird sich auf das EU-Ziel von 2,5 ha/Jahr zusätzliche Flächeninanspruchnahme bis 2030 bezogen. (Alpenkonvention 2017, 27) Die Nutzung der Klima- und Energieherausforderungen für ökologische Innovationen zielt unter anderem auf holzartige Biomasse ab. Zusätzlich zur Verringerung der Treibhausgasemissionen durch den Ausbau erneuerbarer Energieträger soll das Wachstum der Produktionskapazitäten in Übereinstimmung mit Naturschutzinteressen sowie einer nachhaltigen Flächennutzung gefördert werden. (Alpenkonvention 2017, 9) Die Waldbewirtschaftung soll unter Einklang mit der regionalen Gemeinschaft weiterentwickelt werden, ohne der Waldökosystemleistung zu schaden. (Alpenkonvention 2017, 31) Obwohl ein wichtiges Ziel des „Grünen

Wirtschaftens“ die Förderung der nachhaltigen Nutzung von Holz und Biomasse ist, könnte es bezüglich der zunehmenden Luftverschmutzung durch die Verbrennung von Holz und Biomasse zu einem Konflikt kommen. Darum wird der Einsatz von den bestmöglichen Technologien zur Feinstaubfilterung gefördert. (Alpenkonvention 2017, 40)

### 3.1.4 MAKROREGIONALE EU-STRATEGIE FÜR DEN ALPENRAUM

Die Makroregionale EU-Strategie für den Alpenraum (EUSALP) wurde 2015 ins Leben gerufen. Sie zielt darauf ab, die Zusammenarbeit zwischen den Alpenländern zu intensivieren und nachhaltige Entwicklung in der Alpenregion zu fördern. Die EUSALP umfasst 7 Länder (Österreich, Deutschland, Frankreich, Italien, Liechtenstein, Slowenien und die Schweiz) sowie 48 Regionen dieser Länder. Die Strategie deckt verschiedene Themenfelder ab, darunter Wirtschaft, Umwelt, Mobilität und soziale Aspekte, mit einem starken Fokus auf Nachhaltigkeit und Klimaschutz. (Europäische Kommission 2015, 4–6) Konkret werden 3+1 Ziele verfolgt. Zum einen den gerechten Zugang zu Beschäftigungsmöglichkeiten unter Nutzung der hohen Wettbewerbsfähigkeit des Alpenraums, die nachhaltige interne und externe Anbindung und eine integrativere ökologische Rahmenbedingung und erneuerbare, zuverlässige Energielösungen für die Zukunft. Dazu kommt der Aufbau eines makroregionalen Governancemodells für den Alpenraum, das die Zusammenarbeit und Koordinierung von Aktionen verbessert. (Europäische Kommission 2015, 6) Zur Erfüllung der Ziele wurden Aktionsgruppen gebildet, welche sich auf die spezifische Umsetzung konzentrieren. Aktion 7 befasst sich beispielsweise mit der Entwicklung der ökologischen Anbindung im gesamten Programmgebiet. Ziel ist der Erhalt der Biodiversität und die Bereitstellung von

Ökosystemdienstleistungen. (Europäische Kommission 2015, 34) Dafür sind Maßnahmen geplant wie die Förderung der Entwicklung einer gemeinsamen richtungsweisenden, integrierten, sektorübergreifenden Landschaftsvision für die Alpen. Diese Vision sollte auf bestehenden Biodiversitätsrichtlinien basieren und Strategien sowohl auf EU-Ebene als auch auf nationaler und regionaler Ebene implementieren. (Europäische Kommission 2015, 36) Aktion 6 beschäftigt sich mit der Erhaltung und Aufwertung der natürlichen Ressourcen. Dazu zählt der Bodenverbrauch der Region, als auch die Biomasse der Wälder. (Europäische Kommission 2015, 30) Zu den Maßnahmen zählen die Inwertsetzung von Ökosystemdienstleistungen der Region innerhalb und außerhalb des Gebietes. Der Bodenschutz als auch die nachhaltige Landnutzung in den Alpen soll gestärkt werden, insbesondere in den Fragen des Flächenverbrauchs und der Bodenversiegelung. (Europäische Kommission 2015, 32) Aktion 9 setzt sich mit der Umwandlung des Gebiets in eine Vorzeigeregion für Energieeffizienz und erneuerbare Energie auseinander. Es wird auf die Nutzung von Wasserkraft, Solarenergie, Biomasse, Windenergie und Geothermie gesetzt. (Europäische Kommission 2015, 41) Die Umsetzung von Maßnahmen zur effizienteren Nutzung von lokalen Ressourcen, um die Energiesuffizienz zu erhöhen, werden angestrebt. Der Fokus liegt dabei auf dem Aufbau Biomasselieferketten und der Optimierung der vorhandenen KWK-Anlagen. Es sollen lokale Biomasseressourcen unterstützt werden durch die Förderung der nachhaltigen Nutzung von Wäldern und die Stärkung der Klimaschutzfunktion des Forstsektors. (Europäische Kommission 2015, 43)

### 3.1.5 INTEGRIERTER NATIONALER ENERGIE- UND KLIMAPLAN FÜR ÖSTERREICH

Der Integrierte Nationale Energie- und Klimaplan (NEKP) ist ein zentrales Instrument

Österreichs, um den Herausforderungen der Klimakrise gerecht zu werden. Es werden die Reduktion von Treibhausgasen, die Steigerung der Energieeffizienz und der Ausbau von erneuerbaren Energieträgern verfolgt. Die Zielsetzungen wurden aus dem Pariser Klimaschutzabkommen und der EU-Energieunion abgeleitet. Der NEKP setzt sich zusammen aus fünf Themenbereichen: Dekarbonisierung, Energieeffizienz, Energieversorgungssicherheit, Binnenmarkt und Forschung, Innovation und Wettbewerbsfähigkeit. Aus Praktikabilitätsgründen kann in dieser Arbeit keine umfassende Übersicht über Ziele und Maßnahmen des NEKP gegeben werden, sondern nur ein Auszug zu den Themen Flächenverbrauch, Biodiversität und Biomasse betrachtet werden. Für den Bereich der Raumplanung wurde sich darauf geeinigt, die Ziele und Grundsätze auf die Bekämpfung des Klimawandels auszurichten. Es werden die Ziele des ÖREK 2030 übernommen. Somit ist das Ziel, die Bodenversiegelung und Flächeninanspruchnahme zeitnah deutlich zu reduzieren und Raum- und Siedlungsstrukturen ressourcensparend zu entwickeln. Es wird auf das im Regierungsprogramm 2020-2024 definierte Ziel von 2,5/ha Flächeninanspruchnahme bis 2030 verwiesen. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2024b, 84) Im Bereich der Forstwirtschaft ist die Umsetzung der Maßnahmen der Biodiversitätsstrategie, insbesondere Maßnahmen zur Ökosystemrenaturierung, allen voran drainierte organische Böden, gestörte Moore und andere kohlenstoffreiche Ökosysteme, zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme, zum Schutz aller ökologisch wertvollen Lebensräume vorgesehen. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2024b, 173) Außerdem soll die Überarbeitung der örtlichen Entwicklungskonzepte (bzw. örtlichen Entwicklungspläne) dazu

genutzt werden, die örtliche Planung in Bezug auf Flächeninanspruchnahme und Energieraumplanung zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2024b, 180) Eine weitere relevante Maßnahme ist die Evaluierung der Rahmenbedingungen und Zielsetzungen für die energetische Nutzung von heimischer Holzbiomasse im Einklang mit politischen Strategien und Zielsetzungen für Österreich, insbesondere des Naturschutzes und der Biodiversität und unter Beachtung der Erfordernisse der Luftreinhaltung. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2024b, 172) Im Bezug auf die Nutzung von Biomasse sieht der NEKP eine nachhaltige Versorgung mit und Nutzung von Biomasse vor, wobei gleichzeitig der Druck auf die Nahrungsmittelproduktion und die biologische Vielfalt reduziert werden soll. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2024b, 38) Der Aufbau eines möglichst stabilen und an den Klimawandel angepassten Kohlenstoffpools durch Biomasse, unter Einhaltung der Grundprinzipien der nachhaltigen Waldbewirtschaftung, soll umgesetzt werden. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2024b, 171) Die nachhaltige Wärmeversorgung wird immer wichtiger. Dafür ist der Primärenergieeinsatz der Heizwerke sukzessive auf erneuerbare Energieträger umzustellen. Die Dekarbonisierung der Fernwärme soll durch die Integration von erneuerbaren Wärmequellen bzw. -erzeugern erfolgen, wobei feste Biomasse in Form von Holz dazu zählt. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2024b, 195) Aus der wissenschaftlichen Bewertung der Maßnahmen des NEKP geht hervor, dass für die

Energiewende die Mobilisierung der erneuerbaren Energiepotenziale genauso wichtig sind, wie der Ausbau der Energienetze und -speicher. (Youssef et al. 2024, 58) Für die Beschleunigung der Energiewände sind sektorale Raumordnungsprogramme auszuweisen, die Eignungs- und Vorrangzonen ausweisen, um die Bewilligungsverfahren für die Anlagenerrichtung von PV-Anlagen beschleunigen. Die sektoralen Raumordnungsprogramme sind weitgehend fehlende Instrumente, welche den Lückenschluss zwischen räumlich variierenden Energiebedarfen und erneuerbaren Energieproduktionen herstellen und den Ausbau der erneuerbaren Energien beschleunigen können. (Youssef et al. 2024, 58) Es muss ein neuer Konsens zur Energieraumplanung geschaffen werden um sicherzustellen, dass die Planung verbessert wird und die Beiträge der einzelnen Bundesländer per Multilevel-Governance umgesetzt wird. Dadurch werden Klimaschutz- und Ausbauziele auf alle Ebenen des Staates eindeutig zugewiesen wodurch adäquate Beiträge der einzelnen Bundesländer geleistet werden können. (Youssef et al. 2024, 59) Der NEKP in seiner derzeitigen Form kartiert keine konkreten Reduktionspotenziale, sondern stellt vielmehr eine Verbesserung der grundsätzlichen Rahmenbedingungen dar. Was ebenfalls fehlt, sind Analysen zum Flächenpotenzial beim Fernwärmeausbau. Es fehlt an flächendeckenden Grundlegekarten für Biomasse, Umgebungswärme und Geothermie. Auch hierfür scheinen Energieraumpläne ein geeignetes Instrument zu sein, die nötigen Lage- und Ertragspotenziale zu identifizieren, sofern diese von Anfang an mitgedacht werden. (Youssef et al. 2024, 63) Zwar wird die Notwendigkeit der Evaluierung der nachhaltigen Nutzung von Holzbiomasse, im Sinne des Kaskadenprinzips nahegelegt, jedoch fehlen konkrete Vorschläge, wie solch eine Evaluierung durchzuführen wäre. Umsetzungen einer

verlängerten kaskadischen Nutzung von Biomasse ist seither ausgeblieben. Die Auswirkungen der Nutzungsverlängerung müssten zukünftig noch untersucht werden. (Youssef et al. 2024, 64-65) Zusammengefasst kann man sagen, dass der NEKP mit dem integrierten Ansatz versucht so viele Problemstellen bezüglich der Klimakrise wie möglich zu lösen, jedoch an einigen Stellen zu kurz kommt. Es benötigt mindestens ein räumliches Bekenntnis zur Flächenmobilisierung der erwähnten Potenzialflächen und eine Verdeutlichung des Aufgabenbereichs der Energieraumplanung auf allen Ebenen, um seinen eigens gesetzten Zielen gerecht zu werden.

### 3.1.6 AKTIONSPLAN KLIMAWANDEL

Der Aktionsplan Klimawandel der Alpenkonvention ist ein integraler Bestandteil der Alpenkonvention, die 1991 ins Leben gerufen wurde, um den Schutz und die nachhaltige Entwicklung der Alpenregion zu fördern. Der Aktionsplan konzentriert sich auf die spezifischen Herausforderungen, die der Klimawandel für die Alpenregion mit sich bringt, und entwickelt Maßnahmen, um die Widerstandsfähigkeit der Region zu stärken und die Auswirkungen des Klimawandels zu mindern. (Alpenkonvention 2021, 5–6) Die Alpen beherbergen eine einzigartige und artreiche Flora und Fauna, die durch den Klimawandel bedroht ist. Der Aktionsplan fördert den Schutz und die Wiederherstellung von Lebensräumen, um den Erhalt dieser Biodiversität zu gewährleisten. Die Alpenkonvention verfolgt das Ziel, dass der Alpenraum für alle Arten durchlässig bleibt, indem Landschaften und Ökosysteme geschützt und verwaltet werden sollen. Zudem wird auf die grenzüberschreitende Zusammenarbeit innerhalb des Alpenraums gesetzt. (Alpenkonvention 2021, 28) Um dies zu erreichen, werden Empfehlungen zu Planung, Schutz und Wiederaufbau von Landschaften entwickelt. Dazu kommt die

Erstellung eines gemeinsamen Konzeptes zum Vorgehen gegen invasive Arten und die Entwicklung eines Klimawandelmanagementplans für Schutzgebiete. (Alpenkonvention 2021, 28–29) Der Plan setzt sich für eine räumlich konzentrierte Siedlungsentwicklung ein, um den Flächenverbrauch zu minimieren und die Landschaften der Alpen zu schützen. Bauprojekte werden strengen Prüfungen unterzogen, um die zusätzliche Versiegelung von Flächen zu minimieren. Dem Schutz der Ressource Boden kommt ein großer Fokus zu, welcher ausschließlich nachhaltig bewirtschaftet werden soll, um somit die Bodenfruchtbarkeit zu bewahren und den Boden vor Erosionen zu schützen. (Alpenkonvention 2021, 20–22) Die Alpenkonferenz erkennt den Bedarf nach der Entwicklung eines alpenweiten Rahmens zur Erhaltung von kohlenstoffreicher Böden sowie nach einer Reduktion des Bodenverbrauchs und der Bodenversiegelung an. Unter anderem soll die Sicherstellung kohlenstoffreicher Böden erfolgen, ebenso wie ein gemeinsamer Ansatz zur Reduzierung des Bodenverbrauchs, welcher in die Raumplanungskonzepte der jeweiligen Mitgliedsländer integriert werden soll. (Alpenkonvention 2021, 22) Hinsichtlich der Biomassenutzung sind insbesondere Bergwälder von immer größerer Bedeutung. Sie sind entscheidend für die Vision von klimaneutralen und klimaresilienten Alpen. Zu diesem Zweck ist vorgesehen, unter anderem Waldentwicklungsszenarien unter dem Einfluss des Klimawandels in den Alpen zu entwickeln und regionale Wertschöpfungsketten für Holz als Ressource umzusetzen und weiterzuentwickeln. (Alpenkonvention 2021, 27)

### 3.1.7 DER EUROPÄISCHE GRÜNE DEAL

Der European Green Deal dient dem Zweck, Europa bis 2050 zum ersten klimaneutralen Kontinent zu machen und wurde Ende 2019 von der Europäischen Kommission

vorgelegt. Als Leitkonzept der EU sorgt er für einen geeigneten Rahmen, der den Umbau zu einer nachhaltigen und klimafreundlichen Wirtschaft in Europa unterstützt. Dabei wurde der Green Deal relativ breit aufgestellt, sodass er viele verschiedene Sektoren und dafür ausgelegte Maßnahmen beinhaltet. Hierzu zählen die Sektoren Energie, Industrie, Verkehr, Landwirtschaft und Biodiversität. (Europäische Union 2019, 2–3) Das Hauptziel ist, die Klimaneutralität bis 2050 zu erreichen. Damit dies gelingt, wurde eine Vielzahl von Unterzielen definiert, welche im Rahmen der Arbeit nicht alle vorgestellt werden. Unter anderem sieht der Deal eine flächenmäßige und qualitative Verbesserung der Wälder Europas vor. Der European Green Deal greift Ziele der EU-Forststrategie auf, die die Aufforstung der europäischen Wälder vorsieht. Es werden damit weitere CO<sub>2</sub>-Speicher geschaffen. (Europäische Union 2019, 16) Durch eine gemeinsame Agrarpolitik soll der Schutz der Umwelt und die Erhaltung der Biodiversität gestärkt werden. (Europäische Union 2019, 14) Um dem Biodiversitätsverlust entgegenzuwirken wurde eine Biodiversitätsstrategie entwickelt, welche sich ausschließlich mit dem Erhalt des Ökosystems auseinandersetzt. Die österreichische Adaption der europäischen Strategie wurde bereits vorgestellt. Im Bezug auf die Nutzung von Biomasse wird auf RED III verwiesen, was im Jahr 2025 in Kraft treten wird. Es wird dabei das Kaskadenprinzip forciert und durch die Ausweisung von „No-Go-Zonen“ die Biodiversität geschützt. Dabei wird darauf geachtet, dass kein Holz in diesen Zonen aus Wäldern entnommen werden darf. Des Weiteren müssen Biomasseheizwerke mit einem Energieverbrauch von 7,5 MW oder mehr den Nachhaltigkeitskriterien der EU entsprechen. Außerdem müssen Biomasseheizwerke den vorgegebenen Treibhausgaseinsparungen entsprechen, welche sich je nach Anlage und Zeitpunkt der

Installation unterscheiden. Die bessere Integration der Kreislaufwirtschaft wird zwar angesprochen, jedoch nur auf die Textil-, Bau-, Elektronik- und Kunststoffsektoren bezogen. (Europäische Union 2019, 9)

### 3.1.8 ÖSTERREICHISCHE KREISLAUFWIRTSCHAFTSSTRATEGIE

Das Konzept der Kreislaufwirtschaftsstrategie Österreich zielt darauf ab, eine „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft“ zu errichten. In einer solchen Wirtschaft wird der Einsatz von Ressourcen optimiert und Emissionen in den Wirtschaftskreislauf integriert, welche ansonsten als Abfälle die Umwelt belasten. Letzten Endes sollte die Ressourceneffizienz erhöht, die Umweltbelastung verringert und die Abhängigkeit von Primärrohstoffen gesenkt werden. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022b, 4–8) Die Kreislaufwirtschaftsstrategie ist eng verknüpft mit diversen nationalen Strategien und Programmen. Unter anderem mit der Bioökonomiestrategie, dem Nationalen Energie- und Klimaplan und mit der Biodiversitätsstrategie. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022b, 9) Aus diesem Grund werden in dieser Arbeit die Ziele und Maßnahmen nicht bis ins Detail erläutert. Das Ziel der Reduktion des Ressourcenverbrauchs bezieht sich neben diversen Materialien auch auf die Ressource Boden. Die Flächeninanspruchnahme durch Bauleistungen ist ein geeigneter Indikator, um den Ressourcenverbrauch des Landes zu messen. Es werden die Vorgaben des Regierungsprogrammes 2020-2024 übernommen, welche eine zusätzliche Flächeninanspruchnahme von 2,5 ha/Tag bis zum Jahr 2030 vorsieht. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022b, 18) Die Vermeidung von fossilen Kohlenstoffen in der Energie- und Materialwirtschaft

ist vorgesehen. Besonders bei Biomassen bestehen Chancen, recycelbare Abfälle effizient zu nutzen. Durch kaskadenartige Nutzung kann die Wertschöpfung von Biomasse weiter erhöht werden. Bei einer kreislauforientierten Nutzung von Biomasse gilt es auch Schutzziele betreffend die Biodiversität, das Bodenmanagement und die Bekämpfung des Klimawandels zu berücksichtigen. Ziel ist es, die Effizienz der landwirtschaftlichen Produktion zu steigern und sie zugleich zu diversifizieren und dies in Verbindung mit der eingangs genannten Schutzfunktion. Um die Kohlenstoffspeicherung effizienter zu gestalten, sind geeignete biogene Produkte nachfragewirksam zu machen. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022b, 66) Generell sollte hierbei jedoch der weitere Ausbau bzw. die energetische Nutzung von natürlichen Kohlenstoffspeichern kritisch gesehen werden, da es sich bei der Verbrennung um CO<sub>2</sub>-Ausstöße handelt, egal ob dies durch die zuvor kommende Speicherung als „klimaneutral“ betrachtet werden könnte. Die Nutzung von Biomasse als Baumaterial bindet CO<sub>2</sub> unter dieser Betrachtungsweise um viele Jahrzehnte länger und wäre an sich „klimaneutraler“ als die Verbrennung in Biomasseheizwerken. Auch wenn durch diese Ansichtswiese der Ausstoß von Schadstoffen verzögert wird, ändert dies nichts an der Tatsache, dass früher oder später der Ausstoß stattfinden wird. Generell sollte der Begriff der „Klimaneutralität“ von Biomassen überdacht werden. In dieser Arbeit wird auf diese Tatsache nicht näher eingegangen. Es sei jedoch trotzdem zu erwähnen, dass dieser Grundgedanke, auch wenn es nicht direkt angesprochen wird, sich durch die gesamte Arbeit zieht.

### 3.1.9 ÖSTERREICHISCHE STRATEGIE ZUR ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL

Die Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel ist ein umfassendes Rahmenwerk, dessen Ziel die Steigerung der Anpassungseffizienz an die Auswirkungen des Klimawandels ist. Sie wurde erstmals 2012 veröffentlicht und im Jahr 2017 aktualisiert, um Maßnahmen zur Anpassung in unterschiedlichen Sektoren zu fixieren. Sie ist als intersektorale und interdisziplinäre Strategie stark auf Kooperationen und Vernetzungen fokussiert und umfasst konkrete Handlungsempfehlungen und konkrete Maßnahmenvorschläge sowohl für den Bund und die Länder als auch für Gemeinden, Zivilgesellschaft und Wirtschaft. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2024a, 13–17) Eine gesamtheitliche Betrachtung wird in dieser Arbeit nicht durchgeführt. Beispielfhaft werden einige relevante Ziele und Maßnahmen aufgezeigt. Das Ziel der Vermeidung lokaler Hochwasserereignisse sieht als Maßnahme vor, den Flächenversiegelungsgrad zu reduzieren, als auch die zusätzliche Versiegelung von Parkflächen durch den Einsatz von versickerungsfähigen Materialien zu vermeiden. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2024a, 242–243) Das Ziel der Nutzung klimawandelbedingter Chancen im Sommertourismus steht im möglichen Konflikt mit der Biodiversität und der Flächeninanspruchnahme bei der Schaffung von neuen Angeboten. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2024a, 182–183) Gleiches ist beim Städtetourismus zu beobachten. Entwickeln können sich in diesem Zusammenhang jedoch Übernutzungen von Naherholungsgebieten im urbanen Raum und Konflikte im Bereich der Biodiversität und der Ökosysteme. Darüber hinaus ist die

Integration von Klimafolgen in Naturschutzinstrumente erstrebenswert, was durch eine verstärkte Verzahnung von Raumplanung und Naturschutz erreichbar ist. Zusätzlich soll der Naturschutz in der Raumordnung gestärkt werden, insbesondere hinsichtlich Lebensraumkorridore, Biotopverbund und Flächeninanspruchnahme. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2024a, 372–373) Das Ziel der Erhöhung der Resilienz von landwirtschaftlichen Betrieben, Förderung der Gesundheit und des Wohlbefindens gealpter Tiere, Abmilderung von Naturgefahren und Klimarisiken, Stärkung der Biodiversität und Erholungsmöglichkeit für Almbesucher:innen sieht vor, Anpassung des Tierbestandes an verfügbare Futtermengen durchzuführen. Gegebenenfalls sind Aufstockungen der Bestände aufgrund von klimabedingt erhöhten Biomasseerträgen und zur Vermeidung von Futterqualitätsverlusten geplant. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2024a, 62–64) Weitere Ziele sind die Umsetzung einer überörtlichen und regionalen Flächenvorsorge sowie anderer raumrelevanter Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Hierzu zählt die Sicherung gemeindeübergreifender Flächen für die erneuerbare Energieproduktion, vor allem von Energie aus Biomasse. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2024a, 489–492)

### 3.1.10 LOKALE ENTWICKLUNGSSTRATEGIE 2023-2027 LUNGAU

Die Lokale Entwicklungsstrategie (LES) 2023-2027 für den Lungau ist ein Rahmenplan der LEADER-Region Lungau, der KEM-Lungau und des Biosphärenparks Lungau, die in Zusammenarbeit mit zahlreichen lokalen Akteuren erarbeitet wurde. Die Strategie legt den Schwerpunkt auf die

nachhaltige Entwicklung des Lungaus. Mit den Zielen und Maßnahmen der LES sollen vorrangig wirtschaftliche, soziale und ökologische Aspekte verbunden werden, um einerseits die Lebensqualität der Bewohner:innen zu verbessern und andererseits die natürlichen Ressourcen der Region zu sichern. Als Meta-Ziel wird die Bewahrung der Auszeichnung UNESCO Biosphärenpark Salzburger Lungau & Kärntner Nockberge und die Etablierung der Marke Biosphärenpark Salzburger Lungau verfolgt. (LEADER Region Lungau 2023, 20) Das Aktionsfeld 2 behandelt die Themen Natur, Kultur und Brauchtum. Ein Schwerpunkt wird dabei auf die Erhaltung der Kreislaufwirtschaft, sowie auf die Förderung der Biodiversität gelegt. (LEADER Region Lungau 2023, 37) Dafür sollen Biodiversitätsflächen in Form von Bäumen, Hecken und Sträuchern zum Schutz des Braunkehlchens geschaffen werden. (LEADER Region Lungau 2023, 40) Daneben werden Ranger in der Region eingesetzt, um aktiv Sensibilisierungsarbeit und Bewusstseinsbildung für die Bevölkerung und für Gäste zu betreiben. Durch die Umsetzung vieler solcher Projekte soll der Erhalt der Biodiversität und die Ökosystemleistung erhalten werden. (LEADER Region Lungau 2023, 72) Bodenversiegelung soll, wie im ÖREK 2030 beschrieben, große Berücksichtigung bei der Umsetzung von Projekten finden. (LEADER Region Lungau 2023, 63) Biomasse und erneuerbare Heizsysteme sind bereits gut etabliert. Das Ziel, die letzten noch möglichen Potenziale auszuschöpfen wird verfolgt. 70% der Heizenergie wird bereits durch Biomasse erzeugt. (LEADER Region Lungau 2023, 53)

### 3.1.11 ZWISCHENFAZIT

Beim Vergleich der ausgewählten Strategien und Pläne zeigt sich, dass die drei Themenfelder Biodiversität, Flächeninanspruchnahme und die energetische Nutzung von Biomasse fest miteinander verknüpft sind.

Alle Themengebiete sind wesentlich für eine nachhaltige räumliche Entwicklung und den Umwelt- und Klimaschutz. Trotz der Ähnlichkeit der Ziele sind durchaus unterschiedliche Herangehensweisen erkennbar, die das Verständnis der nationalen und internationalen Umweltpolitik unterschiedlich prägen. Die Biodiversität stellt ein zentrales Element für die gewählten Strategien und Pläne dar. So wird beispielsweise in der Biodiversitätsstrategie vom Ziel des Erhalts der Artenvielfalt gesprochen. Dieses Ziel wird von den anderen Werken aufgegriffen und sich immer wieder darauf bezogen. Deutlich wird auch, dass die Förderung von Biodiversität nicht nur die ökologische Förderung bedeutet, sondern sich auch auf wirtschaftliche und soziale Einflussgrößen bezieht. Besonders gefährdet ist die Biodiversität von der steigenden Flächeninanspruchnahme und der zunehmenden Fragmentierung von Lebensräumen. Durch „Mainstreaming“ des Biodiversitätszieles wird somit der Schutz der Biodiversität in alle Wirtschaftssektoren integriert und erhöht die Wirksamkeit des Schutzes. Biomasse wird als eine der Hauptquellen für erneuerbare Energien betrachtet, insbesondere im Hinblick auf den Übergang von fossilen Energieträgern zu nachhaltigen, erneuerbaren Quellen. In der Bioökonomiestrategie werden zum Beispiel Holz und biogene Abfälle als erneuerbare Rohstoffe genannt, die zur Energieerzeugung beitragen können, indem sie anstelle fossiler Rohstoffe im Energiemix eingesetzt werden. Doch die Verwendung von Biomasse ist nicht unkritisch, da diese oft zwangsläufig mit einem erhöhten Flächenbedarf verbunden ist. Die Bioökonomiestrategie betont daher die Notwendigkeit, die Erweiterung der Biomasseproduktion immer im Einklang mit den Biodiversitätszielen zu sehen, um nicht an anderer Stelle umwelttechnische Probleme zu verschärfen. Die Kaskadennutzung und die Förderung der Kreislaufwirtschaft von Biomasse – also

die mehrfache Verwendung eines Rohstoffes – wird als effizienter Weg gesehen, Umweltressourcen möglichst effizient zu nutzen und damit den Druck auf die Natur zu verringern. Diese Vorgehensweise erscheint sinnvoll, um den ökologischen Fußabdruck der Biomasseproduktion möglichst zu minimieren und zugleich das wirtschaftliche Potenzial auszuschöpfen. Ein weiterer zentraler Punkt der Pläne und Strategien ist die Reduktion des Flächenverbrauchs, der sowohl die Biodiversität als auch die Biomasseproduktion beeinflusst. Die Bodenversiegelung und die fortschreitende Inanspruchnahme von landwirtschaftlichen und Grünflächen stellen eine der größten Bedrohungen für nachhaltige Entwicklung dar. Österreich hat sich zum Ziel gesetzt, den täglichen Flächenverbrauch bis 2030 auf 2,5 ha pro Tag zu reduzieren, mit einem langfristigen Ziel von sogar 0 ha pro Tag durch Entsiegelungsmaßnahmen. Die Raumplanung und die Forcierung der Bodenstrategie spielen hierbei eine entscheidende Rolle, um dieses Ziel zu erreichen. Ein kluger Umgang mit der zur Verfügung stehenden Fläche ist daher nicht nur von Umwelt- und Naturschützern, sondern auch für die landwirtschaftliche Produktion und die Biomasseproduktion unentbehrlich. Insgesamt zeigt sich, dass die Herausforderungen in den Bereichen Biodiversität, Biomasse und Flächenverbrauch eng miteinander verwoben sind. Als Fazit lässt sich sagen, dass es nicht ausreicht, nur einzelne Maßnahmen in den jeweiligen Bereichen umzusetzen. Vielmehr ist ein ganzheitlicher Ansatz erforderlich, der sowohl ökologische, ökonomische als auch soziale Aspekte berücksichtigt. Die Biodiversität, der nachhaltige Einsatz von Biomasse und die Reduzierung des Flächenverbrauchs müssen als gemeinsame Aufgabe verstanden werden, um die gesteckten Ziele bis 2030, 2040 oder 2050 erreichen zu können. Leider fehlen bei der Gesamtbetrachtung der ausgewählten

Strategien und Pläne, bis auf wenige Ausnahmen, die räumliche Differenzierung. Bei der Erstellung von neuen Fassungen sollte diese unbedingt konkretisiert werden, um die Energiewende schneller zu erreichen und den Klimaschutz effizienter zu gestalten.

### 3.2 ÖREK

Das ÖREK wurde bei den gesetzlichen Rahmenbedingungen schon kurz beschrieben. Die Österreichische Raumordnungskonferenz (ÖROK) wurde 1971 gegründet, um die Zusammenarbeit zwischen Bund, Ländern und Gemeinden in der Raumordnung und Raumplanung zu koordinieren. Die ÖROK befasst sich vor allem mit der Förderung einer gesamthaften Raumentwicklung und einer ausgewogenen Verteilung von Ressourcen, mit der Abstimmung von Raumordnungspolitikern auf nationaler, regionaler und lokaler Ebene und mit der Erstellung von Berichten, Studien und Programmen zur Raumordnung und Regionalentwicklung. (ÖROK 2021, 4–5) Etwa alle 10 Jahre erstellt die ÖROK das Österreichische Raumentwicklungskonzept (ÖREK). Es beinhaltet langfristige Leitlinien und Ziele für die räumliche Entwicklung Österreichs. Es stellt ein Rahmenwerk zur Orientierung für Politik, Verwaltung und Öffentlichkeit in raumrelevanten Fragen dar. Es beinhaltet Maßnahmen zur Anpassung an demographische und wirtschaftliche Veränderungen, als auch raumplanerische Ansätze zur Verbesserung der Lebensqualität und der Umweltbedingungen. (ÖROK 2021, 4–5) In dieser Arbeit sind vor allem die Standpunkte der ÖROK zu den Themen Flächenverbrauch, Biodiversität und Energieerzeugung mit dem Fokus auf Biomasse relevant. In den nachfolgenden Kapiteln werden die Standpunkte kurz erläutert.

#### 3.2.1 FLÄCHENVERBRAUCH

Herausforderungen wie die Klimakrise spiegeln sich wider im Verlust von Biodiversität und auch durch den Rückgang an landwirtschaftlichen Nutzflächen. Zusätzlich ist damit zu rechnen, dass die Flächeninanspruchnahme durch das Bevölkerungswachstum und der dadurch folgenden Siedlungsentwicklung weiter steigen wird. Raum- und Siedlungsstrukturen gilt es so zu entwickeln, dass eine Zunahme der Bodenversiegelung minimiert und durch Entsiegelung kompensiert wird. (ÖROK 2021, 14)

Das Hauptziel ist die Reduktion der Flächeninanspruchnahme auf netto 2,5 ha/Tag bis 2030. Hierbei geht es um den dauerhaften Verlust von fruchtbarem Boden, insbesondere durch Bauland und Verkehrsflächen. Diese Vorgabe entspricht den Zielsetzungen der EU und der österreichischen Bundesregierung, wobei langfristig bis 2050 ein Netto-Null-Verbrauch von Flächen angestrebt wird. (ÖROK 2021, 59) Ein weiteres Ziel ist die deutliche Reduzierung der Bodenversiegelung, da versiegelte Flächen ihre ökologischen Funktionen wie Wasserspeicherung und Klimapuffer verlieren. Rund 40 % der in den letzten Jahren in Österreich in Anspruch genommenen Flächen wurden versiegelt. (ÖROK 2021, 59) Um den Bedarf an neuen Flächen zu reduzieren, sollen bestehende Siedlungsstrukturen verdichtet und brachliegende Flächen revitalisiert werden. Durch die Gewährleistung von verdichteten und emissionsparenden Wohn- und Siedlungsformen kann ein maßgeblicher Beitrag zur Minimierung der Flächeninanspruchnahme geleistet werden. (ÖROK 2021, 60) Für die Umsetzung der Ziele wurden folgende Handlungsaufträge von der ÖROK formuliert:

Die Nachnutzung brachgefallener Siedlungs-, Gewerbe- und Handelsflächen forcieren und Leerstandsmanagement etablieren:

Die Nachnutzung von Brachflächen und die Revitalisierung von Leerständen leisten einen direkten Beitrag zur Minimierung neuer Flächeninanspruchnahmen und Bodenversiegelungen. Der Aufbau von österreichisch einheitlichen Kriterien soll dabei geschaffen werden. (ÖROK 2021, 66) Maßnahmen wurden dazu folgende gewählt:

- Datengrundlage verbessern und österreichweite Evidenzen aufbereiten und veröffentlichen (ÖROK-Atlas)
- Zweckmäßigkeit eines Leerstandskatasters klären und Push- and Pull-Maßnahmen konzipieren
- Brachflächenrecycling fördern
- Potenziale und Optionen aufzeigen (Brachflächen für Energiebereitstellung oder zur Anpassung an den Klimawandel)

Maßnahmen zur Erreichung des nationalen 2,5 ha-Zielwertes auf Länderebene konkretisieren:

Die Zielvorgabe kann nur durch abgestimmte Vorgehensweise des Bundes, der Länder, Städte und Gemeinden erreicht werden. Dafür ist zunächst die genaue Definition der Rahmenparameter notwendig. Aufgrund der Dringlichkeit werden Maßnahmen in ein regionalisiertes Zielsystem mit Meilensteinen zeitnah eingebettet. (ÖROK 2021, 66) Folgende Maßnahmen wurden dafür gewählt:

- Für die Bundesländer werden spezifische Zielvorgaben und Raumtypen (Stadt, ländlicher Raum, etc.) entwickelt. Eine ÖREK-Partnerschaft zum Thema „2,5 ha“ zur genauen Definition dieser Ziele ist vorgesehen.
- Flächennutzungsveränderungen, die für die Zielerreichung relevant sind, sollen definiert werden und

ein nationales Monitoringsystem entwickelt werden.

- In die Raumordnungsgesetze der Bundesländer sollen die Ziele zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme eingebettet werden.
- Mindestdichten und Mindestanteile an flächensparenden Bauformen als auch Empfehlungen für Entsiegelung von Flächen sollen überörtlich festgelegt werden.
- Instrumente zur Verknüpfung der Reduktionsziele mit finanziellen Anreizen sollen entwickelt werden.

Siedlungen nach innen entwickeln und verdichten sowie Fehlentwicklungen in Außenbereichen auf Rücknahme prüfen:

Neben der Nachnutzung stellt die Innenentwicklung und Nachverdichtung eine maßgebliche Rolle der Raumplanung dar. Durch das Decken des Bedarfs an Wohnraum in verdichteten Lagen können Fehlentwicklungen im Außenbereich verändert werden. Rückwidmungen sind derzeit rechtlich schwierig durchzuführen. Es bedarf einer Betrachtung von Anreizsystemen und Bewusstseinsbildung. (ÖROK 2021, 67) Dafür wurden folgende Maßnahmen gesetzt:

- Ergebnisse der ÖREK-Partnerschaft „Stärkung der Orts- und Stadtkerne“ in die neue „2,5 ha“ Partnerschaft aufnehmen
- Förderung auf die Maßnahmen zur Stärkung der Orts- und Stadtkerne ausrichten
- Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen prüfen. Anforderungen an Anreiz- und Fördersysteme konkretisieren

Baulandreserven mobilisieren und Neuwidmungen durch aktives Baulandmanagement begleiten:

Der Baulandbedarf und die Zielwerte der Reduktion der Flächeninanspruchnahme bilden Rahmenparameter für künftige Entwicklungen des Baulandes. Die Entwicklung von neuen Modellen zur Minimierung des Ausmaßes von neu gewidmeten Flächen als auch zum Ausgleich von Widmungs- und Dichtegewinne sind zu entwickeln. Die Reduktion des Flächenangebotes darf aber nicht zum Anstieg der Bodenpreise führen. (ÖROK 2021, 68) Definiert wurden folgende Maßnahmen:

- Ergebnisse der ÖREK-Partnerschaften „Flächensparen, Flächenmanagement und aktive Bodenpolitik“ sowie „Leistbares Wohnen“ aufgreifen und eine Fortführung in einer neuen ÖREK-Partnerschaft zum Thema „Baulandmobilisierung und aktive Bodenpolitik“ prüfen. Erarbeitung von rechtlichen Grundlagen und Empfehlungen für den Ausgleich von Widmungs- und Dichtegewinnen.
- Modelle zur Erstellung regionalisierter Baulandbedarfsberechnungen und Prüfung des interkommunalen Handels mit Flächenzertifikaten anhand Erfahrungen aus anderen Ländern.

Landwirtschaftliche Flächen und Qualität der Bodenfunktionen für Nahrungsmittelproduktion erhalten:

Der Erhalt von land- und forstwirtschaftlichen Flächen ist eine zentrale Voraussetzung zur Eigenversorgung mit Nahrungsmitteln. Die fortschreitende Flächeninanspruchnahme und Klimawandel werden den Grad der Eigenversorgung bis 2050 deutlich senken. Die Festlegung von Zielen zur Sicherung hochrangiger Nahrungserzeugungsflächen ist eine Maßnahme mit hoher räumlicher Wirkung. Dazu zählt die Abwägung anderer

Bodenfunktionen wie die Biodiversität. Für die Forstwirtschaft gilt es, die Raumplanungsinstrumente zu sichern und in Abstimmung weiterzuentwickeln. (ÖROK 2021, 69–70) Zwei Maßnahmen wurden hierfür ausgewählt:

- Gründung der ÖREK-Partnerschaft „Freiraumentwicklung, Ressourcenschutz und Klimawandel“ in Verbindung mit Maßnahmen zur Sicherung von Grün- und Freiräumen.
- Parameter und Methoden zur räumlichen Konkretisierung von vorrangigen Freiraumfunktionen erarbeiten und auf verschiedene Raumtypen anwenden.

### 3.2.2 BIODIVERSITÄT

Ein zentrales Anliegen des ÖREK 2030 ist der Schutz der Biodiversität als integraler Bestandteil der nachhaltigen Raumentwicklung. Biodiversität umfasst sowohl die Vielfalt der Lebensräume als auch die Artenvielfalt, wobei der Funktionalität der Ökosysteme eine zentrale Bedeutung zukommt, da sie bedeutende Ökosystemdienste wie z.B. Klimaregulation, Wasserreinigung oder Schutz vor Naturgefahren erbringen. (ÖROK 2021, 14–15)

Der Rückgang der Biodiversität kann durch diverse Indikatoren gezeigt werden. Eine Möglichkeit ist der Rückgang der fliegenden Insekten. Der Zustand in Österreich wird als alarmierend angesehen. Die Sicherung und Wiederherstellung von Lebensräumen sind vorrangige Ziele. (ÖROK 2021, 151) Die HANPP wird nicht als Indikator verwendet, wäre aber eine weitere Möglichkeit, den Biodiversitätsverlust zu quantifizieren. Dies wird in einem späteren Kapitel durchgeführt. Eine der größten Herausforderungen für die Biodiversität ist die Zerschneidung und Verkleinerung von Lebensräumen durch Siedlungen, Verkehrswege und

Industrie. Ein verbundenes Netzwerk aus Freiflächen soll geschaffen werden, sodass Lebensräume wieder vernetzt werden und somit die biologische Vielfalt unterstützt wird. Biodiversität wird auch im Kontext der Klimaanpassung gesehen, wobei natürliche Ökosysteme als Puffer gegen die Auswirkungen des Klimawandels dienen. (ÖROK 2021, 151) Folgende Handlungsaufträge wurden im ÖREK definiert:

Grün- und Freiflächen sichern und vernetzen und klimawandelrelevante Funktionen sowie Biodiversität stärken:

Grün- und Freiräume unterliegen komplexen Wirkungszusammenhängen und unterschiedlichen Funktionen im Raum. Nutzungen können zu Interessens- und Nutzungskonkurrenzen auf derselben Fläche führen. Es gilt, eine systematische und räumlich differenzierte Betrachtung auf die Wirkungszusammenhänge mit dem Ökosystem und der Biodiversität zu bewerten. Die Erholungsfunktion von Grünräumen soll in der Betrachtung berücksichtigt werden. (ÖROK 2021, 75) Dafür wurden folgende Maßnahmen gewählt:

- Die Errichtung der ÖREK-Partnerschaft „Freiraumentwicklung, Ressourcenschutz und Klimawandel“ prüfen anhand von Zielen im Zusammenhang mit Funktionen von Frei- und Grünräumen sowie Natur- und Kulturlandschaften im Kontext des Klimawandels und der Biodiversität.
- Kriterien definieren für die Abwägung von Grün- und Freiraumfunktionen.
- Interessens- und Nutzungskonflikte auf Grün- und Freiflächen benennen und Auswirkungen umfassend betrachten.
- Modelle zur finanziellen Berücksichtigung von ökosystembasierten

Dienstleistungen prüfen und deren räumliche Wirkung aufzeigen.

Eingriffe in Grün- und Freiräume zielorientiert ausgleichen:

In verschiedenen Genehmigungsverfahren werden Maßnahmen zur Minderung von Eingriffen seitens der Projektwerber:innen vorgeschrieben. Flächen für diese Maßnahmen sind oft nicht verfügbar. Die Überprüfung dieser Maßnahmen auf die Wirkung hinsichtlich Klimaschutz und Biodiversität ist rechtlich noch nicht ausreichend verankert. Optimierungsmöglichkeiten bestehen dabei bei der Überprüfung der Vereinbarkeit der Funktionen von Flächen. (ÖROK 2021, 76) Folgende Maßnahme wird dabei vorgesehen:

- Modelle zum Aufbau von regionalen Ausgleichflächenpools erarbeiten sowie Umsetzungserfordernisse konkretisieren. Diese Wirkungen gilt es auf deren Klima- und Biodiversitätsschutz sowie Ernährungssicherheit zu überprüfen. Die Ausgleichsmaßnahmen sollen österreichweit erfasst werden.

Räumliche Nutzungskonkurrenzen nachvollziehbar abwägen und öffentliche Interessen insbesondere zum Klimaschutz und zur Klimawandelanpassung sicherstellen:

Es benötigt Instrumente zur Abwägung verschiedener sich widersprechenden räumlichen Nutzungsinteressen, damit sie auf formale Verfahren und informelle Aushandlungsprozesse angewendet werden können. Der Fokus liegt dabei auf Nutzungskonflikte des Klimaschutzes und die Anpassung an den Klimawandel. (ÖROK 2021, 130) Folgende Maßnahmen wurden formuliert:

- Methoden für ein praxistaugliches Vorgehen für Interessenabwägungen bei konkreten Vorhaben entwickeln.

- Untersuchungsumfang der SUP-Pflicht als auch Prüfumfang von Raumplänen vereinheitlichen.
- Zielkataloge der Raumordnungsgesetze im Bezug auf Klimaschutzziele und Biodiversitätsziele prüfen und Handlungsbedarfe identifizieren.
- ÖROK-Empfehlung zum Umgang mit Nutzungskonflikten und Interessenabwägungen im Sinne der Allgemeinheit ausarbeiten.

### 3.2.3 BIOMASSE

Die energetische Nutzung von Biomasse ist ein zentrales Element im Energiemix Österreichs. Der Nutzung von Energieerzeugungsf lächen kommt im Rahmen der Energiewende einer immer wichtigeren Bedeutung zu. (ÖROK 2021, 18–19)

Laut dem ÖREK 2030 soll in Österreich in den nächsten zwei Dekaden die Elektrizitätsnachfrage um ungefähr 20% wachsen, was auf den zunehmenden Grad der Elektrifizierung von Wirtschaft, Haushalten und Mobilität bezogen wird. Der NEKP geht sogar von mehr als 50% aus. Ziel ist die Dekarbonisierung der Gesellschaft durch die Substitution fossiler Energiequellen durch Alternative. Hierfür ist eine Zunahme der Stromproduktion von Biomasse um 20% erforderlich, um das Ziel der Dekarbonisierung erreichen zu können. (ÖROK 2021, 32–33) Die Nutzung von Biomasse soll regional organisiert werden, um Kreislaufwirtschaft und lokale Wertschöpfung zu fördern. Biomasse bietet eine große Chance für ländliche Regionen, da sie zur wirtschaftlichen Stabilität und zu regionalen Wirtschaftskreisläufen beitragen kann. (ÖROK 2021, 20) Es wird angestrebt, die Effizienz der Biomassenutzung zu erhöhen, z.B. durch Kaskadennutzung, bei der Rohstoffe mehrfach verwendet und Nebenprodukte recycelt werden. (ÖROK 2021, 117) Für diese Ziele

wurden folgende Handlungsaufträge definiert:

Erneuerbare Energieträger zur regionalen Versorgung ausbauen, betriebliche Abwärme nutzen:

Für die Erreichung der Klimaziele sind bis 2030 mindestens 50 Biomassekraftwerke zusätzlich erforderlich. Dazu kommt die Nutzung von betrieblicher Abwärme in regionalen und lokalen Versorgungsnetzen. Der Umbau zu einer klimaneutralen Energieproduktion stellt für ländliche Räume eine enorme Chance dar. Gleichzeitig stellt die Bewältigung der Flächenkonkurrenzen und der Nutzungskonflikte durch die klimaneutrale Energieproduktion eine zentrale Herausforderung für künftige Interessenabwägungen dar. Die Energieraumplanung ist der Schlüssel für die Gestaltung der Standorte und Versorgungsnetze und ist integrierter Bestandteil der überörtlichen und örtlichen Raumplanung (ÖROK 2021, 100) Folgende Maßnahmen werden in Betracht gezogen:

- Ergebnisse der ÖREK-Partnerschaft zur Energieraumplanung um Kriterien für formelle Instrumente der örtlichen und überörtlichen Raumplanung zu adaptieren.
- Einrichtung der ÖREK-Partnerschaft „Freiraumentwicklung, Ressourcenschutz und Klimawandel“ prüfen.

Regionale Wertschöpfungsketten und eine regionale Kreislaufwirtschaft unter Einschluss der Tourismuswirtschaft weiterentwickeln:

Kreislaufwirtschaft strebt ein ressourcenschonendes Wirtschaftssystem an, in dem die Abfallproduktion möglichst auf 0 reduziert werden und Rohstoffe in einem Kreislauf kontinuierlich wieder genutzt werden. Die Umsetzung erfolgt auf der lokalen und regionalen Ebene und ist als regionale

Entwicklungsstrategie und Wertschöpfungskette zu sehen. Die Nutzung von Biomasse ist von der Ernte bis zur energetischen Verwertung in das Wirtschaftssystem integriert. (ÖROK 2021, 112–113) Als Maßnahmen wurde Folgendes gewählt:

- Die Einrichtung der ÖREK-Partnerschaft „Regionale Wertschöpfungsketten und regionale Kreislaufwirtschaft stärken“ prüfen; Identifikation von Themen, Branchen und Akteur:innen und Eignung von Raumtypen bewerten.
- Prüfung von Pilotprojekten und Modellregionen für Kreislaufwirtschaft in Abstimmung mit den Ländern und eingebettet in bestehende Strukturen auf regionaler Ebene.

Regionale Bioökonomiestandorte mit biogenen Qualitätswertschöpfungsketten und -clustern ausbauen:

Die Nutzung von klimaneutralen Rohstoffen trägt zu den Klimazielen bei, indem CO<sub>2</sub>-intensiv hergestellte Produkte substituiert werden. Damit wird auch die Abhängigkeit von begrenzten Rohstoffen reduziert. Besonders für ländliche Standorte gibt es hier eine große Chance. Die regionalen Wirtschaftskreisläufe sind auszubauen, indem Abfallprodukte wiederverwertet werden sollen. (ÖROK 2021, 118) Dafür wird folgende Maßnahme angedacht:

- Die Einrichtung der ÖREK-Partnerschaft „Regionale Wertschöpfungsketten und regionale Kreislaufwirtschaft stärken“ prüfen; Identifikation von Themen, Branchen und Akteur:innen und Eignung von Raumtypen bewerten.

#### 3.2.4 ZWISCHENFAZIT

Das ÖREK legt sich zum Ziel, die Flächeninanspruchnahme bis 2030 auf 2,5 ha/Tag zu reduzieren. Dabei wird der Fokus auf die

Revitalisierung von Brachflächen gelegt, sowie auf die Nachverdichtung bestehender Siedlungsstrukturen und die Förderung von emissionsarmen Bauformen. Durch diesen ressourcenschonenden Umgang werden Umweltauslastungen minimiert. Neben dem Flächenverbrauch wird in gleicher Weise die Biodiversität in den Mittelpunkt gerückt. Der Rückgang der Artenvielfalt wird als alarmierende Entwicklung gewertet, welche Auswirkungen auf alle Teilbereiche direkt oder indirekt hat. Deshalb wird der Schutz von Biodiversität nicht nur als Artenschutz, sondern vielmehr als Schutz aller essenziellen Ökosystemdienstleistungen verstanden, was den Klimaschutz ebenfalls mitzählt. Durch thematische Handlungsstrategien wie die Erstellung eines Netzes aus Grün- und Freiraumsystemen sollen Raumfunktionen verbunden und deren ökologische Funktionsfähigkeit gesichert werden. Einen weiteren wichtigen Fokus bildet die Verwendung von Biomasse im Sinne des Erreichens der Ziele der Energiewende. Im Hinblick auf das prognostizierte angestrebte Wachstum des Energiebedarfs im Strombereich in Österreich sieht das ÖREK in der Biomasse einen klimaneutralen Energieträger, der fossile Brennstoffe ersetzen soll. Besonders in den ländlichen Regionen Österreichs bietet die regionale Organisation der Biomassenutzung eine große Chance zur Stabilisierung der Wirtschaft und Förderung regionaler Wirtschaftskreisläufe. Ein Fokus wird auf die Kaskadennutzung und die Bewältigung von Flächenkonkurrenzen bei der klimaneutralen Produktion von Energien gelegt. Für die Bewältigung der komplexen Themenbereiche hilft die Bildung von ÖREK-Partnerschaften, welche konkrete Handlungsstrategien ausarbeiten. Besonders hervorgehoben wird dabei die Wichtigkeit eines einheitlichen, nationalen Monitoring-systems zur Überwachung der Flächennutzungsveränderungen sowie die Einbettung der Reduktionsziele in die

Raumordnungsgesetze der Bundesländer. Insgesamt ist festzustellen, dass die ÖROK und das ÖREK einen umfassenden, integrativen Ansatz zur Bewältigung der Herausforderungen der Raumentwicklung verfolgen. Die strategischen Ziele decken eine breite Palette an Themen ab – von der nachhaltigen Flächennutzung über den Schutz der Biodiversität bis hin zur Förderung erneuerbarer Energien. Dabei sieht sich die ÖROK als zentrale Schaltstelle, die die Koordination der entsprechenden Partnerschaften und Kooperationen mit weiteren Akteuren organisiert, um eine nachhaltige Raumentwicklung effektiv voranzutreiben. Das ÖREK 2030 steckt sich große Ziel, scheitert jedoch teilweise an der Umsetzung. Grund dafür kann die fehlende Verbindlichkeit genannt werden, wodurch nur geringe Umsetzungsgrade bei vielen Vorgaben erzielt werden. Vor allem bei den Bestimmungen zur Flächeninanspruchnahme ist nicht davon auszugehen, dass beispielsweise das 2,5 ha Ziel bis 2030 erreicht wird, sollten nicht massive Eingriffe in bestehende Gesetze oder Richtlinien gemacht werden.

### 3.3 ANALYSE

Beim Vergleich der beschriebenen Pläne und Strategien mit den Aussagen des ÖREK lässt sich feststellen: Beide legen großen Wert auf Biodiversität sowie Flächenverbrauch und Biomassenutzung – jedoch mit unterschiedlichen Schwerpunkten und Herangehensweisen an die Themenstellung. Die Wichtigkeit der Biodiversität wird bei ÖREK als auch bei den Strategien und Plänen in den Mittelpunkt gerückt. Besonders die Zersplitterung von Lebensräumen wird als besorgniserregend betitelt. Die Vernetzung der natürlichen Lebensräume wird beiderseits angestrebt. Auch die Ökosystemleistungen müssen erhalten bleiben, was vor allem der Klimawandelanpassung zugutekommt. Neben der Biodiversität

wird die Flächeninanspruchnahme als zweites überschneidendes Thema wahrgenommen. Es werden die negativen Auswirkungen der Bodenversiegelung und der Verlust von land- und forstwirtschaftlich wertvoller Flächen hervorgehoben, sowie Maßnahmen wie die Wiederbelebung von Brachflächen, Vermeidung weiterer Flächeninanspruchnahmen und eine intelligente Raumplanung als Ansätze betont, um die negativen Effekte des Flächenverbrauchs zu verringern. Biomasse ist sowohl im ÖREK als auch in den Plänen und Strategien eine wichtige erneuerbare Energiequelle. Besonders durch die Kaskadennutzung soll die Effizienzsteigerung angestrebt werden. Anzumerken ist jedoch, dass die Nutzung von Flächen für die Biomasseproduktion im Einklang mit den Biodiversitätszielen sein muss, da keine Schäden des Ökosystems erfolgen sollen.

Im ÖREK liegt ein starker Fokus auf der Raumplanung und der Implementierung von Maßnahmen in die Raumordnungsgesetze der Bundesländer. Das Raumplanungskonzept hebt die Notwendigkeit eines nationalen Monitoringsystems hervor, um die Flächennutzungsveränderungen systematisch zu überwachen. Zudem wird betont, dass durch die Schaffung von ÖREK-Partnerschaften konkrete Handlungsstrategien für Flächensparen, Biodiversitätsschutz und Kreislaufwirtschaft entwickelt werden sollen. Diese Partnerschaften haben das Ziel, die Reduktionsziele im Flächenverbrauch stärker in die politischen Prozesse einzubetten. Die Strategien und Pläne befassen sich vor allem mit der Integration der Biodiversitätsziele in verschiedene Wirtschaftsbereiche, ohne die Priorität der Raumplanung deutlich anzusprechen. Die Biomasse wird in den Plänen und Strategien primär als Vehikel zur Förderung erneuerbarer Energien und zur Substitution fossiler Energieträger behandelt, im Gegensatz zum

ÖREK, wo die Biomasse insbesondere als Option für die Erreichung von wirtschaftlicher Stabilität in ländlichen Räumen und die Belebung regionaler Wirtschaftskreisläufe gesehen wird. Dieser regionale Ansatz wird in den Plänen und Strategien nicht explizit deutlich, mit Ausnahme des LEKs. Sowohl das ÖREK als auch die Strategien und Pläne sind ehrgeizig in der Zielsetzung zur Reduktion der Flächeninanspruchnahme. Es werden die Bestrebungen der Bundesregierung übernommen und es wird angestrebt, eine maximale Inanspruchnahme von 2,5 ha/Tag bis 2030 zu erreichen. Die Pläne und Strategien beziehen sich tendenziell eher auf breite nationale Maßnahmenpakete, die der Förderung der Biodiversität, Biomassennutzung und Flächenoptimierung zugutekommen. Das ÖREK ist dabei im Vergleich eher praxisnahe. Es werden ausführliche lokale und regionale Maßnahmen vorgeschlagen und weisen einen integrierten Ansatz mit vielen Akteur:innen auf. Es wird deutlich, dass die Umsetzung der vielen Maßnahmen zur Erreichung der Ziele der jeweiligen Sektoren nur durch eine transdisziplinäre Vorgehensweise geschehen kann.

Kritisch zu sehen ist die in vielen Teilen fehlende Lenkungsverantwortung des Bundes bei den Vorgaben des ÖREK 2030, welche die Zielerreichung reduziert oder teilweise gar unmöglich macht.

Um die Ziele und Maßnahmen für die weitere Bearbeitung in dieser Arbeit nutzen zu können, wurden sämtliche Aussagen bezüglich der genannten Themenbereiche zusammengefasst und nach deren Brauchbarkeit für die Integration in die folgende Szenarienanalyse bewertet. Im Anhang ist die Tabelle 23 mit den Bewertungen der Aussagen vorzufinden. Um die Ziele und Maßnahmen nach dem Grad der Umsetzung in die Analyse miteinfließen zu lassen, wurden die gewählten Aussagen operationalisiert, sodass es möglich ist, den Grad der Erfüllung diverser Vorgaben zu bewerten. Die Gesamtbeurteilung der Strategien, Pläne und Konzepte erfolgt durch die Bildung des Mittelwerts der Teilerfüllungen. In Tabelle 1 werden die gewählten Maßnahmen mit den jeweilig gewählten Beurteilungskriterien dargestellt.

Tabelle 1: Operationalisierung der Strategien, Pläne und Konzepte für die Szenarienanalyse und Toolerstellung (eigene Darstellung)

Strategien, Pläne und Konzepte	Maßnahme	Parameter (Wert 2023 = x; Wert 2050 = y)	Wert bei der Integration in Szenarien/Tool
Lokale Entwicklungsstrategie 2023 - 2030	Intensivierung des Obstanbaus (Flächen)	$y > x$	1
		$y \leq x$	$y / x$
	Reduktion von Mähwiesen (Flächen)	$x > y$	1
		$x \leq y$	0
	Einführung/Intensivierung von Wildruhezonen oder Biodiversitätsflächen	ja	1
		nein	0
	Reduktion von Mähwiesen (Erträge)	$x > y$	1
		$x \leq y$	0
	Nutzung neuer alternativer Energiequellen	ja	1
		nein	0
	Erhöhung der Energieproduktion	$y > x$	1
		$y \leq x$	$y / x$

	Ausbau der Kreislaufwirtschaft (Schnittholzanteil)	$x > y$	1	
		$x \leq y$	$x / y * 0,5$	
	Ausbau der Kreislaufwirtschaft (Hack-schnitzelanteil)	$x < y$	1	
		$x \geq y$	$y / x * 0,5$	
Masterplan Klima + Energie	Ausbau alternativer Energiequellen	$< 65$	0	
		65 - 84%	0,5	
		85 - 99%	0,75	
		100%	1	
	Ausbau alternative Heizenergie relativ	$< 50\%$	0	
		$> 50\%$	1	
Ausbau alternative Heizenergie absolut	$y > x$	1		
	$y \leq x$	$y / x$		
Aktionsplan Klimawandel - Alpenkonvention	Ausweitung von Bergwäldern	$y > x$	1	
		$y \leq x$	0	
	Intensivierung der Bewirtschaftung von Bergwäldern	$y > x$	1	
		$y \leq x$	0	
	Durchführung von Entsiegelungsmaßnahmen (Verringerung der Flächenversiegelung)	$y < x$	1	
		$y \geq x$	0	
	Schaffung von Kompensationsflächen	ja	1	
		nein	0	
	Schaffung von zusätzlichen Biodiversitätsflächen	$y > x$	1	
		$y = x$	0,5	
		LWS Biod. Flächen	0,25	
	0 LWS-Biod. Flächen & $y < x$		0	
		Ausbau der Kreislaufwirtschaft (Schnittholzanteil)	$x > y$	1
			$x \leq y$	$x / y * 0,5$
Ausbau der Kreislaufwirtschaft (Hack-schnitzelanteil)	$x < y$	1		
	$x \geq y$	$y / x * 0,5$		
Biodiversitätsstrategie Österreich	Reduktion der Flächeninanspruchnahme auf 2,5 ha/Tag	ja	1	
		nein	0	
	Schaffung von Kompensationsflächen	ja	1	
		nein	0	
	Durchführung von Entsiegelungsmaßnahmen (Verringerung der Flächenversiegelung)	$y < x$	1	
		$y \geq x$	0	
	Schaffung von Biodiversitätsflächen auf Ackerland	ja	1	
		nein	0	
	Erhalt von Streuobstflächen	$y \geq x$	1	
		$y < x$	$y / x$	
	Kompensation des Flächenverbrauchs durch Entsiegelung	ja	1	
		nein	0	
	Schaffung von zusätzlichen Biodiversitätsflächen	$y > x$	1	
		$y = x$	0,5	
LWS Biod. Flächen		0,25		
0 LWS-Biod. Flächen & $y < x$		0		

	Erhöhung der Biodiversität auf Weidflächen	$y > x$	1	
		$y \leq x$	0	
	Intensivierung der Dauerwaldbewirtschaftung	$y > x$	1	
		$y \leq x$	$y / x$	
	Schonende Biomasseentnahme in Wäldern	$y < x$	1	
		$y \leq x$	$x / y$	
<b>Biodiversitätsstrategie Österreich</b>	Überweidung auf Almen verhindern (Ertragszuwächse)	$> 20\%$	0	
		15 – 20%	0,25	
		10 – 14,9%	0,5	
		7,5 – 9,9 %	0,75	
		$\leq 7,4\%$	1	
	Ausbau von klimaresilienten Ackerkulturen	ja	1	
		nein	0	
	Stopp der Erschließung von Urvegetation	$y = x$	1	
		$y < x$	0	
	Ausbau von erneuerbaren Energiequellen unter Berücksichtigung der Biodiversität	e. E. ja und Biod. F. ja	1	
		e. E. ja oder Biod. F. ja	0,5	
		e. E. nein und Biod. F. nein	0	
	<b>Bioökonomiestrategie</b>	Senkung des Versiegelungsgrades	$y / 1,3 \geq x$	0
			$y / 1,25 \geq x$	1 / 6
			$y / 1,2 \geq x$	1 / 3
$y / 1,15 \geq x$			1 / 2	
$y / 1,1 \geq x$			2 / 3	
$y / 1,05 \geq x$			5 / 6	
$y \leq x$			1	
Flächenverlust von Anbauflächen vermeiden		$y \geq x$	1	
		$y < x$	$y / x$	
Stärkung von landwirtschaftlichen Sonderkulturen		Erträge und Flächen $> x$	1	
		Erträge oder Flächen $> x$	0,5	
		$y < x$	0	
Ertragssteigerung der Forstwirtschaft		$y > x$	1	
		$y \leq x$	0	
Effizienzsteigerung der Forstwirtschaft		$y > x$	1	
	$y \leq x$	0		
Klimaschutz in der Landwirtschaft stärken	Anzahl an Maßnahmen	Anzahl / 12		
Erhöhung des Fernwärmeanteils	$y > x$	1		
	$y \leq x$	0		
	$x > y$	1		

	Ausbau der Kreislaufwirtschaft (Schnittholzanteil)	$x \leq y$	$x / y * 0,5$
	Ausbau der Kreislaufwirtschaft (Hack-schnitzelanteil)	$x < y$ $x \geq y$	1 $y / x * 0,5$
Green Deal	Erhaltung der Biodiversität	$y \geq x$	1
		$y < x$	0
	Pflanzen von 3 Mrd. Bäumen	$y > x$	1
		$y \leq x$	0
	Ausbau des Kohlenstoffspeichers der Wälder	$y > x$	1
		$x \leq <$	0
	Verringerung der Nutzung erneuerbarer Energien direkt vom Wald	+ Rohholzanteil	0
Rohholzanteil gleich		0,5	
- Rohholzanteil		1	
Grünes Wirtschaften im Alpenraum	Senkung des Versiegelungsgrades	$y / 1,3 \geq x$	0
		$y / 1,25 \geq x$	1 / 6
		$y / 1,2 \geq x$	1 / 3
		$y / 1,15 \geq x$	1 / 2
		$y / 1,1 \geq x$	2 / 3
		$y / 1,05 \geq x$	5 / 6
	Erreichung der Klimaneutralität durch Fernwärmeausbau	$y \leq x$	1
		Energieproduktion $\geq$ Energiebedarf Energieproduktion $<$ Energiebedarf	1 Energieproduktion / Energiebedarf
Ausbau der erneuerbaren Energiequellen (MJ/ha)	$y > x$	1	
	$y \leq x$	0	
Kreislaufwirtschaftsstrategie	Ungenutzte Rohstoffe erschließen	Anzahl an neuen Rohstoffen	Anzahl / 4
	Treibhausgase verringern	$Y < x$	1
		$Y \geq x$	0
	Ausbau des Kohlenstoffspeichers der Wälder	$y > x$	1
		$x \leq <$	0
	Erzeugung von Biogas	ja	1
		nein	0
	Ausbau der Kreislaufwirtschaft (Schnittholzanteil)	$x > y$	1
$x \leq y$		$x / y * 0,5$	
$x < y$		1	
Ausbau der Kreislaufwirtschaft (Hack-schnitzelanteil)	$x \geq y$	$y / x * 0,5$	
	$y < x$	1	
Makroregionale Strategie für den Alpenraum	Versiegelte Fläche nach Entsiegelungsmaßnahmen	$y \geq x$	0,5
		keine Maßnahmen	0
		$y > x$	1
	Ausbau der Schutzfunktion des Waldes (Fläche)	$y \leq x$	$y / x$

Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich	Steigerung des Waldwachstums	$y > x$	1
		$y \leq x$	0
	Steigerung der Holzernte	$y > x$	1
		$y \leq x$	0
	Steigerung der Energieproduktion aus Land- und Forstwirtschaft	$y > x$ und zusätzliche alternative Energieerzeugung	1
		$y > x$ oder zusätzliche alternative Energieerzeugung	0,5
		$y \leq x$ und keine zusätzliche alternative Energieerzeugung	0
	Anstieg der Erneuerbaren Energien auf 46%	$> 46\%$	1
		$\leq 46\%$	0
	Umstieg auf weitere erneuerbare Energiequellen	ja	1
nein		0	
ÖREK 2030	Reduktion der Flächeninanspruchnahme auf 2,5 ha/Tag	ja	1
		nein	0
	Brachflächen für erneuerbare Energien zur Verfügung stellen	ja	1
		nein	0
	Brachflächen als Biodiversitätsflächen ausweisen	ja	1
		nein	0
	Senkung des Energiebedarfs	$y < x$	1
		$y \geq x$	0
	Anteil der erneuerbaren Energien auf 32% steigern	$> 32\%$	1
		$\leq 32\%$	0
Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel	Erhalt von landwirtschaftlichen Böden fördern	$y > x$	1
		$y \leq x$	$y / x$
	Klimaschutz in der Landwirtschaft stärken	Anzahl an Maßnahmen	Anzahl / 12
	Bodenschonende Bewirtschaftung in der Forstwirtschaft fördern (Ertrag/ha)	$y < x$	1
		$y \geq x$	$x / y * 0,5$
	Senkung des Versiegelungsgrades	$y / 1,3 \geq x$	0
		$y / 1,25 \geq x$	1 / 6
		$y / 1,2 \geq x$	1 / 3
		$y / 1,15 \geq x$	1 / 2
		$y / 1,1 \geq x$	2 / 3
		$y / 1,05 \geq x$	5 / 6
		$y \leq x$	1
	Neue erneuerbare Energiequellen erschließen	ja	1
nein		0	

Die festgelegten Anforderungen wurden in das Tool zur Maßnahmen- und Strategiebewertung integriert. In der Darstellung 27 ist

das Eingabefeld des Werkzeugs zu sehen. Es wird der Flächentyp ausgewählt, die Art der gewünschten Adaption und den Grad des



## 4 METHODIK

### 4.1 BEISPIELREGION

Die Durchführung einer HANPP-Analyse des Bezirks Tamsweg im Bundesland Salzburg ist aus mehreren Gründen sowohl pragmatisch als auch wissenschaftlich fundiert. Der Lungau, wie der Bezirk auch genannt wird, zeichnet sich durch seine geographische Lage, wirtschaftlichen Strukturen und kulturellen Besonderheiten aus, die ihn zu einer „quasi-autonomen“ Region machen. Durch diese Rahmenbedingungen sind die Voraussetzungen erfüllt, den Biomassebedarf für die energetische Nutzung in Biomasseheizwerken zu analysieren. Der Lungau ist geographisch relativ abgelegen und durch die alpine Lage ziemlich isoliert. Er weist eine geringe Bevölkerungsdichte auf und wird bewahrt durch seine ökonomischen und sozialen Eigenheiten seine Eigenständigkeit. Aufgrund der Ausgangslage als „mit sich selbst“ beschäftigender Bezirk ist die Analyse der Biomassenutzung ohne große Außenwirkungen möglich. Besondere Relevanz kommt den lokalen Ressourcen zu, da auch die Kreislaufwirtschaft eine zentrale Rolle im Wirtschaftssystem spielt. Zudem kommt die Existenz des UNESCO Biosphärenparks Lungau, welcher die Ziele verfolgt, Biodiversität zu erhalten und gleichzeitig die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen vorantreibt. Da die Nutzung von Biomasse oft in direkter Konkurrenz zu anderen Landnutzungsmöglichkeiten wie der traditionellen Landwirtschaft steht, ist dieser Aspekt bei der Betrachtung von Biodiversität besonders von Bedeutung. In diesem Kontext kann die HANPP-Analyse dazu beitragen, das Gleichgewicht zwischen der Bereitstellung von Biomasse für energetische Zwecke und dem Schutz des Ökosystems zu finden. Aufgrund des hohen Umwelt- und Traditionsbewusstseins der Region, in welcher die

Forstwirtschaft eine tragende Rolle spielt, bietet die Region eine ausgezeichnete Grundlage für den ausgewählten Forschungsansatz. Die Bewohner des Lungaus haben ein tiefes Verständnis für die Bedeutung ihrer natürlichen Umwelt und sind daher möglicherweise eher bereit, nachhaltige und innovative Ansätze zur Biomassenutzung zu unterstützen. Dies bietet eine solide Grundlage, um die Resultate einer HANPP-Analyse auch in die Praxis umzusetzen, indem lokale Akteure in den Entscheidungsprozess eingebunden werden. Die Wahl des Lungaus als Fokusregion für eine HANPP-Analyse zur Bewertung des Biomassebedarfs für die energetische Verwertung in Biomasseheizwerken ist sowohl aus praktischer als auch wissenschaftlicher Sicht sinnvoll. Die geographische, ökonomische und kulturelle Abgrenzung der Region, kombiniert mit der besonderen Rolle des Biosphärenparks, schafft ideale Bedingungen für eine detaillierte und praxisorientierte Analyse. Es werden Erkenntnisse über die nachhaltige Nutzung von Biomasse in ländlichen Regionen geliefert, als auch ein Modell entwickelt, welches in anderen, ähnlichen Regionen wiederholt werden kann. Die Betrachtung der Biodiversität findet im Bezug zum Biosphärenpark einen weiteren Mehrwert, der über eine ökonomische Betrachtung weit hinausgeht und die langfristige Nachhaltigkeit fokussiert.

### 4.2 CHARAKTERISTIKA

Der Bezirk Lungau liegt im Süden des Bundeslandes Salzburg, ersichtlich in Abbildung 29, und zeichnet sich durch seine ländliche Struktur aus. Im folgenden Kapitel werden die verschiedenen Charakteristika des Lungaus kurz beschrieben um einen Einblick in die Lebensumwelt der Region zu erhalten.

#### 4.2.1 SIEDLUNGSSTRUKTUR

Der Lungau ist geprägt von einer Siedlungsstruktur, bestehend aus kleinen Dörfern und Häusern und einigen zentralen Marktgemeinden. Aufgrund der ländlichen Lage ist eine traditionell landwirtschaftliche Kulturlandschaft vorherrschend. Die Bevölkerungsdichte ist mit 20 Personen/km<sup>2</sup> äußerst gering. Das Land Salzburg hat ansonsten durchschnittlich 80 Personen/km<sup>2</sup>. (Land Salzburg 2024) Die Siedlungen des Lungaus verlaufen hauptsächlich entlang der Täler. Sie bestehen zu einem Großteil aus Bauernhöfen, die sich seit Generationen im Familienbesitz befinden. Tamsweg ist der Verwaltungssitz der Region. Bedeutsame Ortschaften sind des weiteren St. Michael, Mauterndorf und Mariapfarr, die vor allem Tourismusfunktionen erfüllen. Die Dörfer werden durch ihre traditionelle Bauweise geprägt, welche sich meist rund um einen Marktplatz oder eine katholische Kirche orientiert. In den letzten 50 Jahren hat sich die

Siedlungsstruktur, wie auch in anderen ländlichen Regionen, gewandelt. Durch die Abwanderung der jüngeren Bevölkerung kommt es immer mehr zur Überalterung der Dagebliebenen. Diese demographische Entwicklung hat zur Folge, dass viele kleinere Dörfer in ihrer Größe stagnierten oder sogar schrumpften, während die größeren Marktgemeinden wie Tamsweg und St. Michael im Lungau leicht wuchsen und ihre Bedeutung als zentrale Orte verstärkten. Folgend der Schrumpfungsprozesse sind Standortschließungen von diversen Nahversorgern und anderen Dienstleistern in den kleinen Nebenortschaften. Der Tourismus, vor allem der Wintertourismus, ist der Hoffnungsträger der Region. Er beeinflusst die Siedlungsstruktur maßgeblich. Es kommt unter anderem zur Verstärkung von Siedlungen in den touristisch relevanten Gemeinden. Vor allem am Obertauern und am Katschberg sind diese Tendenzen zu beobachten, jedoch auch in Mariapfarr. Der Bau von

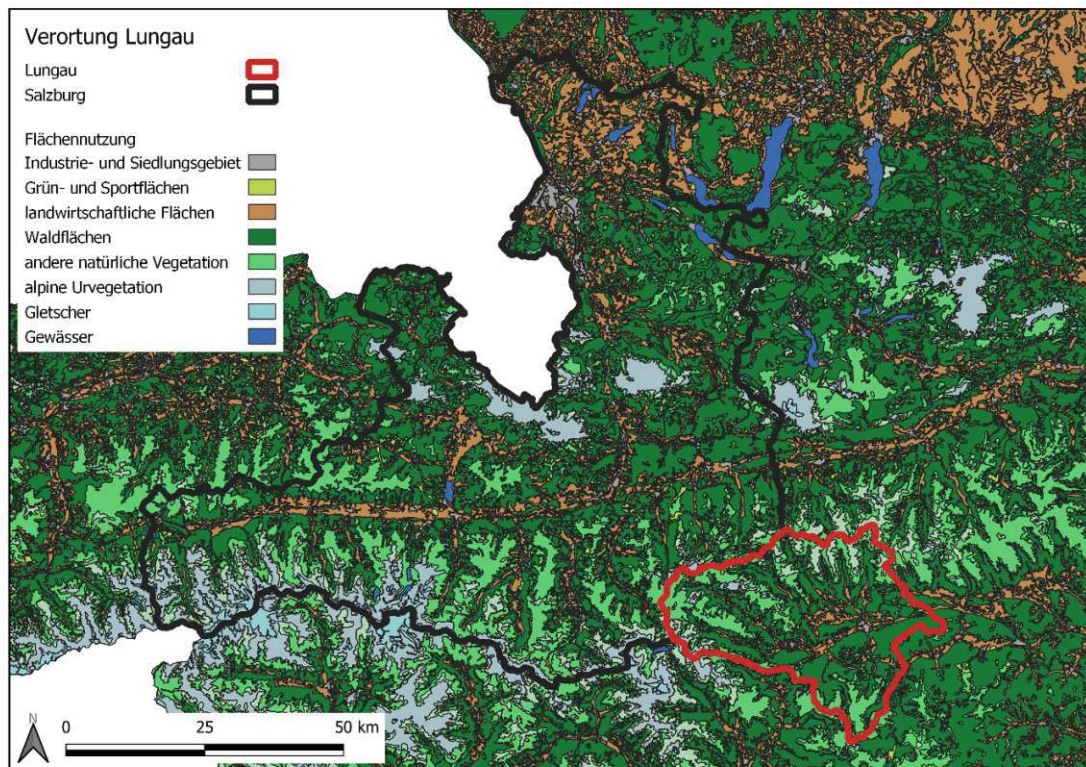


Abbildung 29: Verortung vom Lungau, Salzburg (eigene Darstellung)

neuen Wohn- und Ferienhäusern in Randlagen oder neu erschlossenen Gebieten ist die Folge. Der Autobahnanschluss durch den Bau der Tauernautobahn A10 hatte einen Dezentralisierungsprozess zur Folge. Diese Entwicklung wird durchaus als positiv betrachtet. (Peyker 2020, 77) Für die Zukunft wird es von bedeutender Wichtigkeit sein, die Balance zwischen der Bewahrung traditioneller Siedlungsstrukturen und dem Ausbau moderner Infrastruktur zu managen.

#### 4.2.2 GEOGRAPHIE

Geographisch ist der Lungau gut durch seine Lage in den Zentralalpen charakterisiert und wird im Norden von den Niederen Tauern und im Süden von den Gurktaler Alpen begrenzt. Der Lungau liegt auf einer durchschnittlichen Höhe von etwa 1.000 Metern über dem Meeresspiegel, was ihn zu einer der höchstgelegenen Regionen Österreichs macht. Er ist relativ isoliert, was durch die umliegenden Gebirgszüge verstärkt wird. Insgesamt erstreckt er sich über etwa 1.020 Quadratkilometer. Der wichtigste Fluss in der Region ist die Mur, die in der Region entspringt und das Haupttal durchzieht. Der Lungau ist historisch bedingt relativ schwer zugänglich. Die Region ist im Norden durch den Radstädter Tauernpass und im Süden durch den Katschbergpass mit den umliegenden Gebieten verbunden. Die Tauern Autobahn A10 bietet heute die wichtigste Verkehrsverbindung, die den Lungau mit den restlichen Teilen Salzburgs und Kärntens verbindet. Mit dem Schienenverkehr kann bis nach Unzmarkt gefahren werden. Dies liegt im Bezirk Murtal in der Steiermark. Trotz der Anbindungen stellt der Lungau eine der isoliertesten Regionen Österreichs dar. Die alpine Topographie des Lungaus prägt die Vegetation des Lungaus, aber auch das Klima. Es herrschen kalte Winter und vergleichsweise kühle Sommer. Dies beeinflusst die landwirtschaftliche Bewirtschaftung in der Region, die vor allem

auf Viehzucht und Almwirtschaft fokussiert ist. Aufgrund der Höhenlage und der klimatischen Bedingungen ist der Ackerbau nur in begrenztem Umfang möglich, während die Forstwirtschaft eine wichtige Rolle spielt. Durch den Klimawandel werden diesbezüglich jedoch massive Änderungen zu erwarten sein.

#### 4.2.3 DEMOGRAPHIE

Die demographische Entwicklung des Lungaus in den letzten 50 Jahren spiegelt wider, wie tiefgreifend ländliche Regionen in Österreich von den Veränderungen in der Bevölkerungsstruktur betroffen sind. Die Bevölkerung des Bezirks Tamsweg liegt bei etwa 20.500 Einwohnern im Jahr 2024. In Darstellung 30 ist die Bevölkerungsverteilung des Lungaus im Jahr 2019 ersichtlich. Seit 2001 ist ein Bevölkerungsrückgang zu verzeichnen. (Land Salzburg 2024) Von 1991 bis 2001 lag die Geburtenrate noch über 5% der Wohnbevölkerung. Diese ging über die Jahre jedoch zurück. Vom Jahr 2011 bis 2021 wurde eine Bevölkerungsveränderung von -0,6% durch die Geburtenbilanz verzeichnet. Die Wanderungsbilanz war schon seit den 70er- und 80er- Jahren negativ. Der Tiefpunkt verzeichneten die 2001-2011er Jahre mit einer Wanderbilanz von -5,3%. Dies kann vor allem auf junge Menschen, die in städtische Gebiete abwandern, um dort bessere Bildungs- und Arbeitsmöglichkeiten zu finden, zurückgeführt werden. (Land Salzburg 2024) Das Resultat ist eine demographische Verschiebung, die bis heute spürbar ist. Die Anzahl an älteren Menschen ist massiv gestiegen, während der Anteil an Kindern und Jugendlichen immer weiter abnimmt. Der Anteil an älteren Menschen liegt bei 21,6%. Der Landesdurchschnitt liegt bei 19,5%. Besonders im Gesundheitswesen merkt man die Überalterung. Der Bedarf an Pflegeeinrichtungen steigt, sowie die Dienstleistungen wie Essen auf Rädern. Das Problem der Überalterung

zu lösen könnte durch Ansätze wie sanften Tourismus und die Förderung lokaler Betriebe angegangen werden. Dadurch wäre es möglich, mehr jüngere Menschen in der Region zu halten und zudem durch den Ausbau der lokalen Infrastrukturen die Lebensqualität von jungen Familien zu verbessern. (Biosphärenpark Salzburger Lungau)

#### 4.2.4 POLITIK

Die Politik im Lungau lässt sich mit dem Wort „konservativ“ beschreiben. Wie bereits erwähnt wurde, stellen traditionelle Werte und die enge Bindung zur Land- und Forstwirtschaft den Lebensmittelpunkt vieler Bewohner dar. Deshalb ist auch seit Jahrzehnten die ÖVP die stärkste politische Kraft der Region. Der Einfluss der konservativen Werte ist in allen Gesellschaftsbereichen erkennbar, sei es der Einfluss der Kirche auf das „traditionelle“ Familienbild oder die typischen Gespräche beim Stammtisch im Wirtshaus. In den meisten Gemeinden stellt

die ÖVP den Bürgermeister und verweist eine Mehrheit in den Gemeinderäten. In den letzten Jahren gewann die FPÖ immer mehr an Bedeutung und deutet an die treibende Kraft im Lungau zu werden, sollte dieser Trend anhalten. Von 2002 bis 2017 stieg der Anteil der FPÖ-Wähler von 13,8% bis auf 32,48% bei den Nationalratswahlen an. Im Jahr 2019 ist ein Rückgang von 20,2% zu verzeichnen was auf den "Ibiza-Skandal" zurückzuführen ist. Im Jahr 2024 wird wieder ein massives Wachstum erwartet. (Bundesministerium für Inneres 2019) Wichtige politische Themen im Lungau sind der Erhalt der ländlichen Infrastruktur, die Förderung des sanften Tourismus, und der Schutz der natürlichen Umwelt im Kontext des Biosphärenparks Lungau. Fragen der regionalen Entwicklung, wie die Stärkung der lokalen Wirtschaft und der Umgang mit dem demographischen Wandel, stehen ebenfalls im Fokus der politischen Diskussion. Nicht zu vergessen ist die größer gewordene

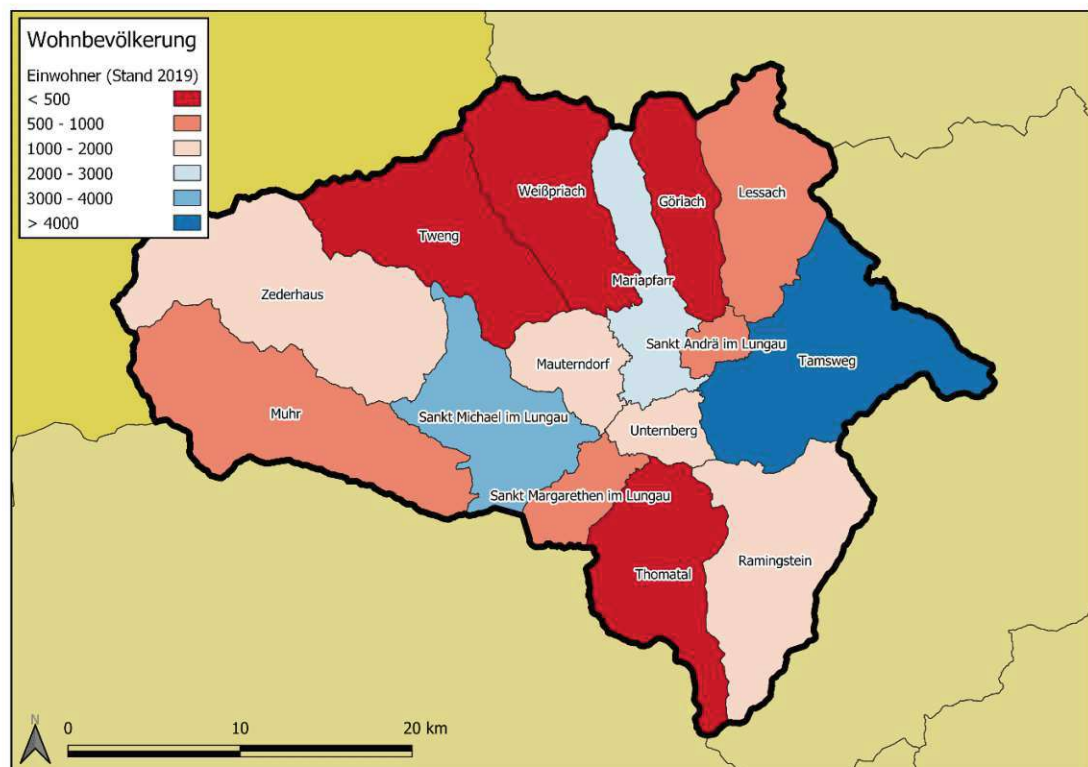


Abbildung 30: Wohnbevölkerung im Lungau, Stand 2019 (eigene Darstellung)

Einflussnahme an populistischen Themen und Verschwörungserzählungen, welche seit der Coronapandemie einen Boom erleben. Im Jahr 2021 kam es zur ersten Wahl einer Bürgermeisterin im Lungau. Waltraud Grall (ÖVP) wurde Bürgermeisterin der Gemeinde Göriach. Die damals 47-Jährige bekam nach Informationen der Gemeinde 96,75 Prozent der Stimmen. (Salzburger Nachrichten 2021)

#### 4.2.5 WIRTSCHAFTSSTRUKTUR

Die Land- und Forstwirtschaft spielen eine zentrale Rolle in der Lungauer Wirtschaft. Tourismus wird jedoch auch immer wichtiger. Im sanften Tourismus wird eine Chance gesehen, Herausforderungen der Region zu bewältigen. Die Region ist durch kleine und mittelständische Betriebe geprägt, wobei große industrielle Unternehmen kaum vertreten sind. In Diagramm 31 können die Arbeitnehmer:innen in unterschiedlichen Unternehmensbetriebsgrößen betrachtet werden. Die Landwirtschaft ist eine der tragenden Säulen der Lungauer Wirtschaft. Aufgrund der Höhenlage und des klimatischen Umfelds ist die Region besonders für die Viehzucht und Almwirtschaft geeignet. Der Einsatz von Weidevieh auf ausgewählten Weideflächen und Almen kommt vor allem für die Milchproduktion zum Einsatz. Generell sind Milchprodukte in den Exporten des Lungaus stark vertreten. Organisiert ist die Landwirtschaft meist in kleinen Familienbetrieben, die seit Generationen das Handwerk weitervererben. Dies stellt ein wichtiges regionales Identifikationsmerkmal des Lungaus dar und wird auch als Marke nach außen vertreten. Die Forstwirtschaft spielt ebenfalls eine bedeutende Rolle, da etwa 45% der Region bewaldet ist. Holz ist ein wichtiger Rohstoff, der sowohl für den Eigenbedarf genutzt wird als auch weiterverkauft wird. Zudem bietet die Forstwirtschaft Arbeitsplätze in einer ansonsten strukturschwachen Region. Der Tourismus

ist der zweite große Wirtschaftszweig im Lungau und hat in den letzten Jahrzehnten stark an Bedeutung gewonnen. Vor allem der Wintertourismus spielt dabei eine Rolle. Wichtige wirtschaftliche Treiber der Region sind die Skigebiete Katschberg, Großeck-Speiereck und Obertauern. Auch kleingewerbliche Betriebe, die vor allem durch die langjährige Tradition überzeugen, haben einen Einfluss auf die Wirtschaft im Lungau. Diese Betriebe bieten meist Dienstleistungen im Baugewerbe und in der Holzverarbeitung an. In Diagramm 32 kann die Aufteilung der Arbeitnehmer:innen im Lungau anhand der ÖNACE Klassen betrachtet werden. Diagramm 33 zeigt, in welchen ÖNACE Arbeitsklassen die ökonomische Aktivität der Lungauer:innen stattfindet.

Es herrscht ein Mangel an Arbeitskräften im Lungau. Dies kann auf den demographischen Wandel erneut zurückgeführt werden. Außerdem ist der Lungau durch eine hohe Saisonabhängigkeit geprägt. Das bedeutet wiederum, dass in der Wintersaison kaum Bewohner des Lungaus im Tourismus arbeiten, sondern Saisonarbeiter:innen extern in den Lungau kommen. Dies führt zu wirtschaftlichen Schwankungen. Deshalb gibt es Bestrebungen die Basis der lokalen Wirtschaft zu verbreitern. Es wird auf sanften Tourismus gesetzt als auch auf eine Optimierung der Wertschöpfungskette. Der Biosphärenpark Lungau bietet in diesem Zusammenhang Chancen für die Entwicklung von Projekten, die sowohl ökologisch als auch ökonomisch nachhaltig sind.

#### 4.2.6 PENDLERBEZIEHUNGEN

Viele Einwohner des Lungaus pendeln in benachbarte Gemeinden, Bezirke, Bundesländer oder sogar Staaten. Die meisten Pendlerbewegungen führen in Richtung des Zentralraums von Salzburg, also Richtung Norden, da ein breites Angebot an Arbeitsplätzen verfügbar ist. Diagramm 34 zeigt die

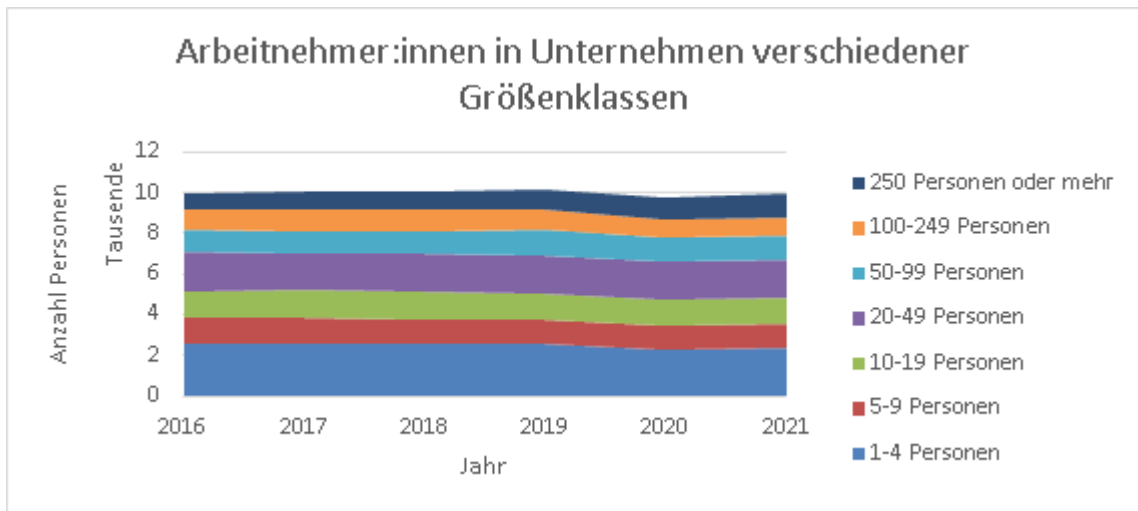


Abbildung 31: Arbeitnehmer:innen in Unternehmen mit verschiedenen Größenklassen (Statistik Austria, eigene Darstellung)

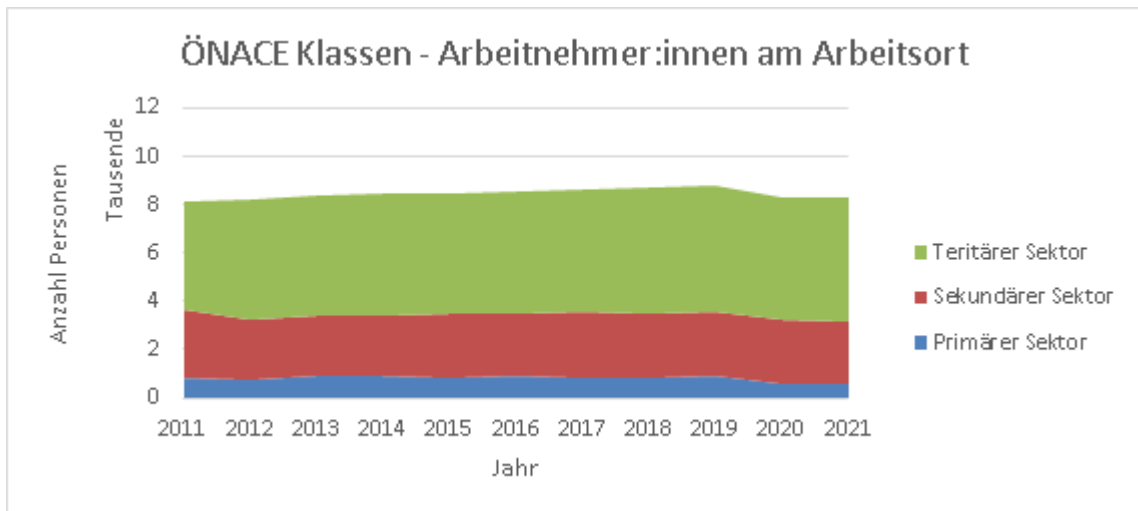


Abbildung 32: ÖNACE Klassen – Arbeitnehmer:innen am Arbeitsort Lungau (Statistik Austria, eigene Darstellung)

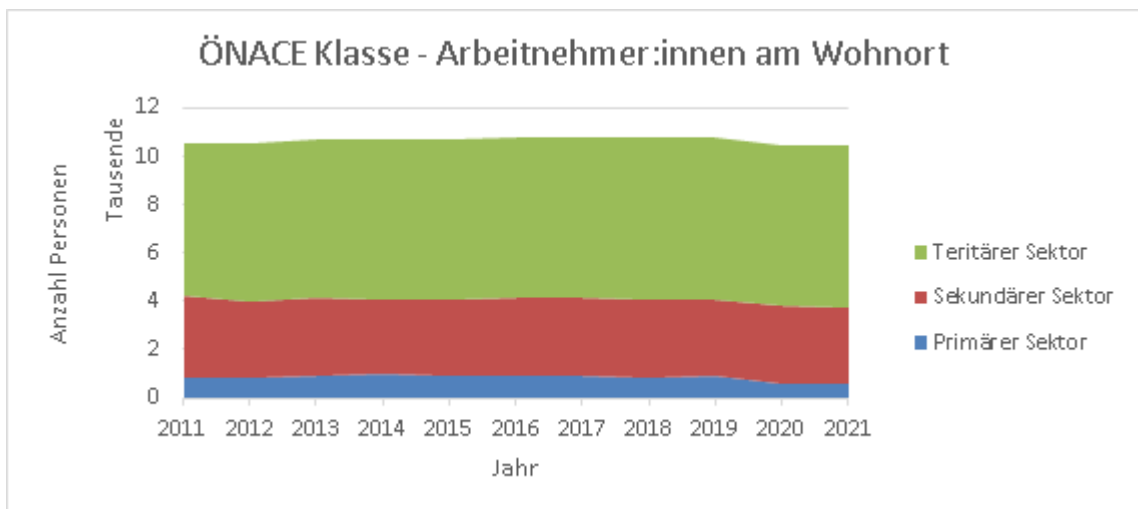


Abbildung 33: ÖNACE Klassen – Arbeitnehmer:innen am Wohnort Lungau (Statistik Austria, eigene Darstellung)

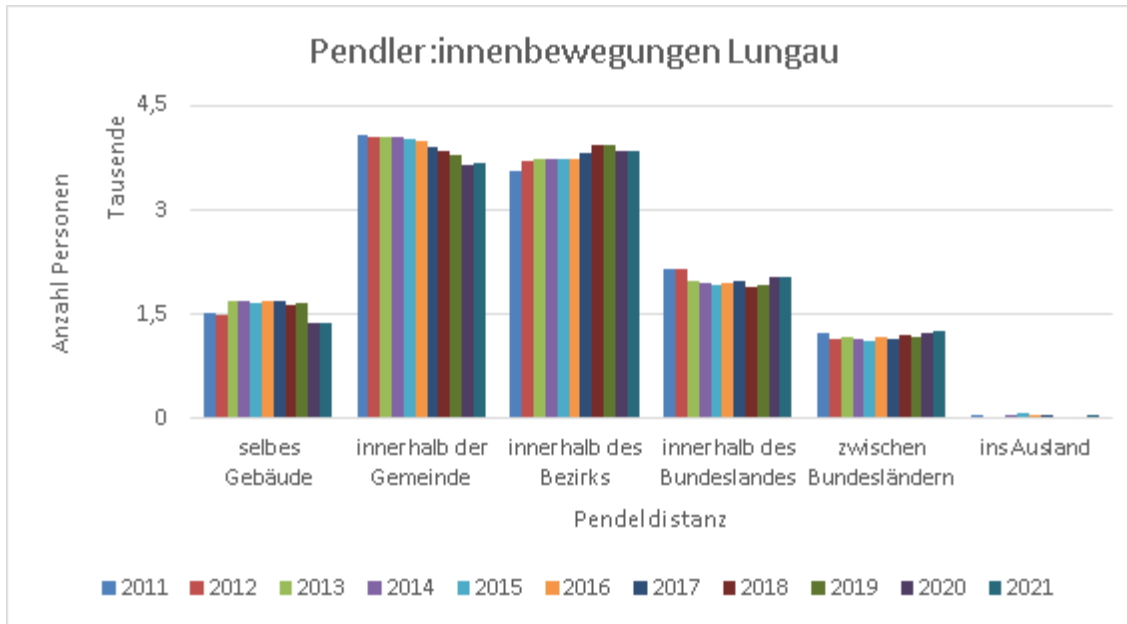


Abbildung 34: Pendler:innenbewegungen von 2011 bis 2021 im Lungau (Statistik Austria, eigene Darstellung)

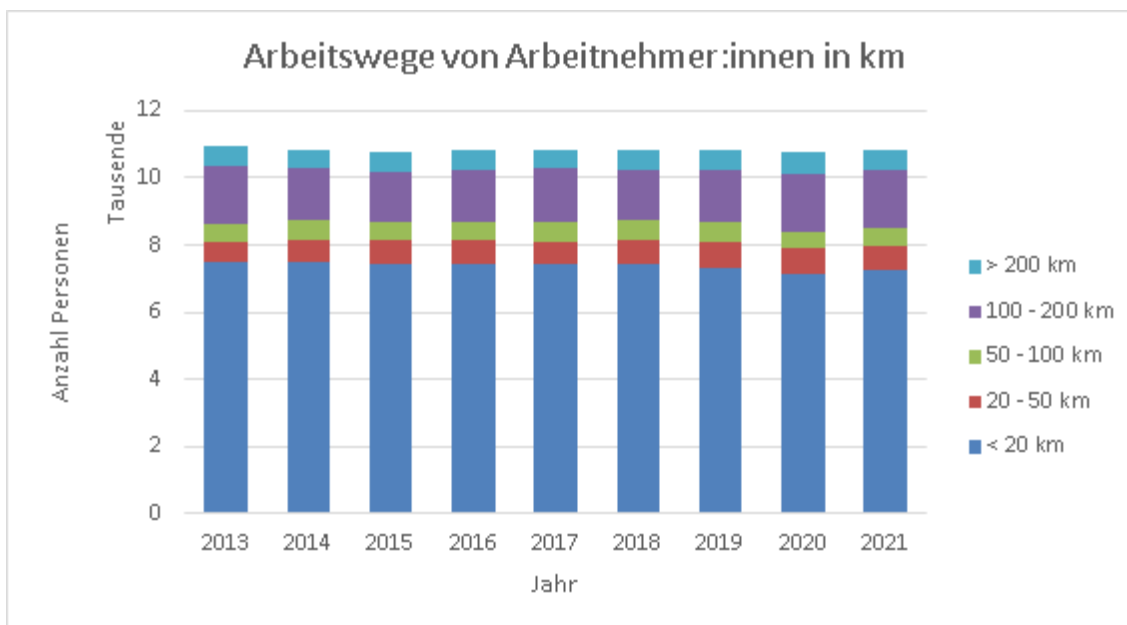


Abbildung 35: Arbeitswege von Arbeitnehmer:innen im Lungau in km (Statistik Austria, eigene Darstellung)

Pendlerbewegungen der Lungauer:innen. Bei Personen, deren Wohnhaus auch die Arbeitsstätte darstellt ist ein Rückgang von 10% vom Jahr 2011 bis 2021 zu verzeichnen. Auch für Arbeitnehmer:innen, deren Arbeitsort innerhalb der Gemeindegrenzen liegt, ist ein Rückgang von 9,7% feststellbar. Jedoch erfolgte ein Wachstum von 8,8% bei Pendler:innen innerhalb der Bezirksgrenzen des Lungaus. In Richtung

Salzburg sind 5,5% weniger Pendler:innen im Jahr 2021 unterwegs, als noch im Jahr 2011. Südlich des Lungaus, und teilweise im Osten, ist jedoch ein Wachstum von 3,3% festzustellen. Die Pendler:innen, welche über die Landesgrenze hinaus pendeln blieben gleich. Neben Salzburg pendeln viele Lungauer:innen auch nach Kärnten, insbesondere in die Städte Spittal an der Drau und Villach. Es wird auch hier eine größere

Bandbreite an Beschäftigungsmöglichkeiten geboten, die im Lungau so nicht vorhanden sind. Innerhalb des Lungaus selbst gibt es ebenfalls Pendelbewegungen, wenn auch in geringerem Ausmaß. Viele der Arbeitsplätze im Lungau konzentrieren sich in den Marktgemeinden Tamsweg, St. Michael und Mauterndorf. Bewohner:innen der umliegenden Dörfer pendeln daher meistens in diese Zentren. Diagramm 35 zeigt die Länge der Arbeitswege von Arbeitnehmer:innen im Lungau. Der durchschnittliche Arbeitsweg im Jahr 2013 betrug 51,9 km. Im Jahr 2021 stieg er auf 53,8 km an.

#### 4.2.7 RAUMPLANUNGSPOLITIK

Die Regionalplanung in Salzburg ist so aufgebaut, dass durch Regionalverbände die Planung durchgeführt wird, in Kooperation mit der Landesregierung und unter Berücksichtigung der Interessen von Gemeinden und Vorlagen von Fach- und Sachprogrammen. Es gilt, die ländliche Struktur zu erhalten, die Umwelt zu schützen aber gleichzeitig eine nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung anzustreben und die Lebensgrundlage der Bevölkerung für die Zukunft sicherzustellen.

Als übergeordnetes Ziel wird im Regionalprogramm Lungau vorgesehen, dass die Wettbewerbsfähigkeit der Region im österreichischen und europäischen Wettbewerb gestärkt wird. Die Lage wird als Schlüsselposition betrachtet mit hohem Qualitätsstandard im Bereich der Landwirtschaft und Forstwirtschaft. Die Positionierung als eigene Marke steht im Vordergrund. Zudem kommt der Biosphärenpark Lungau als Ankerpunkt hinzu, nach dessen Positionierung Maßnahmen im Zuge einer aktiven und integrierten Regionalplanung und -entwicklung angestrebt werden. (Regionalverband Lungau 2014, 2) Das Selbstverständnis als Modellregion für einen Lernort der nachhaltigen Entwicklung durch die UNESCO wird

gelebt und zieht sich durch alle Planungs- und Entscheidungsprozesse des Lungaus. Die Leitprinzipien für die integrierte Regionalplanung befassen sich mit der Schaffung gleichwertiger Lebensbedingungen in der Region, mit einer ausgewogenen solidarischen Entwicklung der Gemeinden, mit Nachhaltigkeit, Ressourcenschutz und Umweltentlastung als auch mit Kooperationen, Partizipation und Eigenverantwortung. Mittels eines regionalen Strukturmodells wurden Zonierungen festgelegt, welche sich auf bestimmte Funktionen spezialisieren sollen. Dazu zählen großräumige zusammenhängende „Schon-Areale“, in welchen nur minimale Eingriffe zulässig sind um die Natur- und Kulturlandschaften zu erhalten. Ebenfalls gibt es Aktionsräume für naturbetonten Tourismus, in welchen Besucherlenkungsmaßnahmen bei Bedarf durchgeführt werden können und Produktivzonen für Forst- und Almwirtschaft, welche aufgrund der günstigen Standortvoraussetzung die Primärproduktion bevorzugt. Weiters werden Kulturlandschaftlich hochwertige Produktivzonen, welche durch die Produktion von land- und forstwirtschaftlichen Gütern verstärkt wird, ausgewiesen und Produktivzonen im Kernraum, welche für die Sachgüterproduktion bevorzugt werden. Zudem gibt es noch Gebiete für den infrastrukturbetonten Tourismus, welche den Wintertourismus betreffen und die Landschaftsqualität in den Vordergrund stellen und abschließend ein Transitkorridor, der den westlichen Teil des Lungaus schneidet und an wesentliche Siedlungs- und Wirtschaftsfunktionen geknüpft ist. (Regionalverband Lungau 2014, 4-6)

Durch die Ergänzung der zentralörtlichen Festlegungen des Landesentwicklungsprogramms werden in Gemeinden gewisse Entwicklungsschwerpunkte gesetzt, welche unter Berücksichtigung des regionalen

Entwicklungsprogramms durch die Schaffung von Synergien umgesetzt werden.

#### 4.2.8 BIODIVERSITÄT

Die Biodiversität ist das Kernstück der regionalen Umweltpolitik und wird aufgrund des Status als UNESCO-Biosphärenpark besonders geschützt. Der Lungau ist ein biologisches Juwel inmitten des Alpenraums, welches eine Vielzahl an natürlichen Lebensräumen für heimische Tier- und Pflanzenarten beherbergt. Deshalb wird der Schutz von naturnahen Gebieten besonders priorisiert. Landnutzungstypen wie alpine Landschaften, Wälder und Feuchtgebiete fallen in diese Gebietsdefinition. Die Kombination von traditionellen Ansätzen der Landwirtschaft und der Biodiversität macht den Lungau einzigartig im Umgang mit seiner Rolle als Modellregion. Es wird darauf geachtet, eine extensive Beweidung von Almflächen zu erhalten, was dazu beiträgt, den Artenreichtum auf Wiesen und Weiden

zu stabilisieren. Es werden Projekte angestrebt, die die Degradierung von Lebensräumen rückgängig machen und naturnahe Bedingungen wieder herstellen. Dies umfasst die Renaturierung von Fließgewässern und Feuchtgebieten, sowie die Wiederaufforstung von Heimischen Baumarten. (Biosphärenpark Salzburger Lungau)

Es wird nicht nur der Schutz der Biodiversität verfolgt, sondern auch die Verstärkung des Schutzes. Durch die Schaffung von Biotopverbänden, die den Austausch zwischen isolierten Populationen ermöglichen, sowie die Förderung von Arten die unter Druck stehen, wird dies aktiv umgesetzt. Eine der größten Herausforderungen ist der Druck auf die Flächen durch Landwirtschaft, Siedlungsentwicklung und Tourismus. Der Ausbau der Landwirtschaft führt zur Fragmentierung von Lebensräumen und gefährdet somit die Biodiversität. Zudem kommen die Auswirkungen des Klimawandels,

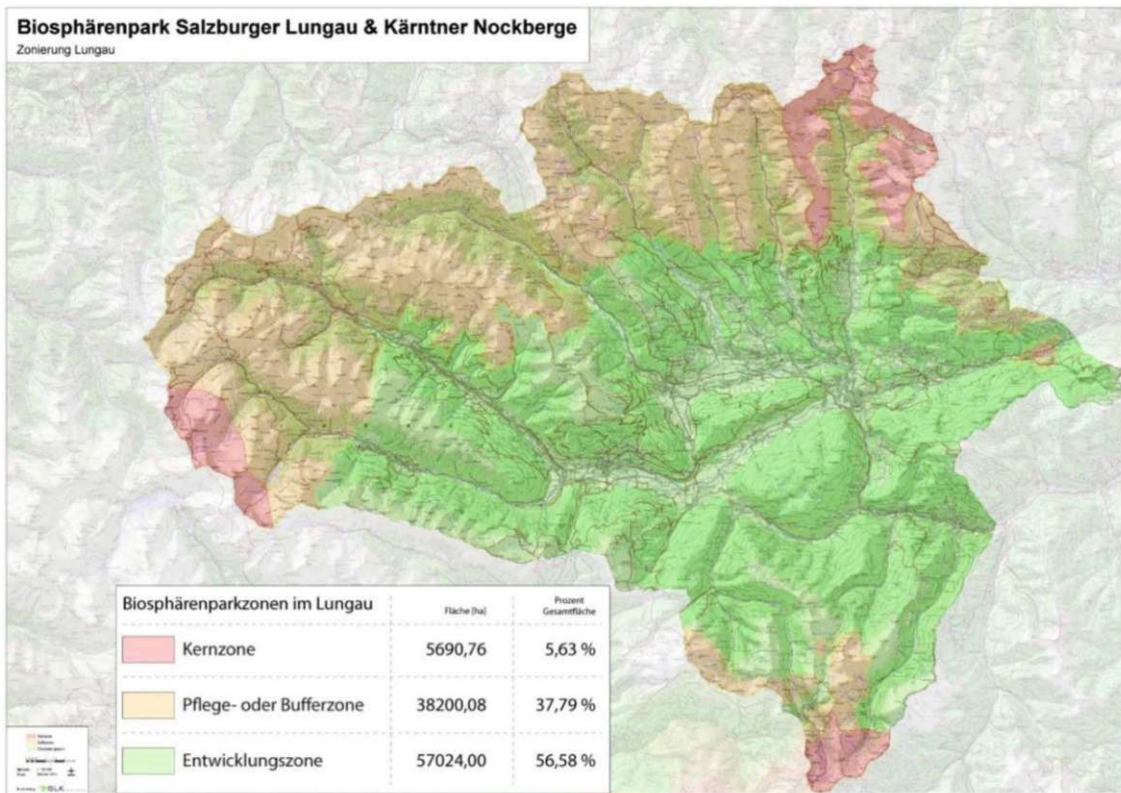


Abbildung 36: Biosphärenpark - Zonierung Lungau (Biosphärenpark Salzburger Lungau)

die die Lebensumstände der Arten gefährden. Außerdem gibt es eine akute Bedrohung der Heimischen Flora und Fauna durch invasive Arten. Es folgt die Veränderung des Ökosystems. In verschiedenen Rechtsvorschriften werden zu schützende Gebiete definiert und ausgewiesen. Die laut Naturschutzgesetz § 23 (1) zu schützenden Landschaftsteile inkludieren unter anderem Moore, Sümpfe, Quellfluren, Bruch- und Galeriewälder, oberirdische Gewässer und alpines Ödland einschließlich der Gletscher und deren Umfeld. Zusätzlich sind mehrere Schutzgebiete im Lungau ausgewiesen, welche die Erhaltung und Förderung der Biodiversität gewährleisten. Dazu gehören Ramsargebiete wie die Moore im Sauerfelder Wald, der Naturpark Hohe Tauern, Natura 2000 Gebiete wie der Seetaler See, Naturschutzgebiete wie die Überlingmoore, zahlreiche Naturdenkmäler, Landschaftsschutzgebiete wie die Niederen Tauern, geschützte Landschaftsteile wie das Althofener Moos und der Naturpark Riedingtal. (Biosphärenpark Salzburger Lungau)

Der Biosphärenpark legt anhand der geschützten Gebiete Zonierungen fest. Die Kernzone wird als Schutzgebiet handgehabt, die als naturnahe Lebensräume zur

Erhaltung und Erforschung dienen. Die Pflegezone fungiert zum Erhalt von speziellen Natur- und Kulturlandschaften. Die Entwicklungszone stellt den Lebens-, Wirtschafts- und Erholungsraum der Bevölkerung dar. (Biosphärenpark Salzburger Lungau) In Abbildung 36 kann die Verortung der jeweiligen Zonen betrachtet werden. Die Entwicklungszone stellt den größten Anteil dar, gefolgt von der Pflegezone.

#### 4.2.9 FLÄCHENVERBRAUCH

Der Flächenverbrauch bzw. die Flächeninanspruchnahme wird durch die lokalen Gegebenheiten beeinflusst. Ein Großteil der Flächen besteht entweder aus Wald oder Urvegetation. Nur etwa 10% der Fläche des Lungaus können überhaupt für die Siedlungsentwicklung genutzt werden. Somit wird der Dauersiedlungsraum stark begrenzt. 1.211 ha versiegelte Flächen sind im Jahr 2023 im Lungau verzeichnet. (Kreutzer 2024) Im Lungau leben relativ wenige Menschen auf einer großen Fläche. Dies führt dazu, dass der Flächenverbrauch pro Kopf im Vergleich zu städtischen Regionen hoch ist. Einwohner in ländlichen Gebieten bewohnen oft größere Grundstücke und auch die landwirtschaftliche Nutzung nimmt viel

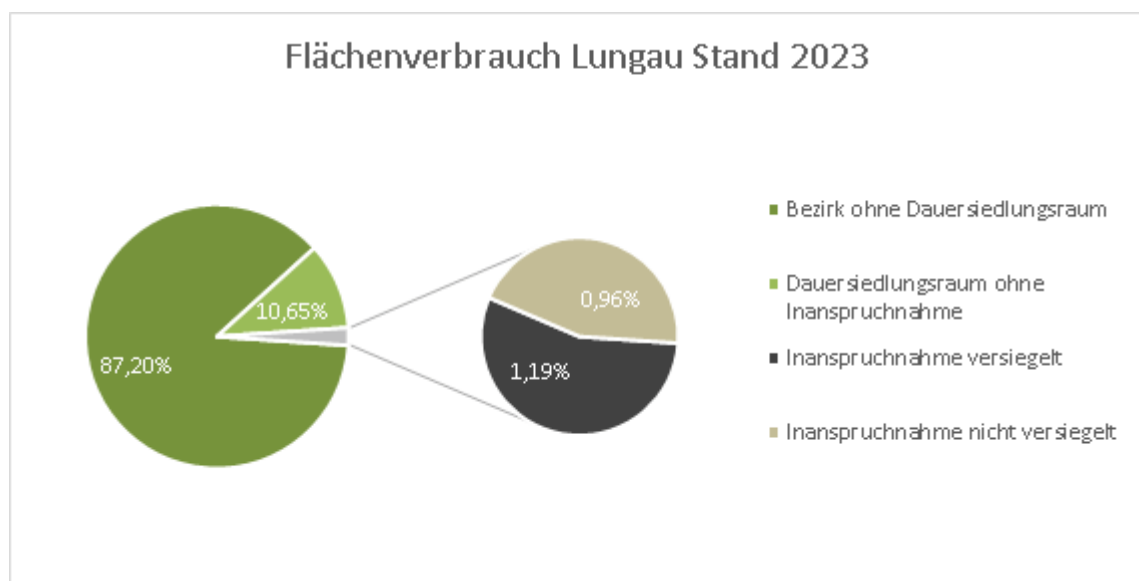


Abbildung 37: Flächenverbrauch im Lungau, Stand 2023 (Kreutzer 2024, eigene Darstellung)

Platz ein. Die Flächeninanspruchnahme in  $\text{m}^2$  pro Kopf beträgt im Lungau etwa  $965 \text{ m}^2$ . Damit liegt der Flächenbedarf zwischen 250 und  $700 \text{ m}^2$  über dem der anderen Salzburger Gaue. Für Westösterreich ist dies ein großer Wert, jedoch nichts im Vergleich zum Burgenland und dem Waldviertel. Der Anteil der beanspruchten Fläche am Dauersiedlungsraum liegt bei etwa 16,8% und liegt somit unter dem österreichischen Mittel. Die versiegelte Fläche pro Kopf beträgt  $491 \text{ m}^2$ , was dem höchsten Wert in Salzburg entspricht. Insgesamt sind etwa 8,5% des Dauersiedlungsraums versiegelt. (ÖROK 2022) Im Diagramm 37 wird der Flächenverbrauch im Lungau im Jahr 2023 dargestellt.

#### 4.2.10 ENERGIEERZEUGUNG UND DIE ROLLE VON BIOMASSE

Der Lungau setzt stark auf erneuerbare Energien, welche sich mit den regionalen Gegebenheiten vereinbaren lassen. Eine

autarke Energieversorgung wird angestrebt zu erreichen, weshalb vor allem die Nutzung von Biomasse und Wasserkraft im Energiemix der Region zu verzeichnen ist. Im geringeren Maße auch die Nutzung von Photovoltaikanlagen. (Fanninger 2017, 18) Der Endenergieverbrauch ist in den Gemeinden Tamsweg und Sankt Michael im Lungau am höchsten, wie in der Grafik 38 zu erkennen ist. Wenn jedoch der Energieverbrauch je Einwohner betrachtet wird, liegt die Gemeinde Unternberg an der Spitze. Der Endenergieverbrauch je Einwohner wird in Abbildung 39 dargestellt.

Besonders wichtig ist die Nutzung von Biomasse als erneuerbare Energiequelle in der Region. Durch den hohen Waldanteil ist die Ressource Holz quasi im Überfluss vorhanden. Unter anderem lassen sich somit regional Holzhackschnitzel und Pellets für die energetische Verwertung erzeugen.

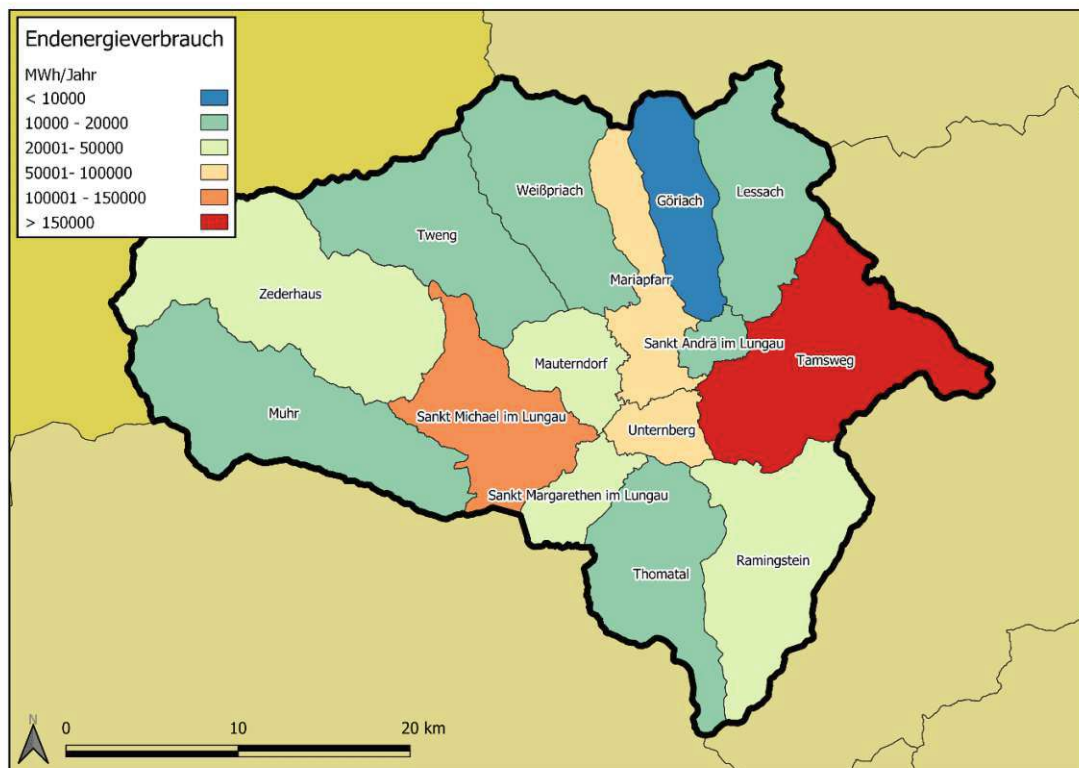


Abbildung 38: Endenergieverbrauch der Lungauer Gemeinden in MWh/Jahr (Energiesaika, eigene Darstellung)

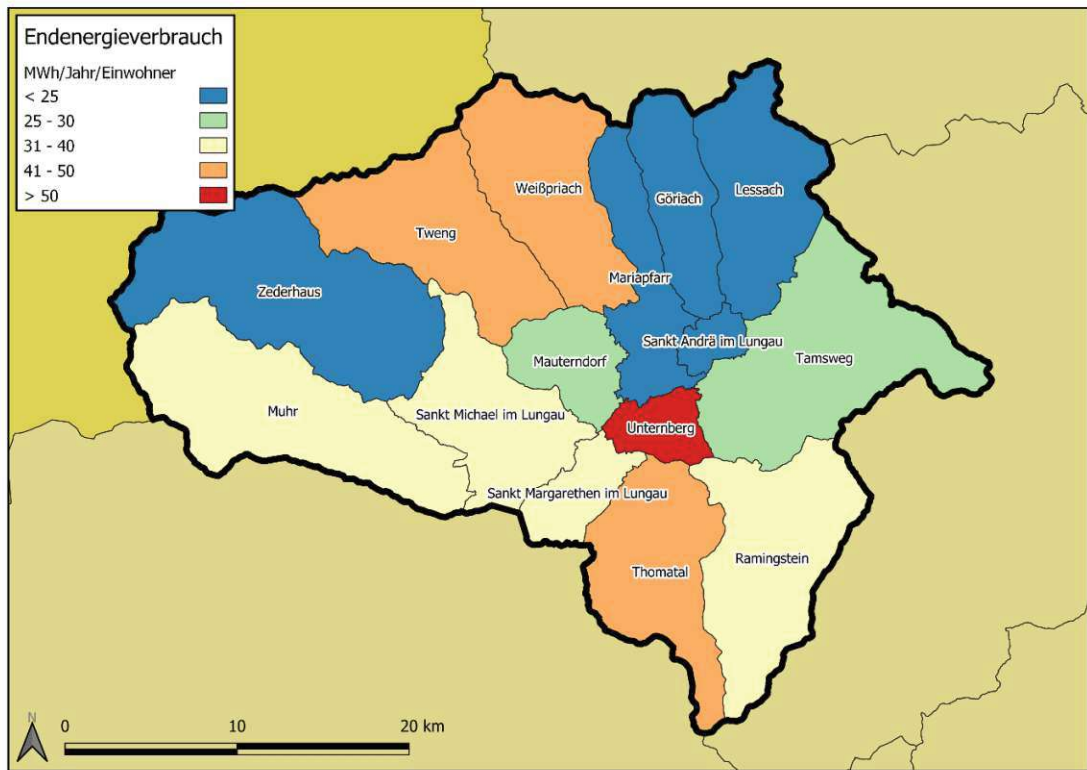


Abbildung 39: Endenergieverbrauch der Lungauer Gemeinden in MWh/Jahr/Person (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

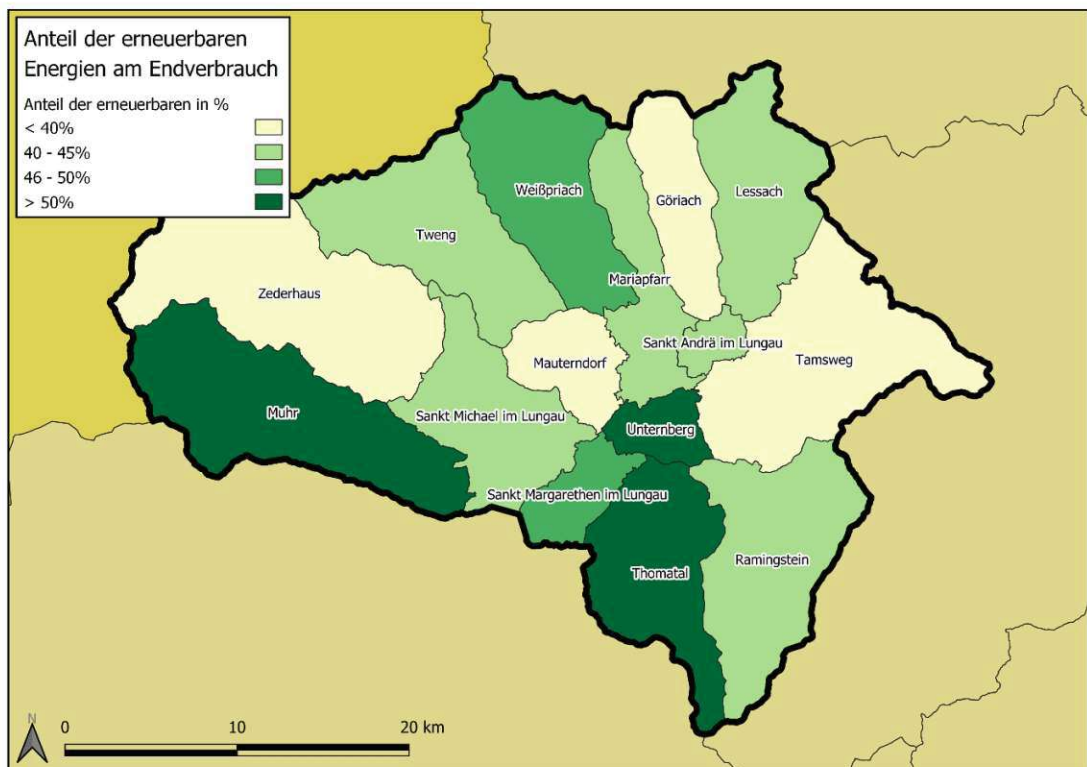


Abbildung 40: Anteil der erneuerbaren Energien am Endverbrauch (Energiesmosaik, eigene Darstellung)

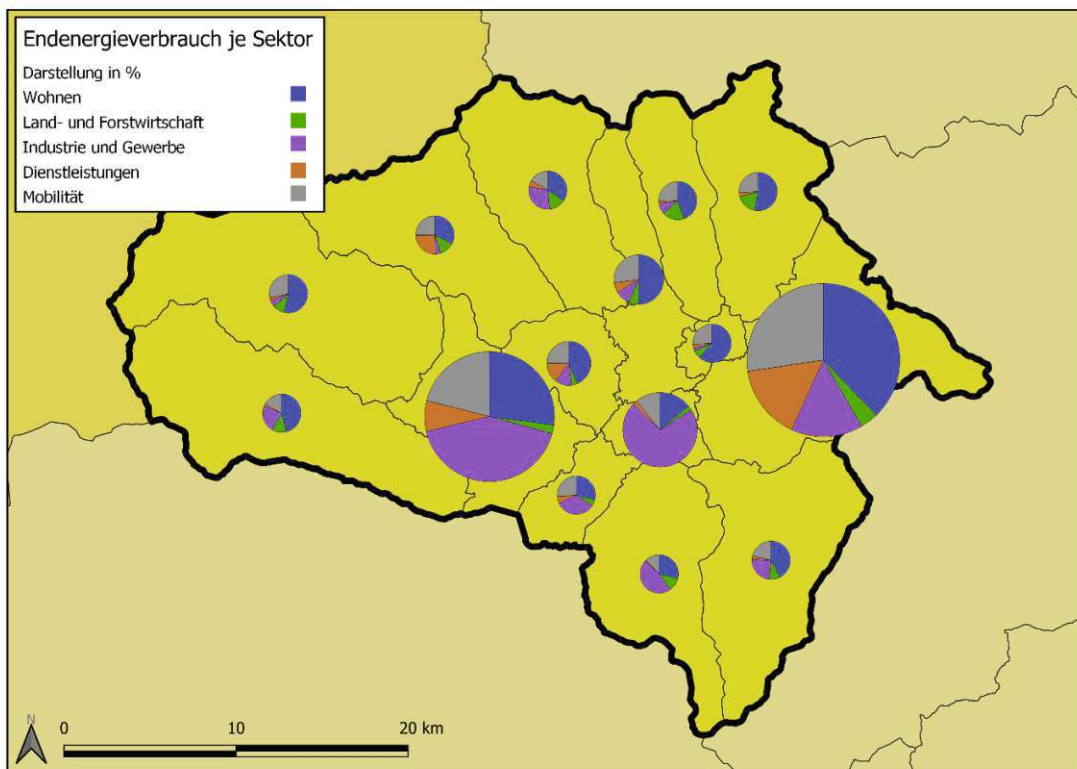


Abbildung 41: Endenergieverbrauch der Lungauer Gemeinden je Sektor (Energiesmosaik, eigene Darstellung)

Ein Großteil der verwerteten Biomasse stammt aus lokalen forstwirtschaftlichen Betrieben und somit auch aus den heimischen Wäldern. Aufgrund der kurzen Transportwege ist diese Nutzung durchaus als umweltschonend zu bezeichnen. Vor allem werden Holzabfälle in Biomasseheizwerken verbrannt, welche von lokalen und regionalen Unternehmen stammen. Dadurch wird ein Beitrag zur Kreislaufwirtschaft geleistet. Im Jahr 2000 betrug der Anteil der Biomasse im regionalen Endenergieverbrauch etwa 40%. Ein Fünftel wird in Nahwärmanlagen verwertet. Etwa 50% der Wärmeversorgung von Einzelhaushalten nutzt Stückholz oder Pellets. Die Erntemenge aus Forstflächen wurde seit den 2000er Jahren kontinuierlich gesteigert. Weitere Stärkungen der energetischen Verwertung des regionalen Forsteinschlages durch etwa stärkere Durchforstung und Schwachholznutzung ist möglich, jedoch abhängig von Rohstoff- und Energiepreisen. (Fanning 2017, 20) Der Anteil der

erneuerbaren Energieträger bewegt sich zwischen unter 40 und über 50%. Dies wird in der Grafik 40 dargestellt. Der Endenergieverbrauch im Bereich Wohnen ist mit 235.600 MWh/a am höchsten, gefolgt von 187.700 MWh in der Industrie und Gewerbe und von 150.800 MWh/a in der Mobilität. Am geringsten ist der Energieverbrauch in der Land- und Forstwirtschaft und bei Dienstleistungen mit jeweils 36.800 MWh/a und 58.100 MWh/a. In der Darstellung 41 kann der Endenergieverbrauch pro Jahr der Lungauer Gemeinden betrachtet werden. Die Stromproduktion konzentriert sich auf die Wasserkraft und vermehrt seit den letzten 10 Jahren auch auf Photovoltaikanlagen. Der Strombedarf im Jahr 2015 betrug etwa 150 GWh, welche innerhalb von vier Jahren um 9 GWh anstieg. Wenn der Bedarf mittels Trendfortschreibung fortgesetzt wird, ist mit einem ungefähren Strombedarf von 168 GWh im Jahr 2023 zu rechnen. In Tabelle 2 kann der Energiebedarf für das Jahr 2015 im

Lungau betrachtet werden. Die Stromproduktion durch Wasserkraft weist eine Engpassleistung von etwa 130 MW auf und erreicht eine Jahresproduktionsmenge von etwa 170 GWh im Jahr 2015. Wenn nur die Kleinwasserkraftwerke des Lungaus betrachtet werden, wird eine jährliche Strommenge von 90 GWh erzeugt und reicht zur Abdeckung von 78% des Stromverbrauchs. (Fanninger 2017, 33) Bei einem spezifischen Jahresenergieertrag von 1.050 kWh/kWp werden mittels Photovoltaikanlagen jährlich 5,8 GWh Energie erzeugt, was insgesamt 5% des Stromverbrauchs im Jahr 2015 deckt. (Fanninger 2017, 35) Die Wärmeerzeugung durch Solarthermie beläuft sich im Jahr 2015 auf etwa 5,8 GWh pro Jahr. Es können somit etwa 2% des Wärmebedarfs abgedeckt werden. Die restliche Wärmeversorgung kommt der Biomasse zu. 66 GWh werden durch Fernwärme erzeugt, was etwa 20% der Heizenergie ausmacht. Zusätzlich sind in nahezu allen Gemeinden Mikronetze und Objektversorgungen auf Basis von Hackschnitzel oder Pellets vorhanden, welche insgesamt einen Heizertrag von 168 GWh liefern. Fernwärme, Mikronetze und Objektversorgung zusammen machen etwa 73% der benötigten Heizenergie aus. (Fanninger 2017, 35–36) Der Anteil an Heizöl lag im Jahr 2015 bei etwa 65 GWh

und stellt ein nennenswertes Potenzial für eine Umrüstung auf erneuerbare Energien dar. Im Diagramm 42 ist der Zustand der Energieerzeugung im Lungau im Jahr 2015 ersichtlich.

Es wird geschätzt, dass ein Photovoltaikpotenzial von etwa 82 GWh mit den in 2016 vorhandenen Dachflächen im Lungau besteht. Dadurch könnten 71% des Gesamtstromverbrauchs im Lungau gedeckt werden. Weiters wird von einem Wärmepotenzial der Solarthermie von 130 GWh ausgegangen, wobei angenommen wurde, dass die Wärmemenge über das ganze Jahr im jeweiligen Gebäude einsetzbar ist. Etwa ein Drittel des Wärmebedarfs könnte somit abgedeckt werden. (Fanninger 2017, 40) Das theoretische Energieerzeugungspotenzial wird in der Grafik 43 dargestellt. Anzumerken ist, dass bis dato keine Potenzialanalyse der Biomassenutzung effektiv möglich war, da ein Mix aus Eigenproduktion und Importen besteht und es schwierig ist, exakte Daten zu erhalten. Beim Vergleich des Ist-Zustands im Jahr 2015 und dem möglichen Potenzial der Energieerzeugung ist ein Zuwachs von über 200.000 MWh/Jahr möglich. In der Darstellung 44 ist dies nochmals ersichtlich.

Tabelle 2: Energieverbrauch im Lungau nach Energieträgern und Verwendung (Salzburg Netz GmbH, Land Salzburg, eigene Darstellung)

Energiequelle	2015	
	MWh/a	Anteil
Biomasse Nahwärme	64.615	15,4%
Biomasse sonstige	167.560	40,0%
Solarthermie	5.870	1,4%
Heizöl	65.000	15,5%
Gas	1.000	0,2%
Kohle	-	0,0%
Strom Heizung	14.962	3,6%
Strom ohne Heizung	99.743	23,8%
Gesamt	319.007	100,0%

Der Lungau hat das Potenzial, eine Modellregion für erneuerbare Energien zu werden, in der Biomasse weiterhin eine zentrale Rolle spielt, aber auch andere nachhaltige Energiequellen wie Photovoltaik und

Wasserkraft Der Fokus auf dezentrale, autonome Energieversorgungssysteme könnte helfen, die Region energieunabhängiger und klimafreundlicher zu machen.

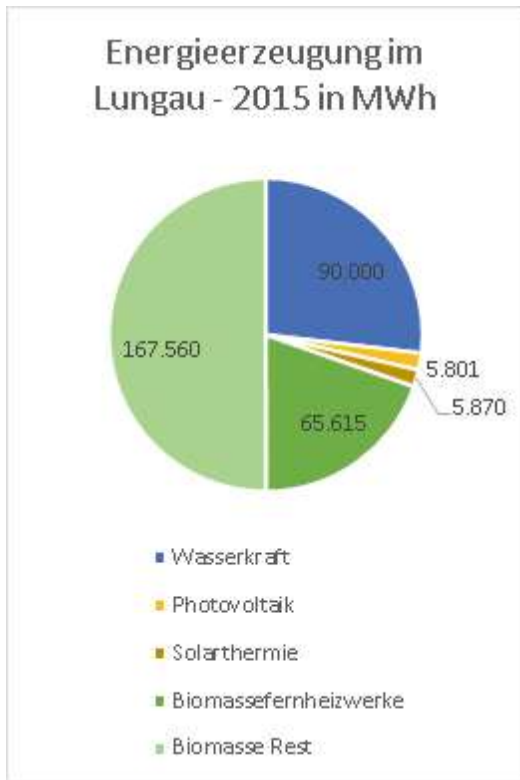


Abbildung 42: Energieerzeugung im Lungau 2015 in MWh (Fanning 2017, eigene Darstellung)

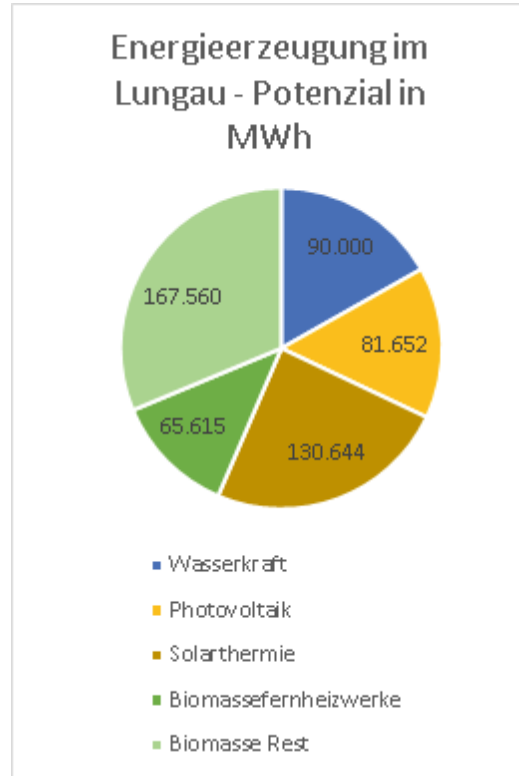


Abbildung 43: Energieerzeugung im Lungau, Potenzial im Jahr 2015 in MWh (Fanning 2017, eigene Darstellung)

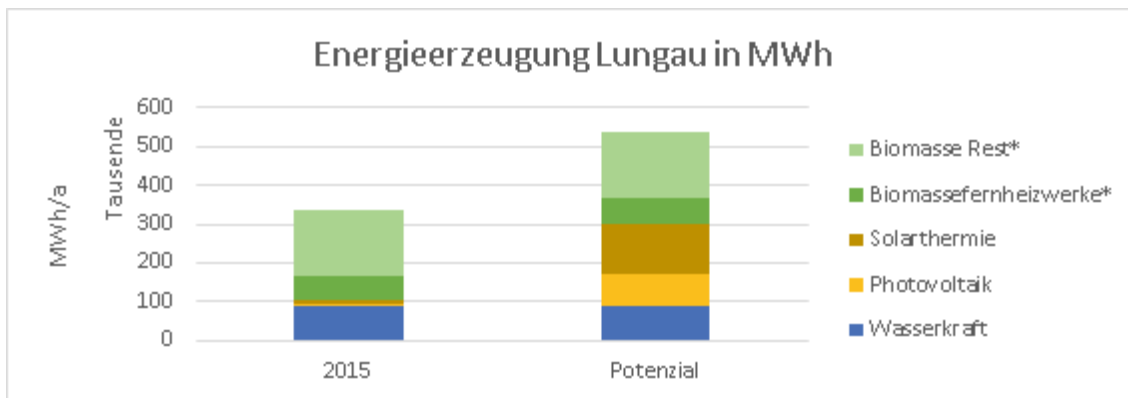


Abbildung 44: Zuwachs der Energieerzeugung durch Umsetzung des Potenzials im Lungau; \*keine Potenzialanalyse bis hierhin möglich (Fanning 2017, eigene Darstellung)

#### 4.2.11 ZWISCHENFAZIT

Der Lungau bietet eine hervorragende Grundlage für den weiteren Ausbau von

Biomasse als erneuerbaren Energieträger aufgrund der vorherrschenden günstigen Rahmenbedingungen. Zum einen sind große Potenzialflächen vorhanden, die derzeit

nicht vollständig ausgeschöpft werden. Der Lungau ist in der Lage, die vorhandenen Rohstoffe lokal zu nutzen, was die geringen Entfernungen zwischen der Produktions- und Verbrauchsstätten begünstigt. Dadurch steigert sich die Effizienz und die Transportkosten werden minimiert. Zusätzlich begünstigen die regionalen Governance-Strukturen die Umsetzung und Weiterentwicklung von Projekten zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen mit besonderem Fokus auf den Biomassebereich. Aufgrund der bereits vorhandenen Bestandsaufnahmen zur Analyse des Status-Quo werden Planungen ermöglicht, die auf fundierten Daten beruhen. Die Biomasseheizwerke im Lungau verfügen zu großen Teilen an Zusatzkapazitäten, die noch nicht vollständig genutzt werden. Es besteht die Möglichkeit des weiteren Ausbaus, sofern die Nachfrage nach erneuerbaren Energien steigt. Aufgrund der ländlichen, alpinen Lage der Region sind auch viele Einzelfeuerungsanlagen verteilt vorzufinden, welche mit Holzhackschnitzel, Pellets oder Scheitholz geheizt werden. Durch den Ausbau der Biomasse kann somit die dezentrale Energieversorgung gestärkt und gefördert werden um ein hohes Maß an Flexibilität zu gewährleisten. Die geografischen und infrastrukturellen Gegebenheiten prädestinieren den Lungau dafür, eine Schlüsselrolle im Ausbau der Biomassenutzung zu übernehmen.

#### 4.3 DATENGRUNDLAGE

Für die nachfolgenden Analysen wurden diverse Datenquellen genutzt. Für die Berechnung des Flächenbedarfs der Fernwärmeanlagen im Lungau wurden persönlich überlieferte Daten der Heizwerkbetreiber verwendet, welche entweder mündlich oder schriftlich überliefert wurden. Dazu kommen noch diverse Auszüge aus deren Datenbanken bezüglich Lieferanten, Rohstoffeinsatz und Energieproduktion.

Die Kraftwerksdaten, welche nicht persönlich überliefert wurden, stammen von der Fernheizwerksdatenbank Salzburg. Die Daten der Wohnbevölkerung stammen von Statistik Austria.

Bei der Berechnung der HANPP-Analyse kamen die genutzten Daten aus der Agrarstrukturhebung der Statistik Austria, der Forstinventur des BFW, der Ernteerhebung, der Gartenanbau- und der Feldgemüseanbauerhebung und Erhebung der Erwerbsobstanlagen der Statistik Austria, sowie aus diversen Flächenwidmungsplänen und CORINE-Landnutzungskarten. Es wurde auch auf Daten des BEV und UBA zurückgegriffen. Informationen über die Energieeffizienz und den Energiebedarf von Pflanzen stammen aus diversen Veröffentlichungen von Haberl und Kaltschmitt.

#### 4.4 FLÄCHENBEDARF VON BIOMASSEHEIZWERKEN

Biomasse spielt eine entscheidende Rolle für die Energieproduktion im Lungau. In der Region mit ausgedehnten Wäldern und einer traditionellen Bewirtschaftung hat die Nutzung von Biomasse eine besondere Bedeutung, insbesondere im Bereich der nachhaltigen Energiegewinnung. Der Einsatz von Biomasse trägt wesentlich zur regionalen Energieautarkie bei, indem lokale Ressourcen genutzt werden, um Energie zu erzeugen. Der Flächenbedarf durch die Nutzung von Holzhackschnitzeln in Biomasseheizwerken hängt von mehreren Faktoren ab, darunter die Größe des Heizkraftwerks, der Wärmebedarf, die Effizienz des Heizsystems und die Produktivität der Wälder in der Region. Der Begriff „Flächenbedarf“ bedingt eine klare Definition für die in dieser Forschung vorgesehene Verwendung. Dumke unterscheidet zwischen Energieproduktionsanlagen und Energiepotenzialflächen. Erstere beziehen sich auf gebaute Anlagen,

zweitere auf Land- oder Gebäudeflächen, die für die Erzeugung von Energieträgern notwendig sind. Grundsätzlich sind nur zweidimensional horizontale Flächen gemeint. (Dumke 2020, 6–7) In dieser Arbeit soll der Fokus auf die Energiepotenzialflächen gelegt werden. Im Unterschied zu anderen erneuerbaren Energieformen, bei welchen größtenteils lokal die Produktion von Energie stattfindet, fallen bei der Nutzung von Biomasse die benötigten Energieträger weit entfernt vom Energieumwandlungsstandort an. Deshalb ist, neben den Anbauflächen, auch der Transportweg Teil des Flächenbedarfs von biogenen Energieträgern. Diese Eigenschaft wirkt sich auf den ökologischen Fußabdruck aus, der sich durch den steigenden Transportaufwand weiter erhöht.

Für die Ermittlung von Energiepotenzialflächen wird ein einheitlicher Vergleichswert verwendet. Die benötigte Fläche je erzeugter Energiemenge ( $\text{m}^2/\text{kWh/a}$ ) wird in dieser Arbeit genutzt. Der Ernteertrag ist maßgeblich für die erzeugte Energiemenge und somit einer der wichtigsten Einflussfaktoren auf den Flächenbedarf von Biomasse. Dumke unterscheidet zwischen lageabhängigen und -unabhängigen Ertragseinflüssen. Die Form der Bewirtschaftung und die Nutzung von Düngemitteln zählen zu den lageunabhängigen Einflussgrößen. Mit ihnen kann der Ernteertrag maßgeblich beeinflusst werden. Bei landwirtschaftlichen Biomassen ist der Einfluss der Düngung wesentlich größer als bei forstwirtschaftlichen Biomassen. Lageabhängige Einflussgrößen, wie das lokale Klima, Höhenlage und Niederschlagsmenge, sind sowohl für landwirtschaftliche als auch forstwirtschaftliche Biomassen relevant. So werden beispielsweise höhere Ernteerträge in fruchtbaren Kulturlandschaften als in kargen Berghängen erzielt. Lageabhängige Einflussgrößen haben mehr mit den

naturgegebenen Umständen zu tun, als mit dem menschlichen Eingriff in die Natur. Diese Einflussgrößen sind von höchster Priorität für die Bewertung der Energiepotenzialflächen. Jedoch ist es aufgrund des fehlenden Datenmaterials schwierig, konkrete Aussagen treffen zu können. (Dumke 2020, 126) Aus drei Gründen können hier nur Beispielwerte genannt werden: Es gibt nur in Einzelfällen horizontale Flächen für die verwendeten Potenzialrohstoffe. Es wurden Standardwerte aus der Fachliteratur ergänzt. Besonders problematisch ist die Abschätzung der Wärmeerzeugung aus forstlichen Biomassen. Aufgrund der geringen Anzahl der untersuchten Kraftwerke fehlt es an statistischer Signifikanz. (Dumke 2020, 157) Es ergibt sich ein Wert von  $1,7 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$  für Waldhackschnitzel. Im Vergleich zu den anderen erneuerbaren Energien wird bei der Nutzung forstlicher Biomassen nur ein sehr geringer Wert erreicht. Bei der Betrachtung des Umkehrwertes  $\text{m}^2/\text{kWh/a}$  wird in Abbildung 45 deutlich, dass der Flächenbedarf der Potenzialflächen von forstlicher Biomasse, mit Abstand am höchsten ausgeprägt ist.

Die Energieerzeugung aus Hackschnitzeln benötigt 116-mal so viel Fläche für eine Kilowattstunde pro Quadratmeter und Jahr wie die Energieerzeugung aus einer vollflächig installierten solaren Schrägdachanlage. Aus den Erhebungen ergibt sich ein Annäherungswert von  $0,568 \text{ m}^2/\text{kWh/a}$ . (Dumke 2020, 166) Wenn man die Daten von REGIO Energy betrachtet, lässt sich ein Wert von  $0,519 \text{ m}^2/\text{kWh/a}$  aus dem ermittelten technischen Potenzial und dem aktuellen Waldbestand 2024 für den Flächenbedarf von forstlicher Biomasse berechnen. (Stanzer et al. 2010, 187) Andere Werte liefert das Projekt Musterhektar. Hierbei wird der Flächenbedarf von Holz aus einem normalen Wald mit  $0,680 \text{ m}^2/\text{kWh/a}$  angegeben. Für Kurzumtriebsplantagen ergibt sich ein Wert von



Abbildung 45: Tree Map - erneuerbare Energieproduktion in Österreich  $m^2/kWh/a$  (Dumke 2020, 165)

0,317 m<sup>2</sup>/kWh/a. (Berchtold-Domig et al. 2015, 18) Wieder andere Werte liefert das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Es wird hierbei zwischen der Stromerzeugung und der Wärmebereitstellung unterschieden. Beim Biomasseanbau ist mit einem Wert von 0,98 m<sup>2</sup>/kWh<sub>el</sub>/a bei der reinen Stromerzeugung und mit einem Wert von 0,49 m<sup>2</sup>/kWh<sub>th</sub>/a bei der Wärmebereitstellung zu rechnen. Es handelt sich hierbei jedoch nicht konkret um holzartige Biomasse. (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2010, 13) Die Werte aus der Fachliteratur für den Flächenbedarf von holzartiger Biomasse bewegen sich also zwischen 0,317 und 0,98 m<sup>2</sup>/kWh/a. Wenn die Kurzumtriebsplantagen und die (reine) elektrische Energieerzeugung ignoriert werden, lässt sich die Spannweite auf 0,49 bis 0,68 m<sup>2</sup>/kWh/a eingrenzen. Der Kehrwert bewegt sich zwischen 1,47 und 2,04 kWh/m<sup>2</sup>/a. Mit dem berechneten Rahmen ist es zwar möglich, ungefähre Schätzungen für den Flächenbedarf bzw. den zu erwartenden Energiegewinn abzugeben, jedoch können große Abweichungen im Vergleich zur Praxis auftreten. Grund dafür sind die unzähligen Einflussfaktoren, die sich auf den jeweiligen holzartigen Energieträger auswirken. Die Eigenschaften des energetisch verwerteten Holzes wirken sich auf die Energiegewinnung aus. Aus diesem Grund müssen die jeweiligen Faktoren betrachtet werden und auf ihren Einfluss auf den Flächenbedarf im weiteren Rahmen untersucht werden. Dies ist zwar nicht das Ziel dieser Arbeit, bietet jedoch eine Grundlage für weitere Forschungsansätze.

Die Einflussfaktoren setzen sich aus jenen lageabhängigen und -unabhängigen Werten zusammen, die direkt oder indirekt mit dem Wachstum, der Ernte, dem Transport, der Lagerung und schlussendlich der energetischen Umwandlung zu tun haben.

Nachfolgende Faktoren stammen von Kaltschmitt 2016.

**Wachstum:** Bei den Einflussfaktoren des Wachstums sollen vor allem Umweltbedingungen, welche sich auf die Wuchsbedingungen der Pflanzen auswirken, und Eingriffe und Störungen, die sich auf die Strukturen des Waldbestandes auswirken sowie Entnahmen und Austräge betrachtet werden. Unter Umweltbedingungen versteht man die Umweltfaktoren und Ressourcen, die dem Wald zur Verfügung stehen. Dazu zählen unter anderem der Nährstoffgehalt, die Bodenbeschaffenheit, die Höhenlage, die Sonnenstunden pro Jahr, der Feuchtigkeitsgehalt, und weitere. Störfaktoren sind unter anderem Windwurf, Schneebruch und Schäden durch Wildtiere oder Insekten. Eingriffe beziehen sich auf waldbauliche Maßnahmen wie Durchforstung oder Jungwuchspflege. Austräge können aktiv und passiv entstehen in Form von Wasser oder durch Ernteentzüge. Waldinterne Prozesse, die die Interaktion zwischen Strukturen und Wuchsbedingungen erklären, werden aufgrund der schwierigen Erhebung nicht näher betrachtet.

**Ernte:** Einflussfaktoren der Ernte betrachten, welcher Rohstoff, wo, wann und wie oft geerntet wird und welche Erntemethode durchgeführt wird. Auch die physische Umwandlung der Biomasse vor Ort wird betrachtet. Geographische Bedingungen, wie die Neigung und das Relief, beeinflussen ebenfalls die Erntefähigkeit.

**Transport:** Beim Transport ist sowohl die Transportmethode als auch der Transportweg ein entscheidendes Kriterium. Auch die mechanische Aufbereitung des Energieträgers vor dem Transport wird hier betrachtet.

**Lagerung:** Biomassen müssen getrocknet werden, bevor diese zur Energiegewinnung verheizt werden können. Dafür fallen ebenfalls Flächen an. Die Methode der

Konservierung und Trocknung vor der energetischen Nutzung beeinflussen den Flächenbedarf von holzartiger Biomasse.

**Energetische Umwandlung:** Bei der energetischen Umwandlung werden jene Faktoren betrachtet, die den Verbrennungsprozess beeinflussen. Wichtig sind dabei die stoffliche Zusammensetzung, der Brennwert<sup>5</sup> und Heizwert<sup>6</sup> sowie die Feuchtigkeit des Energieträgers. Diese Faktoren bestimmen den Energieertrag aus dem thermo-chemischen Umwandlungsprozess. Weiters spielen auch Unterkategorien eine Rolle, die den Heiz- und Brennwert beeinflussen.

Ein typisches Biomasseheizkraftwerk, das mit Holzhackschnitzeln betrieben wird, benötigt je nach Größe und Leistungsfähigkeit eine erhebliche Menge an Holzhackschnitzeln pro Jahr. Die Menge an Holz, die pro Hektar Wald jährlich nachhaltig geerntet werden kann, variiert je nach Waldtyp, Bewirtschaftungsweise und Wachstumsrate. In österreichischen Wäldern lag der durchschnittliche Holztertrag im Erhebungszeitraum 2016-2021 bei etwa 7,7 Vfm/ha pro Jahr. Im Lungau bei etwa 5 Vfm/ha pro Jahr. (Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald 2021) Für die Ermittlung des Flächenbedarfs kann der Ertragswert mit dem Brennstoffbedarf eines Heizwerks multipliziert werden. Diese Berechnung ist jedoch nicht ausreichend, um den „wahren Flächenbedarf“ eines Biomasseheizwerkes bzw. aller Biomasseheizwerke einer Region zu bestimmen. Bei der Betrachtung des Flächenbedarfs von holzartiger Biomasse wurde bislang nicht auf die Nutzung von Sekundär- und Abfallprodukten geachtet. Die

Biomasseheizwerke im Lungau werden zum Großteil von lokalen und regionalen Vorproduktionsstätten mit Biomasse zur energetischen Verwertung beliefert. Dabei werden Abfallprodukte, wie Holzhackschnitzel, Sägespäne und Rinde, die bei der Verarbeitung von Holz in Sägewerken entstehen, verwendet. Aufgrund der hohen Abhängigkeit der Biomasseheizwerke von den Lieferanten, werden Aspekte der Kreislaufwirtschaft bei der Flächenbedarfsermittlung integriert. Durch diese Betrachtungsweise können die „wahren Flächenbedarfe“ von Biomasseheizwerken bestimmt werden. Der tatsächliche Flächenbedarf kann stark variieren, abhängig von der Verfügbarkeit von Waldflächen, der Ernteintensität und der Art der Waldbewirtschaftung in der Region. In Regionen mit hohen Waldanteilen und effizienter Forstwirtschaft kann der Flächenbedarf besser gedeckt werden, während in Regionen mit geringerem Waldanteil oder intensiver Konkurrenz um die Landnutzung der Flächenbedarf ein kritischer Faktor sein kann.

Für die Ermittlung des „wahren Flächenbedarfs“ durch Biomasseheizwerke im Lungau sind folgende Parameter notwendig:

- Energieproduktion von Biomasseheizwerken
- Brennstoffbedarf
- Brennstoffherkunft
- Ernteintensität

Um die genannten Parameter zu ermitteln, wurden sämtliche Biomasseheizwerkbetreiber im Lungau angefragt, Informationen und Daten über die Energieproduktion

<sup>5</sup> "[...] die bei der vollständigen Oxidation eines Brennstoffs freigesetzte Wärmemenge, die verfügbar wird, wenn auch die Kondensationswärme des bei der Verbrennung gebildeten Wasserdampfes nutzbar gemacht wird." (Kaltschmitt et al. 2016, 607).

<sup>6</sup> "[...] die Wärmemenge [...] die bei der vollständigen Oxidation eines Brennstoffs ohne Berücksichtigung der Kondensationswärme (Verdampfungswärme) des im Abgas befindlichen Wasserdampfes freigesetzt wird." (Kaltschmitt et al. 2016, 607).

bereitzustellen. Im Lungau befinden sich 13 Biomasseheizwerke mit einer Gesamtenergieproduktion von 291 TJ oder 81 GWh im Jahr 2023. (Land Salzburg 2023) Insgesamt wurden Daten von nur 2 Biomasseheizwerken zur Verfügung gestellt. Die Biomasseheizwerke Tamsweg und Mauterndorf haben Informationen zur Energieproduktion, Brennstoffbedarf und Brennstoffherkunft liefern können. Für die restlichen Heizwerke wurden Durchschnittswerte bei allen folgenden Berechnungsschritten angenommen. Zunächst wurden die übermittelten Energieproduktionsdaten der Biomasseheizwerke mit den Daten der Salzburger Landesregierung verglichen und adaptiert, sodass keine Verzerrungen bei den weiteren Schritten entstehen. In Tabelle 3 sind die Energieproduktionswerte der Salzburger Landesregierung und die adaptierten Werte ersichtlich. Die Werte wurden von kWh in MJ umgerechnet, da im Rahmen der Arbeit MJ als Vergleichseinheit genutzt wird.

Als nächster Schritt wurde der Rohstoffeinsatz und -herkunft ermittelt. Da hier nur Daten von zwei Kraftwerken zur Verfügung standen, wurden die Erkenntnisse auf die

anderen Heizwerke als Durchschnittswerte übertragen. Demnach wurden das Biomasseheizwerk Tamsweg und Mauterndorf genauer analysiert. Vom Biomasseheizwerk Tamsweg sind genaue Daten über die monatlichen Rohstoffeinsätze verfügbar. Im Fall des Biomasseheizwerks Mauterndorf steht nur der Gesamtjahreswert zur Verfügung. Dieser Wert wird auf die Monate gleichmäßig aufgeteilt. In den kälteren Monaten (Herbst und Winter) steigt der Heizbedarf erheblich an, was zu einem höheren Einsatz von Rohstoffen wie Holz, Gas, Kohle oder Abfällen führt. In den wärmeren Monaten (Frühling und Sommer) sinkt der Heizbedarf, wodurch in der Regel weniger Rohstoffe benötigt werden. In Tabelle 4 sind die Rohstoffeinsätze je Monat ersichtlich. Um dem Rohstoffeinsatz die richtige Herkunft zuzuweisen, wurden die Heizwerkbetreiber nach der Rohstoffherkunft befragt. Das Heizwerk Mauterndorf wird nur von einem einzigen Lieferanten mit Rohstoffen beliefert. Dabei handelt es sich um 100% Rinde als Abfallprodukt des Sägewerks Hutter in St. Michael im Lungau. Das Biomasseheizwerk Tamsweg wiederum hat diverse Zulieferer, die auch über die Grenzen der Region hinausreichen.

Tabelle 3: Energieproduktion Biomasseheizwerke 2023 (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Biomasseheizwerke	Energieproduktion in MJ/a	
	Landesregierung	Erhebung/Adaption
Nahwärme Tamsweg	126.240.203	144.771.516
Nahwärme Ramingstein	4.065.736	4.841.274
Nahwärme Lessach - Feuerwehrhaus	519.156	618.185
Mikronetz Jesner - Lessach	218.956	260.721
Nahwärme Mariapfarr	9.711.281	11.563.705
Mikronetz Neumann - Fanning	1.791.130	2.132.787
Nahwärme Unternberg	2.353.514	2.802.447
Nahwärme St. Margarethen	3.586.525	4.270.654
Nahwärme St. Michael	27.862.376	33.177.118
Mikronetz Gruber Peter - St. Michael	2.293.200	2.730.627
Nahwärme Zederhaus	5.555.570	6.615.294
Nahwärme Obertauern	65.088.000	77.503.519
Nahwärme Mauterndorf	42.201.166	55.800.000
<b>Gesamt</b>	<b>291.486.812</b>	<b>347.087.847</b>

Um genauere Informationen über die Herkunft der Bäume der verschiedenen Sägewerke zu erlangen, wurden alle betroffenen Sägewerke befragt. Die Erkenntnisse aus den Befragungen werden in Tabelle 5 dargestellt. Dadurch ist es möglich, die Abfallprodukte, welche in den Biomasseheizwerken energetisch verwertet werden, konkret räumlich zu verorten. Für das Jahr 2023 ergibt sich dadurch ein Anteil von 75% welcher aus der Region Lungau selbst stammt. 17% stammen vom Bezirk Spittal in Kärnten und 8% vom Bezirk Murau in der Steiermark. Dies ist in Darstellung 46 ersichtlich.

Nun muss der Rohstoffeinsatz noch mit der Rohstoffherkunft verknüpft werden. Dafür ist es notwendig, die Lagerung der Holzhackschnitzel zu betrachten. Die Lagerung

von Holzhackschnitzeln bei Fernwärmeheizwerken ist ein wichtiger Aspekt, um die Qualität des Brennstoffs zu gewährleisten und gleichzeitig Sicherheits- und Effizienzanforderungen zu erfüllen. Die durchschnittliche Lagerdauer von Holzhackgut im Freien in Haufen beträgt etwa 7 bis 9 Monate. Jedoch ist hierbei ein Trockenmasseverlust von etwa 20% zu verzeichnen. Bei trockenem Hackgut liegt der Verlust bei 2%. (Kaltschmitt et al. 2016, 539) Dadurch, dass über 95% der genutzten Hackschnitzel von Sägewerken und ähnlichen Anlieferern stammen, welche dort bereits einen Trocknungs- und Lagerungsvorgang durchgeführt haben, wird eine geringe Feuchtigkeit der Brennstoffe angenommen. Somit wird im Rahmen der Arbeit der Trockenmasseverlust durch

Tabelle 4: Rohstoffeinsatz von Biomasseheizwerken je Monat (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Monat	Tamsweg			Mauterndorf		
	Energie in TJ	Rohstoff in srm	GJ/srm	in TJ	Rohstoff in srm	GJ/srm
Jänner	20,7	10.454	1,98	4,7	2.042	2,28
Februar	18,2	8.892	2,05	4,7	2.042	2,28
März	15,6	8.040	1,94	4,7	2.042	2,28
April	13,1	6.520	2,00	4,7	2.042	2,28
Mai	8,8	4.887	1,79	4,7	2.042	2,28
Juni	5,6	3.713	1,51	4,7	2.042	2,28
Juli	5,1	3.540	1,43	4,7	2.042	2,28
August	4,7	3.534	1,33	4,7	2.042	2,28
September	7,5	4.381	1,70	4,7	2.042	2,28
Oktober	9,7	4.559	2,14	4,7	2.042	2,28
November	14,9	7.557	1,97	4,7	2.042	2,28
Dezember	20,9	10.060	2,08	4,7	2.042	2,28
Gesamt	144,8	76.137	1,90	55,8	24.500	2,28

Tabelle 5: Herkunft der energetisch verwerteten Biomassen (Daten aus Befragungen, eigene Darstellung)

Heizwerk	Lieferant	Herkunft		
		Lungau	Spittal	Murau
Tamsweg	Krist	80,0%	10,0%	10,0%
	Gruber	90,0%	10,0%	-
	Maier	100,0%	-	-
	Graggaber	82,5%	-	17,5%
	Landwirte & Servitut	100,0%	-	-
	Kohlmaier	-	100,0%	-
Mauterndorf	Hutter	50,0%	40,0%	10,0%

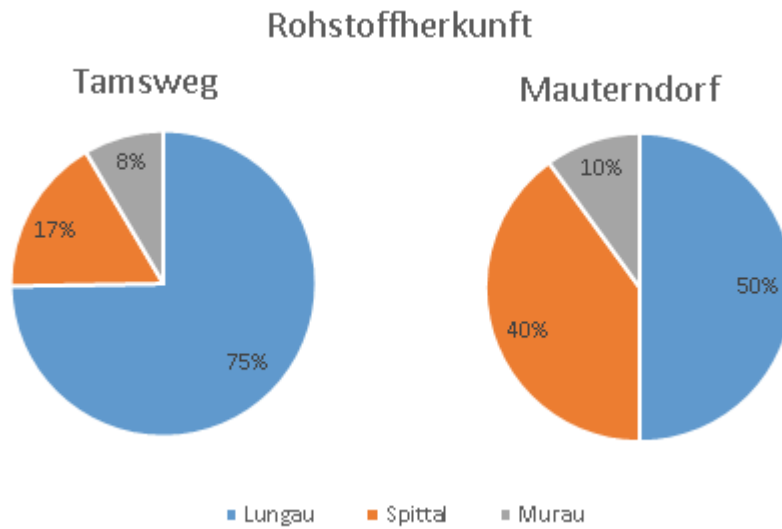


Abbildung 46: Herkunft von Rohstoffen von ausgewählten Biomasseheizwerken (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

die Lagerung vernachlässigt. Die Lagerungsdauer der Holzhackschnitzel des Biomasseheizwerkes Tamsweg weist laut eigenen Informationen durchschnittlich 5 Monate auf. Es wird die FIFO (first in, first out) Strategie beim Lagerungsprozess angewendet. Demnach werden die ältesten Rohstoffbestände zuerst verbraucht, um möglichst gleich lange Lagerungsverhältnisse für alle Holzhackschnitzel zu erzielen. In der Arbeit wird angenommen, dass es in der Praxis schwierig ist, immer die ältesten Hackschnitzel exakt zu identifizieren. Das bedeutet, dass die energetische Verwertung der Hackschnitzel über einen Zeitraum von drei Monaten aufgeteilt wird. Dabei werden 25% der Hackschnitzel „zu früh“ (4 Monate Lagerdauer) vom Lagerungsprozess entzogen, 50% zum geeigneten Zeitpunkt (5 Monate Lagerdauer) und 25% „zu spät“ (6 Monate Lagerdauer). Mit diesen Annahmen kann nun der Rohstoffeinsatz mit den Lieferungen kombiniert werden. In den Abbildungen 47 und 48 kann der Rohstoffeinsatz nach Lieferanten und Herkunft betrachtet werden.

Der Anteil des Lungaus beim Rohstoffeinsatz des Biomasseheizwerkes Tamsweg ist im März mit 78,6% am höchsten. Im Juli steigt

die Abhängigkeit von den Hackschnitzeln aus dem Bezirk Spittal auf über 20%. Der April weist den höchsten Anteil an Hackschnitzeln aus dem Bezirk Murau mit 10% auf. Den geringsten Grad der Autonomie ist in den Sommermonaten zu verzeichnen. Im Juli und August beträgt der Anteil der Lungauer Holzhackschnitzeln nur 72,4%. Die Schwankungsbreite der Anteile der lokalen Hackschnitzeln beträgt etwas über 6%. Der Rohstoffeinsatz wird in srm (Schüttraummeter) angegeben. Um von Schüttraummeter auf rm (Raummeter) schließen zu können, ist zunächst die Typisierung der gelieferten Rohstoffe vorzunehmen. Bei den Lieferungen wird zwischen Rinde und Holzhackgut unterschieden. Wichtig ist hierbei, dass beides Abfallprodukte desselben Baumes sind bzw. sein können. Das bedeutet, dass der Rohstoffeinsatz nicht komplett in fm umgewandelt werden kann, da ansonsten die gerenteten Bäume doppelt gezählt werden. Darum wird, sofern ein Lieferant sowohl Rinde als auch Hackschnitzel liefert, die srm individuell in fm umgewandelt. Danach werden die erhaltenen Werte verglichen und nur der höhere Wert in die weiteren Kalkulationen integriert. Mit dieser Vorgehensweise wird vergewissert, dass keine

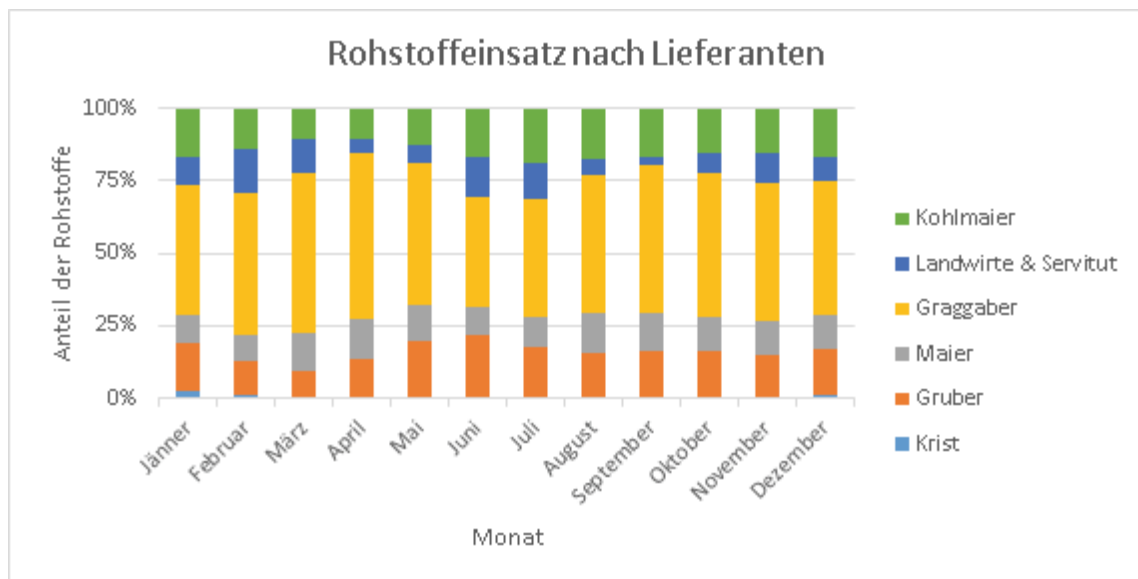


Abbildung 47: Rohstoffeinsatz nach Lieferanten (eigene Berechnung und Darstellung)

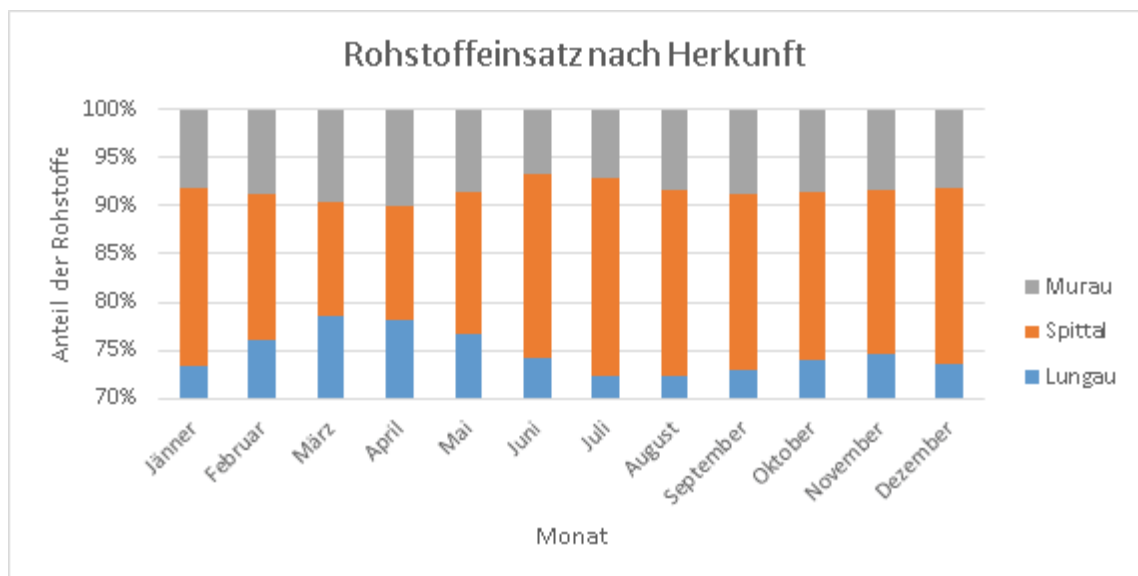


Abbildung 48: Rohstoffeinsatz nach Herkunft (eigene Berechnung und Darstellung)

Doppelzählung stattfindet. Wenn nur Rinde oder nur Hackschnitzel geliefert werden, kann dieser Schritt übersprungen werden. Um von den srm Holz hackschnitzeln auf die fm Holz zu schließen, sind einige Bedingungen zu beachten. Zum einen handelt es sich in dieser Betrachtung um Abfallprodukte von Sägewerken. Es findet eine kaskadische Nutzung statt. Demnach können die srm nicht direkt in fm umgewandelt werden. Es muss zunächst die Vorproduktion betrachtet werden. In Sägewerken ist in etwa mit

einer Holzausbeute von 56 - 73% zu rechnen. (Friedrich et al. 2012, 27) Das bedeutet, der Abfallanteil liegt zwischen 27 und 44%. Im Rahmen der Arbeit wurde mit einem Anteil von 35% gerechnet, was auf eine relativ durchschnittliche, jedoch noch im Rahmen der Realität befindliche Sägeindustrie hinweisen lässt. Das Hauptsortiment der Nebenprodukte sind Hackschnitzel mit 44%. Sie werden größtenteils in der Papierindustrie, Zellstoffindustrie und zur Energieerzeugung verwendet. (Friedrich et al. 2012, 28)

Der Umrechnungsfaktor von Hackgut zu Rundholz beträgt 2,5. Das bedeutet, dass 1 fm Rundholz äquivalent zu 2,5 srm Hackgut ist. (FHP, 27) Nun können diese Werte

miteinander kombiniert werden, um den Holzbedarf in fm unter der Berücksichtigung der Vorproduktionen zu berechnen. Es ergibt sich folgende Formel:

$$\text{Rundholz [fm]} = \frac{\text{Holzhackschnitzel [srm]}}{\text{Umrechnungsfaktor} * \text{Abfallanteil} * \text{Holzschnitzelanteil}}$$

Durch das Einsetzen der Werte erhält man:

$$\text{Rundholz [fm]} = \frac{\text{Holzhackschnitzel [srm]}}{2,5 * 0,35 * 0,44} = \text{Holzhackschnitzel [srm]} * 2,6$$

Das bedeutet, dass durch die Nutzung von 1 srm Holzhackgut 2,6 fm Rundholz benötigt werden. Für Rinde wird die Berechnung der fm anders durchgeführt. Zunächst wurde angenommen, dass die verwendete Rinde von Fichten stammt, welche in der Region etwa 80% des Waldbestandes ausmachen. Der Rindenanteil am Atro-Gewicht von Fichten beträgt 12%. Ein Festmeter Fichtenholz (FMO) wiegt 475 kg. (FHP, 27) Beim Gewicht von einem srm Rinde ist sich die Literatur uneinig. Zudem gibt es große Unterschiede beim Gewicht aufgrund des Wassergehalts der Substanz. In diversen Onlineportalen wird von einem Schüttgewicht zwischen 210 - 250 kg je srm gesprochen. Bei 20% Feuchte

wird von 230 kg/m<sup>3</sup> ausgegangen. (Baumann 2007) Anbieter von diversen Holznebenprodukten geben ein Schüttgewicht von 250 - 300 kg/srm an. (Zwickl 2023) Der Biomasseverband Oberösterreich gibt nur Werte für Hackschnitzel und nichts konkret für Rinde an. Die Werte bewegen sich zwischen 172 kg/srm bei 0% Wassergehalt und 303 kg/srm bei 50% Wassergehalt. (Biomasseverband Oberösterreich, 1) Im Rahmen der Arbeit wird ein durchschnittlicher Wert von 230 kg/srm für die weiteren Berechnungen gewählt. Für die Kalkulation des Rundholzes (unter der Annahme einer kaskadischen Nutzung) ergibt sich folgende Formel:

$$\text{Rundholz [fm]} = \frac{\text{Rinde [srm]} * \text{Gewicht [kg/srm]}}{\text{Rindenanteil} * \text{Gewicht [kg/fm]}}$$

Durch das Einsetzen der Werte erhält man:

$$\text{Rundholz [fm]} = \frac{\text{Rinde [srm]} * 230 \text{ [kg/srm]}}{0,12 * 475 \text{ [kg/fm]}} = \text{Rinde [srm]} * 4,04$$

Die energetische Verbrennung von 1 srm Rinde verbraucht demnach 4,04 fm Rundholz. Das bedeutet, dass der Holzbedarf durch die Nutzung von Rinde im Vergleich zu Holzackschnitzeln um mehr als 50% höher ist. Hierbei ist erneut zu erwähnen, dass in dieser Betrachtung die Vornutzungen im Sägewerk inkludiert sind. Demnach handelt es sich hierbei um die kombinierte Nutzung des Holzes als Primär- und Sekundärprodukt. Bei Lieferanten, welche sowohl Hackschnitzel als auch Rinde bereitstellen, sind

die verwendeten Schüttraummeter mit den oben genannten Formeln in Rundholz umzurechnen. Nur der Maximalwert wird bei den weiteren Berechnungsschritten in Betracht gezogen. Nun können die berechneten Festmeter Holz auf die benötigte Fläche übertragen werden. Dafür wurde erneut die Betrachtung der individuellen Lieferanten gewählt und die jeweiligen Informationen über die Rohstoffherkunft auf die berechneten Festmeter für jedes Monat übertragen. Für jeden Bezirk gibt es unterschiedliche

Ernteerträge, welche in Tabelle 6 ersichtlich sind. Die Tabelle zeigt auch adaptierte Daten im Bezirk Lungau, welche aufgrund der Anpassung der Waldflächen im Kapitel HANPP verändert wurden. Bei den Berechnungen wurden die adaptierten Werte verwendet.

Die verwendete Eigentumsart wurde je nach Lieferanten anhand der vorhandenen Informationen gewählt. Sofern keine Informationen über die Herkunft vorlagen, wurde der Mittelwert des Bezirks genutzt. Durch die Multiplikation der Festmeter mit den Holzentnahmen konnte auf den Flächenbedarf der Lieferanten geschlossen werden. Die Flächen wurden anschließend durch die gelieferte Menge srm geteilt um den Flächenbedarf je srm für die monatlichen Lieferungen zu erhalten. In Abbildung 49 können die Flächenbedarfe je gelieferten srm holzartiger Biomasse betrachtet werden. Die Lieferanten Gruber, Graggaber und

Kohlmaier halten die Flächenbedarfe ziemlich konstant über den Verlauf des Jahres. Große Schwankungen sind bei den Lieferanten Krist, Maier und bei den Landwirten und Servitutsberechtigten zu sehen. Im Fall von Krist sind die Abweichungen auf die unregelmäßigen Lieferungen zurückzuführen. Ausreißerwerte bei Maier entstehen durch die unterschiedlichen Lieferprodukte. Im Jänner wurde ausschließlich Rinde geliefert, was mit einem hohen Flächenbedarf gleichzusetzen ist. Gleiches gilt für den September. Die Schwankungen der Landwirte stammen von unregelmäßigen Rundholzlieferungen. Bei diesen Holzprodukten handelt es sich nicht um Sekundärprodukte aus verschiedenen Sägewerken, sondern um Holz, welches direkt vor Ort zu 100% zu Hackschnitzeln weiterverarbeitet wird und ausschließlich der energetischen Verwertung dient. Somit sinkt der Flächenbedarf in diesen Fällen auf unter 0,05 ha/srm. Der höchste

Tabelle 6: Ernteerträge in Vfm/ha je Eigentumsart (Österreichische Waldinventur, eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Eigentumsart	Unverändert			Adaptiert
	Spittal	Murau	Lungau	Lungau
Bundesforste	8,8	0	4,5	6,0
Kleinbetriebe	7,4	6,7	4,4	5,9
Großbetriebe	6,2	7,7	7,8	10,4

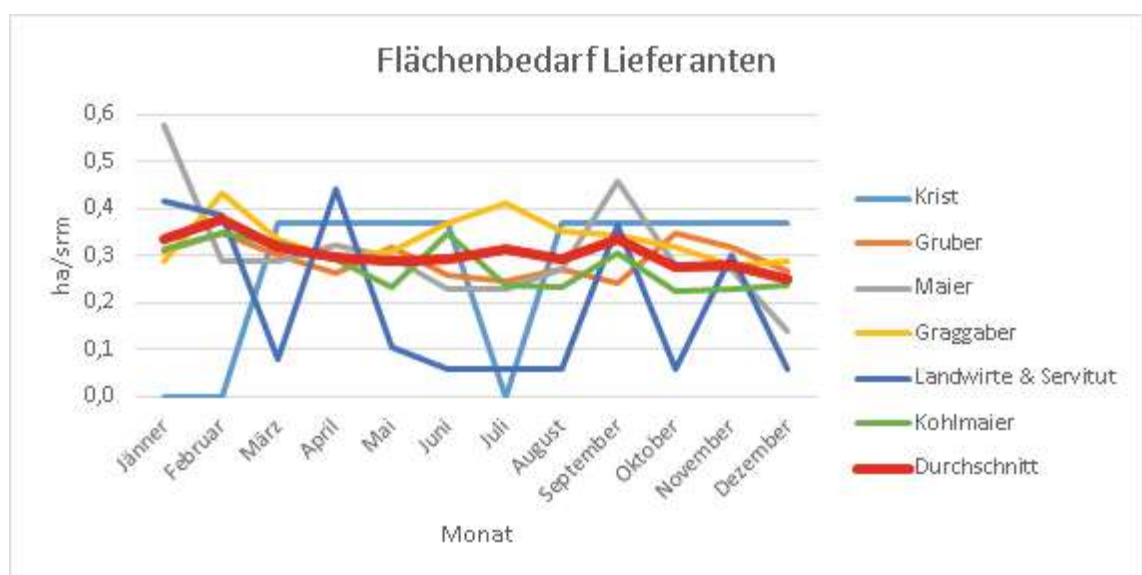


Abbildung 49: Flächenbedarf Lieferanten in ha/srm (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

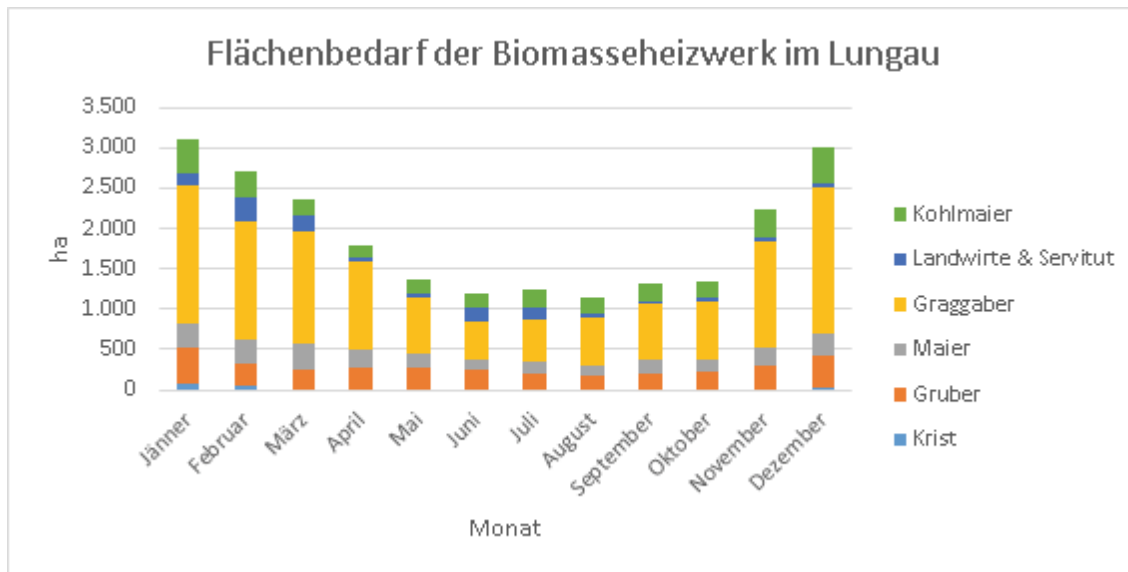


Abbildung 50: Flächenbedarf Biomasseheizwerk Tamsweg in ha (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Flächenbedarf wird durchschnittlich im Februar erwartet mit etwa 0,38 ha/srm. Der geringste Flächenbedarf findet im Dezember mit 0,25 ha/srm statt. Der Jahresmittelwert beträgt 0,3 ha/srm. Um nun auf den Flächenverbrauch des Biomasseheizwerkes zu schließen, wurden die Flächenbedarfswerte je Monat und Lieferant mit den Anteilen des Rohstoffeinsatzes multipliziert. Wie bereits bei der Ermittlung der Lagerung, wurden die Flächenbedarfe abgestuft auf „zu früh“ (vor 4 Monaten), geeignete Flächenbedarfe (vor 5 Monaten) und „zu spät“ (vor 6 Monaten). Dadurch können die zeitlichen Verschiebungen korrekt in die Flächenbedarfskalkulation inkludiert werden. Für das Jahr 2023 können die monatlichen Flächenbedarfe in Abbildung 50 abgelesen werden.

Der höchste Flächenbedarf des Biomasseheizwerkes Tamsweg erfolgt im Jänner mit 3.118 ha dicht gefolgt vom Dezember mit 3.003 ha. Die niedrigsten Werte werden im August mit 1.147 ha erreicht. Der gesamte Jahresbedarf an Flächen beträgt 22.822 ha. Das sind in etwa 52% des Waldes im Lungau. Insgesamt ergibt sich eine Energieeffizienz von 0,63 MJ/m<sup>2</sup> oder 0,18 kWh/m<sup>2</sup>. Diese Werte sind deutlich geringer als die Werte aus der Literatur und können auf die

Nutzung der Holzhackschnitzeln als Sekundärprodukt zurückgeführt werden. Um 1 MJ thermische Energie zu produzieren, werden 1,58 m<sup>2</sup> Waldfläche benötigt. Für die Produktion von 1 kWh thermischer Energie sind sogar 5,68 m<sup>2</sup> notwendig. Dieselben Berechnungsschritte wurden auch beim Biomasseheizwerk Mauterndorf durchgeführt. Aufgrund des Fokus auf Rinde als Rohstoff sind hierbei höhere Flächenbedarfe zu verzeichnen. Die Effizienz wird auf 0,4 MJ/m<sup>2</sup> oder 0,11 kWh/m<sup>2</sup> berechnet. Um 1 MJ thermische Energie zu erzeugen, sind 2,52 m<sup>2</sup> notwendig. Bei der Produktion von 1 kWh werden sogar 9,07 m<sup>2</sup> benötigt. Für die übrigen Kraftwerke wurde aus den beiden Vergleichskraftwerken das gewichtete Mittel gebildet. Somit ergibt sich ein Wert von 1,84 m<sup>2</sup>/MJ bzw. 6,62 m<sup>2</sup>/kWh. Um den gesamten Flächenbedarf der Biomasseheizwerke zu berechnen, wurden die Bedarfswerte mit den Energieproduktionswerten multipliziert. Die Ergebnisse werden in Tabelle 7 dargestellt.

Für den Lungau ergibt sich insgesamt ein Flächenbedarf von 63.832 ha Waldfläche, um die Biomasseheizwerke nach dem Ist-Zustand zu betreiben. Damit liegt der Bedarf an Waldfläche 46% über der vorhandenen

Waldfläche. Das bedeutet, dass der Lungau im derzeitigen Zustand nicht autonom in Form von Biomasse Energie erzeugen kann. Er ist angewiesen auf Importe aus umliegenden Regionen. Diesen „Wald-Fußabdruck“ von derzeit 146% gilt es in Zukunft zu verringern, um die Autonomie der Region zu stärken. Im Rahmen der Arbeit werden einige Szenarien durchgeführt, welche unter

anderem versuchen, dieses Problem zu lösen. Dafür wurden einige Eingriffe in das Ökosystem vorgenommen, welche die Flächenbedarfe, -verteilung und -entwicklung in den nächsten 25 Jahren beeinflussen. Wie sich diese auf den Flächenbedarf der Biomasseheizwerke auswirken, wird im Kapitel Ergebnisse erläutert.

Tabelle 7: Energieproduktion und Flächenbedarf aller Biomasseheizwerke im Lungau in ha im Jahr 2023 (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Biomasseheizwerke	Bedarf für das gesamte Jahr 2023	
	Energieproduktion	Flächenbedarf
Nahwärme Tamsweg	144.771.516 MJ	22.822 ha
Nahwärme Ramingstein	4.841.274 MJ	890 ha
Nahwärme Lessach - Feuerwehrhaus	618.185 MJ	114 ha
Mikronetz Jesner - Lessach	260.721 MJ	48 ha
Nahwärme Mariapfarr	11.563.705 MJ	2.127 ha
Mikronetz Neumann - Fanning	2.132.787 MJ	392 ha
Nahwärme Unternberg	2.802.447 MJ	515 ha
Nahwärme St. Margarethen	4.270.654 MJ	785 ha
Nahwärme St. Michael	33.177.118 MJ	6.101 ha
Mikronetz Gruber Peter - St. Michael	2.730.627 MJ	502 ha
Nahwärme Zederhaus	6.615.294 MJ	1.217 ha
Nahwärme Obertauern	77.503.519 MJ	14.253 ha
Nahwärme Mauterndorf	55.800.000 MJ	14.064 ha
<b>Gesamt</b>	<b>347.087.847 MJ</b>	<b>63.832 ha</b>

## 4.5 HANPP

Die HANPP ist eine nützliche Kennzahl zur Bewertung und Messung der Auswirkungen von menschlichen Aktivitäten in einem Ökosystem. *"Human appropriation of net primary production (HANPP), the aggregate impact of land use on biomass available each year in ecosystems, is a prominent measure of the human domination of the biosphere."* (Haberl et al. 2007, 12942) Materialflüsse, die aus menschlichen Aktivitäten resultieren, sind zu einem wichtigen Bestandteil der biogeochemischen Kreisläufe der Erde geworden. Menschliche Veränderungen der photosynthetischen Produktion

in Ökosystemen und die Ernte von Photosyntheseprodukten wird oft als „menschliche Aneignung der Nettoprimärproduktion (NPP)“ oder HANPP bezeichnet. Als Nettoprimärproduktion wird die jährliche Energiemenge bezeichnet, die von grünen Pflanzen auf einer bestimmten Fläche als Biomasse gebildet und gespeichert wird. HANPP reduziert nicht nur die Energiemenge, die anderen Arten zur Verfügung steht, sondern beeinflusst auch die Artenvielfalt, Wasser- und Kohlenstoffflüsse zwischen Vegetation und Atmosphäre, Energieflüsse innerhalb von Nahrungsnetzen und die Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen. (Haberl et al. 2007, 12942) Unter menschlicher Aneignung von

Nettoprimärproduktion versteht Haberl die Differenz der hypothetischen natürlichen Vegetation und der tatsächlich in der Natur verbleibenden NPP verstanden. Das bedeutet, dass Produkte der Photosynthese in der Natur zurückbleiben, um in den Naturkreislauf wieder einzukehren. Vom Menschen angeeignete Biomasse ist demnach jene Biomasse, die tatsächlich geerntet wird, jedoch nicht jene Biomasse, die am Feld oder im Wald zurückbleibt. Wenn die tatsächliche NPP geringer ist als die hypothetische NPP, dann gilt dies trotzdem als menschliche Aneignung. Die Aneignung lässt sich somit unterteilen in die Biomasseentnahme und die Produktionsveränderung (welche durch die Verhinderung oder Vermehrung vom Wachstum grüner Pflanzen zu begründen ist.). (Haberl 1995, 15–16) In dieser Arbeit wird diese Definition von „Aneignung“ verwendet. Neuere Arbeiten erweitern die Definition auch auf abgetötete Biomassen. Die Biomasseentnahme wird  $HANPP_{harv}$  bezeichnet und die Änderung der Produktion bzw. Flächennutzung wird  $HANPP_{luc}$  bezeichnet. Es gibt zwei Varianten, um die beiden Parameter zu berechnen:

$$HANPP = HANPP_{luc} + HANPP_{harv}$$

$$HANPP_{luc} = NPP_{pot} - NPP_{act}$$

oder

$$HANPP = NPP_{pot} - NPP_{eco}$$

$$NPP_{eco} = NPP_{act} - HANPP_{harv}$$

mit

HANPP	Menschlicher Einfluss auf die Nettoprimärproduktion
$HANPP_{luc}$	Produktionsverlust durch Landnutzungsänderungen
$HANPP_{harv}$	Biomasseentnahme durch Ernte
NPP	Nettoprimärproduktion der natürlichen Vegetation
$NPP_{pot}$	NPP der hypothetischen natürlichen Vegetation
$NPP_{act}$	NPP der tatsächlichen Vegetation
$NPP_{eco}$	im Ökosystem verbleibende NPP

Diese Notationen kommen üblicherweise zum Einsatz. In früheren Werken wurden andere Akronyme verwendet, das Prinzip blieb aber dasselbe. (Haberl et al. 2014, 366) Abbildung 51 stellt das Prinzip der HANPP grafisch dar.

HANPP zeigt, inwieweit die menschliche Landnutzung die Verfügbarkeit und Qualität des Lebensraums für verschiedene Arten beeinflusst. Ein hoher HANPP kann auf eine intensive Landnutzung hinweisen, die zum Verlust und zur Fragmentierung von Lebensräumen führt. Diese Faktoren sind für den Rückgang der Artenvielfalt von entscheidender Bedeutung, da viele Arten zum Überleben spezielle Lebensräume benötigen. Eine hohe HANPP kann auch indirekt die Biodiversität beeinflussen, indem sie zum Klimawandel beiträgt. Durch Landnutzungsänderungen wie Abholzung wird die Kohlenstoffspeicherung in Ökosystemen reduziert, was zu höheren  $CO_2$ -Emissionen und damit zur Klimakrise beiträgt. HANPP stellt eine messbare Größe dar, die in der Umweltpolitik, Naturschutzmanagement und in der Raumplanung genutzt werden kann. Durch die Beobachtung des HANPP kann festgestellt werden, wie menschliche Handlungen die biologische Vielfalt beeinflussen, und angemessene Maßnahmen unternommen werden, um den Verlust der Biodiversität zu reduzieren. Als Grundlage für die Ermittlung der verschiedenen Kennwerte wird die Arbeit von Haberl 1995 hergenommen. Auf eine vollständige Beschreibung der Berechnungsschritte wird verzichtet. In den nachfolgenden Unterkapiteln wird stattdessen auf die Kapitel aus der Literatur verwiesen. Haberl unterscheidet in der Datenermittlung zwischen oberirdischer und

unterirdischer Biomasse, bzw. zwischen der oberirdischen und unterirdischen NPP. Im Rahmen dieser Arbeit wird lediglich auf die oberirdische NPP (ANPP, aboveground NPP) eingegangen. Das bedeutet, dass Wurzeln und andere organische Materie unter der

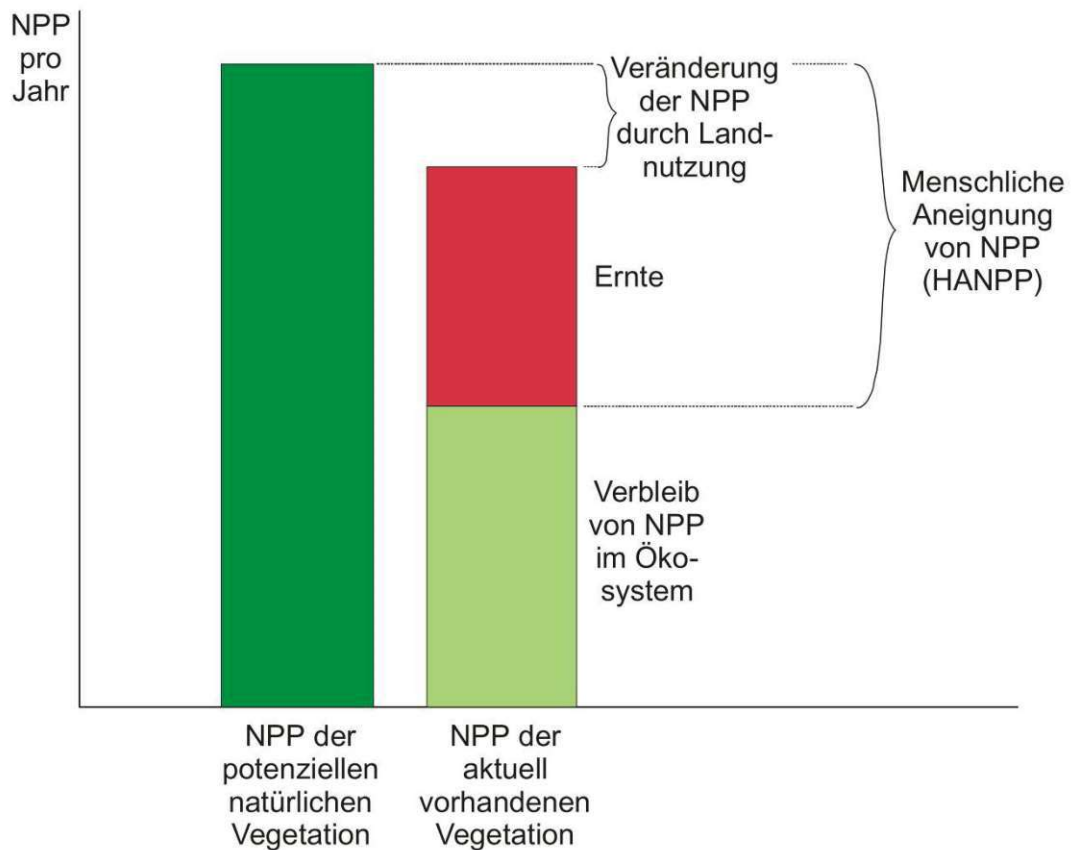


Abbildung 51: Definition der menschlichen Aneignung von Nettoprimärproduktion (HANPP) (Haberl et al. 2002, 76)

Erde nicht betrachtet werden. (Haberl 1995, 15) Die Angabe der Ergebnisse erfolgt in Energieeinheiten pro Jahr und Fläche.

#### 4.5.1 $NPP_{POT}$

Für die Ermittlung der oberirdischen hypothetischen Vegetation werden die untersuchten Flächen auf 6 Höhenstufen unterteilt. Die Unterteilung erfolgt anhand von verschiedenen internationalen Studien, welche jeder Stufe gewisse Produktionsfaktoren zuschreibt. Höhenstufe 1 orientiert sich an der Grenze zwischen der kollinen Stufe und der submontanen Stufe und reicht bis in eine Höhe von 600 m. Die Höhenstufen 2 bis 4 werden anhand der Datenlage hinsichtlich der Almflächen abgegrenzt. Die Abgrenzung zwischen Stufe 3 und 4 liegt knapp unterhalb der Baumgrenze. Höhenstufe 5 entspricht der alpinen Stufe und

Höhenstufe 6 der nivalen Stufen. Je nach Beschaffenheit der natürlichen Vegetation der Höhenstufen werden unterschiedliche Primärproduktionswerte angenommen, welche sich aus dem Vegetationstyp, der Jahresdurchschnittstemperatur, dem durchschnittlichen Jahresniederschlag und der Höhenlage ergeben. (Haberl 1995, 55) In Tabelle 8 sind die Produktivitätswerte der Höhenstufen angegeben.

Die Stufeneinteilung wurde mit einer GIS-Analyse am Beispiel des Lungaus durchgeführt. In Abbildung 52 sind die Flächeneinteilungen je Höhenstufe zu sehen. Höhenstufen 2 bis 5 sind in der Region relevant. Höhenstufe 1 kommt durch die Lage in den Alpen gar nicht vor. Höhenstufe 6 ist nur minimalst vorhanden und kann in der Analyse vernachlässigt werden. In den Tabellen

9 und 10 werden die berechneten Flächen je Gemeinde und Höhenstufe, als auch die oberirdische Produktivität dargestellt. Für den Lungau ergibt sich somit eine  $NPP_{pot}$  von 13,3 PJ/a. Die Primärproduktion der hypothetischen natürlichen Vegetation schwankt zwischen 9,6 und 19,4 MJ/m<sup>2</sup> a. Es ergibt

sich eine durchschnittliche Primärproduktion von 13,1 MJ/m<sup>2</sup> a. Dieser Wert lässt sich zwischen Höhenstufe 3 und 4 einordnen, woraus auf eine Vegetation, bestehend zum größten Teil aus Fichten- und Latschenwäldern, zu schließen ist.

Tabelle 8: Produktivität der hypothetischen natürlichen Vegetation nach Höhenstufen (Haberl 1995, 56)

Höhenstufe	Höhe	Vegetation	ANPP	
			kg/m <sup>2</sup> a	MJ/m <sup>2</sup> a
H1	Bis 600 m	Laubmischwald	1,10	21,0
H2	600 – 1300 m	Fichten-Tannen-Buchen-Mischwälder	1,00	19,5
H3	1300 – 1700 m	Subalpine Fichtenwälder, Latschen-Buschwälder	0,93	18,4
H4	1700 – 2200 m	Subalpine Fichtenwälder, Latschen-Buschwälder, lockere Zirben- oder Latschenwälder, Zwergstrauchgesellschaften	0,44	8,86
H5	2200 – 2800 m	Alpine Rasen, Zwergsträucher, Pionierassen	0,10	2,0
H6	Über 2800 m	Moose, Flechten, Polsterpflanzen	0,01	0,2

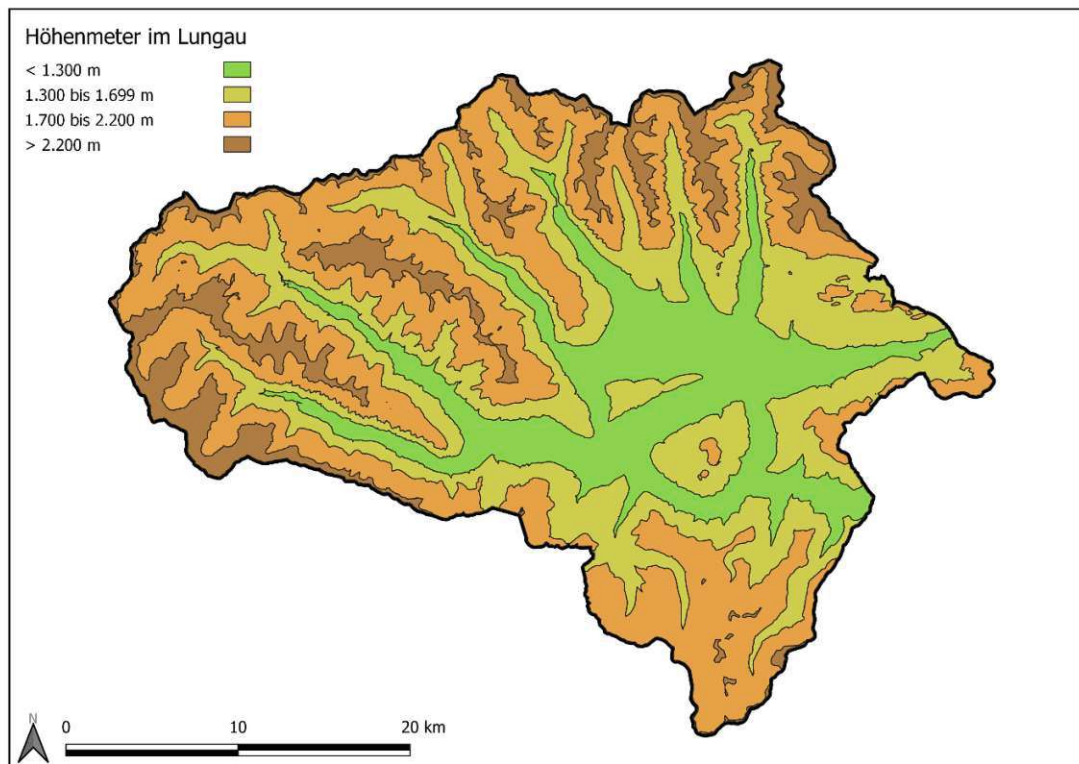


Abbildung 52: Höhenstufen des Lungaus (eigene Darstellung)

Tabelle 9: Flächen je Höhenstufen in ha in den Lungauer Gemeinden (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Gemeinde	Relevante Höhenstufen – Flächen in ha			
	H2	H3	H4	H5
Göriach	552	1.360	1.709	769
Lessach	812	1.979	2.711	1.651
Mariapfarr	1.952	1.315	1.028	410
Mauterndorf	1.378	1.160	657	62
Muhr	991	2.203	5.135	3.148
Ramingstein	1.960	3.360	3.855	191
St. Andrä	995	39	0	0
St. Margarethen	839	1.046	541	7
St. Michael	2.168	2.483	1.956	221
Tamsweg	3.727	6.097	1.750	107
Thomatal	873	2.471	4.147	52
Tweng	520	2.223	4.949	940
Unternberg	1.231	596	43	0
Weißpriach	884	2.040	4.115	922
Zederhaus	753	3.088	7.169	1.975
<b>Gesamt</b>	<b>19.636</b>	<b>31.461</b>	<b>39.763</b>	<b>10.455</b>

Tabelle 10: Primärproduktion je Höhenstufe in TJ in den Lungauer Gemeinden (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Gemeinde	Relevante Höhenstufen – Primärproduktion in TJ			
	H2	H3	H4	H5
Göriach	108	250	148	15
Lessach	158	364	235	33
Mariapfarr	381	242	89	8
Mauterndorf	269	213	57	1
Muhr	193	405	446	63
Ramingstein	382	618	335	4
St. Andrä	194	7	0	0
St. Margarethen	164	192	47	0
St. Michael	423	457	170	4
Tamsweg	727	1.122	152	2
Thomatal	170	455	360	1
Tweng	101	409	430	19
Unternberg	240	110	4	0
Weißpriach	172	375	357	18
Zederhaus	147	568	622	40
<b>Gesamt</b>	<b>3.829</b>	<b>5.789</b>	<b>3.451</b>	<b>209</b>

#### 4.5.2 $NPP_{ACT}$

Unter  $NPP_{act}$  versteht man die Nettoprimärproduktion der natürlichen Vegetation, welche zum gegebenen Zeitpunkt tatsächlich auf einer Fläche vorherrscht. Um die  $NPP_{act}$  zu berechnen, wurde der Lungau in

verschiedene Bodennutzungskategorien eingeteilt. Je nach Nutzungskategorie wurden verschiedene Annahmen getroffen und Berechnungen durchgeführt. Für die Einschätzung der Primärproduktion einer Kultur wurden auf Daten der Erntestatistik und die dazugehörigen Produktionsfaktoren aus

der Literatur zurückgegriffen. In die Berechnungen werden der „harvest index“ und die „recovery rate“ miteinkalkuliert, welche neben dem Primärprodukt auch die Sekundärprodukte einer Kultur miteinbeziehen, und das Zurückbleiben von Biomasse bei der Ernte, welche dem Boden als Nährstoffe wieder zugeführt wird. Der "harvest index", "recovery rate", Brennwert und Wassergehalt der Kulturen entstammen aus der globalen Studie zur Quantifizierung des HANPP und werden in dieser Arbeit verwendet. (Haberl et al. 2007, 12942) Für die Berechnung ist es notwendig, alle Daten auf

dieselbe Einheit zu bringen. Deshalb werden Daten aus der Erntestatistik zunächst von Tonnen Frischmasse t FM zu Tonnen Trockenmasse t TM umgerechnet und anschließend mit dem Brennwert je t TM multipliziert. Das Resultat ist ein Wert in PJ. Dadurch kann die  $NPP_{act}$  für die Gesamtfläche des Lungaus ermittelt werden. In Tabelle 11 ist ein Überblick über die Bodennutzungskategorien für den Lungau im Jahr 2023 dargestellt. Je nach Bodennutzung unterscheiden sich die Berechnungen für die  $NPP_{act}$ .

Tabelle 11: Flächennutzungstypen im Lungau (eigene Darstellung)

Nutzungstyp	Datenquelle	Fläche in ha	Fläche relativ
Versiegelte Fläche	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV), Umweltbundesamt (UBA)	1.211	1,2%
Ackerland	Erntestatistik	1.656	1,6%
Grünland	Erntestatistik	18.185	17,8%
Gemüse- und Obstflächen	Erntestatistik	20	0,0%
Gartenflächen	Erntestatistik	8	0,0%
Waldflächen	GIS-Analyse	43.586	42,7%
Gewässer	Landnutzungskarte	660	0,7%
Urvegetation	Restflächen	36.647	35,9%
<b>Gesamt</b>		<b>101.973</b>	<b>100,0%</b>

#### 4.5.2.1 VERSIEGELTE FLÄCHE

Als versiegelte Flächen werden jene Böden bezeichnet, die durch eine künstliche Abdeckung mit einer wasserundurchlässigen Schicht deren Funktion verlieren. Zu dem zählen die Fähigkeit, Wasser zu speichern, zu verdunsten oder Schadstoffe zu filtern. In der Regel handelt es sich dabei um asphaltierte Flächen. Die verwendeten Daten stammen vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) und vom Umweltbundesamt (UBA). Die Flächeninanspruchnahme des Dauersiedlungsraumes im Lungau entspricht in etwa 16,8%. Die Versiegelung des Dauersiedlungsraumes kann mit 9,3% angenommen werden. Mit etwa 780 ha machen

Straßenverkehrsanlagen im Lungau den höchsten Anteil der versiegelten Flächen aus, gefolgt von Betriebsflächen mit 324 ha und Gebäudeflächen von 246 ha. Gebäude- nebenfläche, Verkehrsnebenflächen, Parkplätze und sonstige weitere versiegelte Flächen machen nur einen geringen Anteil aus. Insgesamt ergibt sich für den Lungau eine Flächenversiegelung von 1.211 ha im Jahr 2022. (Kreutzer 2024) Da versiegelte Flächen eine natürliche Vegetation komplett ausschließen, wird in der Arbeit von einer Produktivität von 0 MJ/m<sup>2</sup> im Jahr ausgegangen. Somit findet keine Nettoprimärproduktion statt.

#### 4.5.2.2 ACKERLAND

Für die Berechnung der  $NPP_{act}$  des Ackerlandes wurden zunächst die Erntedaten der jeweiligen Kulturarten aus der Erntestatistik erhoben und mit den Flächen der Agrarstrukturhebung 2020 extrapoliert. Die Daten der Erntestatistik sind nur auf Länderebene verfügbar, weshalb zunächst anhand der Flächenanteile der Ackerflächen im Lungau auf die geerntete Menge in t FM geschlossen werden musste. Dadurch kommt es zu einer Verzerrung der tatsächlichen geernteten Menge t FM. Da keine andere Erhebungsoption besteht, sollte diese Betrachtungsweise ausreichend sein. Für jede Kultur konnte somit die geerntete Menge in t FM/ha ermittelt werden und mit den Flächenangaben der Agrarstrukturhebung multipliziert werden. Bei manchen Kulturen, z.B. beim Winterhartweizen und bei der Hirse, wurden Ernteauffälle festgestellt. Um dem vorzubeugen wurden die Erntedaten zwischen 2019 und 2021 gemittelt und in die Berechnung inkludiert. Mittels der geeigneten Erntefaktoren von Haberl et al. (2007) wurde die oberirdische  $NPP_{act}$  ermittelt. Bei Feldfrüchten, die keine ausreichenden Daten in der Erntestatistik aufwiesen, wurde auf die Erntefaktoren laut Haberl zur Ermittlung der Produktivität zurückgegriffen. (Haberl 1995, 61) Sogenannte "preharvest losses" wurden in die Berechnungen inkludiert. Es handelt sich dabei um Verluste durch Insekten und andere Schädlinge. (Haberl et al. 2007, 12943)

#### 4.5.2.3 GRÜNLAND

Bei Grünland kommt es zur Unterscheidung zwischen der Art der Bewirtschaftung und der Form der Nutzung. Es werden Wiesen, Weiden und Almen getrennt voneinander betrachtet. Für Wiesen wird dieselbe Vorgehensweise wie beim Ackerland verwendet. Bei mehrmähdigen Wiesen wird von einer 1,5-mal so großen  $NPP_{act}$  ausgegangen als

die Ernte der Trockenmasse. Für Dauerwiesen mit nur einem Schnitt ist dieser Wert sogar 1,81. Zu dieser Annahme kommt es unter anderem durch den Fraß von Insekten und Absterben von Pflanzen. Demnach können etwa 44% der Primärproduktion nicht geerntet werden. (Haberl 1995, 63) Für die Produktion von Weiden wurden Schätzwerte aus der Literatur verwendet. Für Kulturweiden wird angenommen, dass etwa die Hälfte der  $NPP$  abgeweidet wird. Für Hutweiden wird angenommen, dass nur ein Viertel abgeweidet wird, was aufgrund der extensiven Nutzung realistisch erscheint. Sonstige Grünflächen wurde dieselbe Produktivität wie Hutweiden zugeschrieben. (Haberl 1995, 64–65) Grundsätzlich wird zwischen Nieder-, Mittel- und Hochalmen unterschieden. Als Durchschnitt wurde in dieser Arbeit die Mittelalm in der Gesamtbetrachtung gewählt. Die Produktivität von Mittelalmen kommt der Hutweide gleich und beträgt  $0,56 \text{ kg/m}^2$  pro Jahr. (Haberl 1995, 66) Somit ergeben sich folgende Produktivitätswerte, die in Tabelle 12 ersichtlich sind.

Tabelle 12: Produktivität auf Weiden, Almen und Brachen (Haberl 1995, eigene Darstellung)

Grünflächentyp	Produktivität	
	kg/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>
Dauerweide	0,82	14,35
Hutweide	0,56	9,8
Bergmäher	0,56	9,8
Brachen	0,56	10,24
Almen	0,56	9,8

#### 4.5.2.4 GEMÜSE- UND OBSTFLÄCHEN

Die Erhebung der Gemüse- und Obstflächen wurde wie bei Ackerflächen durchgeführt. Da nur Daten auf Landesebene verfügbar waren, wurden die Erntedaten auf die Flächen im Bundesland verteilt. Hierbei kann es erneut sein, dass Verzerrungen vorkommen. Aufgrund des geringen Flächenanteils von unter 1% sind diese jedoch

vernachlässigbar. Wie bei den Ackerflächen wurden die „recovery rate“ und der „harvest index“ verwendet, um auch die Sekundärprodukte zu erfassen, als auch um die Ernterückstände akkurat zu bestimmen.

#### 4.5.2.5 GARTENFLÄCHEN

Gartenflächen haben einen Flächenanteil von unter 1% und sind in der Gesamtbeurteilung vernachlässigbar. Haberl nimmt bei Gärten an, dass sie zu 70% aus mehrmähdigen Wiesen und zu 30% aus Bäumen bestehen. Es werden diese Produktivitätswerte für die Berechnung übernommen. (Haberl 1995, 62)

#### 4.5.2.6 WALDFLÄCHEN

In dieser Arbeit werden die Waldflächen mittels einer GIS-Analyse ermittelt. Dabei werden Flächen der Landnutzungskategorien mit den bereits ermittelten Höhenschichten verschnitten. In Abbildung 53 sind

die Waldflächen, eingeteilt in die verschiedenen Höhenschichten, ersichtlich. Es ergibt sich eine Waldfläche von 43.586 ha. Andere Erhebungen kommen hierbei jedoch auf abweichende Werte. Die Waldinventur 2016-2021 verzeichnet eine Fläche von 52.530 ha, was einer Abweichung von 17% entspricht. Die unterschiedlichen Werte können dadurch begründet werden, dass bei der GIS-Analyse schon sonstige Flächen (wie Moore, ungenutzte Grasflächen, Landschaftselemente, etc.) abgezogen wurden, um die reinen Waldflächen zu erhalten. Die Agrarstrukturerhebung 2020 verzeichnet eine Waldfläche von 19.688 ha, was jedoch nur dem Nutzwald entspricht. Mit einer weiteren GIS-Analyse der Landnutzungskategorien ergibt sich ein Nutzwald von 20.773 ha und entspricht somit einigermaßen der Agrarstrukturerhebung. Egal welche Betrachtungsweise gewählt wird, es wird nicht zu 100% exakt sein. Die Abweichungen zwischen den verschiedenen Datenquellen

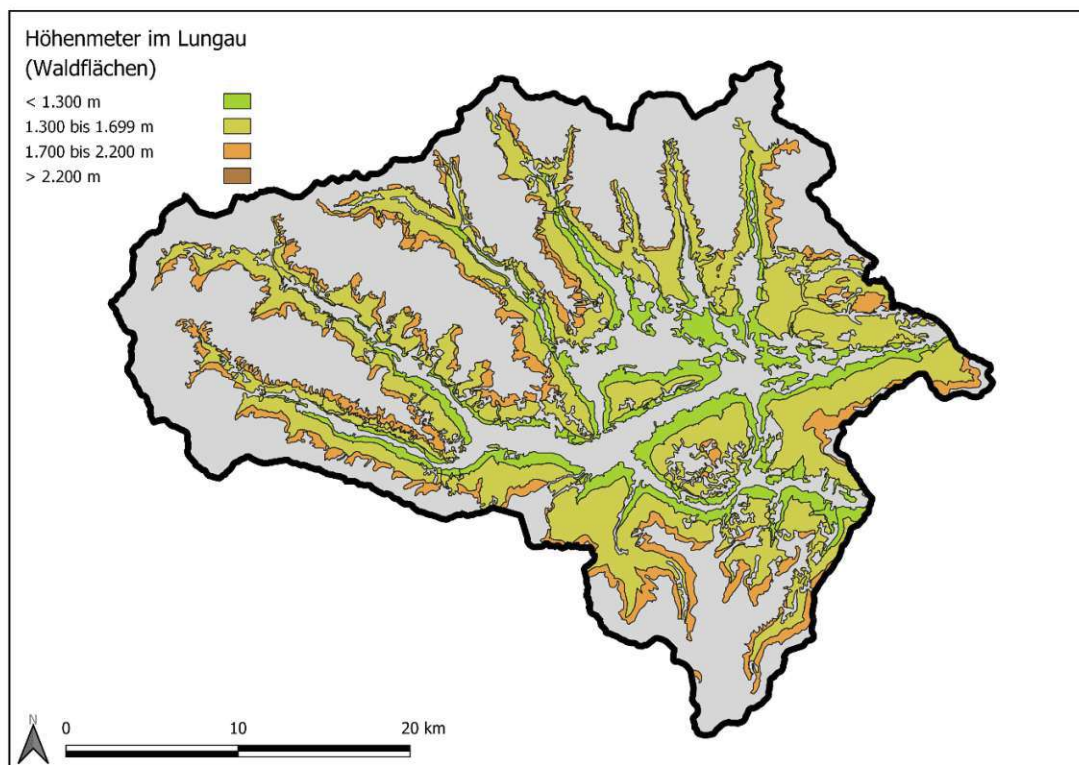


Abbildung 53: Höhenstufen der Waldflächen im Lungau (eigene Darstellung)

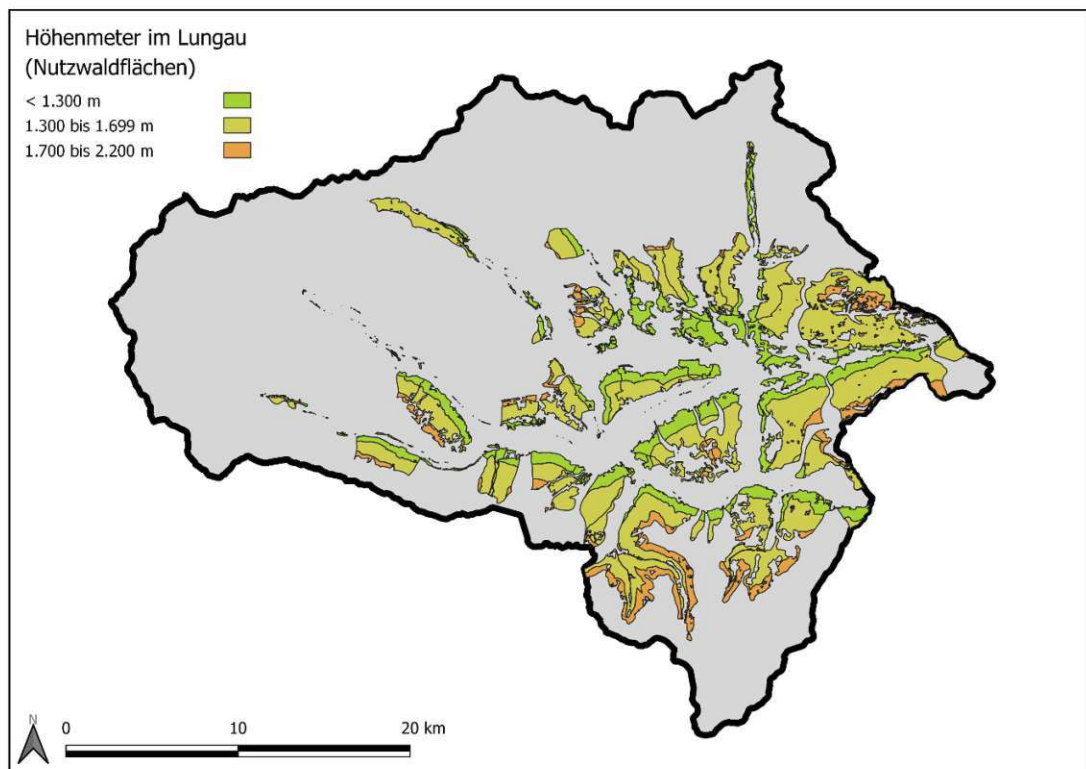


Abbildung 54: Höhenstufen der Nutzwaldflächen im Lungau (eigene Darstellung)

werden jedoch in der Arbeit in den weiteren Berechnungsschritten berücksichtigt, um möglichst genaue Werte zu erhalten. Die aus der GIS-Analyse entstammenden Flächen je Höhenschicht wurden wie bei der Berechnung der  $NPP_{pot}$  mit den Werten aus der Literatur multipliziert um die  $NPP_{act}$  zu erhalten. Dies ist zulässig, da anzunehmen ist, dass die tatsächliche Produktivität der hypothetischen Produktivität einer Waldfläche entspricht. (Haberl 1995, 67) In Abbildung 53 werden die Höhenklassen der Waldflächen im Lungau aufgezeigt. In Abbildung 54 wird die Unterteilung von Nutzwald und Schutzwald vorgenommen. Die Nutzwaldflächen sind in der Grafik ersichtlich.

#### 4.5.2.7 GEWÄSSER

Die Primärproduktion von Gewässern wird in dieser Arbeit auf  $0 \text{ MJ/m}^2$  gesetzt und somit nicht betrachtet.

#### 4.5.2.8 URVEGETATION

Die Urvegetation ergibt sich aus der Differenz zwischen der Gesamtfläche des Lungaus und den bereits genannten Flächen. Es handelt sich somit also um Restflächen. In dieser Arbeit wurde angenommen, dass alle bis hier hin nicht erhobenen Flächen der Urvegetation angehören. Dazu zählen unter anderem Moore, buschige Hartlaubvegetation, übergangsweise buschige und krautige Vegetation mit vereinzelt Bäumen, Geröll, Klippen, Felsvorsprünge, einschließlich Gebiete mit aktiver Erosion, Felsen, Tundra, Flechtenheide, Ödland, Karstgebiete und vereinzelt Höhenvegetation, Gletscher und Schneeflächen. Da keine Nutzungen des Menschen in diesen Gebieten angenommen wurden, kann die hypothetische NPP für die tatsächliche NPP angenommen werden. Mittels einer GIS-Analyse können die Flächen der Urvegetation in Höhenschichten eingeteilt

werden und somit die Flächen mit den Werten aus der Literatur zur Produktivität multipliziert werden. Die Werte bewegen sich zwischen 8,68 und 2 MJ/m<sup>2</sup>.

### 4.5.3 HANPP<sub>HARV</sub>

Wie schon bei der NPP<sub>POT</sub> und NPP<sub>ACT</sub> wird bei der Ermittlung der HANPP<sub>HARV</sub> von der Ernte der oberirdischen Biomasse ausgegangen. Das bedeutet, dass zerstörte Wurzeln und andere unterirdische Vegetationen nicht betrachtet werden, um eine einheitliche Berechnung zu ermöglichen. Die Ermittlung der HANPP<sub>HARV</sub> wird je nach Bodennutzungstyp unterschiedlich durchgeführt.

#### 4.5.3.1 VERSIEGELTE FLÄCHE

Auch bei der HANPP<sub>HARV</sub> wird aufgrund der Versiegelung von keiner aktiv stattfindenden Ernte ausgegangen. Wie schon bei der NPP<sub>ACT</sub> wird mit einer Produktivität von 0 MJ/m<sup>2</sup> gerechnet.

#### 4.5.3.2 ACKERLAND

Beim Ackerland wurde die geerntete Biomasse bereits bei der NPP<sub>ACT</sub>-Ermittlung mit erhoben. Die Daten stammen aus der Erntestatistik. Um Ernteauffälle zu berücksichtigen, wurde der Durchschnitt der Ernte der letzten Erhebungsperioden berechnet. Die dadurch erhobene Feuchtmasse  $t_{FM}$  wurde zur Trockenmasse  $t_{TM}$  mittels relevanter Faktoren aus der Literatur umgerechnet. Die Erntedaten wurden anschließend auf die Flächen der jeweiligen Bodennutzungstypen aufgeteilt. Sollten bei diversen Kulturen keine passenden Daten vorhanden gewesen sein, wurde mit durchschnittlichen Ertragswerten aus der Literatur gerechnet. Sekundärprodukte, welche stofflich und energetisch genutzt werden können, wurden mittels des „harvest index“ und der „recovery rate“ in die Gesamtbetrachtung inkludiert.

#### 4.5.3.3 GRÜNLAND

Die Erntedaten von Wiesenflächen wurden aus der Erntestatistik übernommen. Das Vorgehen wurde gleich wie beim Ackerland durchgeführt. Bei der Ermittlung der Erntedaten von Weideflächen empfiehlt Haberl die Berechnung der Trockensubstanzaufnahme nach Hohenecker (1980). Dabei wird von unterschiedlichen Werten je m<sup>2</sup> ausgegangen, welche von Weidevieh verzerrt wird. Auf Kulturweiden entspricht dieser Wert 0,46 kg/m<sup>2</sup> und bei Hutweiden 0,16 kg/m<sup>2</sup> pro Jahr. (Haberl 1995, 69) Bei der Ermittlung der HANPP<sub>HARV</sub> auf Almflächen wurde die verzerrte Menge an Trockensubstanz von gealpten GVE (Großvieheinheiten) berechnet. Dazu wurden zunächst die GVE im Lungau geschätzt, indem die GVE des Landes Salzburg auf die Almfutterflächen der Bezirke verteilt wurden. Im Jahr 2012 gab es 57.765 GVE in Salzburg. Etwa 18% davon wurden dem Lungau zugewiesen. Mithilfe einer Trendfortschreibung wurden anschließend die GVE für das Jahr 2021 ermittelt. Somit ergeben sich für die weiteren Berechnungen 10.798 gealpte GVE im Lungau. Haberl geht von einer Trockensubstanzaufnahme je GVE von 10 kg/Tag aus. Weiters ist von einer durchschnittlichen Weidezeit von 110 Tagen im Jahr auszugehen. (Haberl 1995, 68–69) Unter diesen Bedingungen ist mit einer Trockensubstanzaufnahme von 11.872 t und mit einem Energieäquivalent von 197 TJ pro Jahr zu rechnen.

#### 4.5.3.4 GEMÜSE- UND OBSTFLÄCHEN

Die Ermittlung der Gemüseflächen wurde wie beim Ackerland durchgeführt. Fehlende Erntedaten auf der Bezirksebene wurden gemittelt und anhand der Flächenverteilung den einzelnen Bezirken zugewiesen. Bei Obstflächen wurde genauso vorgegangen. Anzumerken ist dabei jedoch, dass hierbei nur der intensive Anbau von Obstflächen in

der Erntestatistik erhoben wurde. Die extensive Nutzung wurde mit einer Fläche von 0 ha betitelt, jedoch sind die angegebenen Erntedaten um ein Vielfaches höher als die des intensiven Anbaus. Dies führt zu einer Verzerrung der  $HANPP_{harv}$ -Berechnung für Obstflächen. Aufgrund des niedrigen Flächenanteils von nur 0,02% der Gesamtfläche des Lungaus wirkt sich diese Verzerrung jedoch kaum auf die Gesamtberechnung aus und kann somit ignoriert werden.

#### 4.5.3.5 GARTENFLÄCHE

Die  $HANPP_{harv}$  der Gartenflächen setzt sich erneut aus 70% Wiesen und 30% Waldflächen zusammen. Hier wird gleich vorgegangen wie bei der Berechnung dieser Werte und anschließend prozentual auf die Flächen der Gärten verteilt.

#### 4.5.3.6 WALDFLÄCHE

Die forstwirtschaftliche Ernte wurde mithilfe der Forstinventur erhoben. Die Entnahme der Erhebungsperioden 2007-2009 und 2016-2021 wurde dabei gemittelt, um Unwetterereignisse zu berücksichtigen. (Österreichische Waldinventur) Anhand der Vorrats- und Nutzungsdaten in Vfm konnten die Entnahmen der einzelnen Baumarten geschätzt werden und mithilfe von Dichtewerten auf t TM gebracht werden. Die Dichtewerte bewegen sich zwischen 427 kg/fm bei Fichten und Tannen und 680 kg/fm bei Hainbuchen. (FHP, 27) Bei Nadelbäumen wird von einem Heizwert von 20,4 MJ/kg und bei Laubbäumen mit einem Heizwert von 19,3 MJ/kg ausgegangen. Die entnommene Holzmasse in Vfm wurde anschließend mit den genannten Werten multipliziert, um die  $HANPP_{harv}$  zu erhalten.

#### 4.5.3.7 GEWÄSSER

Gewässerflächen wurden bei der Erhebung der  $HANPP_{harv}$  ausgeschlossen.

#### 4.5.3.8 URVEGETATION

Bei der Urvegetation wird davon ausgegangen, dass kein menschlicher Eingriff stattfindet. Deshalb wird eine  $HANPP_{harv}$  von 0 MJ/m<sup>2</sup> angenommen.

#### 4.5.4 $NPP_{eco}$

Die  $NPP_{eco}$  bezeichnet die im Ökosystem verbleibende Biomasse, welche nach der Ernte als Ernterückstand zurückbleibt und für die Erhaltung der ökologischen Funktionen benötigt wird, wie zum Beispiel die Nahrungsversorgung von Wildtieren oder die Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit. Dazu zählen auch Biomassen, welche in nicht zugänglichen Gebieten produziert werden oder in Biomasseformen vorliegen, die für den Menschen nicht nutzbar sind. Für die Ermittlung wird die Differenz aus  $NPP_{act}$  und  $HANPP_{harv}$  gebildet. Dies wird für sämtliche Landnutzungstypen durchgeführt.

#### 4.5.5 $HANPP_{2023}$

Wie bereits zu Beginn beschrieben, kann die  $HANPP$  entweder durch die Summe aller  $HANPP_{luc}$  und  $HANPP_{harv}$  oder durch die Differenz von  $NPP_{pot}$  und  $NPP_{eco}$  ermittelt werden. In dieser Arbeit wird der zweite Ansatz gewählt. Somit ergibt sich die vom Menschen angeeignete Menge der Nettoprimärproduktion des Ökosystems. Um die erhaltenen Daten besser vergleichbar zu machen, wurde anschließend der Anteil der  $HANPP$  am  $NPP_{pot}$  in Prozent berechnet. Je höher der dabei erhaltene Wert ist, desto höher ist der Grad der menschlichen Aneignung. Niedrige Werte deuten dabei eher auf eine extensive Nutzung hin. Somit kann angenommen werden, dass niedrige Werte auf eine Steigerung der Biodiversität schließen lassen.

#### 4.5.6 HANPP<sub>2050</sub>

Um die HANPP für das Jahr 2050 ermitteln zu können, ist es notwendig zu wissen, wie sich die Flächen und die Erträge auf den Flächen entwickeln werden. Darum wurde zunächst mittels Trendfortschreibung der verschiedenen Flächentypen der Flächenbedarf für die nächsten 22 Jahre bestimmt. Bei der Betrachtung der Erträge wurden zwei unterschiedliche Verfahren umgesetzt. Einerseits wurde ebenfalls eine Trendfortschreibung der Erträge je m<sup>2</sup> verschiedener Kulturen vorgenommen. Es wird angenommen, dass durch den technologischen Fortschritt eine Änderung (egal ob Erhöhung oder Verkleinerung) der Erntemenge je Flächeneinheit möglich ist. Diese Betrachtungsweise stellt also Ernte unter der Annahme eines technischen Fortschritts dar. Die andere Betrachtungsweise bezieht sich auf die Erntemenge je m<sup>2</sup> im Jahr 2023. Es wird angenommen, dass sich keine technischen Fortschritte auf die Effizienz der Flächen auswirken. Das bedeutet, dass die derzeitige Produktivität „eingefroren“ und für das Jahr 2050 übernommen wurde. Im Rahmen der Arbeit werden die beiden Betrachtungsweisen HANPP<sub>2050</sub> und HANPP<sub>2050\_a</sub> genannt, wobei HANPP<sub>2050</sub> für die gleichbleibende Variante steht und HANPP<sub>2050\_a</sub> für die Variante mit technologischem Fortschritt steht. Die Daten für die Trendfortschreibungen stammen von Statistik Austria und wurden für jede Ackerkultur einzeln berechnet.

Ein Flächenzuwachs ist bei versiegelten Flächen, Waldflächen und Obst- und Gemüseflächen festzustellen. Ackerland, Grünland und Gartenflächen erleiden jedoch hohe Flächenverluste. Insgesamt entstehen über

3.000 ha Restflächen. Sofern den Restflächen keine konkrete Nutzung zugewiesen wird, werden diese als Brachflächen betrachtet. Dies bedeutet wiederum, dass ein Flächennutzungspotenzial von über 3.000 ha besteht, welches für verschiedene Nutzungsmöglichkeiten geeignet ist. In der Arbeit wird angenommen, dass die entstandenen Restflächen als „Biodiversitätsflächen“ genutzt werden, außer es wird konkret eine andere Nutzung zugeschrieben. Diese Flächen werden also der Urvegetation gleichgesetzt. Das bedeutet, es findet kein aktiver menschlicher Eingriff statt.

Die Urvegetation im Jahr 2050 bleibt unverändert. Es wurde angenommen, dass keine weiteren menschlichen Eingriffe in diesen Flächentyp stattfanden.

Bei der Flächenversiegelung wurde der durchschnittliche jährliche Zuwachs im Land Salzburg laut Umweltbundesamt angenommen. Für Salzburg ergibt sich ein jährlicher Zuwachs der Flächeninanspruchnahme von 0,023% der Gesamtlandesfläche. Bei einem Versiegelungsgrad von 53% ergibt sich ein jährlicher Zuwachs der Flächenversiegelung von rund 0,0115% der Gesamtlandesfläche. (Kreutzer 2024)

Für die Ermittlung der HANPP<sub>2050</sub> wurde wie bei HANPP<sub>2023</sub> vorgegangen. Mit der Verknüpfung der neuen Flächen- und Ertragswerte konnten die neuen Werte berechnet werden.

In Tabelle 13 sind die neuen Flächenwerte der verschiedenen Landnutzungstypen für das Jahr 2050 im Vergleich zum Jahr 2023 dargestellt.

Tabelle 13: Flächenveränderung der Landnutzungstypen bis 2050 (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Landnutzungstyp	Veränderung		Flächen in ha	
	Absolut (ha)	Relativ	2023	2050
Versiegelte Fläche	+355	+29%	1.211	1.566
Ackerland	-1.085	-66%	1.656	571
Grünland	-7.179	-40%	18.185	11.006
Gemüse- und Obstflächen	+14	+70%	20	35
Gartenflächen	-7	-85%	8	1
Waldflächen	+4.561	+10%	43.586	48.147
Gewässer	0	0	660	660
Urvegetation	0	0	36.647	36.647
Restflächen	+3.341	+100%	0	3.341
<b>Gesamt</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>101.973</b>	<b>101.973</b>

Flächentyp	Fläche		Biodiversität (HANPP)	
	2023	2050	2023	2050
Versiegelte Fläche	1.211 ha	1.389 ha	100%	100%
Ackerland	1.656 ha	1.751 ha	89%	90%
Grünland	18.185 ha	15.102 ha	67%	66%
Gemüse- und Obstflächen	20 ha	35 ha	92%	87%
Gartenflächen	8 ha	1 ha	57%	58%
Waldflächen	43.586 ha	45.765 ha	28%	27%
Gewässer	660 ha	660 ha	0%	0%
Urvegetation	36.647 ha	36.647 ha	0%	0%
Restflächen	0 ha	624 ha	0%	0%
<b>Gesamt</b>	<b>101.973 ha</b>	<b>101.973 ha</b>	<b>39%</b>	<b>37%</b>

<b>Flächenbedarf Biomasse</b>	63.832 ha	66.709 ha
<b>% der vorhandenen Fläche</b>	146%	146%

Abbildung 55: Auszug aus der HANPP-Berechnung durch die Umsetzung von gewählten Maßnahmen im Maßnahmenbewertungstool (eigene Darstellung)

Die Berechnung der HANPP wurde in das Tool zur Maßnahmenbewertung integriert. Auch die Änderungen des Flächenbedarfs von Biomasseheizwerken wird hier kurz erwähnt. Die im Kapitel 3 ausgewählten Maßnahmen, die beispielhaft kurz vorgestellt wurden, werden in der Schaltfläche des Tools wie in Abbildung 55 dargestellt.

Durch die Nutzung des Tools kann somit also die Auswirkung eines Maßnahmenpakets auf die HANPP in der Region, als auch die Entwicklung des Flächenbedarfs von Biomasseheizwerken überprüft werden. Die

beispielhaft gewählten Maßnahmen würden zu einer Reduktion der HANPP führen, was auf eine Erhöhung der Biodiversität schließen lässt. Zudem wächst der Flächenbedarf von Biomasse an, jedoch bleibt der Anteil der benötigten Waldfläche gleich.

#### 4.6 SZENARIEN

Die Szenarienanalyse beleuchtet die zentralen Ziele und Maßnahmen, die in einer Vielzahl von Richtlinien und Plänen formuliert wurden, um die drängenden Herausforderungen im Bereich Biodiversität,

Flächenverbrauch, Energieerzeugung, Biomasse und Klimawandel zu adressieren.

Im Fokus der Szenarien stehen die im Kapitel 3 vorgestellten Strategien, Pläne und Konzepte.

Diese Dokumente setzen jeweils spezifische Schwerpunkte und bieten eine Vielzahl an Maßnahmen, die die Grundlage für die Entwicklung nachhaltiger Szenarien bilden. Die Analyse zielt darauf ab, potenzielle Synergien zwischen den genannten Strategien aufzuzeigen und damit einen Beitrag zur strategischen Entscheidungsfindung in Bezug auf die nachhaltige Entwicklung des Lungaus zu leisten. Ein besonderes Augenmerk wird dabei auf die Vereinbarkeit der Ziele in den Bereichen Biodiversität, Flächenverbrauch und erneuerbare Energien gelegt, sowie auf die Herausforderungen, die durch die Nutzung von Biomasse und die Anpassung an den Klimawandel entstehen.

Durch die ganzheitliche Betrachtung dieser Aspekte soll ein fundierter Überblick geschaffen werden, der die strategischen Optionen zur Erreichung der Klimaziele und zur Förderung der biologischen Vielfalt aufzeigt. Diese Analyse ist somit ein unverzichtbares Instrument zur Bewertung der Effektivität bestehender Strategien und zur Identifizierung notwendiger Anpassungen, um eine nachhaltige und lebenswerte Zukunft sicherzustellen.

Für die Bildung der Szenarios wurden die Erkenntnisse aus Kapitel 3 in brauchbare Werte überführt und anschließend in die Kalkulation der Flächen- und Ertragswerte für das Jahr 2050 integriert. In den nachfolgenden zwei Kapiteln werden die gewählten Adaptionen genauer erklärt. Die Szenarien unterscheiden sich anhand der Intensität der Durchführung von bestimmten Maßnahmen. Das bedeutet, sofern verschiedene Vorgaben in den analysierten Strategien zu

einem bestimmten Thema enthalten waren, wurden diese abgestuft in die Szenarien integriert. Szenario 1 stellt dabei eine „moderate“ Betrachtung dar, Szenario 2 geht immer von der maximalen möglichen Integration von Maßnahmen aus.

Bei der Durchführung der Szenarien wurde gleich vorgegangen wie bei der normalen HANPP Kalkulation. Die verschiedenen Flächen- und Ertragswerte wurden zunächst für das Jahr 2023 und anschließend mittels Trendfortschreibung für das Jahr 2050 berechnet. Auch hier wird zwischen zwei unterschiedlichen Fortschreibungen unterschieden, wobei erstere lediglich die Flächen betrachtet und die eingefrorenen Ertragswerte nutzt, während zweitens ebenfalls eine Ertragsfortschreibung verwendet. Wie schon im vorherigen Kapitel beschrieben, wird zwischen HANPP<sub>2050</sub> und HANPP<sub>2050\_a</sub> unterschieden.

#### 4.6.1 SZENARIO „MODERAT“

Um die Flächen- und Ertragskalkulationen durchzuführen, wurden zunächst wieder die Landnutzungstypen individuell betrachtet. Anschließend wurden anhand der Ziele und Maßnahmen der vielen Strategien konkrete Änderungen durchgeführt und für den Zeitraum bis 2050 kalkuliert.

##### 4.6.1.1 VERSIEGELTE FLÄCHEN

Für die Adaption der versiegelten Flächen wurden die Aussagen des ÖREK 2030 gewählt. Es wird von einem Zielwert des Flächenverbrauchs von 2,5 ha/Tag bis 2030 ausgegangen. Damit ist jedoch die Flächeninanspruchnahme und nicht die Flächenversiegelung gemeint, also der dauerhafte Verlust biologisch produktiver Böden, welche je nach Nutzung unterschiedlich stark versiegelt sind. (ÖROK 2021, 59) Ab 2030 soll die jährliche Flächeninanspruchnahme auf 912,5 ha beschränkt werden. Um den Anteil des Lungaus zu berechnen, wurde die

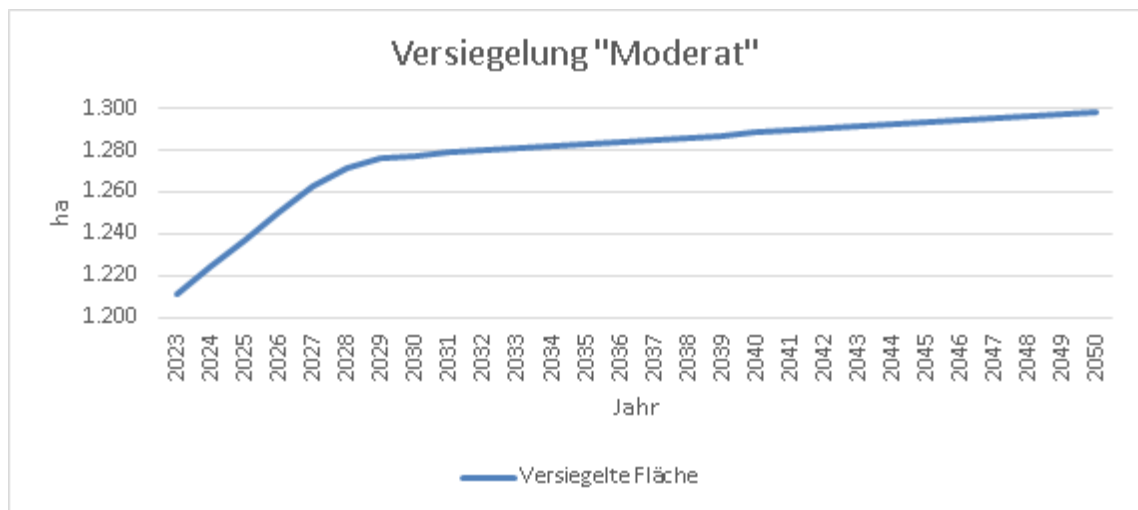


Abbildung 56: Entwicklung der Versiegelung bis 2050 bei der Umsetzung moderater Maßnahmen in ha (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Flächeninanspruchnahme je Einwohner:in kalkuliert und mit dem Anteil der versiegelten Fläche multipliziert. Bis zum Jahr 2030 wurde angenommen, dass eine graduelle Anpassung an den gewünschten Wert von 1,1 ha Versiegelung pro Jahr stattfindet. Somit ist im Lungau ab dem Jahr 2030 mit einer täglichen Versiegelung von etwa 29 m<sup>2</sup> zu rechnen. Bis zum Jahr 2050 sinkt dieser Wert auf 27 m<sup>2</sup>. Es ergibt sich eine versiegelte Fläche von 1.298 ha.

#### 4.6.1.2 ACKERLAND

Ackerland hat mit einem hohen Flächen- druck zu kämpfen. Gründe des Rückgangs der Ackerflächen im Lungau können auf die topografischen und klimatischen Bedingungen zurückgeführt werden. Der Lungau liegt auf etwa 1.000 Metern über dem Meeresspiegel, was bedeutet, dass die Vegetationsperiode kürzer ist als in tiefer gelegenen Regionen. Dies erschwert den Anbau von Ackerfrüchten und führt dazu, dass viele Landwirte auf Viehhaltung oder andere Nutzungen umstellen. Auch der strukturelle Wandel der Landwirtschaft kann ein Grund sein, dass sich die Flächen reduzieren. Kleine, traditionelle Bauernhöfe werden oft aufgegeben, da sie wirtschaftlich nicht mehr tragfähig sind. Die verbleibenden Betriebe

konzentrieren sich häufig auf spezialisierte Nischen oder auf Viehzucht, was die Notwendigkeit von Ackerland verringert. Die Biodiversitätsstrategie sieht dabei Folgendes vor: *"Förderung von Kultursorten, die an die veränderten klimatischen Bedingungen besser angepasst sind, um so eine Reduktion von Wasserverbrauch (Bewässerungsbedarf) und Dünger- und Pestizideinsatz zu erreichen unter Berücksichtigung allfälliger negativer Auswirkungen auf die Biodiversität."* (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022a, 33) Um nicht wahllos „klimaresiliente“ Ackerkulturen einzuführen und somit das lokale Erscheinungsbild der Kulturlandschaft zu zerstören, wurde davon ausgegangen, dass sofern sich Flächen von Ackerkulturen reduzieren, die entstehenden Brachflächen stattdessen mit „klimaresilienten“ Gattungen zu bepflanzen. Dadurch kommt es zu einer langsamen, graduellen Anpassung der Agrarstruktur. Dabei wurde angenommen, dass die Flächen, die sich nicht automatisch bei der Trendfortschreibung reduzieren, ohnehin genug Hitze- und Kälteresistenz aufweisen. Die entstehenden Flächen werden zum einen mit Kartoffeln befüllt. Es bestehen große Unterschiede zwischen verschiedenen Sorten. Die Wahl

fällt hierbei auf die Selektion von besonders trockenheitstoleranten Sorten. (Wuyts et al. 2023, 139) Neben Kartoffeln werden die freiwerdenden Flächen auch für den Anbau von Roggen verwendet. Roggen ist die anspruchsloseste Getreideart, verträgt raue Klimate und kann auf allen Böden angebaut werden. (Land schafft Leben 2024) Durch diese Anpassungen kommt es nicht nur zu einer Änderung der Ackerkulturen, sondern es führt auch zur Verringerung von Flächenverlusten. Der größte Flächenverlust ist bei temporären Gräsern und Grasflächen festzustellen. Diese landwirtschaftlichen Flächen werden für einen begrenzten Zeitraum mit Gräsern oder grasartigen Pflanzen bepflanzt, oft als Teil eines Fruchtfolge- oder Rotationssystems. Sie dienen in der Regel nicht nur als Weideflächen, sondern auch als Mittel zur Bodenverbesserung und zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit. Ein zunehmender Trend hin zur intensiven Landwirtschaft, bei der Ackerbau und die Produktion von marktfähigen Nutzpflanzen Vorrang haben, führt dazu, dass temporäre Grasflächen in Ackerland umgewandelt werden. Diese intensiven Praktiken verdrängen oft extensivere Nutzungsformen. Landwirte stehen unter zunehmendem ökonomischem Druck, die Produktivität ihrer Flächen zu maximieren. Da temporäre Grasflächen oft als weniger profitabel angesehen werden, kommt es vermehrt zur Umnutzung ausgewählter Flächen. (Idel 2024, 202) Wie bei den anderen Kulturen wurde angenommen, dass die freiwerdenden Flächen umgenutzt werden. Hierbei wurden jedoch keine Ackerkulturen gewählt, sondern Wiesen- und Weideflächen.

Einige Strategien, wie die Biodiversitätsstrategie 2030 und die Lokale Entwicklungsstrategie 2023-2027 Lungau, fordern zusätzlich eine Forcierung von Biodiversitätsflächen im Ackerland. Ab einer Fläche von mehr als 2 ha sind daher mindestens 7% Ackerfläche

als Biodiversitätsfläche auszuweisen. Auf Ackerfeldstücken mit mehr als 5 ha sind auf besagter Fläche mindestens 0,15 ha Biodiversitätsflächen vorgesehen. (Agrarmarkt Austria 2023, 5–6) Im Szenario wurde davon ausgegangen, dass so viele 5 ha Feldstücke wie möglich existieren und somit die maximale Anzahl an 0,15 ha Biodiversitätsflächen im Lungau verteilt wurden. Mit dieser Annahme befinden sich im Jahr 2050 116 Feldstücke mit einer Größe von über 5 ha im Lungau. Die daraus resultierende Fläche wurde von der Gesamtfläche und der Produktivität der Flächen abgezogen.

#### 4.6.1.3 GRÜNLAND

Wie bereits beim Ackerland erwähnt, wurden die Flächen so adaptiert, dass der Flächenverlust von temporären Gräsern den Wiesen- und Weideflächen zugewiesen wurde. Dadurch konnten über 2.000 ha an Flächen vor dem Verfall geschützt werden. Die Biodiversitätsstrategie sieht auch die Förderung einer standortangepassten biodiversitätsfördernden Weidewirtschaft vor. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022a, 33) Zudem wurden, ebenfalls wie beim Ackerland, Flächenverluste von Hutweiden Dauerweiden gutgeschrieben. Dauerweiden können eine höhere Futterproduktion liefern als Hutweiden, da sie intensiv gepflegt und bewirtschaftet werden. Das macht sie wirtschaftlich attraktiver und führt zu einer Ertragssteigerung. Anzumerken ist dabei aber, dass die Umwandlung von Hutweiden in Dauerweiden zu einem Verlust an Pflanzen- und Tierarten führen kann, welche an die spezifischen Bedingungen von Hutweiden angepasst sind.

Neben den Weiden sind auch Almen vom Flächenverlust betroffen. Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel sieht den Erhalt bestehender Almflächen und die Revitalisierung

aufgelassener Almen vor. Die Almwirtschaft ist ein zentraler Bestandteil der Berglandwirtschaft in Österreich und erstreckt sich über etwa 20 % der Staatsfläche. Auf den 8.400 Almen finden während der Sommermonate zahlreiche Nutztiere, darunter Milchkühe, Rinder, Schafe, Ziegen und Pferde, ihren Lebensraum. Diese Flächen werden von rund 7.000 Hirten betreut und tragen zur Einkommenssicherung der bäuerlichen Betriebe bei, reduzieren die Arbeitsbelastung im Sommer und fördern die Tiergesundheit. Der Klimawandel beeinflusst die Almwirtschaft spürbar, etwa durch Temperaturanstieg und frühere Vegetationsperioden, was die Futterqualität verändert. Zudem ist die Anzahl der bewirtschafteten Almen und die Zahl der aufgetriebenen Tiere rückläufig, was auf den Rückgang der Viehwirtschaft, hohen Arbeitsaufwand und andere Faktoren zurückzuführen ist. Die Aufgabe von Almen führt oft zur Wiederbewaldung, was den Wasserhaushalt negativ beeinflussen kann. Daher sind gut gepflegte Almweiden wichtig für die Wasserspeicherung, besonders angesichts häufiger werdender Starkregenereignisse. Die Rückkehr großer Beutegreifer wie Wölfe und Bären stellt die Almwirtschaft vor neue Herausforderungen, da der Schutz von Nutztieren an Bedeutung gewinnt. Verschiedene Bundesländer unterstützen Herdenschutzmaßnahmen und bieten Entschädigungen bei bestätigten Angriffen auf Nutztiere. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2024a, 62–63)

Für das Szenario wird angenommen, dass durch die Anpassung der Beweidung zur optimalen Nutzung von Futtererträgen, die Verhinderung der Verunkrautung und die Anpassung des Tierbesatzes aufgrund der erhöhten natürlichen Vegetation durch den Klimawandel, als auch durch die Beweidung von Steiflächen durch Ziegen und Schafe anstatt Rinder, zur Reduktion des Flächenverlustes führt. Dabei wird die Trendfortschreibung so angepasst, dass es zu einer

geringeren jährlichen Reduktion der Fläche führt.

#### 4.6.1.4 GEMÜSE- UND OBSTFLÄCHEN

Wie schon bei den Ackerflächen wird auch bei Gemüse- und Obstflächen der Fokus auf klimaresistente Sorten gelegt. Kulturen, welche einen Flächenverlust aufweisen, werden erneut den klimaresistenten Kulturen zugewiesen. Klimaresiliente Kulturen sind unter anderem Tomaten, Bohnen, Paprika, Auberginen, Salat, Gurken, Zucchini, Mais, Kartoffeln, Kürbis, Zwiebeln und Kohl. (Wagner-Lichtenberg 2024)

In Bezug auf Obstflächen sieht die Bioökonomiestrategie vor, dass Sonderkulturen für Nischenmärkte erschlossen werden sollen, was vor allem die wirtschaftliche Basis der Landwirtschaft in benachteiligten Regionen erweitert und die Einkommenssituation verbessert. (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus et al. 2019, 29) Im Szenario wurde angenommen, dass durch die verstärkte Unterstützung von Sonderkulturen, Zwischenfrüchten und Vertragsanbau eine Flächen- und Ertragssteigerung erzielt wird. Zu den Sonderkulturen im Lungau zählen zum einen Strauchbeeren, zu denen diverse Ribiselsorten zählen, als auch Stachelbeeren, und zum anderen Hülsenfrüchte in Form von Walnüssen und Haselnüssen. (Agrarmarkt Austria 2023) Für die gewählten Früchte wurde die Flächen- und Ertragsfortschreibung erhöht.

#### 4.6.1.5 GARTENFLÄCHEN

Gartenflächen blieben flächenmäßig unverändert. 30% der Fläche wurde bewaldet angenommen. Es erfolgt eine Änderung der Erträge aufgrund der Annahmen zu den Waldflächen.

#### 4.6.1.6 WALDFLÄCHEN

Für die Adaption der Waldflächen und -erträge wurden diverse Strategien als

Grundlage genommen. Die Biodiversitätsstrategie fordert beispielsweise die verstärkte Förderung der Dauerwaldbewirtschaftung und von bodenschonenden Ernte- und Bringungsmethoden. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022a, 46) Besonders die Bergwälder im Alpenraum spielen eine Schlüsselrolle beim Klimaschutz und der Anpassung an den Klimawandel. Sie sind jedoch durch Trockenperioden, Extremwetter und Schädlingsbefall gefährdet. Gleichzeitig nehmen die Waldflächen aufgrund des Temperaturanstiegs und der Aufgabe von Weidflächen zu. Bergwälder dienen als Kohlenstoffspeicher, liefern Nutzholz und schützen als natürliche Barriere vor Naturgefahren. Eine sorgfältige Bewirtschaftung ist entscheidend, um diese Schutzfunktionen zu erhalten. Die Alpenkonferenz betont die Bedeutung einer koordinierten Bewirtschaftung und unterstützt die Konversion von Wäldern, um die Vision klimaneutraler und klimaresilienter Alpen zu verwirklichen. (Alpenkonvention 2021, 26–27) Neben der Bewahrung der Waldflächen steht auch die Stärkung der regionalen Wertschöpfungsketten für Holz im Kontext der Kreislaufwirtschaft und Bioökonomie im Fokus. Die Bioökonomiestrategie sieht vor, dass die Nutzung von Holz nachhaltig und effizient geschieht. Deshalb steht der Ausbau der stofflichen Nutzungsmöglichkeiten nach der Nutzungsdauer als energetisches Produkt im Fokus, um fossile Energieträger zu substituieren. Dies bedingt ein vermehrtes Aufkommen von Sägenebenprodukten, als auch an zur Verfügung stehendem Holz an sich. Die Strategie schlägt eine Kombination von Schutzfunktionen im Wald vor, um Ertragssteigerungen zu erreichen. (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus et al. 2019, 41–42) Auch der Anstieg des Holzvorrats wird in den Strategien angestrebt. Der European Green Deal setzt sich

zum Ziel, in der Europäischen Union bis zum Jahr 2030 3 Mrd. Bäume zu pflanzen und einen Kohlenstoffspeicher von 310 Megatonnen zu schaffen. (Europäische Kommission 2021) Bei einer fairen Aufteilung der Bäume in Europa würde dies für Österreich die Pflanzung von 23,9 Mio. Bäumen bedeuten. Für den Lungau ist mit einem Wert von 290.000 Bäumen bis 2030 zu rechnen. Die Fläche von Bäumen beträgt im Lungau etwa 0,003 ha je Baum. Insgesamt müssten also 754 ha neu bewaldet werden, um den Ansprüchen der EU zu genügen. Dieser Wert wird bereits ohne Adaption, also durch die unangepasste Trendfortschreibung im Jahr 2025 erfüllt. Der integrierte nationale Energie- und Klimaplan sieht weiters noch folgende Maßnahmen vor: die kontinuierliche Steigerung der Holzernte unter Einhaltung der Grundprinzipien einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung, die Erhaltung des Kohlenstoffpools, die Steigerung der stofflichen Verwendung von heimischem Holz und die Steigerung des energetischen Einsatzes von heimischen Holzbiomassen. (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus 2019, 140) Im Szenario wurden letztlich die Flächenwerte so angepasst, dass es zu einer Steigerung der Waldflächen kam, indem die Trendfortschreibung angepasst wurde. Die Erträge aus Bergwäldern wurden aufgrund der Ziele der Alpenkonvention um 5% gesteigert.

#### 4.6.1.7 GEWÄSSER

Gewässer wurden im Szenario nicht angepasst.

#### 4.6.1.8 URVEGETATION

Die Urvegetation blieb im Szenario unverändert.

#### 4.6.1.9 ENERGIE

Im Szenario wurden Adaptionen bezüglich der Nutzung von Biomasse für energetische Zwecke vorgenommen. Die Änderungen

sind auf die bessere Integration der Kreislaufwirtschaft in Form von Nutzungskaskaden kalkuliert worden. Wie in vorherigen Kapiteln bereits erwähnt, ist ein Ziel der Alpenkonvention die Stärkung der regionalen Wertschöpfungsketten für Holz im Kontext der Kreislaufwirtschaft und Bioökonomie. Zudem ist das Ziel der Kreislaufwirtschaftsstrategie die Reduktion der ungenutzten Abfälle. Die Nebenprodukte von Produktionsstätten weiterzuverwenden sollte jedenfalls angestrebt werden. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022b, 4) Die Bioökonomie zielt darauf ab, fossilen Kohlenstoff in der Energie- und Materialwirtschaft zu vermeiden und so zur Wirtschaftstransformation und Klimaneutralität beizutragen. Der Fokus liegt auf der effizienten Nutzung von Biomasse, insbesondere von Reststoffen und Abfällen, durch ressourcenschonende Methoden. Dabei müssen auch Schutzziele wie Biodiversität und Klimaschutz berücksichtigt werden. Ziele sind unter anderem die Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion, die wertsteigernde Verwertung unvermeidbarer Abfälle, die Förderung biogener Produkte zur Kohlenstoffspeicherung und die Erschließung neuer Rohstoffe und Nutzungspfade. (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022b, 66) Die Integration dieser Ziele findet im Szenario durch die Anpassung von Sekundärprodukten aus Sägewerken statt. Es wurde angenommen, dass durch die Förderung der Kreislaufwirtschaft bessere Synergien zwischen Biomasseheizwerken und Lieferanten (Sägewerke) entstehen, und somit der Anteil der verwendbaren Sekundärprodukte (Holzhackschnitzel) bei der Produktion steigt. Zudem wurde noch angenommen, dass durch technologische Fortschritte noch weitere Sekundärprodukte bei der energetischen Verwertung genutzt werden können.

Zusätzlich wurde noch ein leichter Anstieg der Sekundärprodukte im Allgemeinen mit-einkalkuliert. Die jeweiligen Erhöhungen betragen beim Anteil der Holzhackschnitzel 13% und beim Anteil der Sekundärprodukte 25%.

#### 4.6.2 SZENARIO „MAXIMUM“

Bei diesem Szenario wurde grundsätzlich angenommen, dass alle Änderungen, die im Szenario „Moderat“ durchgeführt wurden, ebenfalls gültig sind. Abweichungen wurden dann vorgenommen, sofern in den Strategien andere Ziele zu bestimmten Themen verfolgt wurden. Demnach sind die Eingriffe, die beim Szenario „Maximum“ vorgenommen wurden, viel intensiver als die im Szenario „Moderat“. Insgesamt wurde durch die Maßnahmen ein Wachstum von 735 ha erreicht. Das bedeutet, dass sich der Flächenbedarf über die Grenzen der Region hinaus erstreckt. Weil das nicht möglich ist, wurden die Überschussflächen von den Grünflächen und den Waldflächen abgezogen um den exakten Wert der Regionsfläche zu erreichen.

##### 4.6.2.1 VERSIEGELTE FLÄCHEN

Die Biodiversitätsstrategie sieht eine radikale Reduktion der Flächeninanspruchnahme vor. *„Jede Flächeninanspruchnahme durch Entsigelung von entsprechenden Flächen kompensieren, um längerfristig in Summe eine tägliche Flächeninanspruchnahme von 0 ha zu erreichen.“* (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022a, 81) Unter dieser Annahme blieb die Flächenversiegelung beim Wert von 2023 bestehen. Es wurde angenommen, dass für jede Fläche, die zusätzlich versiegelt wurde, eine weitere Fläche wieder entsiegelt wurde. Insgesamt ergibt sich eine versiegelte Fläche von 1.211 ha.

#### 4.6.2.2 ACKERFLÄCHEN

Ähnlich wie beim Szenario „Moderat“ wurden auch bei diesem Szenario die Flächenverluste von klimagefährdeten Kulturen den Flächen von klimaresilienten Kulturen zugeschrieben. Trotz dieser Zuweisung kam es jedoch bei der Trendfortschreibung zu weiteren Flächenverlusten. Deshalb wurden in diesem Szenario die Flächenverluste der klimagefährdeten Kulturen als schutzbedürftig verstanden und „eingefroren“. Das bedeutet, dass diese Flächen nicht in die Trendfortschreibung miteinfließen, sondern als dauerhafte geschützte Fläche im Nachhinein der jeweiligen klimaresistenten Kultur zugewiesen wurde. Dadurch konnten Flächenverluste reduziert werden, welche jedoch in der Praxis mit einem höheren Investitionsaufwand verbunden sind.

#### 4.6.2.3 GRÜNFLÄCHEN

Die Vorgehensweise des Szenarios „Moderat“ wurde hier übernommen. Die Zuschreibung der Flächenverluste wurde wie bei den Ackerflächen durchgeführt.

#### 4.6.2.4 OBST- UND GEMÜSEFLÄCHEN

Bei den Obst- und Gemüseflächen wurde erneut wie beim Szenario „Moderat“ vorgegangen. Der Fokus auf die Erhaltung und Intensivierung von Sonderkulturen wurde erhöht.

#### 4.6.2.5 GARTENFLÄCHEN

Gartenflächen wurden vom Szenario „Moderat“ übernommen.

#### 4.6.2.6 WALDFLÄCHEN

Auch bei den Waldflächen wurde die gleiche Vorgehensweise angewendet wie im Szenario „Moderat“. Die Ziele des integrierten nationalen Energie- und Klimaplanes wurden jedoch intensiver verfolgt. Die Erhaltung des Kohlenstoffpools und die kontinuierliche Steigerung des Holzzuwachses und der

Holzernte wurden demnach erhöht. (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus 2019, 11) Dabei wurde zunächst der jährliche Holzzuwachs betrachtet, welcher laut Trendfortschreibung ohnehin kontinuierlich steigt. Für die Ernte wurde angenommen, dass jährlich 80% des Holzzuwachses dem Wald entnommen werden können. Dadurch kommt es trotzdem noch zu einem Anstieg des Holzvorrats, was dem Ziel der Erhöhung des Kohlenstoffpools zukommt. Die Holzentnahme steigt dabei jedoch an im Vergleich zum Ist-Zustand und zum Szenario „Moderat“. Die derzeitige Entnahme beträgt 3,5 fm/ha Gesamtwald (5,1 fm/ha Ertragswald), im Szenario „Moderat“ steigt die Entnahme auf 5,2 fm/ha Gesamtwald (7,9 fm/ha Ertragswald) und im Szenario „Maximum“ steigt die Entnahme auf 5,7 fm/ha Gesamtwald (8,6 fm/ha Ertragswald). Trotz der scheinbar extremen Steigerung der Entnahme von 80% des Zuwachses, ergibt sich zwischen Szenario „Moderat“ und Szenario „Maximum“ nur eine Differenz von 0,5 fm/ha. Neben der Intensivierung der Holzernte wurde erneut die Wertschöpfung der Bergwälder um 10% erhöht.

#### 4.6.2.7 GEWÄSSER

Gewässer wurden im Szenario nicht adaptiert.

#### 4.6.2.8 URVEGETATION

Die Urvegetation wurde im Szenario nicht geändert.

#### 4.6.2.9 ENERGIE

Die Adaptionen im Szenario „Moderat“ wurden übernommen und weiter angepasst. Durch weitere Fördermaßnahmen und technische Fortschritte wurde angenommen, dass der Anteil der nutzbaren Hackschnitzel sich um weitere 20% steigert.

## 4.7 FREIFLÄCHEN

Die durch die Flächenentwicklung entstandenen Freiflächen aus den HANPP-Berechnungen verstehen sich als Potenzialflächen, welche für die energetische Nutzung von Biomasse oder für die Steigerung der Biodiversität (durch die Verringerung des menschlichen Eingriffs in das Ökosystem) verwendet werden könnten. Die Flächen entstehen durch die Flächen- und Ertragsentwicklung, aber auch durch Maßnahmen der diversen Strategien und Pläne. Für jede Berechnung der HANPP, also die Betrachtung ohne Eingriffe, mit moderaten Eingriffen und mit maximalen Eingriffen, wurden die Freiflächen einmal unter Annahme einer kompletten Nutzung als Biodiversitätsfläche, einmal unter der Annahme einer kompletten Nutzung der holzartigen Biomasseproduktion und einmal unter der Annahme einer kompletten Nutzung einer gemischten Biomasse- und Energieproduktion betrachtet. Die Erhebungsmethoden wurden wie folgt durchgeführt.

### 4.7.1.1 BIODIVERSITÄTSFLÄCHE

In der Arbeit wurde angenommen, dass die Freiflächen in Form von Renaturierung dem natürlichen Ökosystem wieder zurückgeführt wurden. Demnach wurde eine potentielle natürliche Vegetation der Höhenstufe 2 angenommen. Auf diesen Flächen sollen keine Biomasseentnahmen stattfinden. Somit ergibt sich eine  $HANPP_{harv}$  von 0.

### 4.7.1.2 ENERGIEFLÄCHE

Das Potenzial der Energieflächen wird in dieser Arbeit durch die Abschätzung der Biomasseenergieproduktion durch die energetische Nutzung der angebauten Kulturen auf den jeweiligen Flächen ermittelt. Es wurde hierbei jedoch keine ganzheitliche Betrachtung der Energiepotenziale gewählt, sondern wurde sich auf die Flächennutzung von vier Energieerzeugungsmethoden

festgelegt. Zum einen wurde die Biomasse-nutzung von Weizen, Energiepflanzen und Energiehölzern, zum anderen die Energieerzeugung von Photovoltaikfreiflächen betrachtet. Bei der Ermittlung des energetischen Potenzials wurde einmal angenommen, dass die freigewordenen Flächen zum Anbau von Energiehölzern genutzt wurden. Bei der zweiten Betrachtung wurden die Flächen so aufgeteilt, dass die Hälfte der Freiflächen der Energieholzproduktion, 22,5% dem Energiegrasanbau, 22,5% dem Weizenanbau und 5% der Nutzung von Photovoltaikfreiflächen zugewiesen wurden. Die Energieerzeugung durch die gewählten Energieträger erfolgt durch die direkte Verbrennung von Holz, die chemische Umwandlung von Energiegräsern zu Biogas, die Umwandlung von Weizen in Bioethanol und die Umwandlung von Sonneneinstrahlung in elektrische Energie durch Photovoltaikanlagen.

Mittels der bereits erhobenen Erträge in t TM je ha der HANPP-Berechnungen wurden die Erntemengen der Freiflächen ermittelt. Die Heizwerte der verwendeten Energieträger stammen von Kaltschmitt et al. 2016.

*Tabelle 14: Biomasse Heizwerte verschiedener Sekundärprodukte (Kaltschmitt et al. 2016, eigene Darstellung)*

Energieträger	Heizwert
Weidenholz (KUP)	18,4 MJ/kg
Weizen (Bioethanol)	21,3 MJ/l
Miscanthus (Methan)	35,89 MJ/m <sup>3</sup>

Bei der Produktion von Energiehölzern wurde auf die Nutzung von Weiden gesetzt. Weiden vertragen kühlere Witterung und sind besonders gut geeignet für kühlfeuchte Regionen, was auf den Lungau zutrifft. Auf die Nutzung von Pappeln wird verzichtet, da höhere Temperaturansprüche bestehen, sodass auf einer Höhe über 600 m keine anbauwürdigen Verhältnisse herrschen. Bei Weiden ist mit einem jährlichen Ertrag von 4 bis 18 t TM/ha zu rechnen. In

dieser Arbeit wurde von einem Durchschnittswert von 11 t TM/ha ausgegangen. (Kaltschmitt et al. 2016, 185) Es wurde angenommen, dass die geerntete Biomasse den Biomasseheizwerken zukommt. Dadurch wurde der Heizmittelbedarf und somit auch der Flächenbedarf der Heizwerke gesenkt. Bei der Nutzung von Energiegräsern wurde auf Miscanthus gesetzt. Genauer gesagt Miscanthus x giganteus, welches den ertragreichsten Klon in Mitteleuropa darstellt. Es ist mit Erträgen von 10 bis 30 t TM/ha pro Jahr zu rechnen. In dieser Arbeit wurde von einem durchschnittlichen Ertrag von 20 t TM/ha ausgegangen. (Kaltschmitt et al. 2016, 189) Die Methanausbeute je t TM Miscanthus liegt bei etwa 240 m<sup>3</sup>. Je ha ergibt sich somit eine verfügbare Menge von 4.800 m<sup>3</sup> Methan. Diese Menge ist ungefähr mit der Methanausbeute von Mais vergleichbar. (Kiesel 2022, 10) Die geerntete Trockenmasse von Weizen wurde durch die bereits erfassten Daten der HANPP-Berechnungen ermittelt. Die geerntete Trockenmasse von Weizen bewegt sich zwischen 5 und 8 t TM/ha pro Jahr. Für die Produktion von einem Liter Bioethanol werden etwa 2,6 kg FM Weizen benötigt. (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. 2024) Je ha ergeben sich somit zwischen 2.221 und 3.557 l Bioethanol im Jahr. Neben der Nutzung der Restflächen für die Biomasseproduktion wurden auch Photovoltaikfreiflächen ausgewiesen. Die Festlegung geeigneter Standorte für PV-Freiflächen obliegt der Raumordnung der Bundesländer.

$$\frac{\text{Modulleistung [W]}}{\text{Fläche je Modul [m}^2\text{]}} = \text{Leistung je Quadratmeter [W/m}^2\text{]}$$

$$\frac{\text{Leistung je Quadratmeter [W/m}^2\text{]}}{\text{Bestrahlungsstärke (STC)[W/m}^2\text{]}} = \text{Wirkungsgrad}$$

Durch das Einsetzen der Werte des gewählten Solarmoduls ergibt sich folgendes Ergebnis:

$$\frac{687,5}{3,1} = 221,3 \quad \frac{221,3}{1000} = 0,22$$

Eine weitere Messgröße, welche für den Energieertrag benötigt wird, ist die

Ökologisch besonders hochwertige Standorte und siedlungsstrukturell wichtige Flächen sind keine geeigneten Standorte für PV-Freiflächen. Ein geeigneter Standort benötigt geringe Exponiertheit in der Landschaft, geringe Nutzungskonflikte mit anderen Funktionen, geringe ökologische Bedeutung des Standorts sowie keine höchstwertigen landwirtschaftlichen Böden. (Photovoltaic Austria 2022, 5) Da die Restflächen durch den Verlust von landwirtschaftlichen Nutzungsfunktionen entstehen, werden diese Standortanforderungen als erfüllt betrachtet. Der Anteil der überschirmten Projektfläche wird mit 40% angenommen, um den negativen Einfluss auf die natürliche Vegetation zu minimieren. (Photovoltaic Austria 2022, 8) Die China Photovoltaic Industry Association (CPIA) hat 2019 neue Standardgrößen für Solarmodule eingeführt. Für Solarmodule mit 132 Solarzellen wird von einer Modullänge von 2.384 mm und einer Modulbreite von 1.303 mm ausgegangen. Für diese Arbeit wurde das Solarmodul RSM132-8-675-700BHDG von Hyperion als Vergleichsmodul übernommen. Insgesamt ist mit einem Watt peak von 675-700 je Modul zu rechnen. (Risen Energy CO) Unter diesen Annahmen ist die Installation von 1.287 Solarmodulen je ha möglich. Um den Energieertrag der PV-Freiflächen zu berechnen, ist zunächst die Kalkulation des Wirkungsgrades der PV-Module notwendig. Der Modulwirkungsgrad wird durch folgende Formel berechnet:

korrigierte Globalstrahlung. Dabei handelt es sich um die Globalstrahlung, die auf eine geneigte Fläche trifft und nach Süden ausgerichtet ist. Die Neigung beträgt 30°. Die Werte können vom Solarkataster der Bundesländer entnommen werden. Für den Lungau bewegen sich die Werte zwischen etwa 1.300 und 1.500 kWh/m<sup>2</sup>. Es wird von

einem Mittelwert von 1.400 in dieser Arbeit ausgegangen. Für die Berechnung des

Energieertrags wurde folgende Formel angewandt:

$$\begin{aligned} \text{Energieertrag [kWh]} &= \text{korrigierte Globalstrahlung [kWh/m}^2\text{a]} \\ &\quad * \text{Modulfläche [m}^2\text{]} * \text{Modulanzahl} * \text{Modulwirkungsgrad} \\ &\quad * (\text{sonstige Wirkungsgrade}) \end{aligned}$$

Sonstige Wirkungsgrade wurden bei der Kalkulation nicht betrachtet. (Wagner et al. 2024, 15) Der Energieertrag wurde anschließend mit 3,6 multipliziert um MJ zu erhalten. In Tabelle 15 wurde das gesamte Energie- und Mengenpotenzial der

Energieträger auf den entstandenen Restflächen dargestellt. Da beim Szenario „Maximum“ keine Restflächen entstehen, werden in der Tabelle keine Informationen über besagtes Szenario angegeben.

Tabelle 15: Energie- und Mengenpotenzial der Restflächen (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Erzeugte Menge an Energie (Sekundärprodukte)						
Betrachtung	Restflächennutzung		Fläche	2050	2050_a	
Prognose	Biodiversität		3.341 ha	651 TJ	651 TJ	
	Holz	KUP	3.341 ha	676 TJ	676 TJ	
	Holz + Alternative Energieerzeugung	KUP		1.670 ha	338 TJ	338 TJ
		Methan		752 ha	130 TJ	130 TJ
		Bioethanol		752 ha	57 TJ	36 TJ
		PV		167 ha	745 TJ	745 TJ
	Gesamt		3.341 ha	1.270 TJ	1.249 TJ	
Szenario Moderat	Biodiversität		573 ha	112 TJ	112 TJ	
	Holz	KUP	573 ha	116 TJ	116 TJ	
	Holz + Alternative Energieerzeugung	KUP		286 ha	58 TJ	58 TJ
		Methan		129 ha	22 TJ	22 TJ
		Bioethanol		129 ha	10 TJ	6 TJ
		PV		29 ha	128 TJ	128 TJ
	Gesamt		573 ha	218 TJ	214 TJ	
Erzeugte Menge an Energieprodukten (Sekundärprodukte)						
Betrachtung	Restflächennutzung		Fläche	2050	2050_a	
Prognose	Biodiversität		3.341 ha	-	-	
	Holz	KUP	3.341 ha	36.753 t TM	36.753 t TM	
	Holz + Alternative Energieerzeugung	KUP		1.670 ha	18.377 t TM	18.377 t TM
		Methan		752 ha	3,6 Mio. m <sup>3</sup>	3,6 Mio. m <sup>3</sup>
		Bioethanol		752 ha	2,7 Mio. l	1,7 Mio. l
		PV		167 ha	215.121 Module	215.121 Module
	Gesamt		3.341 ha	-	-	
Szenario Moderat	Biodiversität		573 ha	-	-	
	Holz	KUP	573 ha	6.302 t TM	6.302 t TM	
	Holz + Alternative Energieerzeugung	KUP		286 ha	3.151 t TM	3.151 t TM
		Methan		129 ha	0,6 Mio. m <sup>3</sup>	0,6 Mio. m <sup>3</sup>
		Bioethanol		129 ha	0,5 Mio. l	0,3 Mio. l
		PV		29 ha	36.888 Module	36.888 Module
	Gesamt		573 ha	-	-	

## 5 ERGEBNISSE

In dem Kapitel werden die Ergebnisse der zu Beginn aufgestellten Hypothesen erläutert. Als Erstes werden die kalkulierten Werte der HANPP, HANPP<sub>s1</sub> und HANPP<sub>s2</sub> miteinander verglichen. Es werden die Unterschiede zwischen den Jahren 2023 und 2050 aufgezeigt. Die unterschiedlichen Flächeninanspruchnahmen, welche sich durch die Beibehaltung des Status-Quo und die Umsetzung von Maßnahmen bezogen auf Klimawandelanpassungen, Biodiversitätssteigerungen, etc., werden verdeutlicht und dazu wird die HANPP-Entwicklung beschrieben. Als nächstes wird der Einfluss des technologischen Fortschritts auf die Intensivierung der Land- und Forstwirtschaft durch verbesserte Anbau- und Erntemethoden in Form der HANPP<sub>2050\_a</sub> erklärt. Die Ergebnisse ohne und mit technologischem Fortschritt werden miteinander verglichen. Es wird aufgezeigt, welchen Einfluss die gestiegenen Ernteerträge auf die Biodiversität haben. Anschließend wird der Ressourcen- und Flächenbedarf durch die Nutzung von holzartiger Biomasse betrachtet. Es werden der Energie- und Flächenbedarf im Jahr 2023 und 2050 miteinander verglichen. Zusätzlich wird der Einfluss der Maßnahmenpakete auf die Biomasseheizwerke aufgezeigt, als auch die Annahme des technologischen Fortschritts und die dadurch resultierende Intensivierung der Forstwirtschaft und Verbesserung der Kreislaufwirtschaft. Die Ergebnisse zeigen die Veränderung des „Fernwärme Fußabdrucks“, welcher sich auf den Anteil der benötigten Waldfläche der Region bezieht, um die Fernwärmeheizwerke mit Ressourcen zu versorgen. Zum Schluss wird auf die Entwicklung der HANPP eingegangen, welche sich durch die Nutzung von entstandenen Freiflächen in Form von Biodiversitätsflächen, Kurzumtriebsplantagen und anderer erneuerbaren

Energieträger auszeichnet. Abschließend werden noch mögliche Flächensparnisse in Bezug auf den Betrieb von Fernwärmeheizwerken durch die Kombination mit Freiflächen aufgezeigt.

### 5.1 HYPOTHESE 1

**„Die österreichischen Klimaschutz-, Biodiversitäts- und Flächenverbrauchsmaßnahmen wirken sich mindernd auf die HANPP aus.“**

Für das Jahr 2023 beträgt die HANPP etwa 39%. Die HANPP im Jahr 1995 lag bei etwa 33,86%. (Haberl 1995, 162) Somit stieg der Grad des menschlichen Eingriffs in das Ökosystem in den letzten 28 Jahren um etwa 5,14% im Lungau. Für das Jahr 2050 wird mit der Trendfortschreibung der Flächenentwicklung eine HANPP von 32,5% (34,3% ohne Restflächen) prognostiziert. Es kommt zu einer Verringerung des menschlichen Eingriffs um 6,5%. Der prognostizierte Wert liegt sogar 1,36% unter der HANPP vom Jahr 1995. Die massive Verringerung des menschlichen Eingriffs ist anhand der zu erwartenden Flächenverluste im Bereich der Landwirtschaft zu erklären. Die HANPP der versiegelten Flächen beträgt sowohl für das Jahr 2023 als auch 2050 100%. Trotz Flächenzuwächse sind keine Änderungen des menschlichen Aneignungsgrades verzeichnet, da davon ausgegangen wird, dass auf versiegelten Flächen keine natürliche Vegetation entstehen kann. Das Ackerland hat für das Jahr 2023 eine HANPP von ca. 89,4%, welche sich zusammensetzt aus 58,6% Aneignung durch Ernte (HANPP<sub>harv</sub>) und aus 30,8% Aneignung durch Landnutzungsveränderungen (HANPP<sub>luc</sub>). Die HANPP des Ackerlandes sinkt bis 2050 um 8,5%. Es kommt jedoch dabei zu einem Anstieg der HANPP<sub>harv</sub> um 5,4% und zu einem Rückgang der Landnutzungsveränderungen um 13,9%. Es wird ein Flächenverlust von über 1.085 ha verzeichnet. Auch beim Grünland

kommt es zu hohen Flächenverlusten von über 7.179 ha und weist die größte Differenz zwischen 2023 und 2050 auf. Die HANPP des Grünlandes für das Jahr 2023 beträgt etwa 66,6%, welche sich aufteilen auf 29,3% HANPP<sub>harv</sub> und 37,3% HANPP<sub>luc</sub>. Dies ist der einzige Landnutzungstyp, der einen höheren menschlichen Eingriff in das Ökosystem durch Landnutzungsänderungen aufweist, als durch die Ernte. Bis zum Jahr 2050 kehren sich die Werte jedoch um. HANPP<sub>harv</sub> erhöht sich um 9,5% und HANPP<sub>luc</sub> verringert sich um 8,2%. Insgesamt wächst die HANPP des Grünlandes um 1,3% an. Gemüse- und Obstflächen weisen eine sehr hohe HANPP für das Jahr 2023 mit etwa 91,9% auf. Sie setzt sich aus 56,9% Ernte und 35,1% Landnutzungsveränderungen zusammen. Die HANPP des Gemüses beträgt 94,8% und die HANPP des Obstes 91,7%. Die Obstflächen fallen somit mehr ins Gewicht als die Gemüseflächen. Bis zum Jahr 2050 sinkt die HANPP dieses Flächentyps um 5,4%. Verringerungen von bis zu 45,1% sind bei den Landnutzungsveränderungen festzustellen. Jedoch kommt es bei der Ernte zu einem Anstieg von 39,7%. Für die HANPP<sub>luc</sub> wird sogar ein negativer Wert von -10% verzeichnet. Zu begründen ist das mit dem Anstieg des

HANPP<sub>act</sub> über den HANPP<sub>pot</sub>. Somit liegt die Primärproduktion der tatsächlichen Vegetation über der potentiellen natürlichen Vegetation im Jahr 2050. Gartenflächen weisen im Jahr 2023 eine menschliche Aneignung von 56,9% auf. Der Anteil der HANPP<sub>harv</sub> beträgt 63,7% und der Anteil der HANPP<sub>luc</sub> beträgt -6,8%. Das bedeutet, dass auch bei Gartenflächen die aktuelle Vegetation eine höhere Primärproduktion aufweist, als die potentielle natürliche Vegetation. Bis zum Jahr 2050 kommt es zu einem geringen Wachstum der HANPP von 1,3%. Aufgrund des geringen Flächenanteils haben Gartenflächen einen vernachlässigbaren Einfluss auf die gesamte HANPP. Einen hohen Einfluss auf die HANPP haben jedoch die Waldflächen. Sie verzeichnen eine HANPP von 28% für das Jahr 2023. Da bei Waldflächen die NPP<sub>pot</sub> dem NPP<sub>act</sub> entspricht, gibt es keine HANPP<sub>luc</sub>. Die gesamte HANPP des Waldes besteht demnach aus den menschlichen Eingriffen durch Biomasseentnahmen. Bis 2050 wird ein Waldwachstum von 4.560 ha verzeichnet. Dadurch fällt die HANPP der Waldflächen noch mehr ins Gewicht für die gesamte Region. Die HANPP der Waldflächen sinkt um 0,5%. Die HANPP der

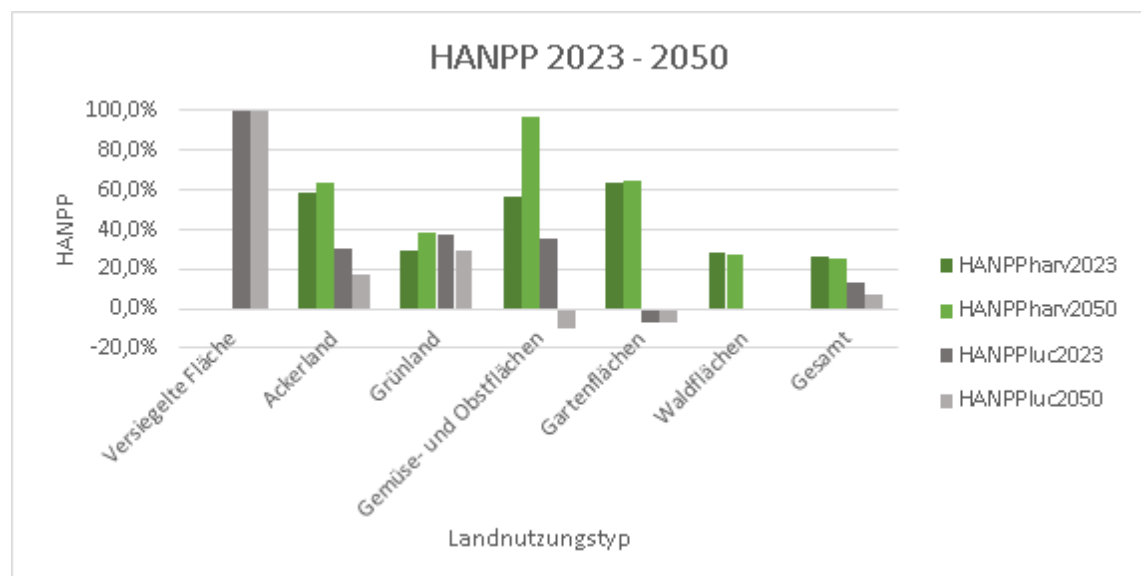


Abbildung 57: Entwicklung der HANPP von 2023 bis 2050 nach Landnutzungstypen, Unterteilung zwischen HANPP<sub>harv</sub> und HANPP<sub>luc</sub> (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Gesamtregion setzt sich aus 25,9% menschlicher Aneignung durch Biomasseernte und zu 13,1% aus menschlicher Aneignung durch Landnutzungsänderungen zusammen. Bis 2050 sinken sowohl die  $HANPP_{harv}$  um 1% und die  $HANPP_{luc}$  um 5,5%. In der Gesamtbetrachtung wird somit der Lungau weniger intensiv durch Biomasseentnahmen und durch Landnutzungsänderungen geprägt sein. Ohne das Setzen von Maßnahmen kommt es zu einem natürlichen Prozess der Renaturierung und somit zur Steigerung der Biodiversität. Die  $HANPP$ -Entwicklung von 2023 bis 2050 ist in Abbildung 57 abgebildet. Die  $HANPP_{s1}$  und  $HANPP_{s2}$  gehen von der Umsetzung diverser Klima-, Flächenverbrauchs-, Energieeffizienz- und Biodiversitätsmaßnahmen aus, welche in vorherigen Kapiteln bereits beschrieben wurden. Die  $HANPP$ -Ergebnisse lassen sich mit den Ergebnissen der Szenarien direkt vergleichen. Für die  $HANPP_{s1}$  und  $HANPP_{s2}$  ergeben sich jeweils 35% (35,3% ohne Restflächen) und 35,9%. Für beide Szenarien ergibt sich der Versiegelungswert von 100% durch die menschliche Aneignung durch Landnutzungsveränderungen. Es ist jedoch ein Rückgang von jeweils 268 ha und 355 ha versiegelter Fläche zu verzeichnen im Vergleich zu den Prognosewerten. Beim Ackerland können durch die Umsetzung der Maßnahmen im Szenario „Moderat“ 51 ha und im Szenario 147 ha vor dem Flächenverlust bewahrt werden. Die  $HANPP_{s1harv}$  sinkt im Vergleich zur Prognose um 2%. Die  $HANPP_{s2harv}$  sank sogar um 6,9%. Dem entgegen steht ein Anstieg der  $HANPP_{s1luc}$  um 2,9% und ein Anstieg der  $HANPP_{s2luc}$  von sogar 9,8%. Dabei ist anzunehmen, dass durch die Umsetzung der Maßnahmen massive Eingriffe erforderlich sind, welche die Landnutzung der Ackerflächen verringert. Trotzdem bleibt der Grad der menschlichen Einflussnahme durch Landnutzungsveränderungen zwischen 3,8% und 13,8% unter dem der  $HANPP_{luc}$  des Jahres 2023. Die  $HANPP_{s1}$  des

Grünlandes bleibt gleich im Vergleich zur Prognose. Bei der  $HANPP_{s2}$  kommt es zu einem leichten Anstieg um 0,6%. Der Anstieg ergibt sich durch die erhöhten Erträge aus der Ernte. Neben den Ernteerträgen ist ein Rückgang von 2,1% im Vergleich zur Prognose bei der  $HANPP_{s2luc}$  zu verzeichnen. Durch die gewählten Maßnahmen können zwischen 3.455 und 2.555 ha Grünland gesichert werden. Bei den Gemüse- und Obstflächen sinkt die  $HANPP$  geringfügig um jeweils 0,3% und 0,5% für das Szenario „Moderat“ und „Maximum“. Auch hier übertrifft die tatsächliche Primärproduktion der Vegetation die der potentiellen natürlichen Produktion, was sich in einer negativen Landnutzungsänderung äußert. Bei Gartenflächen ändert sich der menschliche Aneignungsgrad durch die Maßnahmenumsetzung nicht. Waldflächen verzeichnen nur geringe Änderungen der menschlichen Aneignung durch die Biomasseentnahme. Für Szenario „Moderat“ wird ein Rückgang von 0,1% und für das Szenario „Maximum“ ein Rückgang von 0,3% der  $HANPP_{s1harv}$  und  $HANPP_{s2harv}$  verzeichnet. Das Waldwachstum steigt jedoch um jeweils 400 und 33 ha. Die  $HANPP_{s1}$  für das Szenario „Moderat“ setzt sich zusammen aus 26,5%  $HANPP_{s1harv}$  und 8,4%  $HANPP_{s1luc}$ . Für das Szenario „Maximum“ ergibt sich eine  $HANPP_{s2harv}$  von 27,7% und eine  $HANPP_{s2luc}$  von 8,2%. In den Diagrammen 58 und 59 können die  $HANPP_{harv}$  und  $HANPP_{luc}$  nach Landnutzungstypen und aufgeteilt nach den Szenarien betrachtet werden. Die Flächenentwicklung der Szenarien wird in Tabelle 16 angegeben. Die Entwicklung der menschlichen Aneignung durch Ernte und Landnutzungsänderungen sind in Tabelle 17 ersichtlich. Durch die moderate Umsetzung von Maßnahmen ausgewählter Strategien und Pläne ist mit einer Erhöhung der menschlichen Aneignung des Ökosystems durch die Ernte von Biomasse um 0,6% zu rechnen. Jedoch kann ein Rückgang der

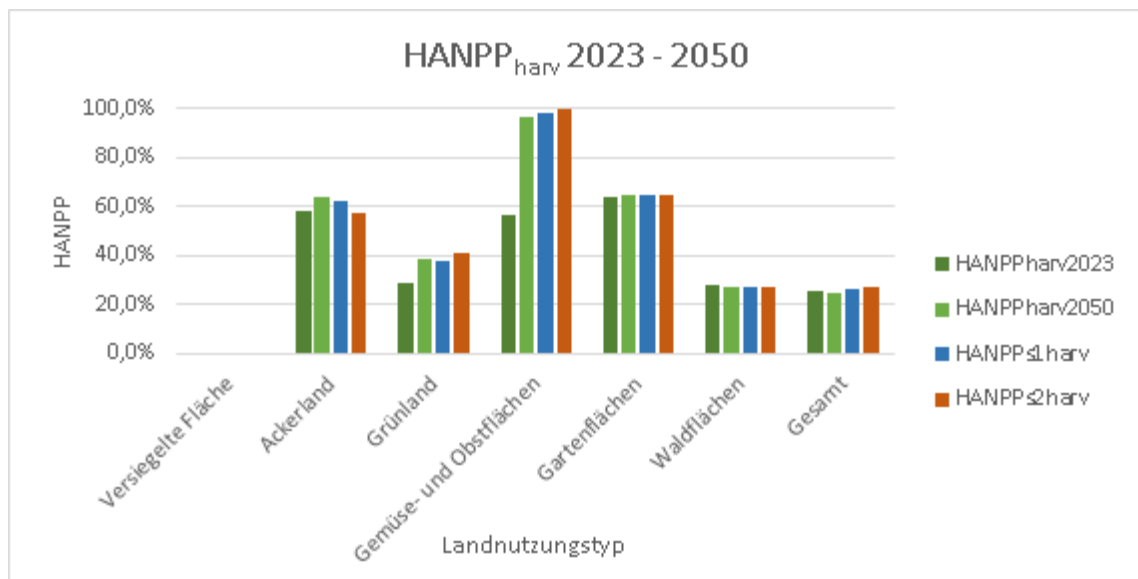


Abbildung 58: Entwicklung der HANPP<sub>harv</sub> von 2023 bis 2050 nach Landnutzungstypen, Unterteilung zwischen Szenarien (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

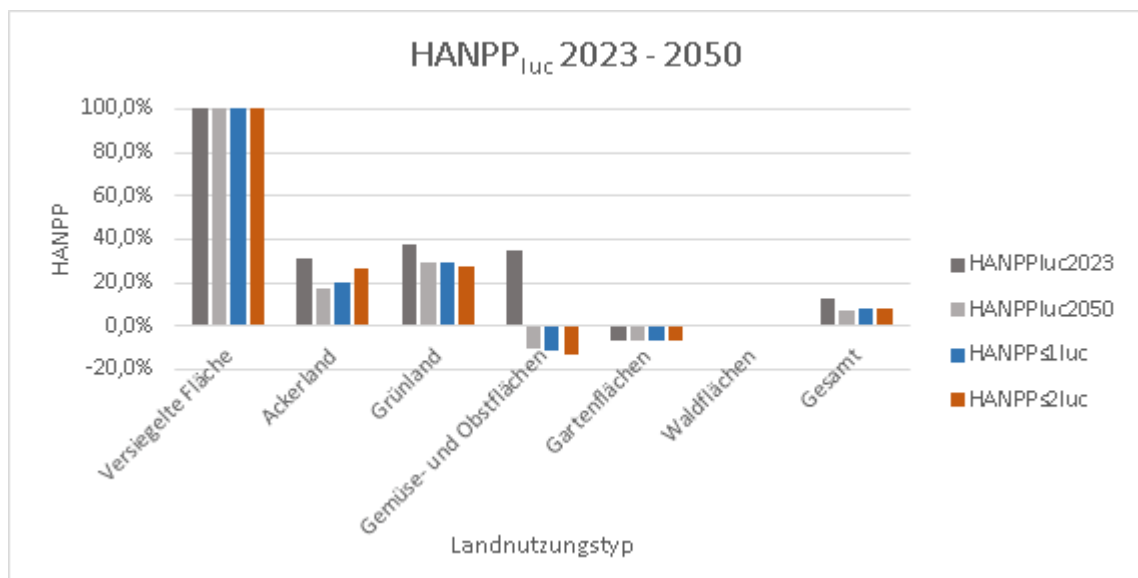


Abbildung 59: Entwicklung der HANPP<sub>luc</sub> von 2023 bis 2050 nach Landnutzungstypen, Unterteilung zwischen Szenarien (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

menschlichen Aneignung durch Landnutzungsänderungen von 4,7% erzielt werden. Erreicht werden diese Werte hauptsächlich durch den Rückgang von Landnutzungsänderungen auf Acker- und Grünland von jeweils 11% und 7,6%. Der hohe Flächenverlust soll im Rahmen der Szenarien verringert werden. Im Vergleich zur Prognose für das Jahr 2050 kann ein Zuwachs von 8,9% beim Ackerland und 23,2%

beim Grünland verzeichnet werden. Großes Wachstum wird bei Gemüse- und Obstflächen erwartet, was auf den hohen Zuwachs der HANPP<sub>harv</sub> hinweist. Zurückzuführen ist dies auf den Fokus des Ausbaus von Sonderkulturen. Der massive Rückgang von 46,7% bei den Landnutzungsänderungen von Gemüse- und Obstflächen weist auf eine sehr effiziente Flächennutzung hin. Dies kann ein Übergang vom extensiven zum intensiven

Tabelle 16: Flächenveränderungen durch die Szenarien in % (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Flächentyp	Änderung im Vergleich zu 2023			Änderung im Vergleich zur Prognose		
	Prognose	Moderat	Maximum	Prognose	Moderat	Maximum
Versiegelte Fläche	+29,4%	+7,2%	+0,0%	+0,0%	-17,1%	-22,7%
Ackerland	-65,5%	-62,5%	-56,7%	+0,0%	+8,9%	+25,7%
Grünland	-39,5%	-25,4%	-20,5%	+0,0%	+23,2%	+31,4%
Gemüse- und Obstflächen	+69,8%	+215,1%	+372,5%	+0,0%	+85,6%	+178,2%
Gartenflächen	-85,4%	-85,4%	-85,4%	+0,0%	+0,0%	+0,0%
Waldflächen	+10,5%	+11,4%	+10,5%	+0,0%	+0,8%	+0,1%
Urvegetation	+0,0%	+0,0%	+0,0%	+0,0%	+0,0%	+0,0%
Restflächen	-	-	-	+0,0%	-82,9%	-100,0%

Tabelle 17: Differenz der HANPP durch die Szenarienanalyse in % (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Flächentyp	Moderat				Maximum			
	HANPP <sub>Pharv</sub>		HANPP <sub>Pluc</sub>		HANPP <sub>Pharv</sub>		HANPP <sub>Pluc</sub>	
	2023	2050	2023	2050	2023	2050	2023	2050
Versiegelte Fläche	+0,0%	+0,0%	+0,0%	+0,0%	+0,0%	+0,0%	+0,0%	+0,0%
Ackerland	+3,4%	-2,0%	-11,0%	+2,9%	-1,5%	-6,9%	-4,1%	+9,8%
Grünland	+8,9%	-0,5%	-7,6%	+0,6%	+12,2%	+2,7%	-10,3%	-2,1%
Gemüse- und Obstflächen	+41,1%	+1,4%	-46,7%	-1,6%	+42,7%	+3,1%	-48,6%	-3,5%
Gartenflächen	+1,2%	-0,1%	+0,0%	+0,0%	+1,2%	-0,1%	+0,0%	+0,0%
Waldflächen	-0,7%	-0,1%	+0,0%	+0,0%	-0,8%	-0,3%	+0,0%	+0,0%
Gesamt	+0,6%	+1,6%	-4,7%	+0,9%	+1,8%	+2,7%	-4,9%	+0,6%

Anbau bedeuten. Durch die maximale Umsetzung der gewählten Maßnahmen kann eine höhere Steigerung der Eingriffe des Menschen durch die Ernte erzielt werden mit einem Zuwachs von 1,8%. Dies lässt sich auf die Erhöhung der Ernte auf dem Grünland zurückführen. Die menschliche Aneignung durch Landnutzungsänderungen verringert sich um fast 5%. Hier nimmt ebenfalls das Grünland mit einer Reduktion von 10,3% den größten Einfluss ein. Auffällig ist, dass bei beiden Szenarien die Änderung der menschlichen Aneignung bei Waldflächen unter 1% liegt. Dies ist auf das große Waldwachstum von über 10% zurückzuführen, während die Ernte verhältnismäßig langsam ansteigt. Durch den hohen Waldanteil des Lungaus korrigiert sich

dementsprechend automatisch die gesamte HANPP nach unten. Beide Szenarien weisen eine Reduktion der HANPP auf. Beim Szenario „Moderat“ sinkt die HANPP um 4% im Vergleich zum Jahr 2023. Die HANPP<sub>s2</sub> ist um 3,1% geringer als die HANPP im Jahr 2023. Wenn jedoch der Vergleich mit dem Prognosezeitpunkt 2050 gewählt wird, ist eine Steigerung der HANPP<sub>s1</sub> um 2,5% und eine Steigerung der HANPP<sub>s2</sub> um 0,9% ersichtlich. Daraus lässt sich schließen, dass durch die Umsetzung des gewählten Maßnahmenpakets mit einer Minderung der HANPP zu rechnen ist, jedoch eine Abschwächung der prognostizierten Reduktion erzielt wird. Für den Vergleichszeitpunkt 2050 gilt daher, dass die Maßnahmen eine HANPP-steigernde Wirkung haben. Es kann somit von

einer Verringerung der Biodiversität ausgegangen werden.

## 5.2 HYPOTHESE 2

**„Der technologische Fortschritt resultiert in den Gebrauch intensiver Anbau- und Erntemethoden in der Land- und Forstwirtschaft und wirkt sich steigernd auf die HANPP aus.“**

Der Anstieg der HANPP durch die Intensivierung der Bewirtschaftung wird anhand der Steigerung der Erträge je Fläche überprüft. Dafür werden die  $HANPP_{2050}$  und die  $HANPP_{2050_a}$  miteinander verglichen. Die  $HANPP_{2050}$  stellt die Betrachtung einer Trendfortschreibung der benötigten Flächen dar, während die  $HANPP_{2050_a}$  zusätzlich eine Trendfortschreibung der zu erwartende Erträge inkludiert. Selbiges wird bei den Szenarien durchgeführt.

Für 2050 ergibt sich eine Reduktion der HANPP von etwa 1% durch die Ertragsfortschreibung. Die  $HANPP_{2050_a}$  beträgt 31,5%. Für die Gesamtbetrachtung lässt sich die Hypothese deshalb widerlegen. Wenn die einzelnen Landnutzungstypen jedoch einzeln betrachtet werden, ist dieses Ergebnis jedoch nicht mehr so eindeutig. Durch die Intensivierung steigt die  $NPP_{act}$  um 72 TJ, jedoch sinkt die  $HANPP_{harv}$  um 48 TJ. Das deutet darauf hin, dass durch die Ertragsfortschreibung manche Kulturen an Ernteerträgen eingebüßt haben. Insbesondere fallen Waldflächen hierbei ins Gewicht. Die Ertragsfortschreibung reduziert die Biomasseentnahme aus Wäldern um 152 TJ im Jahr. Das bedeutet, dass die derzeitige Holzernte intensiver ist als die prognostizierte Ernte. Durch die Intensivierung ist ein Anstieg der  $NPP_{eco}$ , also der in der Natur verbleibenden Biomasse, von 121 TJ ersichtlich, was sich positiv auf das Ökosystem auswirkt. Die  $HANPP_{luc2050_a}$  verringert sich insgesamt um etwa 0,6%. Die gesonderte Betrachtung der

Flächentypen Ackerland und Grünland ist hier von Vorteil. Beim Grünland kommt es zu einer Reduktion der menschlichen Aneignung durch Flächennutzungsänderungen von 2,3%. Beim Ackerland sind es sogar 21,2%. Die Ertragssteigerungen übersteigen somit sogar die Produktivität der potenziellen natürlichen Vegetation, wodurch ein negativer Wert von -4,3% für die  $HANPP_{luc2050_a}$  beim Ackerland entsteht. Es kommt zur Erhöhung der im Ökosystem gespeicherten Energie in Form von Biomasse. Sowohl bei Gemüse- und Obstflächen, Gartenflächen und Waldflächen wird ein Rückgang der menschlichen Aneignung durch die Ernte festgestellt. Wie bei Waldflächen, sind auch Gemüse und Obst von einer weniger intensiven Ernte durch die Trendfortschreibung betroffen. Die Obsterträge verringern sich um 8%, die Gemüseerträge sogar um 28%. Es kann festgehalten werden, dass durch einen Anstieg der Ernteintensität die menschliche Aneignung des Ökosystems in Form der Ernte steigt, und die Aneignung in Form der Flächennutzungsänderungen sinkt (Ackerland und Grünland). Da die  $HANPP_{2050_a}$  des Ackerlandes um 6,2% sinkt und die  $HANPP_{2050_a}$  des Grünlandes um 1,8% steigt, kann nicht eindeutig festgestellt werden, ob die Steigerung der Ernteintensität zu HANPP-Erhöhungen oder -Minderungen führt. Bei der Reduktion der Ernteintensität reduziert sich die menschliche Aneignung der Natur durch die Ernte, jedoch erhöht sich die Aneignung durch Landnutzungsänderungen, oder bleibt unverändert (Gemüse- und Obstflächen, Gartenflächen und Waldflächen). Die gesamte  $HANPP_{2050_a}$  der Gemüse- und Obstflächen steigt um 1,1%, während die  $HANPP_{2050_a}$  der Garten- und Waldflächen um jeweils 0,5% und 1,9% sinkt. Somit kann auch für Ertragsminderungen nicht auf einen HANPP-mindernden oder -steigernden Effekt geschlossen werden. Im Diagramm 60 sind die

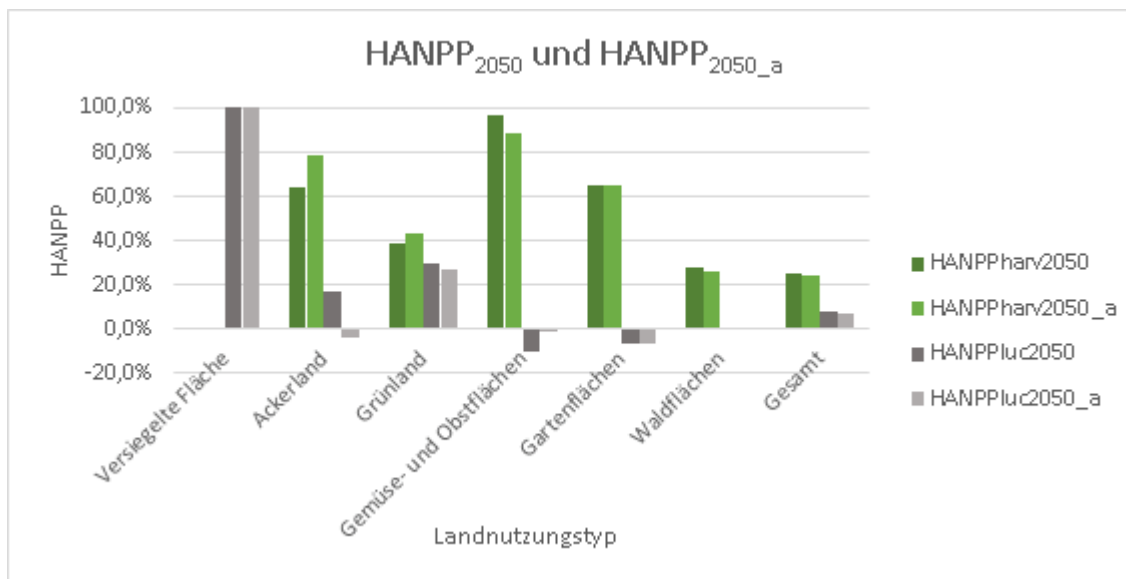


Abbildung 60: Entwicklung der HANPP<sub>2050</sub> durch Ertragsfortschreibung nach Landnutzungstypen, Unterteilung zwischen HANPP<sub>harv</sub> und HANPP<sub>luc</sub> (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Auswirkungen der Ertragsanpassungen auf die HANPP<sub>2050</sub> ersichtlich.

Hauptverantwortlich für die HANPP-Minderung ist die Flächennutzungsverteilung. Waldflächen machen etwa 47% der Gesamtfläche des Lungaus aus. Ackerland und Grünland zusammen machen nur etwa 11% der Gesamtfläche aus. Selbst wenn die Erträge auf den landwirtschaftlichen Flächen steigen, ist eine geringe Reduktion der Produktivität der Waldflächen genug, um die Intensivierung zu annullieren. In Tabelle 18 können die Änderungen der Produktivität von NPP<sub>act</sub> und HANPP<sub>harv</sub> betrachtet werden.

Die Produktivität der aktuellen natürlichen Vegetation im Lungau steigt um 0,08 MJ/m<sup>2</sup>. Die Ernte sinkt insgesamt um 0,04 MJ/m<sup>2</sup>. Der höchste Produktivitätsanstieg ist beim Ackerland mit 4,14 MJ/m<sup>2</sup> zu verzeichnen. Die geerntete Biomasse steigt hierbei auch um 2,92 MJ/m<sup>2</sup> an. Auch beim Grünland ist eine Steigerung der Produktivität auf 14,27 MJ/m<sup>2</sup> bei der aktuellen Vegetation und auf 8,35 MJ/m<sup>2</sup> bei der Ernte zu verzeichnen. Verluste sind bei den Gemüse- und Obstflächen von 1,83 MJ/m<sup>2</sup> und 1,62 MJ/m<sup>2</sup> ersichtlich. Die aktuelle Vegetation bei Waldflächen verbleibt gleich, wobei bei der Ernte ein leichter Rückgang von 0,32 MJ/m<sup>2</sup> verzeichnet wird. Der Vergleich der Szenarien unter der Berücksichtigung der

Tabelle 18: Entwicklung der Produktivität durch Ertragsfortschreibung nach Landnutzungstyp in MJ/m<sup>2</sup> (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Landnutzungstyp	Fläche in ha	NPP <sub>act</sub> in MJ/m <sup>2</sup>		HANPP <sub>harv</sub> in MJ/m <sup>2</sup>	
		2050	2050_a	2050	2050_a
Versiegelte Fläche	1.566	0,00	0,00	0,00	0,00
Ackerland	571	16,21	20,35	12,49	15,41
Grünland	11.006	13,82	14,27	7,55	8,35
Gemüse- und Obstflächen	35	21,45	19,62	18,84	17,22
Gartenflächen	1	20,82	20,82	12,68	12,59
Waldflächen	48.147	16,74	16,74	4,60	4,28
Gesamt	101.973	11,36	11,44	3,06	3,02

Ertragsfortschreibung ergibt ähnliche Ergebnisse und bestätigen die bereits formulierten Annahmen. In den Abbildungen 61 und 62 sind die Änderungen der  $HANPP_{harv2050}$  und der  $HANPP_{luc2050}$  zu sehen. Es ist eine Steigerung der gesamten  $HANPP$  zu verzeichnen. Für das Szenario „Moderat“ ergibt sich ein Zuwachs von 3,9% und für das Szenario „Maximum“ ergibt sich ein Zuwachs von 6,1%. Grund für den Zuwachs sind die gewählten Maßnahmen der

Szenarien für den Flächennutzungstyp Wald. Durch die Ertragssteigerung, welche im Maßnahmenpaket vorgesehen ist, werden höhere Biomasseentnahmeraten je  $m^2$  erreicht als im Jahr 2023. Durch die Ertragsfortschreibung wirkt sich diese Annahme nochmals stärker aus auf die zu erwartenden Erträge, als ohne Ertragsfortschreibung prognostiziert wird. Für das Szenario „Moderat“ ergibt sich ein Zuwachs der mensch-

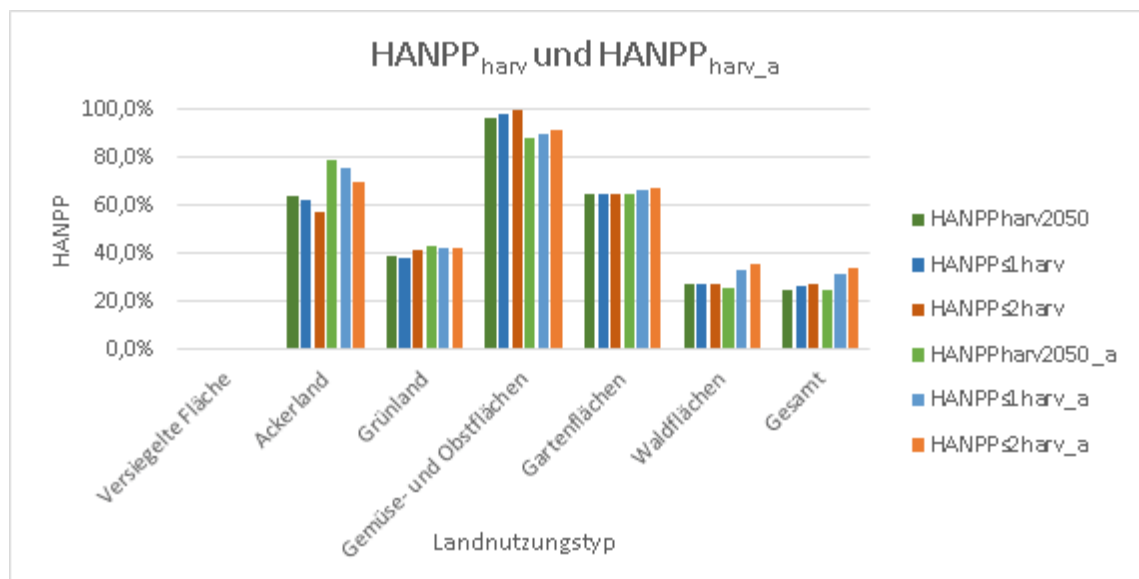


Abbildung 61: Entwicklung der  $HANPP_{harv}$ , Unterteilung zwischen  $HANPP_{harv}$  im Jahr 2050 von verschiedenen Szenarien (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

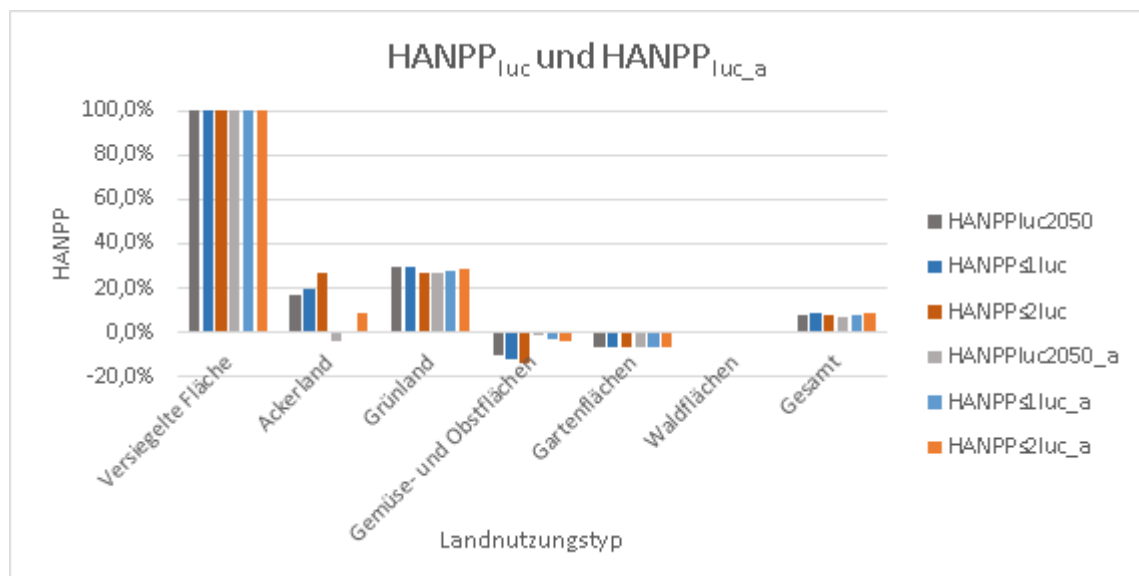


Abbildung 62: Entwicklung der  $HANPP_{luc}$ , Unterteilung zwischen  $HANPP_{luc}$  im Jahr 2050 von verschiedenen Szenarien (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

lichen Aneignung durch die Ernte um 5,5% und im Szenario „Maximum“ beträgt dieser Zuwachs sogar 8,7%. Dies wirkt sich auch auf die Gartenflächen aus, was aber durch den geringen Flächenanteil kaum die Gesamt-HANPP beeinflusst. Ein Rückgang des Einflusses durch die Ertragsfortschreibung ist beim Grünland zu erkennen. Zwar steigt der Grad der Aneignung durch die Ernte bei allen Szenarien, flacht aber kontinuierlich ab. Im Szenario „Maximum“ wird nur noch eine Erhöhung von 0,6% verzeichnet. Die Aneignung durch den Menschen mittels Landnutzungsveränderungen bleiben bei allen Landnutzungstypen in etwa gleich, außer beim Grünland. Hier ist sogar ein Zuwachs der  $HANPP_{s2harv}$  von 1,9% zu verzeichnen. Der Zuwachs der HANPP, welcher bei der Gesamtbetrachtung erfolgt, wird durch jene Flächennutzungstypen beeinflusst, die den größten Flächenanteil aufweisen. Durch den Anstieg der Erträge der Waldflächen erhöht sich die gesamte menschliche Aneignung der Region. Dabei kommt es fast ausschließlich zur Steigerung der  $HANPP_{harv}$ , während die  $HANPP_{luc}$  kaum beeinflusst wird. Es kann festgehalten werden, dass die Steigerung von Ernteerträgen (vor allem aus Wäldern), welche durch den

technischen Fortschritt sowie durch die gewählten Maßnahmen entstehen, eine HANPP-steigernde Wirkung hat. Hier gilt es jedoch zu erwähnen, dass dieses Erkenntnis nicht auf die Allgemeinheit übertragbar ist, sondern nur für ähnliche alpine Regionen, die einen hohen Waldanteil aufweisen. Für eine genauere Betrachtung des Zusammenhangs zwischen den Flächenanteilen der Land- und Forstwirtschaft und den Ertragsveränderungen und deren Auswirkungen auf die HANPP wurde ein Modell erstellt und die HANPP-Ergebnisse mehrerer Parameterkombinationen entwickelt. In Diagramm 63 können die Einflüsse der Ertrags- und Flächenanpassungen auf die HANPP betrachtet werden. Es wurde hierfür angenommen, dass alle Restflächen landwirtschaftlich genutzt werden. Bei dem Modell wurden drei Parameteranpassungen gewählt. Zum einen die Anpassung der Erträge aus der Landwirtschaft, welche zwischen einem Ertragsverlust von 25% und einem Ertragszuwachs von 25% betrachtet wurden. Die Erträge aus der Forstwirtschaft wurden ebenfalls unter Annahme eines Ertragsverlustes von 25%, gleichbleibenden Erträgen und einem Ertragsgewinn von 25% betrachtet. Zudem wurde noch die Flächen-

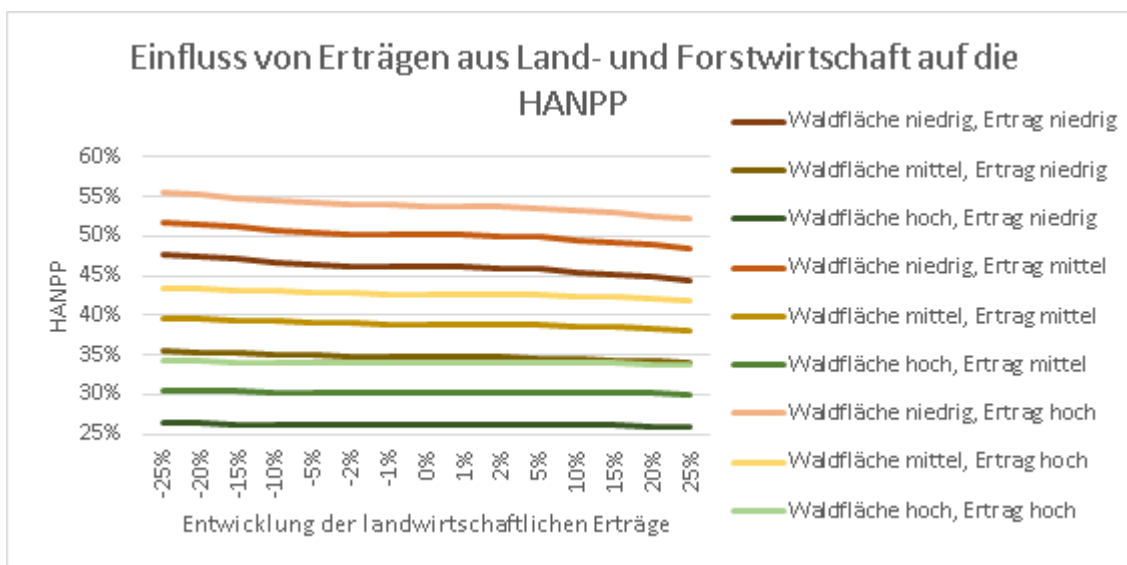


Abbildung 63: Einfluss von Ertragsänderungen der Landwirtschaft auf die HANPP (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Tabelle 19: Auswirkungen von Ertragsänderungen auf die HANPP (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Waldtyp	Flächenanteil		Landwirtschaft		Forstwirtschaft	
	Wald	Landwirtschaft	Spannweite	Maximale Änderung	Spannweite	Maximale Änderung
niedrig	32%	30%	3,24%	+/- 1,62%	7,73%	+/- 3,87%
mittel	43%	19%	1,54%	+/- 0,77%	7,92%	+/- 3,96%
hoch	53%	11%	0,35%	+/- 0,18%	7,81%	+/- 3,91%

verteilung miteinkalkuliert. Dafür wurde zum einen von einem Waldflächenrückgang von 25%, von gleichbleibenden Waldflächen und von einem Waldflächenzuwachs von 25% ausgegangen. In Tabelle 19 können die Werte betrachtet werden.

Wie schon vorhin festgestellt wurde, wirkt sich die Waldfläche massiv auf die HANPP aus. Die maximale Spannweite von möglicher Änderungen der HANPP durch die Anpassung der landwirtschaftlichen Erträge liegt bei einem geringen Waldflächenanteil von 3,24%. Bei einem mittleren Waldflächenanteil bei 1,54% und bei einem hohen Waldflächenanteil von maximal 0,35%. Das bedeutet, egal wie hoch die Ertragsänderungen der Landwirtschaft sind, bei einem Waldanteil von 53% ist eine maximale Schwankung von 0,175% zu erwarten. Somit können Ertragsänderungen der Landwirtschaft die HANPP maximal um 1,62% nach oben oder unten verändern. Wenn die Anpassung der forstwirtschaftlichen Erträge durchgeführt wird, ergeben sich HANPP-Änderungen von maximal 7,73% und 7,92%. Es sind somit die Flächenanteile der Waldflächen kaum von Bedeutung, wenn es zur Erhöhung oder Verringerung der Erträge kommt. Die maximale Änderung der HANPP durch Ertragsanpassungen auf Waldflächen beträgt 3,96% und fällt somit 2,4-mal so stark ins Gewicht wie die Ertragsanpassungen auf landwirtschaftlichen Flächen.

Für landwirtschaftliche Flächen kann hier also festgehalten werden, dass die Hypothese bestätigt wird. Durch die Erhöhung der Erträge kommt es zu einem Rückgang

der HANPP, auch wenn dieser nur bescheiden ist. Im Gegensatz dazu ist aber ebenfalls erkennbar, dass durch die Ertragssteigerung des Waldes die HANPP erhöht wird. Für Waldflächen ist also die Hypothese zu verwerfen. Um den Einfluss der Ertragssteigerung auf die HANPP bei geringem Waldflächenanteil auszugleichen, müsste die Ertragssteigerung der landwirtschaftlichen Flächen 2,39-mal größer sein als die der Waldflächen. Bei mittlerem Waldflächenanteil ist es 5,16-mal und bei einem großen Waldflächenanteil sogar 22,24-mal so groß.

### 5.3 HYPOTHESE 3

**„Der Ressourcen- und Flächenbedarf für Fernwärme in Form von holzartiger Biomasse wird regional abgedeckt.“**

Wie bereits im Kapitel Biomasseheizwerke erwähnt wurde, beträgt der Flächenbedarf der Biomasseheizwerke im Lungau 63.832 ha. Die Waldflächen im Lungau betragen im Jahr 2023 43.586 ha. Das bedeutet, dass der Flächenbedarf die Lungauer Waldflächen um 46% übersteigt. Wenn nur die Betrachtung der Ertragswälder herangezogen wird, welche im Jahr 2023 20.773 ha ausmachen, steigt der Flächenbedarf sogar auf 207% der Fläche des Ertragswaldes im Lungau. Die Abdeckung der benötigten Ressourcen an Biomasse ist somit im derzeitigen Zustand nicht autonom möglich. Es handelt sich hierbei um eine kaskadische Betrachtung des Ressourcenbedarfs, was bedeutet, dass der Flächenbedarf von Vorproduktionen inkludiert ist. Wenn angenommen wird, dass statt

einer kaskadischen Nutzung die reine Primärnutzung in den Biomasseheizwerken stattfindet, also keine Sekundärprodukte für die Wärmeerzeugung genutzt werden, sondern das Rundholz direkt vor Ort verarbeitet und energetisch verwertet wird, dann können die Literaturwerte des Flächenbedarfs in die Kalkulation eingesetzt werden. Es ergibt sich somit ein Flächenbedarf von 5.476 ha. Somit werden nur etwa 8,6% der Fläche benötigt, die von einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft ausgeht. Der Flächenbedarf durch die Betrachtung der Kreislaufwirtschaft bei der Nutzung von Biomasse ist somit 11,7-mal höher als ohne Kreislaufwirtschaft. In Tabelle 20 kann der Flächen- und Energiebedarf je Biomasseheizwerk im Lungau für das Jahr 2023 betrachtet werden.

Bis zum Jahr 2050 wird ein Anstieg der Energie- und Wärmeproduktion durch Biomasseheizwerke um 80,8 TJ prognostiziert. Der höchste Anstieg der Energieproduktion findet beim Biomasseheizwerk Tamsweg statt. Es werden jährlich um 65,8 TJ mehr Energie produziert, was ein Wachstum von 45% bedeutet. Das Mikronetz Gruber Peter in St. Michael erhöht sich sogar um 292%. Ein Rückgang der Energieproduktion wird

beim Mikronetz Neumann – Fanning, bei der Nahwärme Unternberg und bei der Nahwärme Obertauern erwartet. In Abbildung 64 kann der Anstieg der Energieproduktion betrachtet werden. Der Flächenbedarf der Biomasseheizwerke steigt um 6.271 ha. Die Waldflächen im Jahr 2050 betragen 48.147 ha. Der Anteil der benötigten Waldflächen übersteigt dadurch auch im Jahr 2050 46% des Waldes im Lungau. Wenn nur der Ertragswald betrachtet wird, werden mehr als 135% zusätzliche Waldflächen benötigt, um die Biomasseheizwerke mit Biomasse zu versorgen. Dieser Wert ist zwar um 72% niedriger als im Jahr 2023, es werden trotzdem noch immer 40.238 zusätzliche ha Wald benötigt. Wenn wieder Werte aus der Literatur eingesetzt werden, reduziert sich der Flächenbedarf auf 6.751 ha. Der Flächenbedarf durch die Kreislaufwirtschaft ist 10,4-mal so hoch wie der Flächenbedarf durch die direkte Biomassenutzung. Bei der Betrachtung der Szenarien „Moderat“ und „Maximum“ wurde von keiner Änderung der Energieproduktion ausgegangen. Der Flächenbedarf ändert sich durch die Umsetzung der Maßnahmenpakete aufgrund der Stärkung der Kreislaufwirtschaft. Abbildung 65 zeigt den Vergleich des Flächenbedarfs

Tabelle 20: Flächenbedarf je Biomasseheizwerk 2023 (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Biomasseheizwerk	Energiebedarf	Flächenbedarf
Nahwärme Tamsweg	144,8 TJ	22.822 ha
Nahwärme Ramingstein	4,8 TJ	890 ha
Nahwärme Lessach - Feuerwehrhaus	0,6 TJ	114 ha
Mikronetz Jesner - Lessach	0,3 TJ	48 ha
Nahwärme Mariapfarr	11,6 TJ	2.127 ha
Mikronetz Neumann - Fanning	2,1 TJ	392 ha
Nahwärme Unternberg	2,8 TJ	515 ha
Nahwärme St. Margarethen	4,3 TJ	785 ha
Nahwärme St. Michael	33,2 TJ	6.101 ha
Mikronetz Gruber Peter - St. Michael	2,7 TJ	502 ha
Nahwärme Zederhaus	6,6 TJ	1.217 ha
Nahwärme Obertauern	77,5 TJ	14.253 ha
Nahwärme Mauterndorf	55,8 TJ	14.064 ha
Gesamt	347,1 TJ	63.832 ha

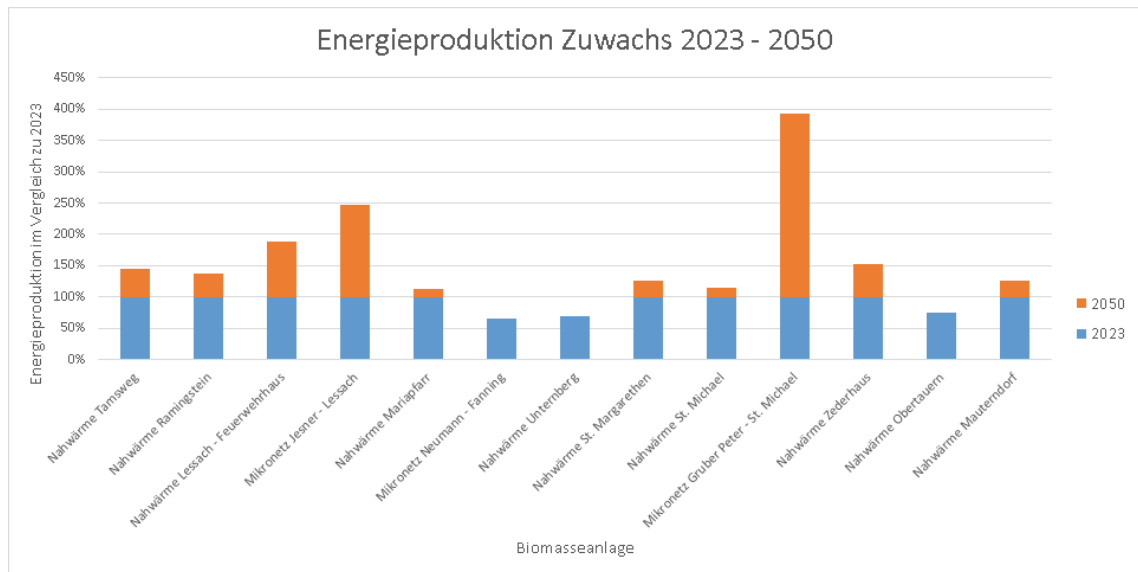


Abbildung 64: Änderung der Energieproduktion bis 2050 in % (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

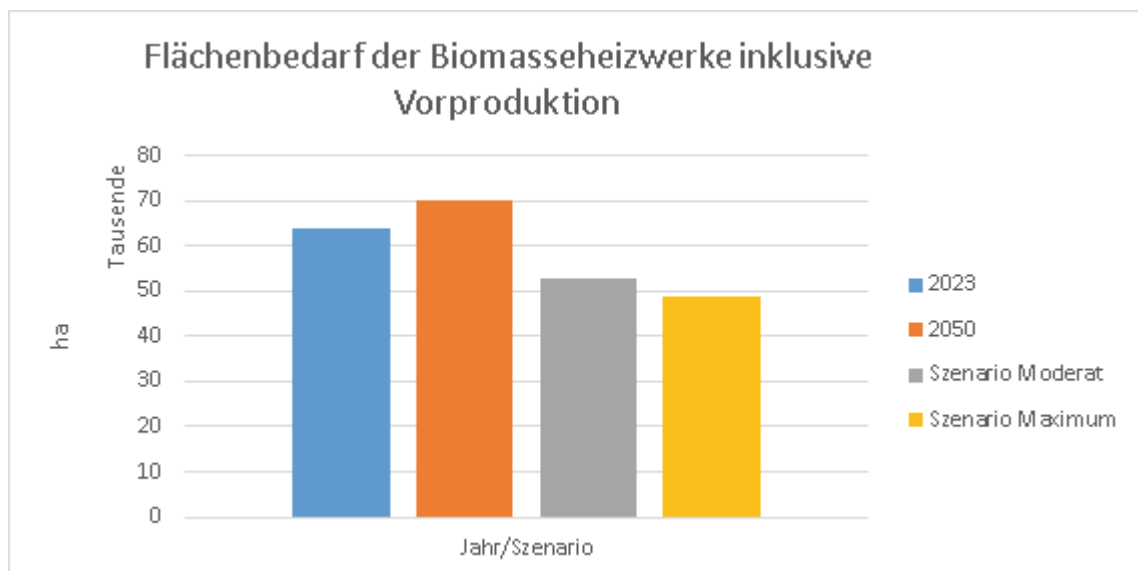


Abbildung 65: Flächenbedarf der Biomasseheizwerke inklusive Vorproduktion in ha (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

von 2023 bis 2050 inklusive der gewählten Szenarien. Der Flächenbedarf der Biomasseheizwerke sinkt im Szenario „Moderat“ auf 52.685 ha und im Szenario „Maximum“ auf 48.616 ha. Die Waldflächen im Szenario „Moderat“ betragen 48.547 ha, womit nur noch 9% zusätzliche Flächen außerhalb des Lungaus benötigt werden. Wenn nur der Ertragswald hergenommen wird, werden 71% des Ertragswaldes zusätzlich benötigt. Die Waldflächen im Szenario „Maximum“ betragen 48.179 ha, während der Flächenbedarf

48.791 ha entspricht. Somit können die Biomasseheizwerke beinahe komplett autonom versorgt werden. Beim Ertragswald wird ein Flächenüberhang von 60% verzeichnet.

Bei der Betrachtung des Flächenbedarfs mit Ertragsfortschreibung wurde die Energieproduktion der Biomasseheizwerke auf die Bevölkerungsentwicklung bezogen. Für das Jahr 2050 ergibt sich ein Erwartungswert von 402,6 TJ pro Jahr und liegt somit 6%

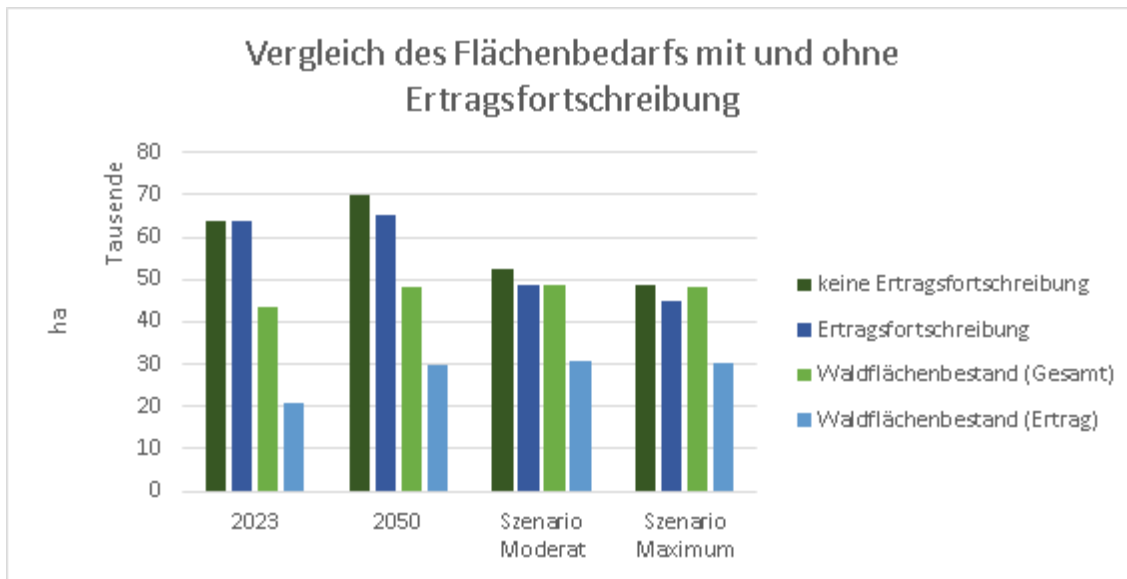


Abbildung 66: Flächenbedarf mit und ohne Ertragsfortschreibung in ha, nach Jahr und Szenario (eigene Darstellung, eigene Berechnung)

unter der Energieproduktion ohne Ertragsfortschreibung. In Abbildung 66 ist ersichtlich, wie sich die Reduktion der benötigten Energie auf die Flächenbedarfe der Biomasseheizwerke auswirkt.

Der Flächenbedarf sinkt durch die Ertragsfortschreibung sowohl bei der Prognose für 2050 als auch bei den Szenarien. Der Flächenbedarf liegt zwischen 6,6% und 7,3% unter den Werten ohne Ertragsfortschreibung. Bei der Prognose und beim Szenario „Moderat“ bleibt der Überschuss an benötigten Flächen bestehen, reduziert sich jedoch von etwa 22.000 ha auf 17.000 ha bei der Prognose und von 4.000 ha auf 350 ha beim Szenario „Moderat“. Das Szenario „Maximum“ erreicht die Autonomie der Biomasseheizwerke. Es bleibt ein Waldflächenüberschuss von etwa 3.000 ha bestehen.

Der Flächenbedarf bleibt jedoch stets höher als der Waldflächenbestand des Ertragswaldes. Es ist jedoch eine Reduktion des Überhangs erkennbar. Im Jahr 2023 werden noch das 3,1-fache der bestehenden Ertragswaldfläche für die Biomasseheizwerke benötigt, bis 2050 reduziert sich dieser Wert auf das

2,2-fache. Die Szenarien „Moderat“ und „Maximum“ weisen jeweils die 1,6- und 1,5-fache Fläche des Ertragswaldes auf. Wenn die Literaturwerte wieder in die Kalkulation eingefügt werden, ergeben sich folgende Werte für die Szenarien:

Tabelle 21: Flächenbedarf von Biomasseheizwerken inklusive und exklusive Vorproduktion – Indikator (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Maßnahmen	Flächenbedarf inklusive Vorproduktion je Fläche ohne Vorproduktion		
	2023	2050	2050a
Normal	11,66	10,38	10,30
Moderat	10,10	7,80	7,70
Maximum	9,79	7,20	7,09
Maßnahmen	Flächenbedarf ohne Vorproduktion je Fläche inklusive Vorproduktion		
	2023	2050	2050a
Normal	0,086	0,096	0,097
Moderat	0,099	0,128	0,130
Maximum	0,102	0,139	0,141

Diese Werte können als Indikator genutzt werden, um die Effizienz der Kreislaufwirtschaft in Bezug auf die Nutzung von Biomasse bei Biomasseheizwerken

darzustellen. Er sagt aus, wie hoch der Flächenbedarf bei kaskadischer Nutzung je Fläche ohne kaskadischer Nutzung ist. Das bedeutet, dass im Jahr 2023, wenn 1 ha Waldfläche für die reine energetische Nutzung bereitgestellt wird, eine Fläche von 11,66 ha mit kaskadischer Nutzung das gleiche Energiepotenzial aufweist. Umgekehrt, wenn eine Fläche von 1 ha eine kaskadische Nutzung aufweist, hat sie dasselbe Energiepotenzial wie eine Fläche von 0,086 ha ohne kaskadische Nutzung. Durch die Umsetzung der Maßnahmen in den Szenarios verringert sich der Faktor von 11,66 auf etwa 7-8. Das bedeutet, es kommt zu einer Effizienzsteigerung der Kreislaufwirtschaft, was wiederum den Flächenbedarf der Biomasseheizwerke senkt. Je niedriger die Werte werden, desto höher die Effizienz.

In Bezug auf die Hypothese kann nur der Flächenbedarf des Szenario „Maximum“, wenn eine Ertragsfortschreibung stattfindet, ein Wert unter der Gesamtwaldflächen erreicht werden und somit eine autonome wirtschaftsweise im Bereich der Fernwärme gelingen. Wenn der Ertragswald als Kriterium einer autonomen Wirtschaftsweise herangezogen wird, kann durch kein Szenario eine Autonomie erreicht werden. In dem Fall ist die Hypothese für alle beschriebenen Fälle nicht zutreffend.

## 5.4 FREIFLÄCHEN

Bei der HANPP-Berechnung und der zuvor durchgeführten Flächenentwicklungsanalyse kam es zur Entstehung von Freiflächen bzw. Restflächen, welche durch Flächenverluste verschiedener Landnutzungskategorien entstanden. Die Hypothesen wurden beantwortet, ohne die Restflächen genauer zu betrachten. In diesem Kapitel soll es darum gehen, die entstandenen Freiflächen und die dadurch entstehenden Potenzialverluste zu bewerten. Dafür werden drei

Arten der Restflächenbetrachtung herangezogen. Zum einen wird das Potenzial der Restflächen als Biodiversitätsflächen beschrieben. Eine weitere Nutzungsmöglichkeit der Restflächen stellt die Ausweitung der Energiebereitstellung durch erneuerbare Energieträger dar. Hier wird unterschieden zwischen reiner Holzproduktion in Form von Kurzumtriebsplantagen und einem Mix aus verschiedenen erneuerbaren Energieträgern. Im Methodenteil wurden diese bereits vorgestellt. Es werden die Flächenverteilung und der Einfluss der Restflächen auf die HANPP hier aufgezeigt.

Die Flächenverluste wurden bei der Beantwortung der Hypothese 1 bereits vorgestellt. In Diagramm 67 sind diese nochmals veranschaulicht. Die größten Flächenverluste entstehen durch die Prognose ohne irgendwelche Eingriffe. Es sind insgesamt 3.341 ha an Flächenverlust zu verzeichnen. Besonders das Grün- und Ackerland sind dabei betroffen. Insgesamt ist mit einem Verlust von 3,3% der Gesamtfläche der Region zu rechnen. Das entspricht etwa 16,8% der landwirtschaftlich genutzten Fläche. Durch die Umsetzung des Maßnahmenpakets „Moderat“ kann der Flächenverlust auf 573 ha reduziert werden. Der Anteil an der Gesamtfläche beträgt nur noch 0,6% und der Anteil an der landwirtschaftlich genutzten Fläche 2,9%. Beim Szenario „Maximum“ kann der Flächenverlust komplett kompensiert werden.

Eine Möglichkeit der Nutzung der freigewordenen Flächen ist die Ausweisung von Biodiversitätsflächen. Dafür werden die Restflächen der Urvegetation hinzugefügt, weil angenommen wird, dass kein menschlicher Eingriff in diese Flächen stattfindet und somit bei der Berechnung der HANPP die Vorgehensweise bei der Urvegetation übernommen werden kann. Die Flächenverteilung durch diese Maßnahme wird im Diagramm 68 dargestellt.

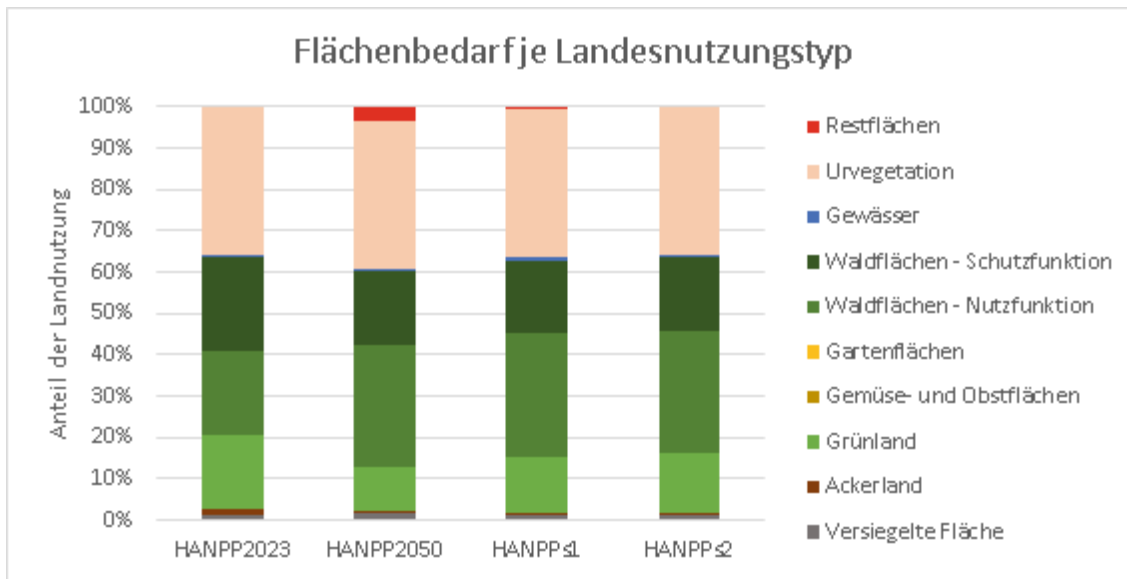


Abbildung 67: Flächenbedarf je Landesnutzungstyp (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

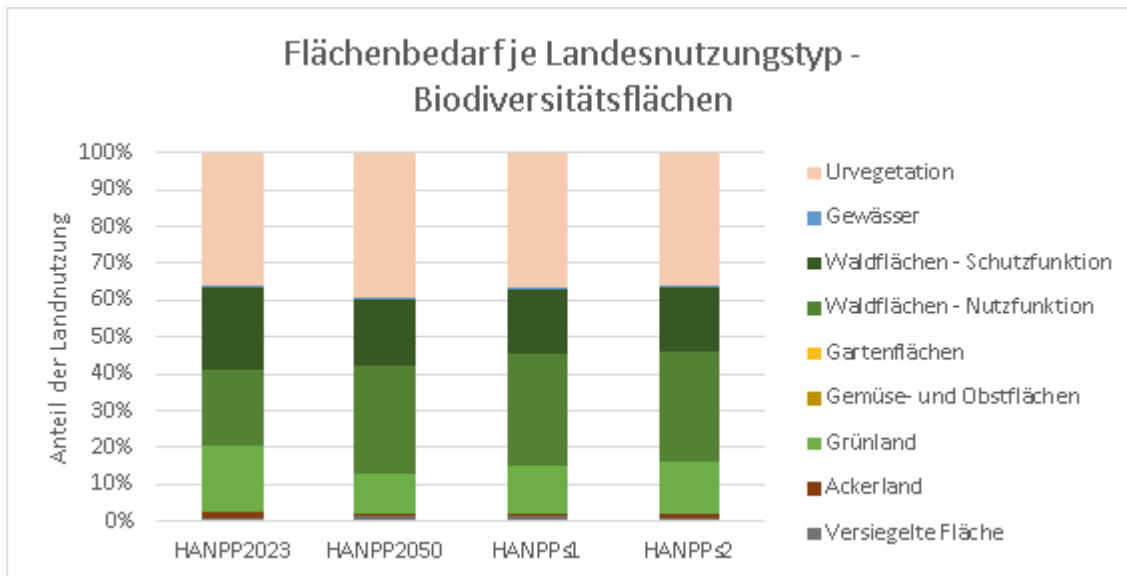


Abbildung 68: Flächenbedarf je Landesnutzungstyp mit Integration von Biodiversitätsflächen (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Dadurch wächst die Urvegetation von 36.647 ha auf 39.988 ha bei der Prognose heran. Beim Szenario „Moderat“ ergibt sich eine Fläche von 37.219 ha. Das Szenario „Maximum“ bleibt unverändert. Die Flächenänderungen beeinflussen die Gesamt-HANPP der Prognose und des Szenarios „Moderat“. Bei beiden Betrachtungen kommt es zu einer Reduktion der HANPP zwischen 0,3% und 1,8%. Aufgrund des hohen Restflächenanteils der Prognose wirkt

sich die HANPP-Änderung stärker aus. Bei der Prognose ohne Ertragsfortschreibung kommt es zu einer Reduktion von 1,78%. Mit Ertragsfortschreibung beträgt die Minderung 1,73%. Die Reduktion des Szenarios „Moderat“ ohne Ertragsfortschreibung beläuft sich auf 0,31% und mit Ertragsfortschreibung 0,35%. Es kann also festgehalten werden, dass die Ausweisung von Biodiversitätsflächen eine HANPP-mindernde Wirkung hat. Die Einflüsse der

Biodiversitätsflächen auf die HANPP werden im Diagramm 69 dargestellt.

Die Energieerzeugungspotenziale der Restflächen können nicht der Urvegetation zugewiesen werden. Zunächst wird die Nutzung der Restflächen durch die alleinige Nutzung von Kurzumtriebsplantagen betrachtet. Die Annahme, dass die erzeugte Biomasse zu 100% den Biomasseheizwerken zukommt, verringert dementsprechend den Flächenbedarf der Biomasseheizwerke. KUPs werden den Ackerflächen zugewiesen. Die Ackerflächen steigen dadurch bei der Prognose um das 6,9-fache auf 3.912 ha. Die entstandene Fläche ist mehr als zweimal so groß wie im Jahr 2023. Die Ackerfläche im Szenario „Moderat“ ist zwar um 30% kleiner als im Jahr 2023, jedoch ist trotzdem fast eine Verdoppelung der Fläche zu erwarten, was im Diagramm 70 dargestellt wird. Für die KUP bei den Restflächen der Prognose ist eine jährliche Ernte von 36.753 Tonnen Trockenmasse zu erwarten, was einem Energiepotenzial von 676,3 TJ gleichkommt. Der Heizwert, welcher für den erwarteten Energiebedarf benötigt wird, beträgt 427,8 TJ. Somit könnte durch die Nutzung der

Restflächen in Form von KUPs der Energiebedarf gedeckt werden. Der zusätzliche Flächenbedarf durch Waldflächen sinkt auf 0. Der Energiebedarf von Fernwärme bei einer Ertragsfortschreibung beträgt 402,6 TJ und würde ebenfalls durch die Biomasseausbeute der KUPs gedeckt werden. Beim Szenario „Moderat“ ist mit einer Ernte von 6.302 Tonnen Trockenmasse pro Jahr zu rechnen. Das entspricht einem Heizwert von 116 TJ. Der benötigte Heizwert ohne Ertragsfortschreibung von 427,8 TJ wird nur zu 27% abgedeckt. Dadurch sinkt der noch benötigte Flächenbedarf von Biomasse aus den Waldflächen auf 39.083 ha. 81% der Waldflächen des Lungaus sind nötig, um diesen Bedarf abzudecken. Bei der Betrachtung des Ertragswaldes sind es 127%, was bedeutet, dass im Szenario „Moderat“ ohne Ertragsfortschreibung keine komplette Biomasseautonomie erreicht wird. Mit Ertragsfortschreibung decken die KUPs 29% des Energiebedarfs ab. Es bleibt ein Restbedarf von 35.920 ha Wald bestehen, welcher 74% des Gesamtwaldes des Lungaus entspricht, oder 117% des Ertragswaldes. Auch hier kann keine Biomasseautonomie erreicht werden.

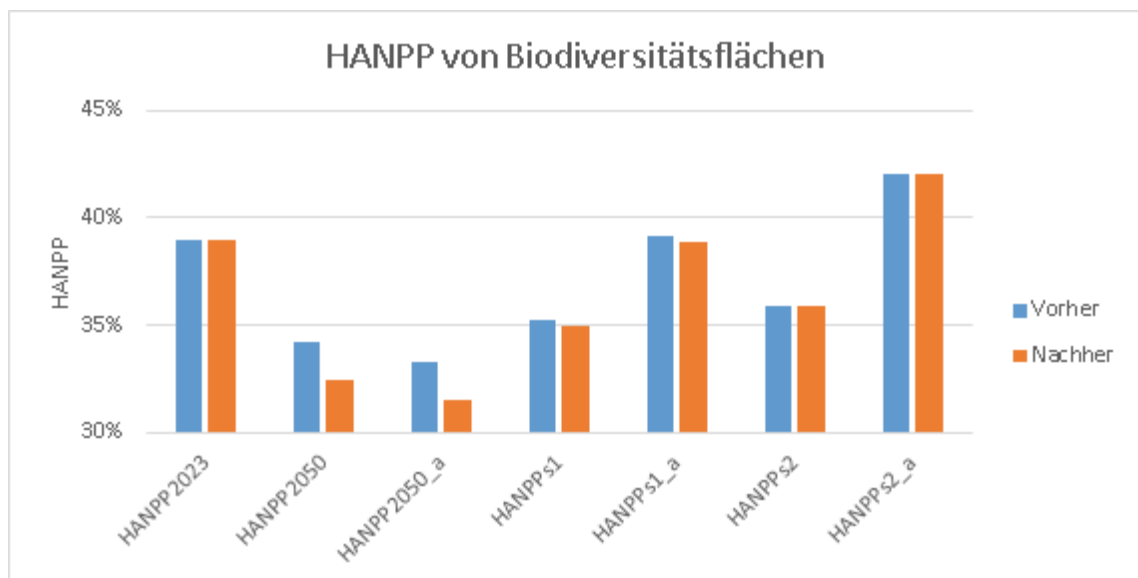


Abbildung 69: Einfluss von Biodiversitätsflächen auf die Gesamt-HANPP (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

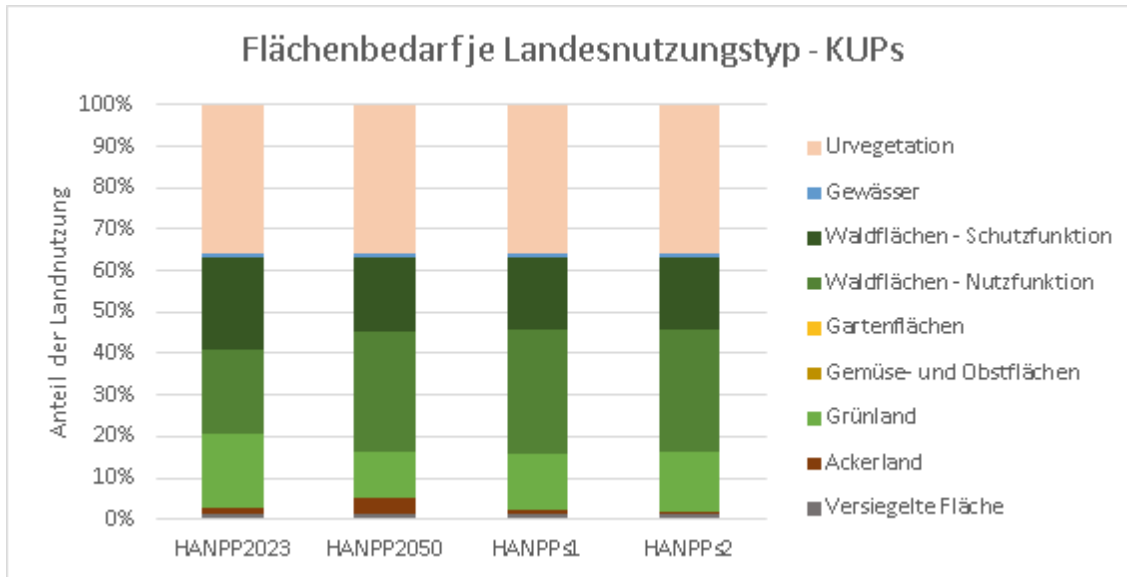


Abbildung 70: Flächenbedarf je Landesnutzungstyp mit Integration von KUPs (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

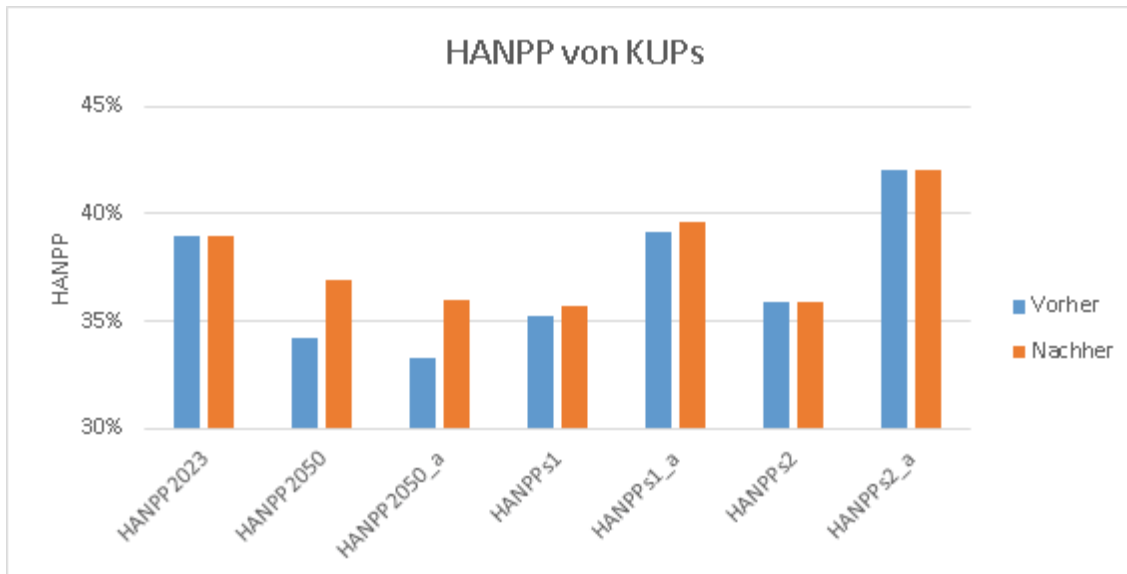


Abbildung 71: Einfluss von KUPs auf die Gesamt-HANPP (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Die Integration von KUPs in die Ackerflächen resultiert in einem Anstieg der HANPP. Die HANPP der Prognose ohne Ertragsfortschreibung weist einen Zuwachs von 2,7% auf, welcher auch bei der Prognose mit Ertragsfortschreibung verzeichnet wird. Das Wachstum beim Szenario „Moderat“ beträgt 0,45% ohne Trendfortschreibung und 0,41% mit Trendfortschreibung.

Demnach haben KUPs eine HANPP-steigernde Wirkung. Im Diagramm 71 ist die Veränderung der HANPP dargestellt. Anstatt

nur auf KUPs als alternative Energiequelle zu setzen, wurde auch ein Energiequellenmix für die Betrachtung des Energiepotenzials der Restflächen ausgewählt. Demnach soll die Hälfte der Restflächen für KUPs reserviert werden, 5% für Photovoltaikfreiflächen und jeweils 22,5% für die Produktion von Energiegras und Weizen. Die genaue Berechnungs- und Nutzungsmethode der Sekundärprodukte wurde im Methodenteil bereits beschrieben. Die Flächenaufteilung erfolgt wie bei den KUPs, sodass alle

Nutzungstypen auf die Ackerflächen verlegt werden, bis auf die Photovoltaikfreiflächen, welche den Grünflächen zugeschrieben werden. Daraus ergibt sich folgende Flächenaufteilung, die im Diagramm 72 ersichtlich ist. Wie schon bei der ausschließlichen KUP-Zuweisung erfolgt auch hier ein 6,5-facher Anstieg der Ackerflächen bei den Prognosewerten und ein 1,9-facher Anstieg beim Szenario „Moderat“. Der Anstieg der Grünflächen bei der Prognose für das Jahr 2050 beträgt 1,5%, beim Szenario „Moderat“ nur 0,2%. Im Vergleich zu 2023 ist trotzdem

noch ein Flächenverlust von jeweils 39% beim Prognosewert und 25% beim Szenario „Moderat“ zu verzeichnen.

Die Restflächen ermöglichen die Produktion von 18.376 t Trockenmasse an Energieholz, 3.608.503 m<sup>3</sup> Methan, 2.674.390 l Bioethanol als auch genügend Fläche für 215.121 Photovoltaikmodule. Diese Werte gelten für die Prognose ohne Ertragsfortschreibung. In Tabelle 22 sind alle Ergebnisse für die übrigen Prognosen und Szenarien mit und ohne Ertragsfortschreibung angeführt.

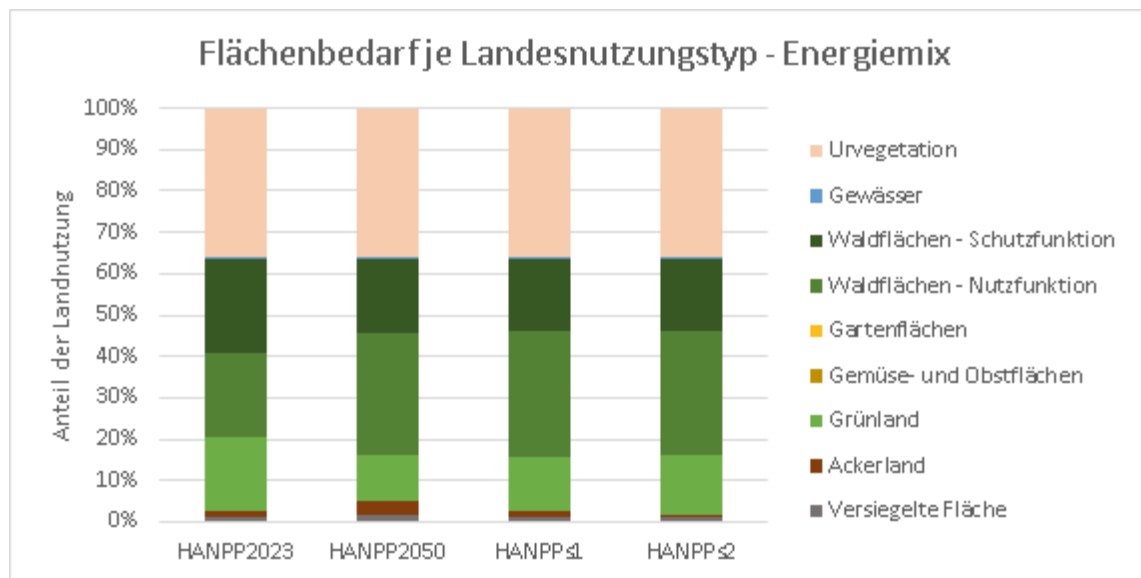


Abbildung 72: Flächenbedarf je Landesnutzungstyp mit Integration mit diversen Energieträgern (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Tabelle 22: Energiepotenzial der Restflächen nach Energienutzungstyp (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

2050	Energietyp	Fläche in ha	Ohne EV		Mit EV	
			Menge	Energie in TJ	Menge	Energie in TJ
Prognose	Energieholz	1.671	18.377 t TM	338,1	18.377 t TM	338,1
	Energiegras	752	3,6 Mio. m <sup>3</sup>	129,5	3,6 Mio. m <sup>3</sup>	129,5
	Weizen	752	2,7 Mio. l	57,0	1,7 Mio. l	35,6
	Photovoltaik	167	215.121 Module	745,4	215.121 Module	745,4
	Gesamt	3.341		1.270,0		1.248,6
Szenario Moderat	Energieholz	286	3.151 t TM	58,0	3.151 t TM	58,0
	Energiegras	129	0,6 Mio. m <sup>3</sup>	22,2	0,6 Mio. m <sup>3</sup>	22,2
	Weizen	129	0,5 Mio. l	9,8	0,3 Mio. l	6,1
	Photovoltaik	29	36.888 Module	127,8	36.888 Module	127,8
	Gesamt	573		217,8		214,1

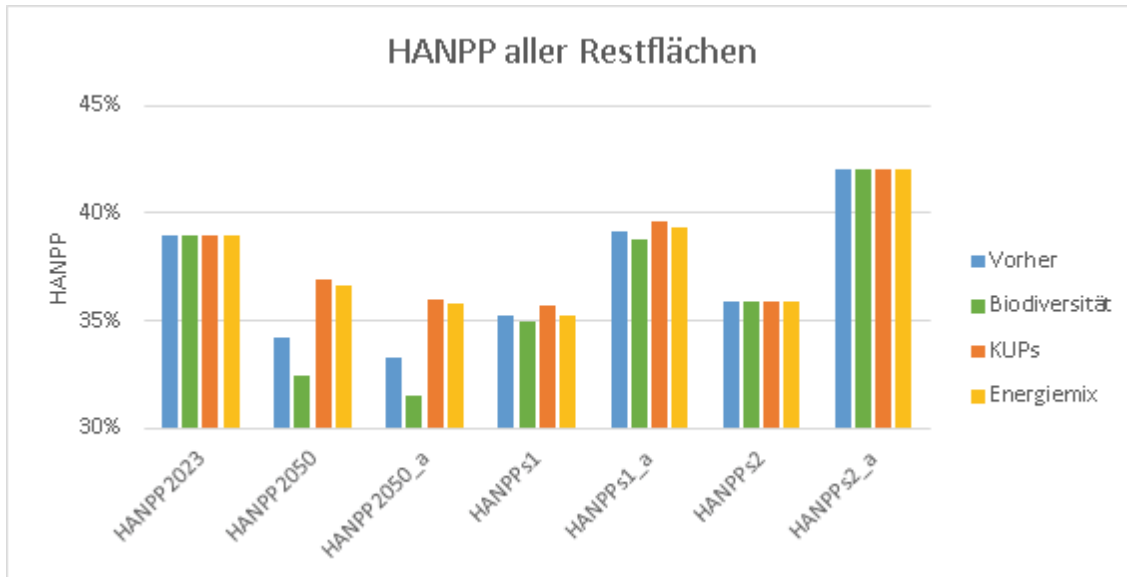


Abbildung 73: HANPP der gesamten Restflächen im Vergleich (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

Die Integration des Energiemix resultiert bei der Prognose in einem Anstieg der HANPP von 2,3% bis 2,6%. Beim Szenario „Moderat“ ist ohne Ertragsfortschreibung eine Reduktion der HANPP um 0,002% verzeichnet, jedoch mit Trendfortschreibung eine Steigerung von 0,14%. Bei einer geringen Restflächenanzahl von bis zu ca. 600 ha ist nicht klar, ob ein alternativer Energiemix eine HANPP-mindernde oder -steigernde Wirkung hat. Steigt jedoch die Fläche an, ist ein HANPP-steigernder Effekt erkenntlich. Die HANPP-Entwicklung aller Restflächenanpassungen wird in Diagramm 73 dargestellt. Der Waldflächenbedarf durch die Nutzung der Biomasse der KUPs im Energiemix sinkt auf nur 31% der bestehenden Gesamtwaldfläche bei der Prognose für 2050. Dies entspricht 50% der Ertragswaldfläche. Somit kann durch den gewählten Energiemix eine autonome Biomasseregion geschaffen werden. Durch die Ertragsfortschreibung sinkt der Flächenbedarf auf 22% der

Gesamtwaldfläche und auf 36% der Ertragswaldfläche. Auch hier wird eine biomasseautonome Region gewährleistet. Der Flächenbedarf des Szenarios „Moderat“ von Waldflächen beträgt 91%, jedoch wären mehr als die Hälfte des Ertragswaldes zusätzlich notwendig, um biomasseautonom zu werden. Durch die Ertragsfortschreibung verringert sich der Wert nochmals auf 89% für den Gesamtwald und auf 140% für den Ertragswald. Diagramm 74 zeigt die Flächenbedarfsentwicklung in absoluten Werten. Diagramm 75 zeigt den Flächenanteil der Bedarfsflächen am Bestandswald. Die negativen Werte deuten darauf hin, dass keine weiteren Bestandsflächen für die Wärme- und Stromproduktion durch Biomasseheizwerke gebraucht werden. Für die Prognose ergibt sich ein Flächenüberhang von bis zu 45.000 ha. Das bedeutet, dass genügend Biomasse produziert wird (durch KUPs), sodass weitere 45.000 ha oder 94% des Gesamtwaldes zusätzlich kompensiert werden könnten.

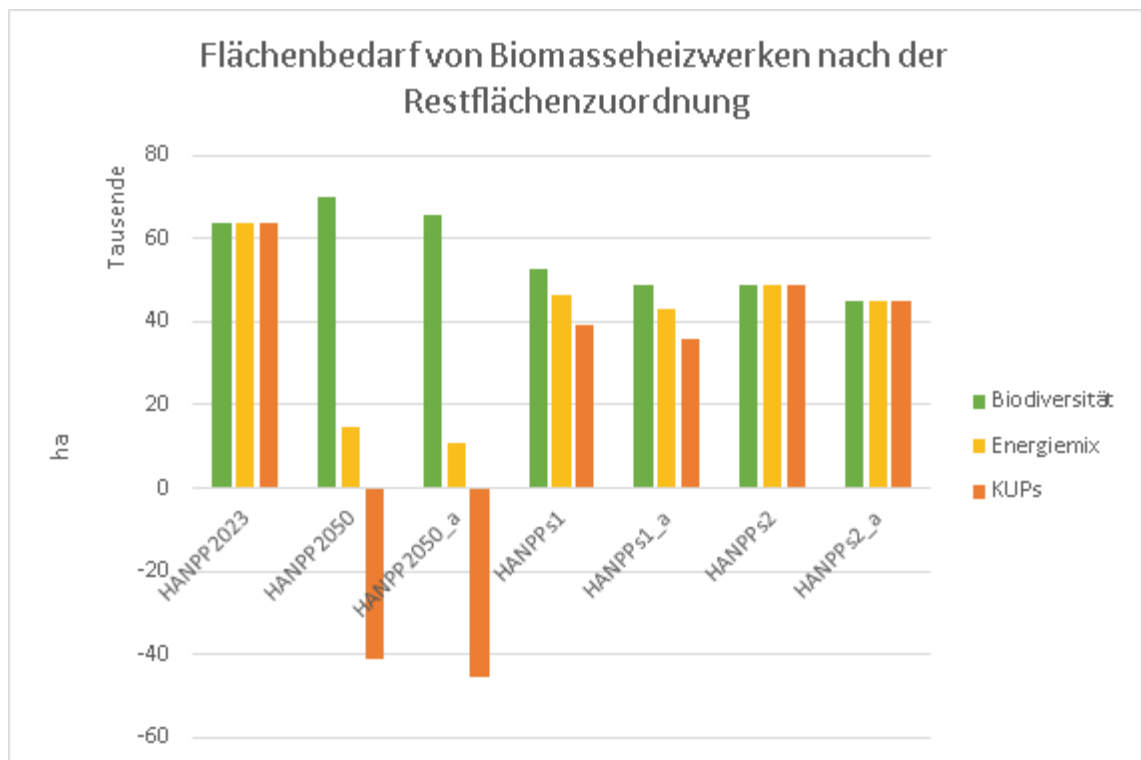


Abbildung 74: Flächenbedarf von Biomasseheizwerken nach der Restflächenzuordnung (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

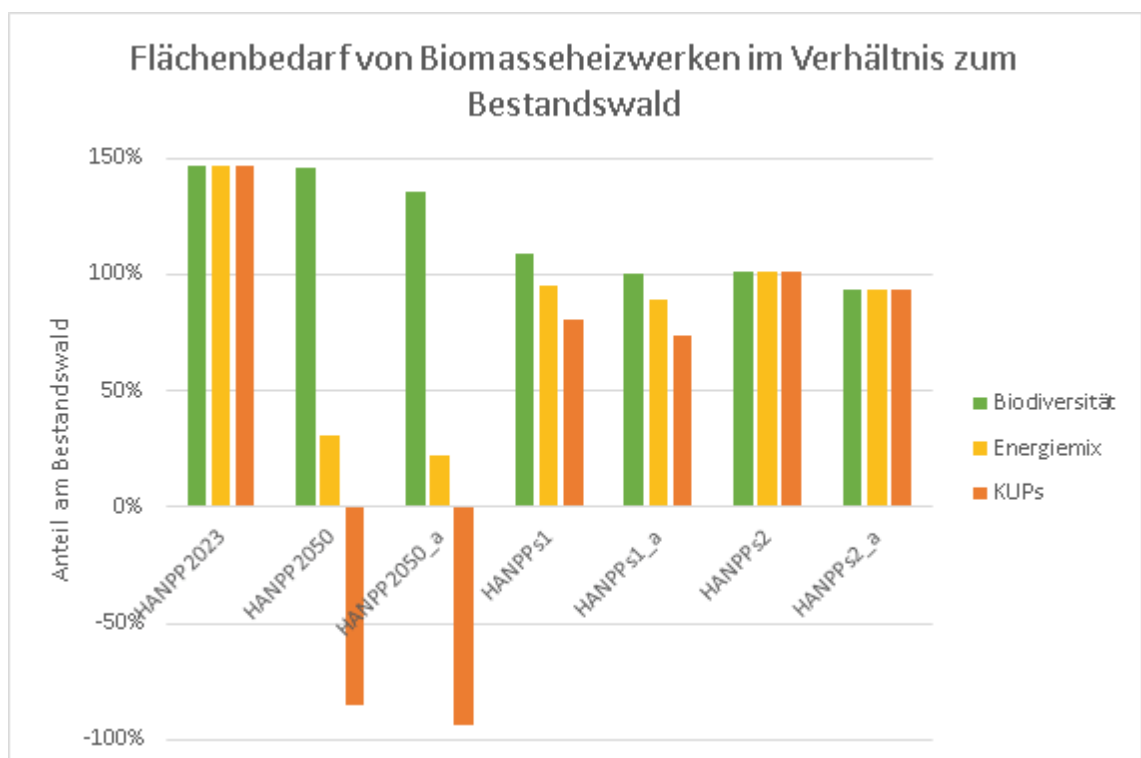


Abbildung 75: Flächenbedarf von Biomasseheizwerken im Verhältnis zum Bestandswald (eigene Berechnung, eigene Darstellung)

## 6 DISKUSSION

In diesem Teil der Arbeit werden zunächst die drei Hypothesen besprochen und anschließend die Nutzung von Restflächen als Biodiversitätsflächen und als erneuerbare Energieerzeugungsflächen diskutiert. Anzumerken ist hierbei, dass sich die Erkenntnisse auf die Modellregion Lungau beziehen, und nicht ohne weiteres auf andere Regionen übertragen lässt. Für Regionen mit ähnlichen Charakteristika wie in Kapitel 4 beschrieben wird, können durchaus Parallelen gezogen werden.

Hypothese 1: „Die österreichischen Klimaschutz-, Biodiversitäts- und Flächenverbrauchsmaßnahmen wirken sich mindernd auf die HANPP aus.“

Die aufgestellte Hypothese kann nicht bestätigt werden. Zwar ist eine Minderung der HANPP im Vergleich zum Jahr 2023 feststellbar, so wirken sich die Maßnahmen dennoch im Vergleich zur Prognose im Jahr 2050 HANPP-steigernd aus.

Hypothese 2: „Der technologische Fortschritt resultiert in den Gebrauch intensiver Anbau- und Erntemethoden in der Land- und Forstwirtschaft und wirkt sich steigernd auf die HANPP aus.“

Für landwirtschaftliche Flächen kann die Hypothese bestätigt werden. Durch die Erhöhung der Erträge kommt es zu einem Rückgang der HANPP, auch wenn dieser nur bescheiden ist. Im Gegensatz dazu ist durch die Ertragssteigerung der Waldflächen von einer HANPP-Erhöhung auszugehen. Für Waldflächen ist also die Hypothese zu verwerfen.

Hypothese 3: „Der Ressourcen- und Flächenbedarf für Fernwärme in Form von holzartiger Biomasse wird regional abgedeckt.“

Die Hypothese kann unter der Annahme des Szenarios „Maximum“, sofern eine Ertragsfortschreibung stattfindet und der Gesamtwald betrachtet wird, bestätigt werden. Wenn der Ertragswald als Kriterium einer autonomen Wirtschaftsweise herangezogen wird, ist die Hypothese für den Ist-Zustand, die Prognose für 2050 als auch für alle Szenarien zu verwerfen.

Für alle diese Annahmen wurde die Region Lungau zunächst als isolierter Raum wahrgenommen. Demzufolge wurden keine konkreten grenzüberschreitenden Einflüsse und Synergien betrachtet. Hierfür wird der Begriff der Autarkie verwendet. Dies ist jedoch nicht ganz richtig. Alleine die Hypothese 3 zeigt, dass eine Gesamtautarkie nicht möglich sein kann. Der Import von Holz ist in diesem Fall notwendig, um den Betrieb des Status-Quo aufrechtzuerhalten. Die in den Maßnahmen definierten Ziele des Ausbaus von Sonderkulturen resultieren in der Verdrängung von anderen landwirtschaftlichen Kulturen. Durch diese Spezialisierung auf die standortangepassten Erträge wird die Abhängigkeit von außen höher und fördert die wirtschaftliche Öffnung der Region, um Handelsbeziehungen einzugehen. Die Maßnahmen entwickeln sich demnach diametral gegenüber den Beobachtungen von Petersen 2022. Die Vorteilhaftigkeit einer uneingeschränkten Offenheit scheint demnach aufgrund von globalen Rahmenbedingungen zurückzugehen. Grund dafür sind globale Krisen der letzten Jahre, wie die Coronapandemie, der Angriffskrieg Russlands als auch der Klimawandel. Das derzeitige Wirtschaftssystem mit seiner Import- und Exportabhängigkeit ist nach diesem Verständnis zu hinterfragen. (Petersen und Wortmann 2022, 715) Die Existenz einer komplett autarken Region ist heutzutage, trotz wiederkehrender Tendenz des Ausbaus lokaler Potenziale, aufgrund der Abhängigkeit des Handels nicht mehr möglich.

Aus diesem Grund ist die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit durch die Intensivierung des Anbaus von Sonderkulturen durchaus erstrebenswert. Es kommt zum Wachstum nicht nur in der Anbauregion, sondern auch in der Importregion, was zu einer Erhöhung der Wohlfahrt führt. (Ohr 1999, 65) Eine geeignete Lösung scheint eine ausgewogene Produktion von Sonderkulturen zu sein, die die Produktion der Grundversorgung nicht komplett verdrängt. Es reduziert sich zwar der Exportgewinn, jedoch können noch Teile der Region autark versorgt werden. Auch aufgrund der geographischen Lage, umgeben von Gebirgen, stehen dem Lungau im Vergleich zu anderen Regionen nur wenige Flächen für die landwirtschaftliche Nutzung zur Verfügung, welche auch aufgrund der Seehöhe über 1.000 m nur bedingt effizient bewirtschaftet werden können. Die Importabhängigkeit ist somit noch höher als z.B. in Regionen in Niederösterreich, welche durch den massiven Ackerbau durchaus eine Autarkie erreichen könnten. Eine autarke Region kann auch im planwirtschaftlichen Kontext betrachtet werden. Demnach ist das Ziel einer Region, ihre Wirtschaft so zu organisieren, dass die Selbstversorgung weitestgehend ohne grenzüberschreitenden Handel geschieht. Die Kontrolle und Lenkung der Region geschehen dabei zentralisiert. Die Entscheidungen über die Zuteilung und Nutzung von lokalen Ressourcen werden vom Staat bzw. der Region getroffen. In der Theorie kann die Produktion direkt auf die Bedürfnisse der Bevölkerung angepasst werden. Besonders in Ressourcenknappen Regionen könnte durch eine zentrale Planung die Verschwendung von Ressourcen oder die falsche Nutzung verhindert werden, da der Staat bzw. die autarke Region verschiedene Sektoren miteinander abwägt. (Calvo und Frenkel 1991) Die Betrachtung als Planwirtschaft ist in der Praxis nicht tauglich, da zum einen die Integration in das

vorherrschende kapitalistische Wirtschaftssystem nicht möglich ist, und da davon auszugehen ist, dass die Schwankung von erneuerbaren Ressourcen zu einer Ausbeutung der Region führt und möglicherweise irreversibel sein könnte. Das „Sustainability Problem“ ist ein Risiko, welches durch eine autarke Region an sich nicht gelöst werden kann. (Randall 2021, 13–14)

Raumplanung dient als strategisches Instrument zur Optimierung der Landnutzung. Ein zentrales Ziel der Raumplanung ist es, Konflikte zwischen verschiedenen Landnutzungen (z.B. Landwirtschaft vs. Wohnraum) zu mindern und gleichzeitig die wirtschaftliche und ökologische Nachhaltigkeit sicherzustellen. Die in der Arbeit vorgestellte Prognose für das Jahr 2050 verzeichnet große Flächenverluste in der Landwirtschaft. Ein weiteres Waldwachstum wird jedoch prognostiziert. Diese Entwicklung entspricht exakt dem Gegenteil der zu erwartenden Flächenentwicklung. Üblicherweise kommt es dadurch zu einem Ausbau der Ackerflächen indem Waldflächen abgeholzt werden. Diese Entwicklung ist vor allem auf die Globalisierung zurückzuführen. (Lambin und Meyfroidt 2011, 3465) Andere Treiber für Landnutzungsänderungen sind die ökonomischen Treiber, soziale Änderungen, das politische System, der technologische Fortschritt und der Klimawandel. Die Wirtschaft beeinflusst die landwirtschaftlichen Flächen durch die Globalisierung des Marktes und die Operationskosten, während sie die Forstwirtschaft durch die Nachfrage nach forstwirtschaftlichen Produkten beeinflusst. Sozialer Wandel wirkt sich auf die Landwirtschaft durch die Nachfrage von regionalen Produkten aus, während die Forstwirtschaft durch die Interessen der Landbesitzer geprägt ist. Die Politik gibt die Spielregel für Land- und Forstwirtschaft vor, wie zum Beispiel die Einführung von Standards oder die Ausweisung von Naturreservaten und

Schutzgebieten. Der technische Fortschritt beeinflusst zum einen die Düngung auf landwirtschaftlichen Flächen und die Nutzung von Pestiziden, bei forstwirtschaftlichen Flächen die Erntetechnologie. Der Klimawandel wirkt sich auf die Vegetationsperioden aus, als auch auf potentielle Schäden im Wald wie Borkenkäfer, Dürre oder Krankheiten. (Schirpke et al. 2023, 4–5) Die Auswirkungen der Treiber sind jedoch regional unterschiedlich. Landnutzungsänderungen sind generell von mehreren Treibern beeinflusst, welche sich gegenseitig kumulativ beeinflussen oder, sich gegenseitig annullieren können. (van Vliet et al. 2015, 33–34) In diesen Studien wurde die multifunktionale Betrachtung von Böden nicht vorgenommen (z.B. in Form von Photovoltaikfreiflächen auf Feldern). In dieser Arbeit findet ein multifunktionaler Ansatz in der Analyse der Restflächen durchaus Beachtung. Der Rückgang des Acker- und Grünlandes in der Prognose setzt sich aus vielen Treibern zusammen. Der Klimawandel ist vermutlich der Haupttreiber, welcher die Regenfälle und Durchschnittstemperatur beeinflussen. Extremwetterereignisse schaden der Ernte und verringern die Anbaumöglichkeiten in der Region. (Schirpke et al. 2023, 5–6) Die Umsetzung der Maßnahmen im Szenario „Moderat“ und „Maximum“ setzen auf die Diversifizierung und Intensivierung von klimaresistenten Kulturen, wodurch die Flächenreduktion verringert werden konnte. Im Bereich der Forstwirtschaft ist ein Wachstum zu verzeichnen, wobei sowohl der Waldbestand als auch die Waldfläche kontinuierlich wachsen. Grund dafür ist die Änderung der Waldeigentümer:innen, welche von traditionellen Waldeigentümer:innen hin zu „waldfernen“ Waldeigentümer:innen geht, welche kaum Interesse an der Funktion des Waldes als Ressourcenversorger haben. (Hogl et al. 2003, 5) Dies macht das Wachstum der Waldflächen deutlich, wenn nach

den Eigentümer:innen unterschieden wird. Zwischen 1992 und 2021 wird ein Waldwachstum von 2.000 ha bei den Kleinwaldbesitzer:innen verzeichnet, während der Waldbestand von Großgrundbesitzer:innen gleichblieb. (Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald 2021) Ein weiterer Grund für das Waldwachstum ist die erhöhte Nachfrage z.B. an Holzpellets. (Strimtzter 2021, 1) Die Ernte bei einem technischen Fortschritt ist im Lungau niedriger als die gleichbleibende Ernte. In den Szenarien erhöht sich die Ernteintensität, sodass etwa 80% des Holzzuwachses an Volumen aus dem Wald entnommen wird.

Die Flächen- und Ertragsveränderungen beeinflussen das Ökosystem der Region, welches im Rahmen des UNESCO Biosphärenparks Lungau eine zentrale Rolle in der planerischen Gestaltung der Region spielt. Die Integration der HANPP in die regionalen Planungsprozesse als Indikator soll dazu dienen, das Ziel des Biodiversitätsschutzes und -förderung zu gewährleisten. Die Human Appropriation of Net Primary Production umfasst sowohl direkte Eingriffe, wie die Umwandlung von Land für Landwirtschaft und Urbanisierung als auch indirekte Effekte, wie den Verlust von Biomasse durch Abholzung oder die Einfuhr von Biomasse aus anderen Regionen. Landnutzungsveränderungen stellen ein zentrales Aufgabengebiet der Raumplanung dar, was bedeutet, dass die HANPP mit der Flächen- und Ressourcenplanung verbunden ist, da menschliche Eingriffe in Ökosysteme vor allem durch die Landnutzung bedingt sind. HANPP<sub>luc</sub> stellt die Landnutzungsveränderung durch den menschlichen Eingriff in das Ökosystem dar. Die HANPP wird somit durch Raumplanungsmaßnahmen, wie beispielsweise die Umwandlung von Landnutzungstypen oder die Urbanisierung, aber auch durch die Ausweisung von Siedlungsgrenzen direkt beeinflusst. (Erb et al. 2009, 328) Die

Siedlungsentwicklung und die dadurch entstehende Verbreitung des versiegelten Gebiets als auch das Entstehen von neuen Infrastrukturen erfordern die Umwandlung von Grünland oder landwirtschaftlichem Land in bebaute bzw. versiegelte Flächen. Dies führt zu einem vollständigen Verlust der NPP auf den betroffenen versiegelten Flächen, da Beton und Asphalt keine Biomasse produzieren können. (Haberl et al. 2007, 12942) Unkontrollierte Urbanisierung kann durch gezielte Raumplanung gemildert werden. Innenentwicklung vor Außenentwicklung minimiert den Flächenverbrauch. Die Integration von grünen Infrastrukturen mildert den Verlust der NPP und fördert die städtische Biodiversität. (Elmqvist et al. 2015, 101) Eine weitere Möglichkeit der Raumplanung ist die Förderung der nachhaltigen Landwirtschaft durch agroökologische Ansätze. Dadurch kann die Chance ergriffen werden, den HANPP-Anstieg zu begrenzen. Es bedingt eine umfassende Agroforstwirtschaft und organische Anbaumethoden, um den Verlust der Primärproduktion zu minimieren und gleichzeitig die landwirtschaftliche Produktivität zu fördern, sodass diese wettbewerbsfähig bleibt oder sogar steigt. (Foley et al. 2011, 337–338) In der Forstwirtschaft gibt es die Möglichkeit, verstärkt auf Mischwälder zu setzen und den Holzeinschlag selektierter zu wählen. Dadurch könnte die HANPP reduziert und die Biodiversität gesteigert werden. (Pugh et al. 2019, 730–731) Renaturierungsmaßnahmen, welche derzeit von der österreichischen Bundesregierung kritisch betrachtet werden, wie Aufforstungen oder die Wiederherstellung von Feuchtgebieten, können zur Reduzierung der HANPP beitragen. Die Raumplanung ermöglicht es gezielt Gebiete auszuweisen, die renaturiert werden sollen, um die NPP zu erhöhen und gleichzeitig die Biodiversität zu fördern. (Brayard et al. 2009, 1124) Hierbei stellt sich die Frage ob, es im Lungau

notwendig ist, weitere Aufforstungsmaßnahmen durchzuführen, da ohnehin ein Waldwachstum verzeichnet wird. Zusammenfassend kann man sagen, dass Raumplanung eine zentrale Rolle bei der Steuerung von HANPP und Biodiversität spielt. Durch nachhaltige Landnutzungsstrategien, Schutzgebiete und die Förderung multifunktionaler Landschaften kann die HANPP verringert und die Biodiversität langfristig geschützt werden.

Durch die Prognose des Biomasseausbaus einer Region, in dieser Arbeit des Lungaus, hat dies Potenzial, wichtige Wissenslücken der Planung auf regionaler und kommunaler Ebene zu schließen. Es werden Fragen bezüglich der Nachhaltigkeit, Flächennutzung, Ressourcennutzung und Umweltverträglichkeit beantwortet. Durch das Wissen über den Biomasseausbau wird die Entscheidungsfindung für Raumplaner:innen vereinfacht und Ziele der Ökologie, Ökonomie und Wohlfahrt vereinbart. In Regionen besteht ein Zielkonflikt zwischen der Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Siedlungsentwicklung und dem Schutz natürlicher Lebensräume. Die Nutzung von Biomasse für die Energieerzeugung benötigt zumindest eine dieser Flächen. Demzufolge ist durch den Biomasseausbau entweder die Reduktion der Nahrungsmittelproduktion oder des Naturschutzes die Folge. (Haberl et al. 2012, 70–72) Für die Regionalplanung wäre es hierbei nötig, die Potenzialflächen für die Biomassenutzung in Form von z.B. Energiepflanzen im Vorhinein zu definieren und zu schützen. Dadurch wird das Risiko von Fehlplanungen reduziert, welche den Verlust von Ackerflächen und natürliche Habitate mit sich ziehen. (Smith et al., 884–885) Eine weitere Wissenslücke, die durch die Prognose des Biomasseausbaus geschlossen werden könnte, ist die Frage der Nachhaltigkeit der Biomassenutzung. Die Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit,

Wasserressourcen und Biodiversität und die daraus resultierenden ökologischen Grenzen der Region durch den Anbau von Energiepflanzen oder die Ertragssteigerung von Wäldern kann somit betrachtet werden. Es können somit Maßnahmen so gewählt werden, um die prognostizierten Einflüsse auf die Natur zu minimieren. (Searchinger et al. 2018, 252) In der Planungspraxis kann auf Basis der Biomasseprognosen das Potenzial der Region geschätzt werden. Der Ausbau der Bewirtschaftung von Energiepflanzen mit geringer Umweltbelastung ist denkbar. Miscanthus wäre dabei eine Möglichkeit. Zu beachten sind dabei jedoch die Wachstumskriterien, wie Höhenlage und Klimabedingungen. (Don et al. 2012, 372) Die Einführung weiterer klimaresilienter Pflanzen könnte in regionale Entwicklungsstrategien, oder in dafür ausgelegte Energiekonzepte integriert werden. Bis zum Jahr 2050 wird ein Potenzialverlust von 3,6 Mio. m<sup>3</sup> Biomethan durch die Produktion von Energiegras prognostiziert. Die Prognose des Biomasseausbaus würde vor allem der Energieraumplanung helfen. Die Energiepotenziale einer Region variieren stark, was dazu führt, dass die exakte Menge an Biomasse und anderer erneuerbarer Energieträger schwer abzuschätzen ist. Die Prognose ist deshalb von hoher Bedeutung, da sinnvolle Maßnahmen und Investitionen in die regionale Energieversorgung somit getätigt werden können, um ausgewählte Energieträger entsprechend zu fördern. Dazu zählt der Ausbau von Biomasseheizwerken oder Biogasanlagen. Durch die verbesserte Planung der Energieinfrastruktur kann die Überkapazität von Biogasanlagen vermieden werden und die räumliche Verteilung der Biomasseproduktion und -nutzung optimiert werden. Dadurch kommt es zur Steigerung der Versorgungssicherheit und zur Reduktion der Versorgungskosten. (Thrän et al. 2010, 200–201) Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die räumliche Verteilung der

Biomasseproduktion. Lange Transportwege ziehen hohe Transportkosten nach sich. Biomasse ist im Vergleich zu anderen Energieträgern schwer zu transportieren. Prognosen zur Entwicklung der Biomasseproduktion könnten zukünftige Produktionszentren lokalisieren und die benötigten Infrastrukturen festlegen um diese zu nutzen. Ein weiterer wesentlicher Zusammenhang besteht zwischen Biomassenutzung und Biodiversität. Intensiver Biomasseanbau kann zu einer Verringerung der Artenvielfalt führen, insbesondere in Monokulturen. Biomasseprognosen ermöglichen es Planer:innen, anhand der verzeichneten Auswirkungen auf die Umwelt, diese mittels „ökologischen Korridoren“ oder der Ausweisung von „Biodiversitäts-Hotspots“ zu mindern. In der Planungspraxis sollte angestrebt werden, den Biomasseausbau auf weniger sensible Flächen zu konzentrieren, während biodiversitätsreiche Gebiete von der Nutzung verschont bleiben. (Tscharrtk et al. 2012, 664)

Die Prognose für den Lungau rechnet mit einem Anstieg der Waldflächen von etwa 4.500 ha. Der Waldbestand wird somit von etwa 42% auf 47% der Gesamtfläche heranwachsen. Der Flächenverlust des Ackerlandes und des Grünlandes von etwa 8.200 ha ist sogar höher als der Zuwachs der Waldflächen. Selbst wenn 100% der Waldflächen ehemalige landwirtschaftliche Flächen wären, sind immer noch fast 4.000 ha ungenutzte Fläche. Der Flächenverlust wird in der Prognose der Urvegetation zugewiesen. Somit weist sie etwa 44% der Gesamtfläche auf. Der Lungau befindet sich also in einem unfreiwilligen Renaturierungsprozess. Der noch weitere Ausbau der Biomassenutzung hat weitreichende Folgen auf den Flächenverbrauch, die Energieproduktion und die Raumplanung selbst. Zwar bietet die Region auf den ersten Blick weitreichendes Potenzial für die intensive Nutzung von Biomasse

aus Wäldern, jedoch können unbedachte Eingriffe das empfindliche alpine Ökosystem gravierend beschädigen und haben sowohl ökologische als auch soziale Konsequenzen. Ein weiterer Ausbau führt zu einem Anstieg des Flächenverbrauchs. Der Flächenbedarf durch die Nutzung von Biomasse ist unglaublich hoch. Um eine kWh an Energie zu produzieren, werden im Lungau 6,74 m<sup>2</sup> Waldfläche benötigt. Dies schließt eine Kaskadennutzung ein, dementsprechend werden Vorproduktionen mitgezählt. Dieser Wert ist etwa 10-mal so hoch wie die erzeugte Energie ohne Kaskadennutzung. (Dumke 2020, 166) Der Flächenbedarf durch Hackschnitzel im Lungau ist insgesamt 1.567-mal höher als der Flächenbedarf von Schrägdachanlagen auf Einfamilienhäusern. Gerade deshalb ist ein weiterer Ausbau kritisch zu sehen. Durch eine intensivere Ernte von Holz ist mit der Zerstörung von Lebensräumen zu rechnen, mit der Verschlechterung der Bodenqualität und letztendlich mit dem Verlust von Biodiversität. Zudem kommt es zum Verlust von CO<sub>2</sub>-Senken, was die Umweltbilanz verschlechtert. (Pugh et al. 2019, 735) Da kaum andere Flächen vorhanden sind, müsste der Ausbau von Biomasseflächen auf Flächen der Urvegetation (oder anderen Brachflächen) durchgeführt werden. Besonders kritisch ist dabei der Einfluss auf das fragile alpine Ökosystem. Dieses kann sich nur sehr langsam von menschlichen Eingriffen erholen. Diese „Biodiversitäts-Hotspots“ sollten keinesfalls durch die menschliche Nutzung zerstört werden, da mit weitreichenden Folgen für die Umwelt zu rechnen ist. Ein Ausbau auf solchen Flächen würde die Landschaft dauerhaft verändern. (Körner und Paulsen 2004, 728–729) Trotz der negativen Auswirkung auf die Biodiversität kann durch den Biomasseausbau die Energieproduktion des Lungau deutlich erhöht werden. Das wiederum führt zu Konflikten mit anderen Nutzungsmöglichkeiten der Biomasse. Speziell

die Holzverarbeitung, welche im Lungau stark vertreten ist durch eine Vielzahl an Sägewerken, und durch den Bausektor. Durch die Stärkung des energetischen Einsatzes von Holz könnte es zu Rohstoffverknappungen in anderen Industrien kommen und somit der Holzpreis und der Preis von Holzprodukten steigen. (Haberl et al. 2010, 399–401) Es wäre aber dadurch möglich, eine energieautarke Region zu werden, wie im Szenario „Maximum“ ersichtlich ist. Das Energiepotenzial von Biomasse ist jedoch begrenzt. In alpinen Regionen kann es sein, dass der Biomassezuwachs aufgrund der begrenzten Nutzbarkeit der Flächen zu gering ist, um die gesamte Energieversorgung autark zu gestalten. Für die Raumplanung wäre ein noch weiterer Biomasseausbau problematisch, da es große Konflikte mit dem Naturschutz, vor allem in alpinen Regionen, gibt. Es wäre von höchster Bedeutung, Planungsstrategien zu verfolgen, die sensible Flächen als Schutzgebiete ausweisen, und den Ausbau von Biomasse nur auf geeigneten, dafür definierten Flächen zu verfolgen. Hierzu kommt die Wichtigkeit der Energieraumplanung. Der Ausbau von Biomasse als Ressource benötigt entsprechende Infrastrukturen. Zum einen werden Straßen für den Transport benötigt, zum anderen werden Lagerflächen und Verarbeitungsstandorte, sowie Speicherstandorte benötigt. Zusätzlich muss gewährleistet werden, dass der Infrastrukturausbau nachhaltig und umweltschonend durchgeführt wird. Ebenso soll auf dezentrale Systeme gesetzt werden, um den Transportaufwand zu reduzieren und die lokale Nutzung von Biomasse zu unterstützen. (Lamers et al. 2011, 2657) Was nicht zu unterschätzen ist, ist der Einfluss des weiteren Biomasseausbaus auf die vorherrschende Kulturlandschaft. Instrumente wie der Landschafts- und Ortsbildschutz spielen hierbei eine maßgebende Rolle. Der Erhalt der ökologischen und ästhetischen Werte einer Region müssen auch

in Zukunft im Einklang stehen. (Tscharrntke et al. 2012, 677) In dem genannten Spielraum bewegt sich der Biosphärenpark Lungau, der für einen integrierten Ansatz zwischen Kultur, Ökologie und Ökonomie steht. (Biosphärenpark Salzburger Lungau)

Aus den gesammelten Daten der HANPP-Berechnung wurde ein Tool entwickelt, welches die einfache Prognose für eine Region ermöglicht, wenn diverse Maßnahmen umgesetzt werden, die es auf Flächen- und Ertragsänderungen absehen. In das Programm wurden sowohl Erkenntnisse aus dieser Arbeit integriert, die durch die Berechnungsschritte der HANPP entstanden, als auch Feedback aus der Planungspraxis vom Regionalverband Lungau, dem Biosphärenpark Lungau und der KEM-Lungau. Das Tool ermöglicht es Raumplaner:innen, Maßnahmenauswirkungen auf die Flächen- und Ertragsentwicklung abzuschätzen, und somit den Einfluss auf die Biodiversität festzustellen. Maßnahmen können hierbei sowohl lokal und regional als auch überregional oder auf Bundesebene gesetzt werden. Besonders in Zeiten der Klimakrise, wo die Wichtigkeit der Biodiversität und des Flächenverbrauchs in den Mittelpunkt rücken, kommt ein Tool zur Abschätzung von Ökosystemleistungen bzw. dessen Verlust der Regionalplanung zugute. Gemeinden bzw. Regionen benötigen ein Werkzeug, welches hilft, fundierte Entscheidungen in diesem Wirkungsspektrum zu treffen, unter der Voraussetzung der einfachen Bedienbarkeit. Das Konzept der HANPP kann hierbei als Grundlage dienen, um langfristig Modelle zu entwickeln und die Auswirkungen der Planungsmaßnahmen auf die biologische Vielfalt zu bemessen. In der Regionalplanung stehen Regionen oft vor komplexen Fragen, die einen interdisziplinären Ansatz erfordern. Mit dem entwickelten Werkzeug können einfach Entscheidungen untermauert oder ausgeschlossen werden, sofern

diese die gewünschten Biodiversitätsziele nicht erreichen. Es wird ermöglicht, durch die unkomplizierte Eingabe von verschiedenen Flächen- und Ertragswerten, komplexe Zusammenhänge zu simulieren, die ansonsten schwierig ohne fachliche Expertise zu bewerten sind. Grund dafür ist, dass unterschiedliche Flächennutzungen und Ertragsänderungen unterschiedliche Einflüsse auf die Biodiversität einer Region haben. Zudem verfügen die meisten Gemeinden nicht über spezialisierte Fachkenntnisse im Bereich der Biodiversitätsbewertung. (Turner II et al. 2007, 20666) Ein Vorteil des Tools ist die relativ einfache Datengrundlage. Die Erfassung der Flächennutzungstypen kann durch GIS-Daten, Satellitenbilder und andere Methoden erfolgen. Erntedaten stammen aus der Agrarstrukturerhebung und aus der Waldinventur. Die HANPP als Indikator für den menschlichen Einfluss auf die biologische Produktivität eines Ökosystems trifft Aussagen über die Intensität der Nutzung von Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Bebauungen. Das macht die HANPP zu einem wertvollen Indikator für die Auswirkungen auf die Biodiversität und ermöglicht es, langfristige Prognosen über verschiedene Landnutzungsszenarien zu erstellen. (Haberl et al. 2013, 1) Durch das unkomplizierte Eintragen von Bodenbedeckungsdaten, Ertragsprognosen und diversen anderen Faktoren, die optional sind, ist es möglich, das Tool in der Planungspraxis anzuwenden. Besonders hilfreich ist die Möglichkeit, verschiedene Entwicklungsszenarien schnell und einfach zu vergleichen und die Unterschiede der Auswirkungen auf die Biodiversität, Flächennutzung und Flächenbedarf von Energieträgern zu vergleichen. Das Tool hilft dabei, unterschiedliche Maßnahmen zu evaluieren und die beste Strategie zu wählen, um beispielsweise Nachhaltigkeitsziele zu erreichen. So wäre es in der Praxis möglich, unterschiedliche Entwicklungsszenarien einfach zu simulieren und deren

Auswirkungen zu vergleichen. So könnte beispielsweise erkannt werden, dass noch Ausgleichsmaßnahmen notwendig sind, um die Ziele von gewissen Vorgaben aus Strategien, Plänen und Konzepten zu erreichen. Wie im Kapitel Instrumente aufgezeigt wurde, sind für die Erreichung der Ziele verschiedener Strategien unterschiedliche Maßnahmenbündel notwendig. Das Tool ermöglicht einen einfachen Überblick über den Stand der Umsetzung. Gewählte Maßnahmen können dadurch so adaptiert werden, dass Änderungen gewählter Szenarien bzw. Eingaben direkten Einfluss auf den Grad der Zielerreichung haben und klar verständlich dargestellt werden. Das Programm kann beispielsweise vermitteln, welchen Einfluss der Ausbau der Biomasseproduktion oder die Erhöhung des Versiegelungsgrads auf die Region hat, bzw. über die nächsten 25 Jahre haben wird. Das erarbeitete Programm erleichtert in der Planungspraxis die Entscheidungsfindung über den Einsatz von Flächenressourcen. Besonders in Regionen, die mit hohen Flächennutzungsänderungen zu kämpfen haben, sei es durch den Rückgang von landwirtschaftlichen Flächen oder hoher Flächeninanspruchnahme, bietet es die Möglichkeiten, diesen Entwicklungen entgegenzuwirken oder zumindest den Status-Quo infrage zu stellen. Die Raumplanung steht oft vor Herausforderungen der Abwägung zwischen wirtschaftlichen und ökologischen Zielen. Das Tool hilft dabei, Kompromisse zu finden und liefert eine solide Datenbasis, um diese zu evaluieren und langfristige Konsequenzen abzuschätzen. (Foley et al. 2005, 572–573) Anzumerken bei der Nutzung der HANPP als Indikator ist, dass kein einheitliches Kriterien- und Wirkungsmodell vorhanden ist. Die Bewertung der Auswirkungen der menschlichen Aneignung von Flächen auf die biologische Produktivität verfolgt keine standardisierten Kriterien. Genau diese Offenheit kann jedoch auch ein Vorteil

für solch eine Betrachtung sein. Die Bewertung der Biodiversität bzw. der menschlichen Aneignung erfolgt nicht nur anhand von Flächendaten, sondern stellt ein umfassendes Bild von komplexen Beziehungen zwischen der menschlichen Aktivität und der Ökosystemleistung dar. Es wird also vielmehr ein gesamthaftes Bild einer Region geliefert, als nur die Flächen nach deren Nutzungen zu unterteilen. Die Stärke der HANPP liegt darin, dass es eine ganzheitliche Betrachtungsmethode darstellt, die nicht nur einfache Flächenberechnungen durchführt. Der themenübergreifende Ansatz misst die Auswirkungen von menschlichem Handeln auf das Ökosystem, welches in der Berechnung die Nutzungseffizienz, Änderungen der Vegetation, sowie Verluste und Gewinne von Flächen der land- und forstwirtschaftlichen Produktion miteinbezieht. Durch die wissenschaftlich fundierte Durchführung der Berechnung kann das geschaffene Tool ein hilfreiches Instrument im komplexen Planungsprozess zukünftig darstellen. (Haberl et al. 2007, 12945–12946) Das Fehlen einer einheitlichen Betrachtung bietet für Raumplaner:innen eine Chance, Kriterien und Wirkungen an die lokalen und regionalen Gegebenheiten anzupassen, was zu flexibleren, kontextbasierten und fundierteren Entscheidungen führt. Dies fördert innovative Planungsansätze zur Integration lokaler Biodiversitätsziele und Energieziele im Bezug auf Biomasse und der Nutzung von Freiflächen für die Energiegewinnung. Was das Tool nicht liefern kann, ist die konkrete Verortung von Flächen. Für die Raumplanung ist es aber wichtig, präzise räumliche Informationen zu verarbeiten um zielgerichtet Maßnahmen zu ergreifen. Darum ist es notwendig, in der Zukunft Methoden zu entwickeln, die es erlauben, Potenzialflächen klar zu identifizieren. Die Weiterentwicklung des angefertigten Tools könnte die Verortung von Flächen in den Mittelpunkt stellen, indem Geodaten

verwendet werden, wo die Ausweitung oder Reduktion von Flächen für die Biomassenutzung angedacht wären. Gleiches gilt für die Identifikation von schützenswerten Flächen. Durch dieses Wechselspiel könnten gleichzeitig Potenzialflächen für nachhaltige Biomassenutzung identifiziert werden, während sensible Ökosysteme geschützt werden. (Schaldach und Priess 2008, 26) Ein Programm, das GIS-Daten integriert und aufzeigt, welche Flächen für alternative und nachhaltige Nutzungen geeignet sind, würde die Raumplanung enorm verbessern. Raumplaner:innen könnten nicht nur sehen, wie viel Fläche für die Produktion von Biomasse notwendig ist, sondern auch, wo diese Flächen liegen und welche ökologischen und ökonomischen Auswirkungen mit einem Ausbau verbunden sind. Im Rahmen der Arbeit wurde ein Fokus auf die Nutzung von Biomasse als alternative Energiequelle gelegt, da der Lungau einen massiven Waldanteil aufweist. Es besteht die Gefahr eines „blinden Flecks“, da andere erneuerbare Energien, wie Geothermie, Wasserkraft oder Windkraft kaum Beachtung finden. Wegen der Verfügbarkeit von Holz als lokale Ressource wurde der Flächenbedarf bzw. die Einflüsse anderer Energieträger auf die Biodiversität nicht konkret betrachtet. Es kann also durchaus sein, dass diese Energieträger durch einen Ausbau weniger invasiv sind und die Biodiversität weniger geschädigt wird als durch die Nutzung von Biomasse. Für die Zukunft sollte das Programm also auch die Möglichkeit besitzen, verschiedene alternative Energieträger miteinander zu vergleichen. Es ist im Programm zwar möglich, die Nutzung von Restflächen zum Anbau von Energiegras, Kurzumtriebsplantagen oder Weizen zuzuweisen. Dabei handelt es sich jedoch immer um Ackerflächen, die weiter bewirtschaftet werden. Auch die Ausweisung von Photovoltaikfreiflächen auf Grünland wurde integriert. Andere Energieträger wurden nicht betrachtet. Das Tool

sollte also in Zukunft erweitert werden, um auch die Bewertung anderer alternativer Energiequellen zu ermöglichen. Damit können Raumplaner:innen im Planungsprozess leichter fundierte Entscheidungen treffen, welche Energiequellen in der Region die besten ökologischen und ökonomischen Ergebnisse liefern. Es würde ein Beitrag zur Förderung von Energie-Mix-Strategien geleistet werden, welche die Auswirkungen auf die Biodiversität minimieren und gleichzeitig die Energieversorgung sicherstellen. Das vorgestellte Programm wäre für Raumplaner:innen äußerst nützlich, um die Flächen- und Ertragsentwicklung sowie die Biodiversitätsauswirkungen durch verschiedene Landnutzungsmaßnahmen zu prognostizieren. Ein derzeitiges Problem besteht darin, dass das Tool keine räumliche Verortung der Maßnahmen ermöglicht, was jedoch für die Planung essenziell ist. Darüber hinaus sollte in der Zukunft der Fokus auf Biomasse als Energiequelle erweitert werden, um auch andere, möglicherweise weniger invasive erneuerbare Energien wie Geothermie, Wasserkraft oder Windkraft in die Planung einzubeziehen. Diese Erweiterungen könnten dazu beitragen, dass die Raumplanung fundierte, nachhaltige Entscheidungen einfacher treffen kann, die sowohl wirtschaftliche als auch ökologische Ziele berücksichtigen.

## 7 CONCLUSIO

Der Kern dieser Arbeit befasst sich mit dem Themenkomplex der Energieerzeugung durch Biomasse und dessen Zusammenhang mit Flächeninanspruchnahme und Biodiversität. Diese Überschneidung wurde aus Sicht der HANPP betrachtet. Dieser Indikator ermöglicht es, die Einflüsse der Energieerzeugung und der Flächennutzungsänderungen zu quantifizieren. Im weiteren Sinne wird dadurch die Bewertung von Maßnahmen ermöglicht, die Aspekte der

gewählten Themenbereiche verändern. Im Kontext der Raumplanung wird dadurch ermöglicht, Auswirkungen von beispielsweise Flächennutzungsveränderungen konkret zu bestimmen. Im Rahmen der Arbeit wurde daraus ein Maßnahmenbewertungs-Tool entwickelt, welches in der Planungspraxis in der Zukunft einen Platz finden könnte, um Auswirkungen auf die Biodiversität von (Energie-)raumplanungsmaßnahmen zu bewerten. In der Zukunft könnte die Weiterentwicklung des Tools die Integration von Geodaten ermöglichen. Ein zukunftsorientiertes Programm dieser Art könnte die Planungspraxis revolutionieren, indem neben der Biomasse auch andere alternative Energiequellen wie Geothermie, Wasserkraft und Windkraft mit einbezogen werden. Dies ermöglicht es Raumplaner:innen, diverse erneuerbare Energieszenarien einer Region zu vergleichen und konkret zu verorten. Es könnten somit alternative Entwicklungsszenarien gefördert werden, die den Flächenverbrauch minimieren und die Biodiversität sogar verbessern.

Neben der Entwicklung des Werkzeugs ist ein Erkenntnis der Arbeit, dass eine Energieautarkie der gewählten Modellregion Lungau nicht möglich ist. Dies ist unter der Annahme einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft. Der Flächenbedarf von Biomasseheizwerken ist viel zu groß, um dies zu ermöglichen. Die Selbstversorgung kann durch den steigenden Ressourcenbedarf an holzartiger Biomasse nicht gewährleistet werden. Trotz des hohen Anteils an Wäldern, der auch in Zukunft weiterwachsen wird, kann der Energiebedarf nicht komplett gedeckt werden. Selbst in optimistischen Szenarien bleibt der Selbstbedarf an Biomasse über dem vorhandenen Waldbestand. Angesichts der scheinbaren Unmöglichkeit, mit Biomasse genügend Energie zu erzeugen, ohne einen Überhang an Ressourcen zu benötigen, sollte zukünftig

auf weitere alternative Energiequellen gesetzt werden, die weniger Flächenbedarf aufweisen. Der Klimawandel wird die Anbaumöglichkeiten in alpinen Regionen vermutlich positiv beeinflussen, was die Nutzung von Energiegräsern oder Mais zur Produktion von Bioethanol ermöglichen wird.

Im Lungau wird langfristig eine Reduktion der HANPP verzeichnet. Klimaschutzmaßnahmen lassen die Reduktion etwas abschwächen. Grund dafür sind vor allem hohe Flächenverluste, die in der Landwirtschaft prognostiziert werden. Umgesetzte Schutzmaßnahmen setzen vor allem auf die Nutzung von Sonderkulturen und von klimaresistenten Kulturen in der Landwirtschaft. Es wird dadurch zwar der menschliche Eingriff auf das Ökosystem erhöht, im Vergleich zu 2023 ist trotzdem eine Steigerung der Biodiversität zu erwarten, sollten keine weiteren Maßnahmen dagegen ergriffen werden.

Die Nutzung der HANPP als Indikator der Biodiversität wird bislang nicht verwendet. Bisherige Planungsansätze gehen oft nicht ausreichend auf die räumliche Verteilung von Flächennutzungsmaßnahmen, bezogen auf die Nutzungsintensität, ein. Die gezielte Verortung von Landnutzungen, deren Intensität gesteigert oder gesenkt werden sollte, um die Biodiversität zu schützen, könnte zukünftig in Betracht gezogen werden. Dabei sollte nicht auf das Energieerzeugungspotenzial im direkten Vergleich vergessen werden.

Die Energieerzeugung durch Biomasse beeinflusst die HANPP unmittelbar. Sie stellt eine wichtige erneuerbare Energiequelle dar, führt aber zur verstärkten Nutzung von Waldflächen, was wiederum steigende Auswirkungen auf die HANPP mit sich bringt. Für die Raumplanung stellt sich die Frage, wie solche Flächenkonflikte, die die

Energieerzeugung ermöglichen, jedoch auf Kosten der Biodiversität stattfindet, in Zukunft geregelt wird. Die Ressourcennutzung muss so vereint werden, dass Flächennutzungskonflikte möglichst minimiert werden und trotzdem eine nachhaltige erneuerbare Energieerzeugung stattfindet. Es gilt nicht nur Biomasse in Zukunft zu fördern, sondern auch alle weiteren erneuerbaren Energieträger mitzudenken. Auch wenn die Bevölkerung vor Ort nicht immer sofort davon überzeugt ist. Besonders in ländlichen Regionen wird dies in Zukunft äußerst wichtig. Auch auf die Biodiversität könnte ein breiterer Ansatz der Energieträgerwahl positive Effekte haben.

Weiterer Forschungsbedarf besteht bei den standortabhängigen Wachstumsbedingungen auf den Flächenverbrauch von Biomasseheizwerken. Dazu braucht es eine detaillierte Analyse der Faktoren wie Unterschiede in Bodenbeschaffenheit, Niederschlagsmengen, Temperatur und Sonneneinstrahlung, um damit die optimalen Faktoren für den Flächenertrag zu erhalten. Eine große Problematik stellt dabei die Datenbeschaffung dar. Im Rahmen der Arbeit wurde versucht, solche Erhebungen durchzuführen, was sich jedoch nach einigen Versuchen als Herkulesaufgabe entpuppte. Zudem kommt die Kleinstrukturiertheit der österreichischen Wälder. Im Rahmen der Arbeit wurde mehrmals versucht, mit lokalen Akteuren der Forstwirtschaft in Verbindung zu treten. Leider wurde kaum Interesse gezeigt, Daten zur Verfügung zu stellen oder Informationen zu liefern, die die forstwirtschaftliche Wirtschaftsstruktur widerspiegeln sollte, weshalb auf Literaturdaten zurückgegriffen werden musste und auf Verallgemeinerungen gesetzt wurde. Um in Zukunft besseres Datenmaterial erlangen zu können, werden Gesetzesänderungen notwendig sein. Die RED III (Renewable Energy Directive III) ist

hierfür ein wichtiges Instrument. Binnen 18 Monaten sind die Mitgliedsstaaten der EU verpflichtet, geeignet große Beschleunigungsgebiete auszuweisen und zu kartieren. Zudem müssen Mitgliedstaaten detaillierte Berichte über die Nachhaltigkeit der genutzten Biomasse, deren Herkunft und die erzielten Treibhausgasreduktionen vorlegen. Dadurch sollte theoretisch die genutzte Biomasse erfasst werden, was bedeutet, dass Datenmaterial in Zukunft vorhanden sein wird, um dem Forschungsbedarf nachzugehen.

Der Nationale Energie- und Klimaplan (NEKP) Österreichs stellt das wichtigste Instrument zur Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen dar. Immer noch sind Systemgrenzen bei der Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen vorhanden. Europäische und nationale Vorgaben geben den Rahmen vor, der sich auf die Dekarbonisierung, den Ausbau erneuerbarer Energien und die Steigerung der Energieeffizienz beschränkt. Die Dekarbonisierung stößt sowohl auf technologische als auch politische Grenzen. Einerseits besteht in der Industrie eine hohe Abhängigkeit von fossilen Energieträgern, als auch im Transportsektor, welche den Einsatz von neuen Technologien benötigen würden, die mit einem hohen Kosten- und Zeitaufwand verbunden sind. Andererseits unterliegt die Dekarbonisierung EU-weiten, harmonisierten Regelungen, die die Handlungsspielräume teilweise einschränken. Der Ausbau von erneuerbaren Energien ist mit raumbezogenen und ökologischen Grenzen verbunden. Photovoltaik- und Windkraftanlagen benötigen geeignete Flächen, welche zu Konflikten mit anderen Landnutzungen führen. Zudem können diese Anlagen negative Auswirkungen auf die Biodiversität haben. Die Förderung der Energieeffizienz stößt vor allem auf finanzielle Barrieren und technologische Grenzen. Energieeffizienzmaßnahmen sind

meist mit hohen Investitionssummen verbunden, welche nicht von allen Haushalten ohne externe Hilfe aufgebracht werden können. Zudem ist der Stand der Technik ausschlaggebend, inwieweit ein Gebäude beispielsweise auf den neusten Stand gebracht werden kann. Die Systemgrenzen des NEKP sind von dem her klar und zeigen komplexe Wechselwirkungen mit der Biodiversität, der Flächeninanspruchnahme und der Nutzung von Biomasse. Neben den Systemgrenzen sind aber auch Steuerungslücken zwischen den staatlichen Ebenen und der Integration der Raumplanung merkbar. Trotz bestehender Lösungsansätze, wie die „Bodenstrategie für Österreich“ und die „Flächenbörse PV“, sind immer noch zu wenig Maßnahmen für die Flächenmobilisierung festgelegt. Hierbei besteht bei der Energieraumplanung im Bezug zum Bodenverbrauch noch reichlich Klärungsbedarf. Die gesetzliche Verankerung von Energie Raumplänen in allen Bundesländern wäre hierfür ein Anfang. Dabei muss jedenfalls darauf geachtet werden, dass sowohl Potenzialflächen für die Nutzung von Biomassen und auch von allen anderen erneuerbaren Energieträgern kartiert werden, als auch die Berücksichtigung der Biodiversität seinen Einfluss finden. Dadurch ist es möglich, vom Energiebedarf einer Region direkt auf die benötigte Energieproduktion zu schließen, und die daraus resultierenden Flächenbedarfe direkt zu verorten bzw. dafür zu planen. Für eine optimale gesamtösterreichische Koordination wäre eine bundesweit einheitliche Planung wünschenswert. Es wird dringend die Abstimmung zwischen allen relevanten Verwaltungsebenen benötigt. Besonders das Ziel, Flächen einer nachhaltigen Nutzung zuzuordnen und gleichzeitig den Versiegelungsgrad zu reduzieren, reibt sich mit wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Interessen. In Zukunft bedarf es hierbei einer besseren Abstimmung zwischen der

regionalen Planung und den Klimazielen Österreichs und der EU. Dies sollte den Druck auf die landwirtschaftlichen Flächen, als auch das Grünland mindern.

Biodiversität, Flächeninanspruchnahme und die Nutzung von Biomasse stehen im Kontext der Klimakrise und den Anforderungen der Energieraumplanung in einem engen, konkurrierenden Verhältnis. Es bedingt einer nachhaltigen und klimagerechten Organisation der Flächen- und Energienutzung, um die Klimaziele Österreichs zu erreichen. Dies darf jedoch nicht auf Kosten der Biodiversität und dem Verlust von Böden geschehen. Es bedingt einen ganzheitlichen, integrierten Ansatz. Multifunktionale Flächennutzung kann dabei einen Beitrag leisten, sodass Flächen für die Energieerzeugung als auch für den Klima- und Naturschutz optimal genutzt werden können. Die Steigerung der Ressourceneffizienz ist ebenfalls zu fokussieren, um den Druck auf Land und Natur zu verringern. Zudem sollte eine ökosystembasierte Klimaanpassung erfolgen, welche den Erhalt der Biodiversität als Schlüssel zur Resilienz gegen die Klimakrise sieht. Dafür benötigt es ein integratives Planungssystem, welches Natur- und Klimaschutz mit der Energieinfrastruktur verbindet. Die Energieraumplanung sollte dementsprechend in der Zukunft kurzfristige als auch langfristige Auswirkungen auf die Biodiversität und den Flächenverbrauch berücksichtigen um somit geeignete integrierte Lösungen für die Klimakrise zu finden.

Abschließend lässt sich festhalten, dass das entwickelte Maßnahmenbewertungstool einen durchaus wertvollen Beitrag zur Quantifizierung und Bewertung von Klimawandelanpassungsmaßnahmen leistet. Die HANPP als Indikator bietet eine innovative Möglichkeit, die komplexen Auswirkungen des menschliche Handelns auf die Biodiversität zu erfassen. Besonders

die Flexibilität des Bewertungstools ist hervorzuheben, da es grundsätzlich auf jede beliebige Region angepasst werden kann. Um die Robustheit noch weiter zu stärken, müssen in Zukunft noch weitere Fallstudien bzw. Modellregionen mit unterschiedlichen Regionscharakteristika untersucht werden, sodass die Aussagekraft verbessert wird.

Für kleinere Akteure, wie Gemeinden mit limitierter Datenverfügbarkeit oder geringen fachlichen Kapazitäten stellt das Tool ein großes Potenzial dar. Die Entscheidungsfindung, vor allem im Bereich der Klimawandelanpassung, wird damit gestärkt. Mit entsprechenden Erweiterungen wäre die Verwendung des

Maßnahmenbewertungstools auch für KEM-Regionen denkbar und kann eine wichtige Unterstützung bieten. Hierfür sind zwar noch einige Anpassungen und Ergänzungen notwendig, die beispielsweise das gesamte Spektrum an erneuerbaren Energieträgern inkludieren, doch die geschaffene Grundlage ist bereits vielversprechend.

Das Bewertungstool stellt einen bedeutenden Fortschritt in der Diskussion um die Quantifizierung von Biodiversitätsveränderungen dar und bietet für regionale Planer:innen eine praxisnahe, wissenschaftlich fundierte Lösung.

*„Wie ein freigesetzter Flaschengeist erfüllt der Kohlenstoff dem Homo sapiens jeden Energiewunsch und lässt die Überflusgesellschaft entstehen. Doch gleichzeitig erhitzt der rasend aufsteigende Luftkohlenstoff den Globus über alle zuträglichen Maße und wendet sich damit gegen seine Befreier. Ergo geht unsere Zivilisation den Weg in die Selbstverbrennung – aus Gier, aus Dummheit und vor allem aus Versehen. ... Immer noch kann sich der Mensch von der fossilen Verführung lossagen und vor dem selbst errichteten Scheiterhaufen kehrtmachen. Wenn Wissen und Wollen umgehend zusammenfinden. Und wenn wir deutlich mehr Glück als Verstand haben.“*

(Schellnhuber 2015, 3)

## 8 LITERATURVERZEICHNIS

- Agrarmarkt Austria (Hg.) (2023). ÖPUL 2023. Umweltgerechte und biodiversitätsfördernde Bewirtschaftung. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft; Wir leben Land, Gemeinsame Agrarpolitik Österreich. Wien.
- Alpenkonvention (Hg.) (2017). Grünes Wirtschaften im Alpenraum. Alpenzustandsbericht. Alpenkonvention. Innsbruck. Alpensignale 6.
- Alpenkonvention (Hg.) (2021). Klima-Aktions-Plan 2.0. Alpenkonvention. Innsbruck. Online verfügbar unter [www.alpineclimate2050.org](http://www.alpineclimate2050.org).
- Barthlott, Wilhelm (1996). Global distribution of species diversity in vascular plants. Towards a world map of phytodiversity. ERDKUNDE 50 (1). <https://doi.org/10.3112/erdkunde.1996.04.03>.
- Baumann, Hubert (2007). Hackschnitzel Maßeinheit und Gewicht von Hackgut. Online verfügbar unter <https://www.hackschnitzel-preisanfrage.de/seite/hackschnitzel-masseinheit-und-gewicht/#:~:text=210%20%2D%20250%20kg%20je%20Sch%C3%BCttraummeter,250%20kg%20pro%20Sch%C3%BCttraummeter%20angenommen>. (abgerufen am 08.10.2024).
- Berchtold-Domig, M./Geitner, C./Hastik, R./Meusburger, R./Steurer, P. (2015). Musterhektar. Beschreibung der Methode und Anwendung. energieregion laiblachtal; Geographie Innsbruck. Alberschwende.
- Biomasseverband Oberösterreich (Hg.). Masse und Energieinhalt von Hackgut in Abhängigkeit vom Wassergehalt. Linz.
- Biosphärenpark Salzburger Lungau (Hrsg.). Biosphärenpark Salzburger Lungau. Themenfelder. Online verfügbar unter <https://www.biosphaerenpark.eu/>.
- BMNT/BMVIT (2018). #mission2030. Die österreichische Klima- und Energiestrategie. Wien.
- Brayard, Arnaud/Escarguel, Gilles/Bucher, Hugo/Monnet, Claude/Brühwiler, Thomas/Goudemand, Nicolas/Galfetti, Thomas/Guex, Jean (2009). Good genes and good luck: ammonoid diversity and the end-Permian mass extinction. A Meta-Analysis. Science (New York, N.Y.) 325 (5944), 1121–1124. <https://doi.org/10.1126/science.1174638>.
- Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.) (2019). Spannungsfeld Bioenergie und Naturschutz. Bundesamt für Naturschutz. Online verfügbar unter <https://www.bfn.de/spannungsfeld-bioenergie-und-naturschutz> (abgerufen am 04.10.2024).
- Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald (Hrsg.) (2021). Waldinventur. Online verfügbar unter [https://www.waldinventur.at/?x=1486825&y=6059660&z=7.75846&r=0&l=1111#/map/0/r139\\_I\\_B/%C3%96sterreich/erg9/0](https://www.waldinventur.at/?x=1486825&y=6059660&z=7.75846&r=0&l=1111#/map/0/r139_I_B/%C3%96sterreich/erg9/0) (abgerufen am 07.10.2024).
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2010). Genügend Raum für den Ausbau erneuerbarer Energien? BBSR-Berichte KOMPAKT. Bonn. BBSR-Berichte KOMPAKT 13.

- Bundesministerium für Inneres (Hrsg.) (2019). Nationalratswahlen. Online verfügbar unter [https://www.bmi.gv.at/412/Nationalratswahlen/Nationalratswahl\\_2019/start.aspx](https://www.bmi.gv.at/412/Nationalratswahlen/Nationalratswahl_2019/start.aspx) (abgerufen am 07.10.2024).
- Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (Hg.) (2022a). Biodiversitäts-Strategie Österreich 2030+. Wien.
- Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (Hg.) (2022b). Die österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie. Österreich auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zirkulären Gesellschaft. Wien. Online verfügbar unter [bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at).
- Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (Hg.) (2022c). Klimaanpassung und Biodiversität. Anpassung an den Klimawandel geht mit Naturschutz Hand in Hand. Wien.
- Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (Hg.) (2024a). Die Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel. Teil 2 – Aktionsplan Handlungsempfehlungen für die Umsetzung. Wien.
- Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (Hg.) (2024b). Integrierter nationaler Energie und Klimaplan für Österreich. Periode 2021-2030. Wien.
- Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (Hg.) (2019). Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich. Periode 2021-2030. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. Wien.
- Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus/Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung/Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hg.) (2019). Bioökonomie. Eine Strategie für Österreich. Wien.
- Calvo, Guillermo A./Frenkel, Jacob A. (1991). From Centrally Planned to Market Economy. The Road from CPE to PCPE. *IMF Staff Papers* 38 (2), 268–299.
- CBD (Hg.) (2022). Nations Adopt Four Goals, 23 Targets for 2030 In Landmark UN Biodiversity Agreement. Convention on Biological Diversity. Montreal.
- Danielzyk, Rainer/Müntner, Angelika (2018). Raumplanung. Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung, 1931–1942. Online verfügbar unter <https://www.arl-net.de/de/shop/handwoerterbuch-stadt-raumentwicklung.html>.
- Doble, Mukesh/Kruthiventi, Anil Kumar (2007). Introduction. *Green Chemistry and Engineering*. Academic Press, 1-26. <https://doi.org/10.1016/B978-012372532-5/50002-X>.
- Don, Axel/Osborne, Bruce/Hastings, Astley/Skiba, Ute/Carter, Mette S./Drewer, Julia/Flessa, Heinz/Freibauer, Annette/Hyvönen, Niina/Jones, Mike B./Lanigan, Gary J./Mander, Ülo/Monti, Andrea/Djomo, Sylvestre Njakou/Valentine, John/Walter, Katja/Zegada-Lizarrazu, Walter/Zenone, Terenzio (2012). Land-use change to bioenergy production in Europe: implications for the greenhouse gas balance and soil carbon. *GCB Bioenergy* 4 (4), 372–391. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01116.x>.

- Dumke, Hartmut (2020). Erneuerbare Energien für Regionen. Flächenbedarfe und Flächenkonkurrenzen. Vienna, TU Wien Academic Press.
- Dumke, Hartmut/Geier, Stefan (2021). Energieraumplanung: Das österreichische Instrumentarium im IST und SOLL. In: Rudolf Giffinger/Martin Berger/Kurt Weninger et al. (Hg.). Energieraumplanung - ein zentraler Faktor zum Gelingen der Energiewende. TU Wien.
- Elmqvist, T./Setälä, H./Handel, S. N./van der Ploeg, S./Aronson, J./Blignaut, J. N./Gómez-Baggethun, E./Nowak, D. J./Kronenberg, J./Groot, R. de (2015). Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 14, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.05.001>.
- Erb, Karl-Heinz/Krausmann, Fridolin/Lucht, Wolfgang/Haberl, Helmut (2009). Embodied HANPP: Mapping the spatial disconnect between global biomass production and consumption. *Ecological Economics* 69 (2), 328–334. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.06.025>.
- Erwin, T. L. (1991). An evolutionary basis for conservation strategies. *Science (New York, N.Y.)* 253 (5021), 750–752. <https://doi.org/10.1126/science.253.5021.750>.
- eurac research (2024). Bodenversiegelung. climate change monitoring South Tyrol. Online verfügbar unter <https://www.eurac.edu/de/data-in-action/klimawandel-monitoring/bodenversiegelung> (abgerufen am 05.10.2024).
- Europäische Kommission (Hg.) (1999). EUREK - Europäisches Raumentwicklungskonzept. Auf dem Wege zu einer räumlich ausgewogenen und nachhaltigen Entwicklung der Europäischen Union. Europäische Union. Luxemburg.
- Europäische Kommission (Hg.) (2015). Makroregionale EU-Strategie für den Alpenraum. Brüssel.
- Europäische Kommission (Hg.) (2021). Making sustainable use of our natural resources. Europäische Union. Luxemburg.
- Europäische Union (Hg.) (2019). Der europäische Grüne Deal. Brüssel.
- Europäische Union (Hg.) (2020). Territoriale Agenda 2030. Eine Zukunft für alle Orte. Informelles Treffen der Ministerinnen und Minister für Raumordnung, Raumentwicklung und/oder territorialen Zusammenhalt.
- Europäische Union (Hg.) (2021). „Fit für 55“: auf dem Weg zur Klimaneutralität. Umsetzung des EU- Klimaziels für 2030. Brüssel.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (Hrsg.) (2024). Bioethanol. Themenportal Biokraftstoffe. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://biokraftstoffe.fnr.de/kraftstoffe/bioethanol>.
- Fanning, Josef (2017). Biosphäre Lungau - Umsetzungskonzept. Mauterndorf.
- FHP (Hg.). Holz richtig ausgeformt - höherer Erlös. 6. Aufl. Kooperationsplattform Forst Holz Papier. St. Pölten.

- Foldal, Cecilie/Zechmeister-Boltenstern, Sophie/Jandl, Robert/Prokop, Gundula (2022). Klimawandel - Vermeidung und Anpassung. Flächeninanspruchnahme in Österreich. CCCA (39).
- Foley, Jonathan A./Defries, Ruth/Asner, Gregory P./Barford, Carol/Bonan, Gordon/Carpenter, Stephen R./Chapin, F. Stuart/Coe, Michael T./Daily, Gretchen C./Gibbs, Holly K./Helmkowsky, Joseph H./Holloway, Tracey/Howard, Erica A./Kucharik, Christopher J./Monfreda, Chad/Patz, Jonathan A./Prentice, I. Colin/Ramankutty, Navin/Snyder, Peter K. (2005). Global consequences of land use. *Science (New York, N.Y.)* 309 (5734), 570–574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>.
- Foley, Jonathan A./Ramankutty, Navin/Brauman, Kate A./Cassidy, Emily S./Gerber, James S./Johnston, Matt/Mueller, Nathaniel D./O'Connell, Christine/Ray, Deepak K./West, Paul C./Balzer, Christian/Bennett, Elena M./Carpenter, Stephen R./Hill, Jason/Monfreda, Chad/Polasky, Stephen/Rockström, Johan/Sheehan, John/Siebert, Stefan/Tilman, David/Zaks, David P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478 (7369), 337–342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>.
- Friedrich, Stefan/Schumann, Christina/Zormaier, Florian/Schulmeyer, Fabian/Dietz, Elke/Burger, Frank/Hammerl, Remigius/Borchert, Herbert/Egner, Jan-Philipp (2012). Energieholzmarkt Bayern 2010. Berichte der Bayrischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. 1000. Aufl. Freising. LWF Wissen 70.
- Haberl, Helmut (1995). Menschliche Eingriffe in den natürlichen Energiefluss von Ökosystemen. Sozio-ökonomische Aneignung von Nettoprimärproduktion in den Bezirken von Österreich. Wien, Interuniversitäres Institut für interdisziplinäre Forschung und Fortbildung (IFF) - Abteilung Soziale Ökologie.
- Haberl, Helmut/Beringer, Tim/Bhattacharya, Sribas C./Erb, Karl-Heinz/Hoogwijk, Monique (2010). The global technical potential of bio-energy in 2050 considering sustainability constraints. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2 (5-6), 394–403. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.10.007>.
- Haberl, Helmut/Erb, Karl-Heinz/Krausmann, Fridolin (2014). Human Appropriation of Net Primary Production: Patterns, Trends, and Planetary Boundaries. *Annual Review of Environment and Resources* 39 (1), 363–391. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-121912-094620>.
- Haberl, Helmut/Erb, Karl-Heinz/Krausmann, Fridolin/Gaube, Veronika/Bondeau, Alberte/Plutzer, Christoph/Gingrich, Simone/Lucht, Wolfgang/Fischer-Kowalski, Marina (2007). Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. *PNAS* (104), 12942–12947.
- Haberl, Helmut/Erb, Karl-Heinz/Krausmann, Fridolin/Running, Steve/Searchinger, Timothy D./Kolby Smith, W. (2013). Bioenergy: how much can we expect for 2050? *Environmental Research Letters* 8 (3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/031004>.
- Haberl, Helmut/Erb, Karl-Heinz/Plutzer, Christoph/Fischer-Kowalski, Marina/Krausmann, Fridolin (2007). Human Appropriation of Net Primary Production (HANPP) as an Indicator for Pressures on Biodiversity. In: SCOPE.

- Haberl, Helmut/Kastner, Thomas/Schaffartzik, Anke/Ludwiczek, Nikolaus/Erb, Karl-Heinz (2012). Global effects of national biomass production and consumption: Austria's embodied HANPP related to agricultural biomass in the year 2000. *Ecological economics : the journal of the International Society for Ecological Economics* 84 (100), 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.09.014>.
- Haberl, Helmut/Krausmann, Fridolin/Erb, Karl-Heinz/Schulz, Niels B./Adensam, Heidi (2002). *Biomasseinsatz und Landnutzung Österreich 1995-2020*. Wien, iff Social Ecology.
- Hennenberg, Klaus/Böttcher, Hannes (2023). *Biomasse und Klimaschutz. Im Rahmen des Vorhabens „Wissenschaftliche Analysen zu aktuellen klimapolitischen Fragen im Bereich der Energieeffizienz insbesondere in den Sektoren Industrie, GHD und Gebäude“*. Berlin/Darmstadt.
- Hogl, Karl/Pregernig, Michael/Weiß, Gerhard (2003). Traditionelle und „neue“ WaldeigentümlerInnen als Adressaten der Waldpolitik. *Ländlicher Raum* 5, 1–7.
- Idel, Anita (2024). Koevolution von Grasland und Weidetieren. Potenziale nachhaltiger Beweidung für Bodenfruchtbarkeit, Klimaentlastung und biologische Vielfalt. *Der kritische Agrarbericht*, 202–206.
- iDMC (Hrsg.) (2024). Internally displaced people (IDPs). iDMC. Online verfügbar unter <https://www.internal-displacement.org/database/displacement-data/> (abgerufen am 05.10.2024).
- IEA (2018). *World Energy Balances database*. International Energy Agency. OECD/IEA. [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics) (abgerufen am 15.10.2024)
- IPBES (Hg.) (2019). *Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger des globalen Assessments der biologischen Vielfalt und Ökosystemleistungen der Zwischenstaatlichen Plattform für Biodiversität und Ökosystemleistungen*. IPBES-Sekretariat. Bonn.
- IPCC (1990). *Climate Change. The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press.
- IPCC (2023). *Climate Change 2023. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In: IPCC. Genf, 35–115.
- Janisch, Peter/Gutmann, Mathias (2001). *Biodiversität. Wissenschaftliche Grundlagen und gesellschaftliche Relevanz*. Berlin/New York, Springer.
- Kaltschmitt, Martin/Hartmann, Hans/Hofbauer, H. (2009). *Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren*. 2. Aufl. Heidelberg/New York, Springer.
- Kaltschmitt, Martin/Hartmann, Hans/Hofbauer, Hermann (Hg.) (2016). *Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren*. 3. Aufl. Berlin/Heidelberg, Springer Vieweg.
- Kiesel, Andreas (2022). *Fachinformation Grünernte von Miscanthus*. Universität Hohenheim. Freising. Fachinformation - bif33 06. Online verfügbar unter [www.biogas-forum-bayern.de/bif33](http://www.biogas-forum-bayern.de/bif33).

- Körner, Christian/Paulsen, Jens (2004). A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography* 31, 713–732.
- Kowalczywska, Kararzyna (2024). Interview – Welche Rolle spielt Biomasse bei den europäischen Nachhaltigkeitszielen? Europäische Union. Online verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/de/articles/interview-welche-rolle-spielt-biomasse> (abgerufen am 05.10.2024).
- Kreutzer, Andreas (2024). INFORMATIONSPORTAL zur Flächenversiegelung in Österreich. Andreas Kreutzer Consulting e.U. Online verfügbar unter <https://www.flaechenversiegelung.at/> (abgerufen am 08.10.2024).
- Lambin, Eric F./Meyfroidt, Patrick (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108 (9), 3465–3472. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108>.
- Lamers, Patrick/Hamelinck, Carlo/Junginger, Martin/Faaij, André (2011). International bioenergy trade—A review of past developments in the liquid biofuel market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (6), 2655–2676. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.022>.
- Land Salzburg (2021a). Energieraumplanung. Energie im Räumlichen Entwicklungskonzept. Online verfügbar unter <https://www.salzburg.gv.at/themen/energie/energieraumplanung> (abgerufen am 07.10.2024).
- Land Salzburg (2021b). Masterplan Klima+Energie 2030. Bericht Oktober 2021. Salzburg.
- Land Salzburg (2023). Energie-Informationplattform des Landes Salzburg. Biomasse-Heizwerke. Online verfügbar unter <https://www.energieaktiv.at/biomasse-heizwerke/> (abgerufen am 07.10.2024).
- Land Salzburg (Hg.) (2024). Strukturdaten Lungau. Land Salzburg. Salzburg. Online verfügbar unter <https://www.salzburg.gv.at/strukturdaten-statistik-daten-bezirke> (abgerufen am 07.10.2024).
- Land schafft Leben (Hrsg.) (2024). Getreide & Mehl. Mehlherstellung. Was ist Roggen? Online verfügbar unter <https://www.landschafftleben.at/lebensmittel/mehl/herstellung/roggen#:~:text=Roggen%20ist%20die%20anspruchloseste%20Getreideart,man%20ihn%20auch%20vermehrt%20findet.> (abgerufen am 08.10.2024).
- LEADER Region Lungau (Hg.) (2023). Lokale Entwicklungsstrategie 2023 - 2027. Mauterndorf.
- Leser, Hartmut/Nagel, Peter (2001). Landscape diversity — a holistic approach. In: Wilhelm Barthlott/Matthias Winiger/Nadja Biedinger (Hg.). *Biodiversity*. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 129–143.
- Löschel, Andreas./Rübelke, Dirk./Ströbele, Wolfgang/Heuterkes, Michael (2020). *Energiewirtschaft. Einführung in Theorie und Politik*. 4. Aufl. Berlin/Boston, De Gruyter Oldenbourg.

- myclimate Österreich (Hrsg.) (2023). Was ist der Treibhauseffekt? Online verfügbar unter <https://www.myclimate.org/de-at/informieren/faq/faq-detail/was-ist-der-treibhauseffekt/> (abgerufen am 05.10.2024).
- Odum, Eugene (1983). Grundlagen der Ökologie. 2. Aufl. Thieme.
- Ohr, Renate (1999). Internationale Wettbewerbsfähigkeit einer Volkswirtschaft. Zur Aussagefähigkeit ausgewählter Indikatoren. In: Duncker & Humblot GmbH (Hg.). Globalisierung der Wirtschaft: Ursachen - Formen - Konsequenzen. Stuttgart-Hohenheim, 51–67.
- ÖROK (2021). Österreichisches Raumentwicklungskonzept ÖREK 2030. Raum für Wandel: Beschluss der Österreichischen Raumordnungskonferenz (ÖROK). Wien, Österreichische Raumordnungskonferenz.
- ÖROK (2022). ÖROK-Atlas. Online verfügbar unter <https://www.oerok.gv.at/raum/daten-und-grundlagen/karten> (abgerufen am 05.10.2024).
- Österreichische Waldinventur. Waldinventur. Nutzung | Nutzung/ha pro Jahr (Vfm/ha). Online verfügbar unter [https://www.waldinventur.at/?x=1486825&y=6059660&z=7.75846&r=0&l=1111#/map/0/r139\\_I\\_B/Bezirksforstinspektion/erg9/504](https://www.waldinventur.at/?x=1486825&y=6059660&z=7.75846&r=0&l=1111#/map/0/r139_I_B/Bezirksforstinspektion/erg9/504).
- Österreichischer Biomasse-Verband (Hg.) (2023a). Basisdaten Bioenergie 2023. 10. Aufl. AUSTRIAN ENERGY AGENCY. Wien. Klimaaktiv.
- Österreichischer Biomasse-Verband (Hg.) (2023b). Bioenergie Atlas Österreich 2023. 3. Aufl. Österreichischer Biomasse-Verband. Wien. Klimaaktiv.
- Petersen, Thieß/Wortmann, Marcus (2022). Autarkie und Offenheit — Überlegungen zur optimalen Balance einer offenen Volkswirtschaft. Wirtschaftsdienst 102 (9), 709–715. <https://doi.org/10.1007/s10273-022-3271-8>.
- Peyker, Herfried (2020). Räumliches Entwicklungskonzept 2.0 - St. Michael im Lungau. Erläuterungen | Umweltbericht. Marktgemeinde Tamsweg. St. Michael.
- Photovoltaic Austria (Hg.) (2022). Natur- und raumverträglich eingefügt: PHOTOVOLTAIK IN DER LANDSCHAFT. Planungsleitlinie für PV-Freiflächenanlagen mit Weitsicht für Umwelt und Raum. PV Austria; ÖIR. Wien.
- Pugh, Thomas A. M./Arneth, Almut/Kautz, Markus/Poulter, Benjamin/Smith, Benjamin (2019). Important role of forest disturbances in the global biomass turnover and carbon sinks. Nature geoscience 12 (9), 730–735. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0427-2>.
- Quaschnig, Volker (2018). Erneuerbare Energien und Klimaschutz. Hintergründe - Techniken und Planung - Ökonomie und Ökologie - Energiewende. 4. Aufl. München, Hanser.
- Randall, Alan (2021). Resource Scarcity and Sustainability—The Shapes Have Shifted but the Stakes Keep Rising. Sustainability 13 (5751). <https://doi.org/10.3390/su13105751>.
- Regionalverband Lungau (Hg.) (2014). Regionalprogramm Lungau.
- Risen Energy CO (Hg.). 210 THIN WAFERS HJT BIFACIAL MODULE. RSM132-8-675-700BHDG. Ninghai. Online verfügbar unter [www.risenenergy.com](http://www.risenenergy.com) (abgerufen am 08.10.2024).

- Salzburger Nachrichten (Hrsg.) (2021). Nun hat auch der Lungau seine erste Bürgermeisterin. Online verfügbar unter <https://www.sn.at/salzburg/politik/nun-hat-auch-der-lungau-seine-erste-buergermeisterin-106125955> (abgerufen am 07.10.2024).
- Schaldach, Rüdiger/Priess, Jörg A. (2008). Integrated Models of the Land System. A Review of Modelling Approaches on the Regional to Global. *Living Reviews in Landscape Research* 2 (1).
- Schellnhuber, Hans-Joachim (2015). Selbstverbrennung. Die fatale Dreiecksbeziehung zwischen Klima, Mensch und Kohlenstoff. München, C. Bertelsmann.
- Schirpke, Uta/Tasser, Erich/Borsky, Stefan/Braun, Martin/Eitzinger, Josef/Gaube, Veronika/Getzner, Michael/Glatzel, Stephan/Gschwantner, Thomas/Kirchner, Mathias/Leitinger, Georg/Mehdi-Schulz, Bano/Mitter, Hermine/Scheifinger, Helfried/Thaler, Sabina/Thom, Dominik/Thaler, Thomas (2023). Past and future impacts of land-use changes on ecosystem services in Austria. *Journal of environmental management* 345. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118728>.
- Schwarz, Kelly (2024). Kohäsionsfonds. Kurzdarstellungen über die Europäische Union - 2024. Europäische Union.
- Searchinger, Timothy D./Wirsenius, Stefan/Beringer, Tim/Dumas, Patrice (2018). Assessing the efficiency of changes in land use for mitigating climate change. *Nature* 564 (7735), 249–253. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0757-z>.
- Smith, Pete/Bustamante, Mercedes/Ahammad, Helal/Clark, Harry/Dong, Hongmin/Elsiddig, Elnour A./Haberl, Helmut/Harper, Richard/House, Joanna/Jafari, Mostafa. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 811–922.
- Solbrig, O. T. (1993). Plant Traits and Adaptive Strategies: Their Role in Ecosystem Function. In: Ernst-Detlef Schulze/Harold A. Mooney (Hg.). *Biodiversity and Ecosystem Function*. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 97–116.
- Stanzer, G./Novak, S./Dumke, H./Plha, S./Schaffer, H./Breinesberger, J./Kirtz, M./Biermayer P/Spanring, C. (2010). REGIO Energy. Regionale Szenarien erneuerbarer Energiepotenziale in den Jahren 2012/2020. TU Wien; mecca environmental consulting; AGRAR Plus. Wien/St. Pölten.
- Statistik Austria (Hrsg.) (2024). Kfz-Statistik. Kfz-Bestand. Statistik Austria. Online verfügbar unter <https://www.statistik.at/statistiken/tourismus-und-verkehr/fahrzeuge/kfz-bestand> (abgerufen am 05.10.2024).
- Stöglehner, Gernot/Emrich, Hans/Koch, Helmut/Narodaslawsky, Michael (2017). Impulse für eine kommunale Energieraumplanung. Wien.
- Stöglehner, Gernot/Erker, Susanna/Neugebauer, Georg (Hg.) (2014). Energieraumplanung. Ergebnisse der ÖREK-Partnerschaft. Wien, Geschäftsstelle der Österr. Raumordnungskonferenz (ÖROK).

- Strateco (Hrsg.). Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit. Online verfügbar unter <https://www.strat.eco/grafik-spi>.
- Strimitzer, Lorenz (2021). Wood Flows in Austria. AUSTRIAN ENERGY AGENCY. Wien.
- Thrän, Daniela/Diana, Pfeiffer (2021). Methodenhandbuch. Begleitvorhaben Förderbereich "Energetische Biomassenutzung" (DBFZ).
- Thrän, Daniela/Seidenberger, Thilo/Zeddies, Jürgen/Offermann, Ruth (2010). Global biomass potentials — Resources, drivers and scenario results. *Energy for Sustainable Development* 14 (3), 200–205. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2010.07.004>.
- Tscharntke, Teja/Tylianakis, Jason M./Rand, Tatyana A./Didham, Raphael K./Fahrig, Lenore/Batáry, Péter/Bengtsson, Janne/Clough, Yann/Crist, Thomas O./Dormann, Carsten F./Ewers, Robert M./Fründ, Jochen/Holt, Robert D./Holzschuh, Andrea/Klein, Alexandra M./Kleijn, David/Kremen, Claire/Landis, Doug A./Laurance, William/Lindenmayer, David/Scherber, Christoph/Sodhi, Navjot/Steffan-Dewenter, Ingolf/Thies, Carsten/van der Putten, Wim H./Westphal, Catrin (2012). Landscape moderation of biodiversity patterns and processes - eight hypotheses. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society* 87 (3), 661–685. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00216.x>.
- Turner II, B. L./Lambin, Eric F./Reenberg, Anette (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* 104 (52), 20666–20671.
- Umweltbundesamt (2022). Treibhausgase. Klima. Umweltthemen. Wien. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.at/klima/treibhausgase> (abgerufen am 15.10.2024)
- UN (1998). Kyoto Protocol to the United Nations Framework. Convention on Climate Change. Kyoto.
- van Vliet, Jasper/Groot, Henri L.F. de/Rietveld, Piet/Verburg, Peter H. (2015). Manifestations and underlying drivers of agricultural land use change in Europe. *Landscape and Urban Planning* 133, 24–36. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.09.001>.
- Wagner, Monika/Steininger, Anna-Clara/Penn, Michaela (2024). Individuelle Ertragsabschätzungen für PV-Anlagen – Was Sie wissen sollten! Ein Vergleich von Technologien und Instrumenten für die PV-Ertragsabschätzung. klimaaktiv; Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. Wien.
- Wagner-Lichtenberg, Maria (2024). Klimawandel im Gemüsegarten: Anpassungsstrategien. Herausforderungen und Lösungen. Online verfügbar unter <https://samen.de/blog/klimawandel-im-gemuesegarten-anpassungsstrategien.html?srsId=AfmBOoqlcr2Rg4YaF-71hHmx99Thd6SCvl3tjd6Z3hIFcwiuszDNK9e4> (abgerufen am 08.10.2024).
- WinFuture (Hrsg.) (2022). Mobilität: Die explosionsartige Vermehrung der Autos. Online verfügbar unter <https://winfuture.de/infografik/25889/Mobilitaet-Die-explosionsartige-Vermehrung-der-Autos-1669972073.html> (abgerufen am 05.10.2024).
- Wuyts, Nathalie/Baux, Alice/Bragazza, Luca/Calanca, Pierluigi/Chalhoub, Boulos/Dupuis, Brice/Herrera, Juan M./Hiltbrunner, Jürg/Levy Häner, Lilia/Pellet, Didier/Toschini,

Thomas/Carlen, Christoph (2023). Klimaresilienter Ackerbau 2035. Agroscope Science (177). <https://doi.org/10.34776/AS177G>.

Youssef, Daniel/Dumke, Hartmut/Getzner, Michael/Kienberger, Thomas/Schmidt, Johannes/Windsperger, Bernhard (2024). Energie, Industrie und Infrastruktur. In: Nationaler Energie- und Klimaplan (NEKP) für Österreich - Wissenschaftliche Bewertung der in der Konsultation 2023 vorgeschlagenen Maßnahmen, [Steininger, K.W., Riahi, K., Stagl, S., Kromp-Kolb, H., Kirchengast, G., Leschka N., Williges K., Scheifinger K., Henner D. N., Reisinger M., Wolf A.], Climate Change Centre Austria (CCCA), Wien, 2024

Zeininger, Johannes (2022). Smart Block Geblergasse. OpenHouse Wien. Online verfügbar unter <https://openhouse-wien.at/plan/2024-smart-block-geblergasse> (abgerufen am 15.10.2024)

Zwickl, Johannes (2023). Nebenprodukte, Biomasse. Rinde. Online verfügbar unter <https://1aholz.at/de/nebenprodukte> (abgerufen am 08.10.2024).

## 9 ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Ablauf der Erhebungs- und Berechnungsschritte (eigene Darstellung).....	4
Abbildung 2:	Natürliche und anthropogene Energieumsätze auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre (Löschel et al. 2020, 3) .....	6
Abbildung 3:	Energiewandlungskette (Kaltschmitt et al. 2009, 8) .....	8
Abbildung 4:	Darstellung der verschiedenen Ebenen des Nutzungspfades und der entsprechenden Potenzialbegriffe. (Thrän und Diana 2021, 48).....	10
Abbildung 5:	Schematische Darstellung der verschiedenen Potenzialarten und ihrer Beziehung untereinander (Thrän und Diana 2021, 49) .....	10
Abbildung 6:	Temperatur- und Meeresspiegeländerung seit 20.000 BC bis 2016 (Quaschnig 2018, 44) .....	15
Abbildung 7:	Schematische Darstellung der Zusammenhänge zwischen Waldentwicklung und Holznutzung (Hennenberg und Böttcher 2023, 24).....	19
Abbildung 8:	Entwicklung des Bruttoinlandsverbrauchs und des energetischen Endverbrauchs in TJ von 1970 bis 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung).....	21
Abbildung 9:	Entwicklung des energetischen Endverbrauchs nach Sektoren in TJ von 1970 bis 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung).....	21
Abbildung 10:	energetischer Endverbrauch im Jahr 2022 nach Sektoren (Statistik Austria, eigene Darstellung) .....	22
Abbildung 11:	Entwicklung des Bruttoinlandsverbrauchs nach Energieträger in TJ von 1970 bis 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung).....	22
Abbildung 12:	Entwicklung des energetischen Endverbrauchs nach Energieträgern in TJ von 1970 bis 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung) .....	22
Abbildung 13:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs durch Raumwärme in GJ von 2011 bis 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung) .....	23
Abbildung 14:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs durch Warmwasser in GJ von 2011 bis 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung) .....	24
Abbildung 15:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs durch Kochen in GJ von 2011 bis 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung).....	24
Abbildung 16:	Entwicklung der Energieinlandsproduktion in TJ von 1970 bis 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung).....	25
Abbildung 17:	Energieinlandsproduktion in TJ im Jahr 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung).....	25
Abbildung 18:	Entwicklung der Energieimporte in TJ zwischen 1970 und 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung).....	26

Abbildung 19: Entwicklung der Energieexporte in TJ zwischen 1970 und 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung) .....	26
Abbildung 20: Anteile des Bruttoinlandsverbrauch von Energie nach Energieträgern im Jahr 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung) .....	27
Abbildung 21: Anteile des Bruttoinlandsverbrauchs von erneuerbaren Energien nach Energieträgern im Jahr 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung).....	27
Abbildung 22: Anteil des Bruttoinlandsverbrauchs von Bioenergie im Jahr 2022 (Statistik Austria, eigene Darstellung) .....	28
Abbildung 23: Treibhausgasemissionen bis 2021 (Statistik Austria, Umweltbundesamt, eigene Darstellung) .....	29
Abbildung 24: Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Jahr 1990 bis 2030 (Statistik Austria, Umweltbundesamt, eigene Darstellung) .....	29
Abbildung 25: CO <sub>2</sub> -Äquivalente in Tonnen bis 2030 (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	29
Abbildung 26: Treibhausgase je Wirtschaftssektor (Statistik Austria, eigene Darstellung) .....	30
Abbildung 27: Eingabemaske des Tools (eigene Darstellung).....	65
Abbildung 28: Grad der Zielerreichung durch ausgewählte Maßnahmen im Tool (eigene Darstellung) .....	65
Abbildung 29: Verortung vom Lungau, Salzburg (eigene Darstellung) .....	67
Abbildung 30: Wohnbevölkerung im Lungau, Stand 2019 (eigene Darstellung) .....	69
Abbildung 31: Arbeitnehmer:innen in Unternehmen mit verschiedenen Größenklassen (Statistik Austria, eigene Darstellung) .....	71
Abbildung 32: ÖNACE Klassen – Arbeitnehmer:innen am Arbeitsort Lungau (Statistik Austria, eigene Darstellung) .....	71
Abbildung 33: ÖNACE Klassen – Arbeitnehmer:innen am Wohnort Lungau (Statistik Austria, eigene Darstellung) .....	71
Abbildung 34: Pendler:innenbewegungen von 2011 bis 2021 im Lungau (Statistik Austria, eigene Darstellung) .....	72
Abbildung 35: Arbeitswege von Arbeitnehmer:innen im Lungau in km (Statistik Austria, eigene Darstellung) .....	72
Abbildung 36: Biosphärenpark - Zonierung Lungau (Biosphärenpark Salzburger Lungau) .....	74
Abbildung 37: Flächenverbrauch im Lungau, Stand 2023 (Kreutzer 2024, eigene Darstellung) .....	75
Abbildung 38: Endenergieverbrauch der Lungauer Gemeinden in MWh/Jahr (Energiesmosaik, eigene Darstellung) .....	76

Abbildung 39: Endenergieverbrauch der Lungauer Gemeinden in MWh/Jahr/Person (eigene Berechnung, eigene Darstellung).....	77
Abbildung 40: Anteil der erneuerbaren Energien am Endverbrauch (Energiesmosaik, eigene Darstellung).....	77
Abbildung 41: Endenergieverbrauch der Lungauer Gemeinden je Sektor (Energiesmosaik, eigene Darstellung).....	78
Abbildung 42: Energieerzeugung im Lungau 2015 in MWh (Fanninger 2017, eigene Darstellung).....	80
Abbildung 43: Energieerzeugung im Lungau, Potenzial im Jahr 2015 in MWh (Fanninger 2017, eigene Darstellung).....	80
Abbildung 44: Zuwachs der Energieerzeugung durch Umsetzung des Potenzials im Lungau; *keine Potenzialanalyse bis hierhin möglich (Fanninger 2017, eigene Darstellung).....	80
Abbildung 45: Tree Map - erneuerbare Energieproduktion in Österreich m <sup>2</sup> /kWh/a (Dumke 2020, 165).....	83
Abbildung 46: Herkunft von Rohstoffen von ausgewählten Biomasseheizwerken (eigene Berechnung, eigene Darstellung).....	88
Abbildung 47: Rohstoffeinsatz nach Lieferanten (eigene Berechnung und Darstellung).....	89
Abbildung 48: Rohstoffeinsatz nach Herkunft (eigene Berechnung und Darstellung).....	89
Abbildung 49: Flächenbedarf Lieferanten in ha/srm (eigene Berechnung, eigene Darstellung).....	91
Abbildung 50: Flächenbedarf Biomasseheizwerk Tamsweg in ha (eigene Berechnung, eigene Darstellung).....	92
Abbildung 51: Definition der menschlichen Aneignung von Nettoprimärproduktion (HANPP) (Haberl et al. 2002, 76).....	95
Abbildung 52: Höhenstufen des Lungaus (eigene Darstellung).....	96
Abbildung 53: Höhenstufen der Waldflächen im Lungau (eigene Darstellung).....	100
Abbildung 54: Höhenstufen der Nutzwaldflächen im Lungau (eigene Darstellung).....	101
Abbildung 56: Auszug aus der HANPP-Berechnung durch die Umsetzung von gewählten Maßnahmen im Maßnahmenbewertungstool (eigene Darstellung).....	105
Abbildung 57: Entwicklung der Versiegelung bis 2050 bei der Umsetzung moderater Maßnahmen in ha (eigene Berechnung, eigene Darstellung).....	107
Abbildung 58: Entwicklung der HANPP von 2023 bis 2050 nach Landnutzungstypen, Unterteilung zwischen HANPP <sub>harv</sub> und HANPP <sub>luc</sub> (eigene Berechnung, eigene Darstellung).....	117

Abbildung 59: Entwicklung der HANPP <sub>harv</sub> von 2023 bis 2050 nach Landnutzungstypen, Unterteilung zwischen Szenarien (eigene Berechnung, eigene Darstellung)..	119
Abbildung 60: Entwicklung der HANPP <sub>luc</sub> von 2023 bis 2050 nach Landnutzungstypen, ..... Unterteilung zwischen Szenarien (eigene Berechnung, eigene Darstellung)..	119
Abbildung 61: Entwicklung der HANPP <sub>2050</sub> durch Ertragsfortschreibung nach Landnutzungstypen, Unterteilung zwischen HANPP <sub>harv</sub> und HANPP <sub>luc</sub> (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	122
Abbildung 62: Entwicklung der HANPP <sub>harv</sub> , Unterteilung zwischen HANPP <sub>harv</sub> im Jahr 2050 von verschiedenen Szenarien (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	123
Abbildung 63: Entwicklung der HANPP <sub>luc</sub> , Unterteilung zwischen HANPP <sub>luc</sub> im Jahr 2050 von verschiedenen Szenarien (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	123
Abbildung 64: Einfluss von Ertragsänderungen der Landwirtschaft auf die HANPP (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	124
Abbildung 65: Änderung der Energieproduktion bis 2050 in % (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	127
Abbildung 66: Flächenbedarf der Biomasseheizwerke inklusive Vorproduktion in ha (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	127
Abbildung 67: Flächenbedarf mit und ohne Ertragsfortschreibung in ha, nach Jahr und Szenario (eigene Darstellung, eigene Berechnung).....	128
Abbildung 68: Flächenbedarf je Landnutzungstyp (eigene Berechnung, eigene Darstellung)	130
Abbildung 69: Flächenbedarf je Landnutzungstyp mit Integration von Biodiversitätsflächen (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	130
Abbildung 70: Einfluss von Biodiversitätsflächen auf die Gesamt-HANPP (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	131
Abbildung 71: Flächenbedarf je Landnutzungstyp mit Integration von KUPs (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	132
Abbildung 72: Einfluss von KUPs auf die Gesamt-HANPP (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	132
Abbildung 73: Flächenbedarf je Landnutzungstyp mit Integration mit diversen Energieträgern (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	133
Abbildung 74: HANPP der gesamten Restflächen im Vergleich (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	134
Abbildung 75: Flächenbedarf von Biomasseheizwerken nach der Restflächenzuordnung (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	135
Abbildung 76: Flächenbedarf von Biomasseheizwerken im Verhältnis zum Bestandswald (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	135

Abbildung 77:	Auszug aus dem Bewertungstool: Eingabeformular 1 (eigene Darstellung)....	178
Abbildung 78:	Auszug aus dem Bewertungstool: Eingabeformular 2 (eigene Darstellung)....	178
Abbildung 79:	Auszug aus dem Bewertungstool: Flächenentwicklung und HANPP (eigene Darstellung).....	179
Abbildung 80:	Auszug aus dem Bewertungstool: Zusammenfassung der Auswirkungen auf die Region (eigene Darstellung).....	179
Abbildung 81:	Auszug aus dem Bewertungstool: Erfüllung der Ziele ausgewählter Strategien 1 (eigene Darstellung).....	179
Abbildung 82:	Auszug aus dem Bewertungstool: Erfüllung der Ziele ausgewählter Strategie 2 (eigene Darstellung).....	180
Abbildung 83:	Auszug aus dem Bewertungstool: Flächen Vorher und Nachher (eigene Darstellung).....	180
Abbildung 84:	Auszug aus dem Bewertungstool: HANPP Vorher und Nachher (eigene Darstellung).....	181
Abbildung 85:	Auszug aus dem Bewertungstool: Flächenbedarf der Biomasseheizwerke (eigene Darstellung).....	181
Tabelle 1:	Operationalisierung der Strategien, Pläne und Konzepte für die Szenarienanalyse und Toolerstellung (eigene Darstellung) .....	60
Tabelle 2:	Energieverbrauch im Lungau nach Energieträgern und Verwendung (Salzburg Netz GmbH, Land Salzburg, eigene Darstellung).....	79
Tabelle 3:	Energieproduktion Biomasseheizwerke 2023 (eigene Berechnung, eigene Darstellung).....	86
Tabelle 4:	Rohstoffeinsatz von Biomasseheizwerken je Monat (eigene Berechnung, eigene Darstellung).....	87
Tabelle 5:	Herkunft der energetisch verwerteten Biomassen (Daten aus Befragungen, eigene Darstellung).....	87
Tabelle 6:	Ernteerträge in Vfm/ha je Eigentumsart (Österreichische Waldinventur, eigene Berechnung, eigene Darstellung).....	91
Tabelle 7:	Energieproduktion und Flächenbedarf aller Biomasseheizwerke im Lungau in ha im Jahr 2023 (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	93
Tabelle 8:	Produktivität der hypothetischen natürlichen Vegetation nach Höhenstufen (Haberl 1995, 56) .....	96
Tabelle 9:	Flächen je Höhenstufen in ha in den Lungauer Gemeinden (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	97

Tabelle 10: Primärproduktion je Höhenstufe in TJ in den Lungauer Gemeinden (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	97
Tabelle 11: Flächennutzungstypen im Lungau (eigene Darstellung) .....	98
Tabelle 12: Produktivität auf Weiden, Almen und Brachen (Haberl 1995, eigene Darstellung).....	99
Tabelle 13: Flächenveränderung der Landnutzungstypen bis 2050 (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	105
Tabelle 14: Biomasse Heizwerte verschiedener Sekundärprodukte (Kaltschmitt et al. 2016, eigene Darstellung).....	113
Tabelle 15: Energie- und Mengenpotenzial der Restflächen (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	115
Tabelle 16: Flächenveränderungen durch die Szenarien in % (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	120
Tabelle 17: Differenz der HANPP durch die Szenarienanalyse in % (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	120
Tabelle 18: Entwicklung der Produktivität durch Ertragsfortschreibung nach Landnutzungstyp in MJ/m <sup>2</sup> (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	122
Tabelle 19: Auswirkungen von Ertragsänderungen auf die HANPP (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	125
Tabelle 20: Flächenbedarf je Biomasseheizwerk 2023 (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	126
Tabelle 21: Flächenbedarf von Biomasseheizwerken inklusive und exklusive Vorproduktion - Indikator (eigene Berechnung, eigene Darstellung) .....	128
Tabelle 22: Energiepotenzial der Restflächen nach Energienutzungstyp (eigene Berechnung, eigene Darstellung).....	133
Tabelle 23: Integration von Aussagen ausgewählter Strategien, Pläne und Konzepte in die Szenarienanalyse und das Maßnahmenbewertungstool (eigene Darstellung)....	166

## 10 ANHANG

### 10.1 BEWERTUNG DER EIGNUNG AUSGEWÄHLTER INSTRUMENTE

Tabelle 23: Integration von Aussagen ausgewählter Strategien, Pläne und Konzepte in die Szenarienanalyse und das Maßnahmenbewertungstool (eigene Darstellung)

Strategie	Aussagen/Ziele/Maßnahmen zum Thema...		Geeignet für die Integration in Szenarios
KEM	Flächenverbrauch	Maßnahmen für eine nachhaltige Landwirtschaft unterstützen	ja
		Änderung der Intensität, Änderung des Flächenbedarfs	ja
	Biodiversität	Maßnahmen und Bewusstseinsbildung zur Erhaltung und Stärkung der Artenvielfalt und Wildruhezonen	ja
		Schaffung und Forcierung von neuen Biodiversitätsflächen, (Obst-) Bäume (unter Berücksichtigung von alten Sorten), Hecken und Sträucher zum Schutz des Braunkehlchens	ja
	Klima	Maßnahmen setzen: Region muss Gefahren und Risiken, aber auch Chancen und Möglichkeiten frühzeitig erkennen und regional bearbeiten	nein
		Schaffung und Stärkung von grünen Dienstleistungen und Produkten	ja
		Studien & Forschungsprojekte	ja*
	Energie	Maßnahmen setzen und die Gemeinden zur Teilnahme an themenspezifischen Gemeinde- und Regionalprogrammen sensibilisieren und unterstützen Maßnahmen und Bewusstseinsbildung zu alternativen Energiequellen außerhalb der aktuellen Förderlandschaft unterstützen	ja
		Machbarkeitsstudien im Bereich Energie	ja*
	Masterplan Klima + Energie	Klima	Ziel 2030: minus 50% Treibhausgase Ziel 2040: minus 75% Treibhausgase Ziel 2050: klimaneutral
Energie		Ziel 2030: 65% Anteil erneuerbare Ziel 2040: 80% Anteil erneuerbare	ja

<b>Aktionsplan Klimawandel - Alpenkonvention</b>		Ziel 2050: energieautonom, nachhaltig	
		Mobilität: Reduktion fossiler motorisierter Individualverkehr; alternative Antriebe	nein
		Gebäude: Phase-Out Ölkessel	nein
		Energie: Fernwärmestrategie Salzburg; Ausbau erneuerbarer Strominfrastruktur Fernwärmestrategie Salzburg: +150 MW, Anteil Wärmeerzeugung >50%; Erdgas Reduktion um 200 GWh	ja
		Weiterentwicklung von Tools zur Energie-raumplanung	ja*
		Energie: Erstellung eines Überblicks über den Klimawandeleinfluss auf bzw. durch die Landnutzung als Ausgangspunkt für ein alpenweites Konzept, das Schwerpunktthemen für weitere Aktionen und zentrale Herausforderungen betont	ja*
		Energie: Entwicklung eines Ansatzes für Flächennutzung als wesentlichen Antrieb für Klimaschutzmaßnahmen, aufbauend auf harmonisierte Daten in Bezug auf die Flächennutzung sowie auf einen Überblick über Flächenschutzziele in den Alpenländern und einen Good-Practice-Austausch für Wachstums- und Rückbaustrategien	ja
		Energie Umsetzung: Gemeinsame Datenbasis zu Klimawandeleinflüssen auf bzw. durch Flächennutzung, mit dem Schwerpunkt auf grenzüberschreitenden Einflüssen	ja*
		Energie Umsetzung: Leitlinien für Gemeinden für nachhaltige (d.h. "klimasichere") Flächennutzung und Anpassung basierend auf bestehenden Zugängen und Tools	ja*
		Boden: Schaffung eines Rahmens für ein Anreizsystem und Best-Practice-Beispiele, um Bestrebungen zur Vermeidung von Bodenverbrauch und zur verstärkten Sanierung von Industriebrachen zu fördern	ja
Boden Umsetzung: Empfehlungen für die Prävention, den Schutz und Kompensationsmaßnahmen; Leitlinien für Bodenverbrauchspläne auf Gemeindeebene und Kommunikation, einschließlich strategischer Aktionen bei der Raumplanung und auch kleinräumiger Maßnahmen zur Reduktion der Bodenversiegelung	ja		

	Biodiversität	Bergwälder: State-of-the-Art-Ansätze im gesamten Alpenraum damit die Ökosystemleistungen der Bergwälder voll genutzt werden können	ja
		Bergwälder: Stärkung der regionalen Wertschöpfungsketten für Holz im Kontext der Kreislaufwirtschaft und Bioökonomie	ja
		Bergwälder Umsetzung: Waldentwicklungsszenarien unter dem Klimawandel in den Alpen; Leitlinien für die Konversion von Bergwäldern auf der Basis der Erkenntnisse der Studie zu Waldszenarien; Umsetzung von regionalen Wertschöpfungsketten für Holz in den Alpenregionen	ja
		Ökosystem: Entwicklung von Empfehlungen zur Planung, zum Schutz, zum Wiederaufbau und zum Management von sensiblen und alpenspezifischen Landschaften unter Anwendung von ökosystembasierten Ansätzen	ja
		Ökosystem Umsetzung: Bestandsaufnahme von Landschaften, Ökosystemen und Naturschutzgebieten im Alpenraum sowie der von ihnen erbrachten Ökosystemleistungen	nein
	Klima	Energie: Schwerpunktsetzung auf den Wandel des Lebensstils: Toolbox für Haushalte und KMUs im Alpenraum, um deren Einfluss auf das Klima festzustellen und Optionen für individuelle Aktionen zu identifizieren	nein
	Energie	Energie: "Umsetzungslücke" schließen und die Bedürfnisse unterschiedlicher Gemeinden vereinen	ja*
Biodiversitätsstrategie	Flächenverbrauch	Ziele: Reduktion von Flächeninanspruchnahme und Fragmentierung; Tägliche Flächeninanspruchnahme ist auf 2,5 ha reduziert	ja
		Siedlungsgebiete: Schaffung von leicht zugänglichen Informationsmöglichkeiten für Gemeindevertreter:innen; Setzen von Anreizen zur Entsiegelung von befestigten Oberflächen, welche keine dichte Decke erfordern; Renaturierung und Schaffung weiterer naturnaher Grün- und Wasserflächen in dicht verbauten Gebieten	ja
		Landwirtschaft: Steigerung der Wirkung von Biodiversitätsflächen im Ackerland durch Erhöhung ihres Flächenanteils	ja

		Flächeninanspruchnahme: Einsatz bestehender und neuer Instrumente; Umsetzung der Bodenstrategie für Österreich zur Reduktion der weiteren Flächeninanspruchnahme und Bodenversiegelung unter Berücksichtigung von Biodiversität und Ökosystemleistungen des Bodens; Aufbau regionaler Flächenpools für Ausgleichsmaßnahmen, Monitoring und Evaluierung der Ausgleichsmaßnahmen; Erhalt von auf öffentlichen Flächen vorkommenden biodiversitätsreichen Elementen, wie Streuobstflächen; Jede Flächeninanspruchnahme durch Entsigelung von entsprechenden Flächen kompensieren, um längerfristig in Summe eine tägliche Flächeninanspruchnahme von 0 ha zu erreichen	ja
		Industrie: Rückbau von nicht mehr genutzten, versiegelten Flächen (z. B. Leerstand, stillgelegte Betriebsanlagen) sowie Bodenrekultivierung; Wiederverwendung bestehender Infrastruktur; Entsigelung von befestigten Flächen (z. B. Parkplätze) in Absprache mit den Betrieben	ja
	Biodiversität	Ziele: Schutz und Vernetzung aller ökologisch wertvollen Lebensräume; Wiederherstellung für Biodiversität besonders wichtiger Ökosysteme; Einleitung von transformativem Wandel in der Gesellschaft und Integration der Biodiversität ist in alle Sektoren	ja
		Landwirtschaft: Förderung einer standortangepassten biodiversitätsfördernden Weidewirtschaft	ja
		Wälder: Verstärkte Förderung der Dauerwaldbewirtschaftung und von bodenschonenden Ernte- und Bringungsmethoden	ja
		Almen: Vermeidung von Nutzungsaufgabe und Überweidung	ja
		Flächeninanspruchnahme: Umsetzung der Bodenstrategie für Österreich zur Reduktion der weiteren Flächeninanspruchnahme und Bodenversiegelung unter Berücksichtigung von Biodiversität und Ökosystemleistungen des Bodens	ja
	Klima	Ziele: Wiederherstellung für Klimaschutz besonders wichtiger Ökosysteme	ja
Landwirtschaft: Förderung von Kultursorten, die an die veränderten klimatischen		ja	

		Bedingungen besser angepasst sind, um so eine Reduktion von Wasserverbrauch (Bewässerungsbedarf) und Dünger- und Pestizideinsatz zu erreichen	
		Almen: Stopp der großtechnischen Erschließung alpiner und nivaler Ökosysteme mit möglichen Ausnahmeregelungen für den Ausbau erneuerbarer Energie im Sinne der Klimaziele	ja
		Klimaschutz: Berücksichtigung der Folgen des Klimawandels in Naturschutzinstrumenten; Entwicklung von Informationsmaterialien von Synergien bei Maßnahmen des Klimaschutzes und der Klimawandelanpassung sowie der Biodiversität; Ausweisung, Erhaltung und Verbesserung von biodiversitätsreichen Flächen mit potenzieller Klimarelevanz	ja
	Energie	Almen: Stopp der großtechnischen Erschließung alpiner und nivaler Ökosysteme mit möglichen Ausnahmeregelungen für den Ausbau erneuerbarer Energie im Sinne der Klimaziele	ja
		Energie: Sicherstellung eines naturverträglichen Ausbaus der erneuerbaren Energien durch entsprechende Anreize und Vorgaben; Umsetzen von Freiflächen-Photovoltaik unter Nutzung von Synergien mit Biodiversitätsmaßnahmen; Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen sowie biogenen Abfällen für die Energiegewinnung aus Land- und Forstwirtschaft; Aktivierung des verfügbaren Dachflächenpotenzials und anderer Potenziale der Photovoltaik	ja
	Bioökonomiestrategie	Flächenverbrauch	Ziele: Die Bodenversiegelung in Österreich soll bis 2030 massiv gesenkt werden
Landwirtschaft: Vermeidung von Flächenverlust; Weitgehende Vermeidung der Flächenversiegelung; Nutzung industrieller Brachflächen für Betriebsansiedelungen, um den Flächendruck auf die Landwirtschaft zu reduzieren			ja
Biodiversität		Landwirtschaft: Verstärkte Unterstützung von Sonderkulturen, Zwischenfrüchten und Vertragsanbau mit Bedacht auf mögliche negative Auswirkungen auf Biodiversität	ja
		Forstwirtschaft: Kombination von Schutzfunktionen (Schutzwald, Retentionsflächen) mit	ja

		Ertragssteigerungen; Dienstleistungen zur Effizienzsteigerung von Kulturen und Beständen; Maßnahmen zur Steigerung der Vitalität von Kulturen und Beständen;		
		Landwirtschaft: Methoden zur Ernte und Nutzbarmachung aller Pflanzenteile	nein	
	Klima	Landwirtschaft: Verstärkung der Klimaschutzmaßnahmen im Bereich der Landwirtschaft	ja	
	Energie	Ziele: Reduktion der Abhängigkeit von nicht erneuerbaren Rohstoffen	ja	
		Nachhaltiger Konsum: Erhöhung der Präsenz biobasierter Produkte im öffentlichen Raum; Maßnahmen zur Bevorzugung biobasierter Produkte und zur Steigerung der Effizienz; Stärkung der kaskadischen Nutzungsoptionen in allen Sektoren der Bioökonomie	ja	
		Forstwirtschaft: Sicherung der Versorgung mit biogenen Rohstoffen; Erhöhung der Wertschöpfung der Forstwirtschaft durch neue Nutzungskaskaden	ja	
		Landwirtschaft: Methoden zur Ernte und Nutzbarmachung aller Pflanzenteile	nein	
		Konversion: Energieraumplanung zur bevorzugten energetischen und thermischen Versorgung durch erneuerbare Nah- und Fernwärme	nein	
	Grünes Wirtschaften im Alpenraum	Flächenverbrauch	Efficient Use of Land - Land Use Changes: sustainable land and soil management and spatial development; define administrative limitations by, for instance, changing laws for land use planning and launching programmes for inner-urban development activities	nein
		Klima	Carbon emissions: climate-neutral Alps and climate-resilient Alps by 2050	ja*
Energie		Renewable energy sources: the region's potential for renewable energies for electricity, heat and mobility demands should be fully used by 2050	ja*	
		Efficient use of energy: either consuming less energy while maintaining our current levels of amenities (e.g. availability of lighting, heating and electric motors), or achieving higher levels of amenities with unchanged energy input	ja	
		Efficient Use of Non-Energy Resources: Domestic Material Consumption (DMC) per	nein	

		capita and comparing that national figure to the national Gross Domestic Product (GDP); The higher the resource productivity, the more resource-efficient the national economy is.	
Green Deal	Biodiversität	Ziele: Ökosysteme und Biodiversität erhalten und wiederherstellen	ja
		Wald: 3 Milliarden bis 2030; Restore degraded ecosystems; Promote the bio-economy while preserving biodiversity	ja
	Klima	Ziele: Reduktionsvorgabe der EU für die Treibhausgasemissionen bis 2030 auf verantwortungsvolle Weise auf mindestens 50 % und angestrebte 55 % gegenüber 1990; Null-Schadstoff-Ziel für eine schadstofffreie Umwelt	ja*
		Energie: Require all biomass-based heat and power installations to comply with minimum greenhouse gas saving thresholds	nein
		Wald: Increase carbon stored in soil and forests; Target: 310 Mt as carbon sink	ja
	Energie	Ziele: Versorgung mit sauberer, erschwinglicher und sicherer Energie; Energie- und ressourcenschonendes Bauen und Renovieren	nein
Energie: Erneuerbare 40% bis 2030; Prohibit sourcing biomass for energy production from primary forests, peatlands and wetlands; No support for forest biomass in electricity-only installations as of 2026		ja	
Kreislaufwirtschaftsstrategie	Biodiversität	Biomasse: Effiziente landwirtschaftliche Produktion bei gleichzeitiger Diversifizierung des Anbaus unter Einhaltung übergeordneter Schutzziele steigern; Nachwachsende und bisher ungenutzte Rohstoffe durch neue Nutzungspfade, Dienstleistungen sowie innovative Logistiksysteme erschließen	ja
		Datengrundlage: Verfügbarkeit von biogenen Reststoffen erforschen und erheben sowie Datenlage, auf regionale Ebene heruntergebrochen, verbessern; Datengrundlage schaffen, wie viel Biomasse wofür verfügbar ist, die auch das Aufzeigen von Zielkonflikten ermöglicht.	ja
	Klima	Ziele: die Verringerung der Treibhausgasemissionen	ja*

		Biomasse: Biogene Produkte im Sinne einer effizienten und langfristigen Kohlenstoffspeicherung forcieren. Eine nachhaltige, resiliente und an den Klimawandel angepasste Waldbewirtschaftung kann dabei langfristig die notwendigen Rohstoffe zur Verfügung stellen	ja
	Energie	Biomasse: Unvermeidbare Reststoffe und Abfälle sind wertsteigernd zu verwerten und Stoffkreisläufen oder der energetischen Verwertung zuzuführen	ja
		Kaskadische Nutzung: Bestehende und zukünftige Biogasanlagen in den Biomasse-Wertschöpfungskreislauf integrieren; Nebenprodukte und Reststoffe nutzen und wiederverwenden, um die Weiterverarbeitung von Stoffen zu stärken	nein
Makroregionale Strategie	Flächenverbrauch	Boden und Biodiversität: Land recycling and unsealing in the Alpine region: unsealing of sealed surfaces by using sealed/built/developed areas, awareness-raising event with political debates on land use/protection with involvement of citizens	ja
	Biodiversität	Wald- und Landwirtschaft: Coordination of and contribution to the activities of the TF-MFSUT (Multifunctional Forests and Sustainable Use of Timber); Contribution to the Forest EcoValue ASP classic project and establish links to forest networks	nein
	Klima	Gefahrenmanagement: natural hazard management, including extreme events; the role and effects of climate change and adaptation; the contribution of risk management and climate adaptation to the sustainable and climate-resilient development of Alpine settlement areas	nein
Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich	Biodiversität	Forstwirtschaft: Erhaltung des Kohlenstoffpools und kontinuierliche Steigerung des Holzzuwachses und kontinuierliche Steigerung der Holzernte unter Einhaltung der Grundprinzipien einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung	ja
	Klima	Ziele: Reduzierung der THG-Emissionen um 36% gegenüber 2005; Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energie am Bruttoenergieverbrauch auf 46-50%, Deckung des Stromverbrauchs zu 100% aus Erneuerbaren;	ja*

		Verbesserung der Primärenergieintensität um 25-30% gegenüber 2015	
	Energie	Energie und Industrie: Forcierung des Umstiegs auf erneuerbare Energieträger sowie von Energieeffizienzmaßnahmen für den Wärme- und Kühlbedarf	ja
		Gebäude: Sukzessive Verdrängung von fossilen Energieträgern durch den Einsatz erneuerbarer Energieformen für Heizung, Warmwasser und Kühlung; Langfristiger Ausstieg aus Ölheizungen (bis längstens 2050)	nein
		Land- und Forstwirtschaft: Ausbau land- und forstwirtschaftlicher Bioenergieproduktion	ja
ÖREK 2030	Flächenverbrauch	Säule 1: Die Bodenversiegelung und die Flächeninanspruchnahme zeitnah deutlich reduzieren und Raum- und Siedlungsstrukturen ressourcensparend, klimaschonend und resilient entwickeln	ja
		Flächenverbrauch auf netto 2,5 ha/Tag bis 2030 reduziert werden; Potenziale und Optionen aufzeigen, wie Brachflächen multifunktional auch zur erneuerbaren Energiebereitstellung oder für Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel (Entwässerung, Retention, kühlende Grünräume, Erhalt der Biodiversität etc.) genutzt werden können	ja
	Energie	Säule 1: Energiebedarf senken und die Potenziale für erneuerbare Energien regional sichern und nutzen	ja
		Der Anteil erneuerbarer Energieträger soll auf mindestens 32 %, die Energieeffizienz um mindestens 32,5 % erhöht werden; Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs, die Steigerung der Energieeffizienz und der Ausbau und die Nutzung erneuerbarer Energieträger; Bis zum Jahr 2030 soll der Gesamtstromverbrauch Österreichs zu 100 % (national bilanziell) aus erneuerbaren Energiequellen im Inland gedeckt werden; Forcierung der Energieerzeugung auf Gebäuden sowie auf bereits versiegelten Flächen	ja
		Methoden und Modelle zur Konkretisierung der Potenziale und des Flächenbedarfes für erneuerbare Energie (Erzeugungs- und Übertragungsinfrastruktur) auf regionaler Ebene entwickeln; Eignungs- und	ja*

Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel		Ausschlusskriterien für die Nutzung von Freiflächen für die Energieerzeugung	
	Flächenverbrauch	Landwirtschaft: Nachhaltiger Aufbau, Wiederherstellung und Erhalt der Ressource Boden	ja
		Forstwirtschaft: Bodenschonende Bewirtschaftung; Erhaltung der physikalischen und ökologischen Funktionen des Bodens	ja
		Raumordnung: Reduktion von weiterer Flächeninanspruchnahme, Bodenversiegelung und Zersiedelung unter Berücksichtigung der natürlichen Bodenfunktionen	ja
	Biodiversität	Landwirtschaft: Integrierte Landschaftsgestaltung und Verbesserung der Agroökosysteme inklusive Erhalt und Pflege von Landschaftselementen; Verbesserung der agrarökologischen Situation (Produktion und Standortsicherung) durch biodiversitätsfördernde landwirtschaftliche Nutzung sowie Erhalt der natürlichen Biodiversität durch die Reduktion von Windangriffsflächen, Windgeschwindigkeiten und Bodenerosion sowie Verbesserung des Wasserrückhalts durch Reduzierung der Evapotranspiration; Erhalt bestehender Almflächen und Revitalisierung aufgelassener Almen	ja
		Forstwirtschaft: Anpassung der Baumarten- und Herkunftswahl sowie der Baumartenmischung unter Berücksichtigung von Waldverjüngung und Förderung der Diversität; Erhöhung der Stabilität, Klimaresilienz und Anpassungsfähigkeit von Wäldern sowie Reduzierung der Störanfälligkeit des Waldökosystems; Erhalt, Verbesserung und Wiederherstellung der Waldbiodiversität sowie der Ökosystemfunktionen von Waldlebensräumen	nein
		Biodiversität: Stärkung biodiversitätsfördernder Land- und Forstwirtschaft; Erhaltung und Vernetzung von Schutzgebieten und Lebensräumen; Entwicklung einer funktionsfähigen Vernetzung von Lebensräumen und Schutzgebieten (Biotopverbundsystem), inkl. Pufferzonen und Korridoren, zur Erhöhung der Überlebenswahrscheinlichkeit von Arten, Populationen und Lebensräumen sowie Erhaltung der entsprechenden Ökosystemleistungen und des	ja

		Naturschutzwertes von Schutzgebieten unter einem sich wandelnden Klima	
	Energie	Energie: Forcierung dezentraler Energieerzeugung und -Einspeisungen; Verstärkte Nutzung und Optimierung regionaler erneuerbarer Ressourcen sowie Optimierung der Leitungsnetze und ihrer Funktionsweise, um großflächige Unterbrechungen durch klimawandelbedingt intensivere und häufigere extreme Wetterereignisse zu vermeiden	ja
<b>* können indirekt inkludiert/umgesetzt werden</b>			

## 10.2 BEISPIELHAFTER AUSZUG AUS DEM MAßNAHMENBEWERTUNGSTOOL

Hier werden beispielhaft noch Ausschnitte des Bewertungstools dargestellt. Bei den Eingaben hält es sich um keine konkreten, in dieser Arbeit verwendeten Werte. Dies dient ausschließlich zur Veranschaulichung des Maßnahmenbewertungstools.

In den Abbildungen 76 und 77 wird das Eingabeformular des Tools gezeigt. Es gibt drei Eingabeoptionen: den Flächentyp, die Adaption, und die Eingabe. Es wird zunächst der Flächentyp ausgewählt und anschließend die Art der Adaption auf diesem Flächentyp. Danach folgt die Eingabe durch die Zuschreibung eines konkreten Wertes oder die Art der Entwicklung bis 2050. Es wird der Vergleich zum Ist-Zustand sowohl in absoluten Zahlen, als auch in relativen Zahlen dargestellt. Daneben ist der Vergleich zur Prognose (ohne Maßnahmenumsetzung) zu sehen. Es werden die Abweichungen sowohl in absoluten, als auch in relativen Zahlen dargestellt. Das Anmerkungsfeld enthält Informationen, die bei der Auswahl des gewählten Flächen- bzw. Adaptionstyp zu beachten sind.

Durch die Eingabe der Beispielwerte erhält man die zu erwartende Flächenverteilung und die Entwicklung der HANPP bis zum Jahr 2050. Dies ist in der Abbildung 78 ersichtlich. Bereits im Kapitel 3 wurde ein ähnlicher Auszug aus dem Bewertungstool mit anderen Werten dargestellt. Es ist auch die Ent-

wicklung des Flächenbedarfs der Biomasseheizwerke ersichtlich. Dies wird in Hektar, und als Anteil der vorhandenen Waldfläche dargestellt.

Zusätzlich befindet sich daneben ein Feld, welches die Entwicklungen der Region kurz schriftlich zusammenfasst. Für die Beispielingaben wird in der Abbildung 79 die Maßnahmenumsetzung zusammengefasst.

Die Bewertung der Strategien, Pläne und Konzepte erfolgt durch die Zielerreichungsschaltfläche, welche beispielhaft in Abbildung 80 dargestellt werden. Hierbei wird der Grad der Zielerreichung in Prozent dargestellt. Wenn für die Nutzer:in nicht eindeutig klar ist wie sich die Werte ergeben, sind zusätzlich noch alle Einflusskriterien der jeweiligen Strategien genau aufgegliedert. Dabei wird die Bewertungsgrundlage aus Kapitel 3 verwendet. Abbildung 81 stellt noch den Vergleich der Strategien mit und ohne Maßnahmenumsetzung dar. Dadurch können Verbesserungen bzw. Verschlechterungen einfach identifiziert werden.

Abbildungen 82 bis 84 stellen die Auswirkungen der gewählten Eingaben noch grafisch dar. Es wird die Flächennutzungsverteilung, die HANPP und der Flächenbedarf an Biomasse vorher (im Jahr 2023 bzw. 2050) ohne die Maßnahmenumsetzung und nachher (2050) mit der Maßnahmenumsetzung veranschaulicht.

© Stefan Santner

Eingabeformular			Vergleich zu Ist-Zustand	
Flächentyp	Adaption	Eingabe	Absolut	Relativ
Waldflächen	w_Fläche	+ 6000 ha	49.586	113,8%
Ackerland	a_Fläche	- 5%	1.573	95,0%
Gemüse- und Obstflächen	go_Gemüsefläche	+ 5%	1	105,0%
Gemüse- und Obstflächen	go_Obstfläche	+ 5%	20	105,0%
Ackerland	a_Erträge	+ 20%	13.231	116,6%
Waldflächen	w_Erträge	+ 20%	275.520	120,0%
Restflächen	r_Biodiversität	50%	456	50,0%
Restflächen	r_Umtriebsholz	25%	228	25,0%
Restflächen	r_Weizen	10%	91	10,0%
Restflächen	r_Energiegras	10%	91	10,0%
Restflächen	r_Photovoltaiik	5%	46	5,0%
Kreislaufwirtschaft	k_Schnittholz	+ 25%		
Kreislaufwirtschaft	k_Hackschnitzelanteil	+ 25%		
Energie	e_Energiebedarf	- 1 GJ/Einwohner	408063209	118%
Energie	e_Energierundholz	+ 10%		

Abbildung 76: Auszug aus dem Bewertungstool: Eingabeformular 1 (eigene Darstellung)

Vergleich zu Prognose 2050		Anmerkung
Absolut	Relativ	
+1.439	+3,0%	
+1.002	+175,7%	
-1	-29,9%	
-13	-38,8%	
+7.990	+152,4%	Angabe in t Feuchtmasse
+21.896	+8,6%	
-2.885	-86,3%	Die Werte dürfen 100% nicht überschreiten.
-3.113	-93,2%	Die Werte dürfen 100% nicht überschreiten.
-3.250	-97,3%	Die Werte dürfen 100% nicht überschreiten.
-3.250	-97,3%	Die Werte dürfen 100% nicht überschreiten.
-3.296	-98,6%	Die Werte dürfen 100% nicht überschreiten.
		Bezieht sich auf den Holzanteil, welcher im Rahmen der Kaskadennutzung vor der energetischen Nutzung anfällt.
		Bezieht sich auf den Hackschnitzelanteil der anfallenden Sekundärprodukte aus der Holzindustrie.
-19.814.895	-4,6%	Bezieht sich auf die produzierte Menge Energie aus Biomassefernhelzwerken.
		Bezieht sich auf die energetische Nutzung von Rundholz ohne Kaskadennutzung.

Abbildung 77: Auszug aus dem Bewertungstool: Eingabeformular 2 (eigene Darstellung)

Flächentyp	Fläche		HANPP	
	2023	2050	2023	2050
<b>Versiegelte Fläche</b>	1.211 ha	1.566 ha	100%	100%
<b>Ackerland</b>	1.656 ha	1.573 ha	89%	89%
<b>Grünland</b>	18.185 ha	11.006 ha	67%	68%
<b>Gemüse- und Obstflächen</b>	20 ha	21 ha	92%	87%
<b>Gartenflächen</b>	8 ha	1 ha	57%	58%
<b>Waldflächen</b>	43.586 ha	49.586 ha	28%	29%
<b>Gewässer</b>	660 ha	660 ha	0%	0%
<b>Urvegetation</b>	36.647 ha	36.647 ha	0%	0%
<b>Restflächen</b>	0 ha	913 ha	0%	39%
<b>Gesamt</b>	101.973 ha	101.973 ha	39%	36%

<b>Flächenbedarf Biomasse</b>	63.832 ha	45.694 ha
<b>% der vorhandenen Fläche</b>	146%	92%

Abbildung 78: Auszug aus dem Bewertungstool: Flächenentwicklung und HANPP (eigene Darstellung)

Mit einem Wachstum von 6000 ha verzeichnet der Flächentyp Waldflächen den größten Zuwachs.
Mit einem Rückgang von 7179 ha verzeichnet der Flächentyp Grünland den größten Flächenverlust.
Durch diverse Eingriffe und räumliche Entwicklungen sind Restflächen im Ausmaß von 913 ha entstanden.
25% der Flächen wurden als Kurzumtriebsplantagen genutzt. Dadurch können jährlich 2510 t Trockenmasse geerntet werden, was einem Heizwert von 46 TJ entspricht. Dadurch kann 11 des Heizwärmebedarfs abgedeckt werden. 10% der Flächen wurden zum Anbau von Weizen genutzt. Dadurch können jährlich 309608 l Bioethanol hergestellt werden, was einem Heizwert von 8,3 TJ entspricht. 5% der Flächen wurden als Photovoltaikflächen genutzt. Dadurch können insgesamt 107372 Module installiert werden, was einem Energiepotenzial von 118,28 TJ pro Jahr entspricht. 10% der Flächen wurden als Produktionsflächen für Energiegras genutzt. Dadurch können jährlich 438076 m <sup>3</sup> Methan hergestellt werden, was einem Heizwert von 15,72 TJ entspricht. 50% der Flächen wurden als Biodiversitätsflächen genutzt.
Insgesamt kann durch die Nutzung der Restflächen ein Energiepotenzial von 188 TJ erreicht werden.
Der Grad der Biodiversität im Lungau erhöht sich durch die Anpassung der Flächennutzungen und Erträge um 2,9%.
Der Flächenbedarf von Biomassefernhewerke verringert sich um 18138 ha. Es ergibt sich ein Fußabdruck von 92,2%.
Im Jahr 2050 ist mit einem Energiebedarf von 2223 TJ zu rechnen. Der Anteil von Biomasse als Energieträger steigt auf 64%. Der Anteil an der Heizenergie steigt sogar auf 83,2%. Es ist anzunehmen, dass der Fernwärmeanteil am Gesamtenergiebedarf auf etwa 18,4% steigen wird.

Abbildung 79: Auszug aus dem Bewertungstool: Zusammenfassung der Auswirkungen auf die Region (eigene Darstellung)

Strategie	Ziele erreicht
<b>Lokale Entwicklungsstrategie 2023 - 2027</b>	80%
<b>Masterplan Klima + Energie</b>	83%
<b>Aktionsplan Klimawandel - Alpenkonvention</b>	63%
<b>Biodiversitätsstrategie Österreich</b>	56%
<b>Bioökonomiestrategie Österreich</b>	61%
<b>Grünes Wirtschaften im Alpenraum</b>	57%
<b>Green Deal</b>	75%
<b>Kreislaufwirtschaftsstrategie</b>	73%
<b>Makroregionale Strategie</b>	50%
<b>Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich</b>	100%
<b>ÖREK2030</b>	60%
<b>Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel</b>	42%

Abbildung 80: Auszug aus dem Bewertungstool: Erfüllung der Ziele ausgewählter Strategien 1 (eigene Darstellung)

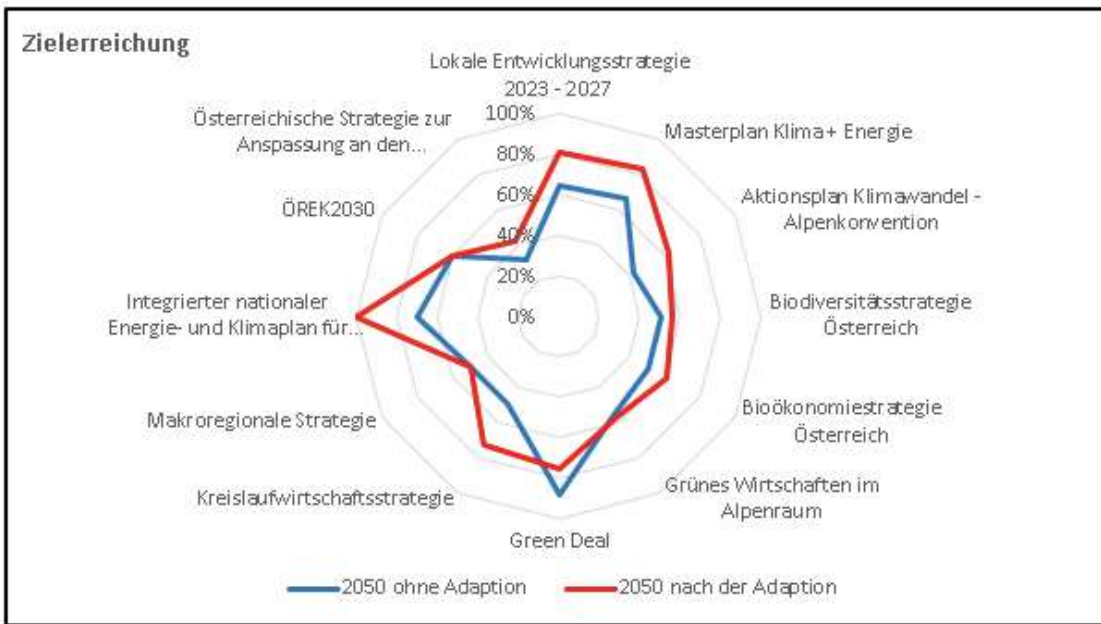


Abbildung 81: Auszug aus dem Bewertungstool: Erfüllung der Ziele ausgewählter Strategie 2 (eigene Darstellung)

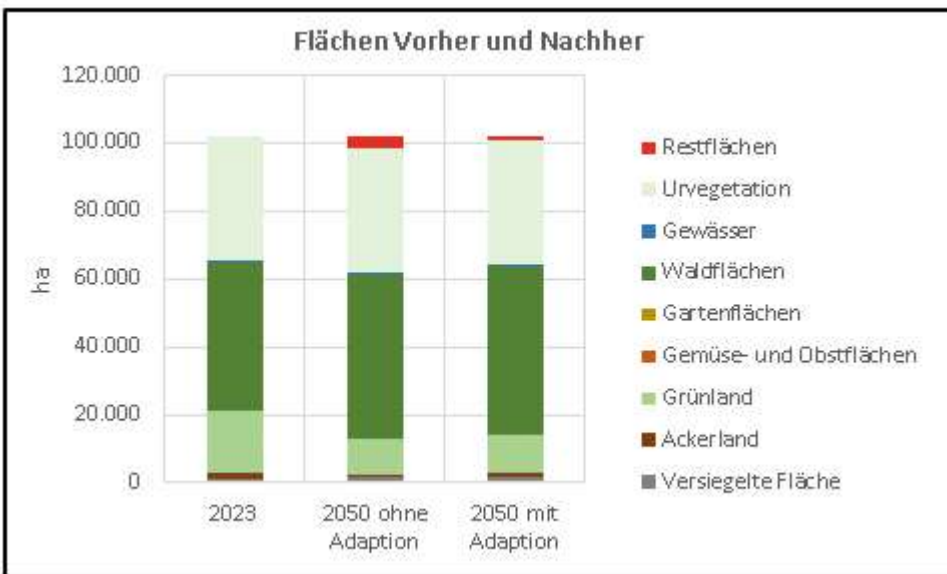


Abbildung 82: Auszug aus dem Bewertungstool: Flächen Vorher und Nachher (eigene Darstellung)

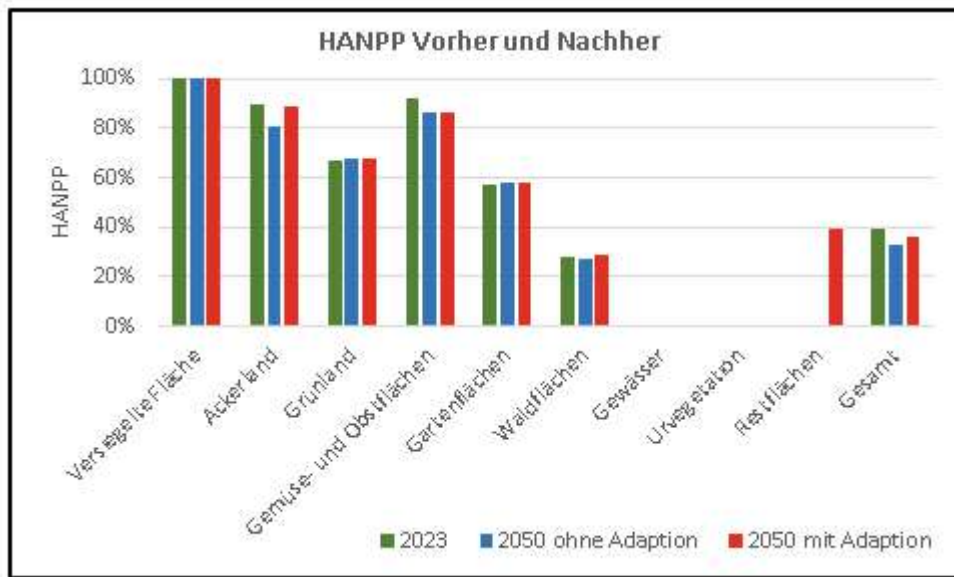


Abbildung 83: Auszug aus dem Bewertungstool: HANPP Vorher und Nachher (eigene Darstellung)

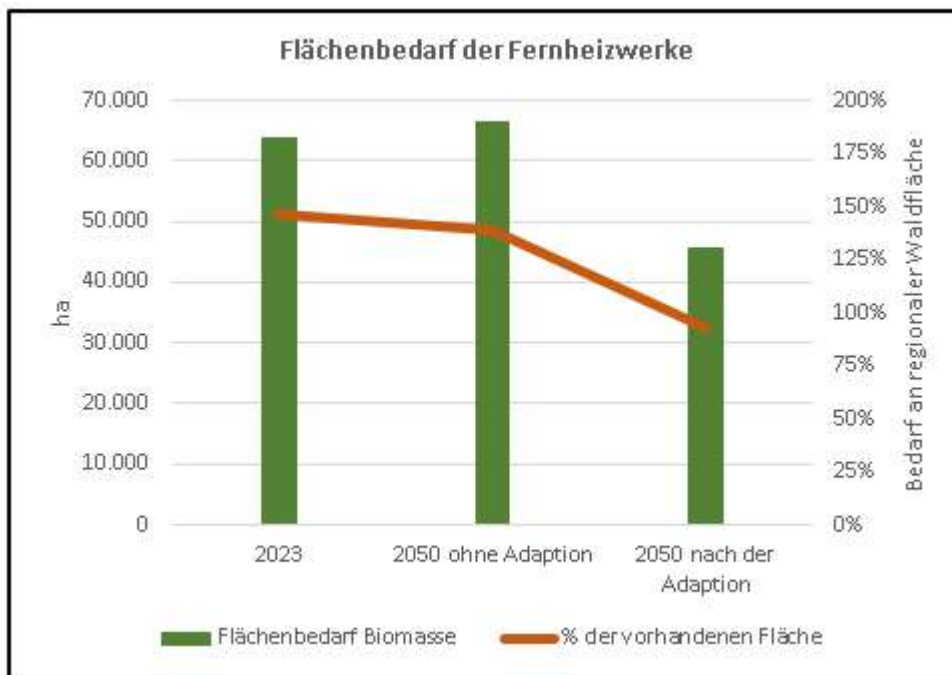


Abbildung 84: Auszug aus dem Bewertungstool: Flächenbedarf der Biomasseheizwerke (eigene Darstellung)