



AMT FÜR UMWELT  
FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN

# Bewertung von Ökosystemleistungen in Liechtenstein



# Bewertung von Ökosystemleistungen in Liechtenstein

Vaduz, 26. Juli 2021

## **Auftraggeber**

Amt für Umwelt

## **Projektleitung**

Dr. Heike Summer, Amt für Umwelt, Stabsstelle Internationales und Klima

## **Autorinnen und Autoren**

Rolf Iten, Silvan Köppel

INFRAS, Binzstrasse 23, 8045 Zürich

Tel. +41 44 205 95 95

[zuerich@infras.ch](mailto:zuerich@infras.ch)



# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>6</b>
<b>1. Ausgangslage, Ziel und Vorgehen</b>	<b>8</b>
<b>2. Überblick über die Thematik</b>	<b>8</b>
2.1. Nutzen & Grenzen der Bewertung von Ökosystemleistungen	8
2.2. Kategorien von Ökosystemleistungen	9
2.3. Bewertungsansätze	10
<b>3. Schutzwälder</b>	<b>11</b>
3.1. Ökosystemleistungen von Schutzwäldern	12
3.1.1. Regulierende Leistungen	12
3.1.2. Bereitstellende Leistungen	13
3.1.3. Kulturelle Leistungen	13
3.1.4. Habitatsleistungen	14
3.2. Schutzwälder in Liechtenstein	14
3.2.1. Hintergrund und Geschichte	14
3.2.2. Mengengerüst	15
3.3. Bewertung der Schutzwälder	16
3.4. Resultate für die Schutzwälder	20
<b>4. Geschützte Naturgebiete</b>	<b>21</b>
4.1. Ökosystemleistungen von geschützten Naturgebieten	21
4.1.1. Regulierende Leistungen	21
4.1.2. Bereitstellende Leistungen	22
4.1.3. Kulturelle Leistungen	22
4.1.4. Habitatsleistungen	23
4.2. Geschützte Naturgebiete in Liechtenstein	23
4.2.1. Hintergrund und Geschichte	23
4.2.2. Mengengerüst	24
4.3. Bewertung der geschützten Naturgebiete	26
4.4. Resultate für die geschützten Naturgebiete	32
<b>5. Renaturierungen von Fluss- und Bachläufen</b>	<b>35</b>
5.1. Ökosystemleistungen von naturnahen Fluss- und Bachläufen	35

5.1.1.	Regulierende Leistungen	35
5.1.2.	Bereitstellende Leistungen	36
5.1.3.	Kulturelle Leistungen	36
5.1.4.	Habitatsleistungen	36
5.2.	Renaturierte Fluss- und Bachläufe in Liechtenstein	36
5.2.1.	Hintergrund und Geschichte	36
5.2.2.	Mengengerüst	37
5.3.	Bewertung der renaturierten Fluss- und Bachläufe	38
5.4.	Resultate für die renaturierten Fluss- und Bachläufe	40
<b>6.</b>	<b>Biologische Landwirtschaft</b>	<b>41</b>
6.1.	Ökosystemleistungen der biologischen Landwirtschaft	42
6.1.1.	Regulierende Leistungen	42
6.1.2.	Bereitstellende Leistungen	43
6.1.3.	Kulturelle Leistungen	43
6.1.4.	Habitatsleistungen	44
6.2.	Biologische Landwirtschaft in Liechtenstein	44
6.2.1.	Geschichte und Hintergrund	44
6.2.2.	Mengengerüst	44
6.3.	Bewertung der biologischen Landwirtschaft	45
6.4.	Resultate für die biologische Landwirtschaft	48
<b>7.</b>	<b>Gesamtübersicht und Diskussion</b>	<b>50</b>
	<b>Annex A – Schutzwälder</b>	<b>52</b>
	<b>Annex B – Geschützte Naturgebiete</b>	<b>56</b>
	<b>Annex C – Renaturierte Fluss- und Bachläufe</b>	<b>64</b>
	<b>Annex D – Biologische Landwirtschaft</b>	<b>68</b>
	<b>Literatur</b>	<b>71</b>

## Zusammenfassung

### Was sind Ökosystemleistungen?

Natürliche Flächen erbringen eine Vielzahl an Leistungen, von denen die Menschen direkt oder indirekt profitieren können. Eine wachsende Forschungsrichtung beschäftigt sich mit der Monetarisierung dieser sogenannten Ökosystemleistungen (ÖSL). Hierbei definiert sich das Ökosystem gemäss TEEB (2012) als ein Komplex von lebenden Organismen und der abiotischen Umwelt, mit der die Organismen an einem bestimmten Ort interagieren. Durch die monetäre Bewertung der ÖSL kann die Bedeutung von natürlichen Flächen im Rahmen von Kosten-Nutzenüberlegungen (z.B. bei der Planung von Infrastrukturprojekten) erhöht werden. Im vorliegenden Bericht wurden für Liechtenstein pilotmässig erbrachte Leistungen der relevantesten Ökosysteme – nämlich der Schutzwälder (Kapitel 3), der geschützten Naturgebiete (geschützte Wälder und Naturschutzgebiete, vgl. Kapitel 4), der renaturierten Fluss- und Bachläufe (Kapitel 5) und der biologischen Landwirtschaft (Kapitel 6) – geschätzt.

### Welchen Wert haben ausgewählte Ökosystemleistungen in Liechtenstein?

Der monetäre Nettowert der ÖSL der vier Gebietstypen wird auf circa 10 bis 35 Mio. CHF pro Jahr geschätzt. Tabelle 1 zeigt neben den absoluten jährlichen Nettonutzenwerte auch die Nettonutzen pro Hektar, um einen groben Vergleich der spezifischen ÖSL für die unterschiedenen Gebietstypen zu ermöglichen. Die Bandbreiten mit den Ober- und Unterwerten wurden auf der Grundlage der in der Literatur zu findenden Angaben sowie eigenen Annahmen soweit möglich in Absprache mit Fachleuten des Amtes für Umwelt geschätzt.

**Tabelle 1: Geschätzte Bandbreite der Nettonutzen der untersuchten Gebietstypen Liechtensteins**

Gebietstypen	Fläche (ha)	Nettonutzen (CHF/Jahr)		Nettonutzen pro Fläche (CHF/ha/Jahr)	
		Untervert	Oberwert	Untervert	Oberwert
Schutzwälder	1'575	4'285'000	15'618'000	2'700	9'900
Geschützte Wälder	1'752.6	4'567'000	15'093'000	2'600	8'600
Naturschutzgebiete	176	377'000	1'676'000	2'100	9'500
Landschaftsschutzgebiete	76.6	241'000	563'000	3'100	7'300
Bio-Landwirtschaft	1'388	446'000	677'000	300	500
Renaturierte Fliessgewässer	-	250'000	1'282'000	_*	_*

\* Da die renaturierten Fliessgewässer keine konkreten Flächen darstellen, haben wir hier auf die Berechnung der Nettonutzen pro Hektar verzichtet.

Gemäss unseren Schätzungen liefern die Schutzwälder und geschützten Wälder als Teil der geschützten Naturgebiete mit je ca. 10 Mio. CHF die mit Abstand relevantesten ÖSL. Auch bei den übrigen Gebietstypen kommen wir auf respektable – wenn auch deutlich tiefere – Werte. Bei der biologischen Landwirtschaft ist zu beachten, dass wir nur den Mehrwert gegenüber der konventionellen Landwirtschaft bewertet haben.

### **Grenzen der Monetarisierung**

Bei der Interpretation dieser Zahlen sind die Grenzen des Monetarisierungsansatzes im Auge zu behalten. Aufgrund der Komplexität der ÖSL kann eine Monetarisierung immer nur ein grobes und reduziertes Abbild des ganzheitlichen Werts der ÖSL geben. Zudem basieren die Schätzungen aufgrund des für diese Pilotuntersuchung gewählten pragmatischen «Value Transfer»-Ansatz auf einer Vielzahl von Annahmen, welche notwendig sind, um die in der Literatur zu findenden für diesen Zweck brauchbaren Literaturwerte auf die liechtensteinischen Verhältnisse übertragen zu können.

Es handelt sich bei diesen Zahlen also weder um eine umfassende noch exakte ökonomische Bewertung. Die Werte stellen aus unserer Sicht nichtsdestotrotz plausible Grössenordnungen dar, welche die grosse Bedeutung und relevante Facetten des Umwelt- und Naturschutzes aufzeigen und den politischen Entscheidungsträgern damit als Anhaltspunkt dienen können.

### **Ausblick**

Mit Blick auf die Zukunft ist anzunehmen, dass sich die Klima- und Umweltthematik weiter akzentuieren wird, wodurch beispielsweise die CO<sub>2</sub>-Sequestrierung oder der Erhalt der Biodiversität zusätzlich an Bedeutung gewinnen werden. Aufgrund der zunehmenden Häufigkeit von Extremereignissen gehen wir ebenfalls von einer zunehmenden Bedeutung von Schutzwäldern und renaturierten Fließgewässern aus. Somit ist zukünftig mit einer Zunahme der monetären Werte der in diesem Bericht untersuchten Gebietstypen zu rechnen.

Dieser Bericht stellt eine Pionierarbeit für die Bewertung der bedeutendsten ÖSL Liechtensteins dar. Gewisse natürliche Flächen, allen voran die Wälder, die weder eine Schutzleistung erbringen noch einen Schutzstatus besitzen, wurden in dieser Arbeit aus Relevanzüberlegungen und der Datenlage nicht berücksichtigt. Auch Siedlungsgebiete selbst und deren Grünflächen können gewisse ÖSL erbringen. So übernehmen etwa Bäume in solchen Gebieten besonders wertvolle temperatur- und feuchtigkeitsausgleichende und luftreinigende Funktionen. In weiterführenden Arbeiten zu den ÖSL Liechtensteins könnten diese weiteren ÖSL untersucht werden.

## 1. Ausgangslage, Ziel und Vorgehen

Natürliche Flächen erbringen eine Vielzahl an Leistungen, von denen die Menschen direkt oder indirekt profitieren können. Eine wachsende Forschungsrichtung beschäftigt sich mit der Monetarisierung dieser sogenannten Ökosystemleistungen (ÖSL). Hierbei definiert sich das Ökosystem gemäss TEEB (2012) als ein Komplex von lebenden Organismen und der abiotischen Umwelt, mit der die Organismen an einem bestimmten Ort interagieren. Durch die monetäre Bewertung der ÖSL kann die Bedeutung von natürlichen Flächen im Rahmen von Kosten-Nutzenüberlegungen (z.B. bei der Planung von Infrastrukturprojekten) erhöht werden. Im vorliegenden Bericht haben wir nun für Liechtenstein pilotmässig die monetären Werte der relevantesten ÖSL von den Schutzwäldern, den geschützten Naturgebieten, den renaturierten Fluss- und Bachläufen und der biologischen Landwirtschaft geschätzt.

Im ersten Teil dieses Berichts wird ein Überblick über die Thematik gegeben. Danach werden die vier untersuchten Gebietstypen Liechtensteins in jeweils eigenständigen Kapiteln vorgestellt und die Bewertungen ihrer ÖSL erläutert. Am Ende des Kapitels einer Gebietsart werden in einer Tabelle alle Kosten- und Nutzenwerte aufgelistet. Am Schluss dieses Berichts werden eine Gesamtübersicht über die Nettonutzen der liechtensteinischen Gebiete und abschliessende Bemerkungen gegeben.

## 2. Überblick über die Thematik

### 2.1. Nutzen & Grenzen der Bewertung von Ökosystemleistungen

Costanza et al. (1997) haben einen ersten Versuch unternommen, um die weltweiten ÖSL abzuschätzen. Sie ermittelten einen geschätzten jährlichen Durchschnittswert aller ÖSL von 33'000 Mrd. USD<sup>1</sup>. Jedoch war den Forschern bereits bewusst, dass dieser Wert vom Vorkommen der verbleibenden intakten Ökosysteme abhängig ist und somit in Zukunft deutlich steigen kann. So könne der Wert der weltweiten ÖSL schnell ins Unermessliche steigen. Nach rund 17 Jahren haben Costanza et al. (2014) ihre Zahlen aufgrund von veränderten Naturflächen und deren Bedeutung für den Menschen revidiert. Neu schätzen sie den jährlichen Wert der weltweiten ÖSL auf 125'000 Mrd. USD.

In ihrer Gesamtheit haben die weltweiten Ökosysteme einen unermesslichen Wert, da ohne diese kein Leben existieren kann. Monetäre Einschätzungen der ÖSL auf der Makroebene können jedoch eine aufklärerische Wirkung über den immensen Wert der Natur für die Menschheit haben. Auch auf der Mikroebene gibt es Berechnungen der ÖSL für ausgewählte Gebiete, wie beispielsweise der beiden Täler Val di Fiemme und Val di Fassa im norditalienischen Trento. Häyhä et al. (2015) haben für dieses stark bewaldete Gebiet mit einer Fläche von

---

<sup>1</sup> Die Forscher schätzten die Bandbreite des Gesamtwertes auf 16'000 bis 54'000 Mrd. USD.



736 km<sup>2</sup> einen jährlichen Gesamtwert der ÖSL von rund 33 Millionen Euro geschätzt. Solche Berechnungen auf der Mikroebene sind besonders wertvoll, da sie die Bewertung von kleineren Veränderungen der lokalen Ökosysteme ermöglichen und somit als Entscheidungsgrundlagen von Schutz- und Fördermassnahmen dienen können.

Um den Wert der ÖSL eines Ökosystems zu bewerten, werden gemäss Hein et al. (2006) konzeptionell zuerst die Systemgrenzen der Ökosysteme festgelegt (in dieser Studie die Schutzwälder, geschützten Naturgebiete, renaturierten Fluss- und Bachläufe und die biologische Landwirtschaft von Liechtenstein). Daraufhin bestimmt man die zu bewertenden biophysikalischen ÖSL innerhalb dieser Systemgrenzen (vgl. Kapitel 2.2). In einem weiteren Schritt werden schliesslich die verschiedenen ÖSL bewertet (vgl. Kapitel 2.3). Schlussendlich führt man die verschiedenen Werte der ÖSL zusammen.

Dieses Konzept und dessen Umsetzung sind allerdings nicht unumstritten. Kumar et al. (2013) weisen darauf hin, dass eine ökonomische Bewertung von ÖSL stets von den Personen, deren Werten und Entscheidungen abhängig ist, die die Bewertung durchführen. Noch immer bestehen erhebliche Wissenslücken z.B. in Bezug auf Umwelteinflüsse, Produktionsfunktionen, Trade-offs, Schwellenwerte oder Irreversibilität (Olschewski 2017). Darüber hinaus sind ÖSL stark orts- und zeitabhängig. Gemäss Olschewski (2017) erschwert dies eine objektive Bewertung der ÖSL erheblich, speziell wenn man sich dazu wie in dieser Studie auf die Übertragung von Werten aus anderen Studien verlassen muss. Für eine solche Übertragung gibt es Richtlinien, um Fehler möglichst zu vermeiden. Dazu gehört, dass die Charakteristika der Bevölkerung und deren Nutzung der bereits bewerteten Leistung und der zu bewertenden Leistung möglichst übereinstimmt. Zudem sollen z.B. möglichst aktuelle Studien und jene mit einer vergleichbaren geographischen Lage als Basis der Bewertung verwendet werden. In der Realität ist die Literatur jedoch beschränkt, weshalb die Praxis fast immer deutlich von den Richtlinien abweicht.

Trotz aller Mängel sind Kumar et al. (2013) überzeugt, dass auch eine begrenzte und relative Bewertung von ÖSL besser ist, als den Wert von ÖSL komplett zu ignorieren. Wie Constanza (2014) schlussfolgerte, geht es schlussendlich um die effektive und nachhaltige Bewirtschaftung des gesamthaften Kapitals, welches der Menschheit zur Verfügung steht, und nicht darum, sich zwischen Ökonomie und Umwelt zu entscheiden.

## 2.2. Kategorien von Ökosystemleistungen

ÖSL werden generell in vier übergeordnete Kategorien unterteilt. Im Folgenden werden diese erläutert gemäss der Forschungs-Initiative TEEB (2012):

- Die *bereitstellenden Leistungen* umfassen die Gesamtheit der materiellen Güter, die vom jeweiligen Ökosystem zur Verfügung gestellt wird und für den Menschen einen direkten Nutzen darstellt. Dazu gehören beispielsweise landwirtschaftliche Produkte, die Wasserversorgung, Rohmaterialien, Wild, Pilze oder auch die Quelle genetischen Materials für die Produktion medizinischer Güter.

- Den *regulierenden Leistungen* kommen im Zuge des Klimawandels und des teilweise verloren gegangenen natürlichen Gleichgewichts eine stetig wachsende Bedeutung zu. Hierbei handelt es sich beispielsweise um die Regulierung der Luft- und Wasserqualität, die Bindung von CO<sub>2</sub>, den Schutz vor Extremereignissen wie Fluten oder Stürmen, den Erosionsschutz, die Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit und des Nährstoffkreislaufes oder auch um die Bestäubungsleistung oder die Schädlingskontrolle eines gewissen Ökosystems.
- Die *kulturellen Leistungen* von Ökosystemen beziehen sich mehrheitlich auf den ästhetischen, spirituellen und psychologischen Nutzen, der beim Kontakt mit dem jeweiligen Ökosystem bezogen wird. Dieser Kontakt kann indirekt erfolgen, etwa durch das Lesen eines Buches, beim Schauen eines Films oder sogar durch die blossе Gewissheit über die Existenz einer natürlichen Umgebung. Greifbarer ist jedoch der direkte Kontakt, der etwa beim Ausüben einer Sportart oder dem Aufenthalt in der Natur für die Betroffenen einen Nutzen darstellt.
- Die *Habitatsleistungen* entstehen durch die Bereitstellung des Lebensraums für Tiere und Pflanzen. Diese ÖSL sorgen insbesondere für den Erhalt des lokalen Genpools oder liefern Fortpflanzungsmöglichkeiten für migrierende Tierarten. Die Habitatsleistungen sind somit die Grundlage für die bereitstellenden, regulierenden und kulturellen Leistungen.

### 2.3. Bewertungsansätze

Wie im vorangehenden Kapitel 2.2 über die vier Kategorien der Ökosystemleistungen ersichtlich wird, sind manche ÖSL nicht marktmässig handelbar, weshalb es schwierig oder nicht möglich ist, ihnen einen direkten finanziellen Wert zuzuordnen. Für solche sogenannte öffentliche Güter existieren verschiedene Ansätze, wie der menschliche Nutzen trotzdem monetarisiert werden kann. Hierfür wurden die folgenden Bewertungsansätze von der OECD (2018) zusammengestellt:

- Die *Methode der offenbarten Präferenzen* macht sich zu Nutze, dass viele natürliche Güter und Dienstleistungen implizit am Markt gehandelt werden. Hierbei kann beispielsweise die Wertschätzung des Naturerlebnisses durch die Reisekosten oder auch den Preisen am Immobilienmarkt ermittelt werden. Insbesondere durch die starke Entwicklung von ökonomischen Analysemöglichkeiten, die den einzelnen Attributen der gehandelten Güter einen Wert beimessen können, hat dieser Ansatz in den letzten Jahrzehnten zunehmend an Bedeutung gewonnen. Eine Einschränkung liegt jedoch darin, dass der gesuchte Nutzen nur indirekt ermittelt werden kann, was zu einer erheblichen Verwässerung des tatsächlich wahrgenommenen Nutzens führen kann.
- Die *kontingente Bewertungsmethode* ist ein umfragebasierter Bewertungsansatz, bei welchem die Umfrageteilnehmenden ihre Zahlungsbereitschaft für ein nicht handelbares Gut deklarieren. Diese Methode ist besonders wertvoll bei der Evaluation von öffentlichen Gütern, bei welchen kein impliziter Wert existiert oder dieser bloss mit erheblichem Aufwand eruiert werden kann. Gewisse Einschränkungen ergeben sich aus der Tatsache, dass oftmals

die Zahlungsbereitschaft für ein Gut angegeben werden muss, welches eventuell gar nie konsumiert wird.

- Die *diskreten Entscheidungsexperimente*, berücksichtigen die Tatsache, dass umweltrelevante Massnahmen oftmals mehrdimensionale Auswirkungen auf ein Ökosystem haben. Entsprechend werden bei diesen Experimenten mehrere Bündel von Attributen gebildet, welche den Probanden zur Wahl gestellt werden. Die den Entscheidungen zugrunde liegenden Präferenzen der Probanden können mittels ökonomischer Analyse ermittelt werden, wobei jedem Attribut ein impliziter Preis zugewiesen werden kann. Dieser Fokus auf die einzelnen Attribute macht diesen Ansatz speziell wertvoll, wenn die ermittelten Nutzenwerte für einen anderen Kontext oder ein anderes Ökosystem verwendet werden soll. Inkonsistenzen können bei diesem Ansatz auftreten, falls der Summe der einzelnen Attribute eines Bündels nicht den gleichen Wert zugeordnet wird wie dem Bündel als Ganzes.
- Die *Evaluation des subjektiven Wohlbefindens* ist ein relativ neuer und alternativer Ansatz zur Bewertung von ÖSL. Hierbei kann man den monetären Nutzen mittels des angegebenen Wohlbefindens von Probanden bestimmen. Obwohl dieser Wert auf der tatsächlichen und nicht bloss der hypothetischen Erfahrung eines Gutes basiert, weist diese Methode Mängel auf, da das Wohlbefinden von vielen Faktoren abhängen kann und somit die angegebenen Werte starken Schwankungen ausgesetzt sein können.
- Die *Werttransfermethode* wird zumeist im Falle von eingeschränkten Projektressourcen angewendet. Bei diesem Ansatz wird mittels vergangener, vergleichbarer Studien der Wert eines öffentlichen Gutes – hier eine ÖSL – eruiert. Hierbei muss man extreme Vorsicht walten lassen, denn die erzielten Resultate hängen direkt von der Qualität und Übertragbarkeit der zugrundeliegenden Studien ab. Die originale Studie muss nicht nur qualitativ hochwertig sein, sondern in ihrem gesamten Kontext möglichst gut auf die ÖSL des untersuchten Gebietes übertragbar sein. Dies verlangt oftmals ein fundiertes Urteilsvermögen und einen guten Wissensstand der Materie. Es können Vereinfachungen vorgenommen werden, sofern dies die Genauigkeit nicht in starkem Masse einschränkt.

In den nachfolgenden Kapiteln behandeln wir die vier Gebietstypen, die Schutzwälder, die geschützten Naturgebiete, die renaturierten Fließgewässer und die biologische Landwirtschaft separiert und bewerten diese für Liechtenstein gemäss der Werttransfermethode. Die Studien, auf welche wir uns dabei stützen, basieren auf unterschiedlichen Bewertungsansätzen.

### 3. Schutzwälder

In diesem Kapitel nennen wir zuerst die allgemeinen ÖSL von Schutzwäldern. Anschliessend beschreiben und bewerten wir die Schutzwälder Liechtensteins. Die tabellarische Übersicht der bewerteten ÖSL der Schutzwälder von Liechtenstein sind im Kapitel 3.4 aufgelistet.

### 3.1. Ökosystemleistungen von Schutzwäldern

#### 3.1.1. Regulierende Leistungen

Primär werden Schutzwälder erhalten und gepflegt, um Menschen und deren Siedlungen, die Infrastruktur oder kultivierte Böden vor Naturgefahren zu schützen. Man spricht dabei vom sogenannten Personen- und Objektschutz. Alternativ existieren Standortschutzwälder, deren Hauptaufgabe darin besteht, gewisse Standorte vor erodierenden Kräften wie Wind, Wasser oder Schwerkraft zu schützen und somit gewissen Naturgefahren präventiv vorzubeugen (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2019).

Bei Naturgefahren in alpinen und zentraleuropäischen Gebieten handelt es sich hauptsächlich um Lawinen, Murgänge, Steinschläge, Hangrutsche und um Hochwasser. Wälder können die Entstehung von solchen Ereignissen verhindern oder zumindest deren Auswirkungen mildern. Einerseits verhindern sie den Aufbau einer starken Schneedecke, andererseits sorgen die Wurzeln für eine mechanische Verstärkung und Stabilisierung sowie die Regelung des Wasserhaushaltes des Untergrunds. Dies sorgt für eine Lawinen- und Erdrutschprävention und kann mildernd auf Hochwasser wirken. Zusätzlich haben Wälder eine abschwächende Wirkung insbesondere auf Steinschläge (Schutzwald Schweiz, 2019). Da der Waldboden grosse Mengen an Wasser aufnehmen kann, dienen Wälder auch der Hochwasserprävention und schützen vor Überflutung (Götzl, Schwaiger, Schwarzl, & Sonderegger, 2015).

Eine weitere essenzielle ÖSL von Wäldern ist die Fähigkeit Nährwerte zu regulieren und Schadstoffe zu binden und zu speichern. Im Zuge des Klimawandels wird hierbei das Augenmerk vor allem auf die sogenannte CO<sub>2</sub>-Sequestrierung gelegt, d.h. die Einlagerung von CO<sub>2</sub> in nicht-atmosphärische Masse (TEEB, 2012). Dieser Vorgang geschieht durch die Photosynthese, bei welcher die Pflanzen der Atmosphäre Kohlendioxid entziehen und in biologische Masse umwandeln. Aufgrund ihrer grossen Biomasse kommen Wäldern bei der CO<sub>2</sub>-Sequestrierung eine wichtige Rolle zu. Des Weiteren können Bäume relevante Mengen an gesundheitsschädlichen Luftschadstoffen aus der Luft filtern, indem die jeweiligen Partikel an der Oberfläche der Bäume haften bleiben. Die Werte dieser Filterleistungen der Wälder wurden insbesondere in urbanen Gebieten für Feinstaub und Ammoniak bestimmt und der entsprechende Wert für Stickdioxid lässt sich aus Literaturwerten herleiten (Schrader & Brümmer, 2014; Freer-Smith, K.P., & Taylor, 2005).

Zusätzlich regulieren Wälder das Mikroklima. Einerseits wirken sie durch ihren Wasserhaushalt und ihr Absorptionsvermögen von Strahlungen feuchtigkeits- und temperatenausgleichend, andererseits helfen Wälder die Pegelstände von angrenzenden Fließgewässern zu regeln. Letzteres geschieht durch den Waldboden, welcher eine grossflächige Speicherfähigkeit für Niederschläge besitzt und die gespeicherten Wassermengen verzögert abgibt. Somit kann eine kontinuierliche Wasserversorgung der Bäche und Flüsse gewährleistet werden (Götzl, Schwaiger, Schwarzl, & Sonderegger, 2015).

### 3.1.2. Bereitstellende Leistungen

Das Hauptprodukt des Waldes für den menschlichen Gebrauch ist seit jeher das Holz. Dieses ist ein vielfältiger Baustoff, kann durch die Verbrennung zur Wärmeproduktion genutzt werden und dient als Grundstoff bei der Papierproduktion und anderen industriellen Verarbeitungsprozessen (Götzl, Schwaiger, Schwarzl, & Sonderegger, 2015).

Der Wald produziert jedoch noch eine Reihe weiterer Konsumgüter. Insbesondere bei der Bildung von schadstoffarmem Grundwasser kommt dem Wald eine bedeutende Rolle zu. Einerseits filtert der Waldboden die durch den Niederschlag in den Boden eingebrachte Schadstoffe heraus, andererseits ist der Schadstoffeinsatz im Wald generell geringer als in anderen Gebieten. Dies liegt sowohl an Verboten als auch an mangelndem Anwendungsnutzen von unterschiedlichen Mitteln, welche zu Verunreinigungen führen können. Gemäss Schürch, Herold und Kožel (2003) hat das Grundwasser, welches sich unter dem Wald bildet, eine geringere Schadstoffbelastung als das Grundwasser aus landwirtschaftlich genutzten und aus bevölkerungsreichen Gebieten. Nebst der Bereitstellung von gesäubertem Trinkwasser stellen Wälder einen grossen Teil der Lebensräume von Wildtieren dar, deren Jagd zur Lebensmittelversorgung beitragen kann, wie auch das Einsammeln von Pilzen und Beeren (Häyhä, Franzese, Paletto, & Fath, 2015).

Die oben erwähnte Fähigkeit des Waldbodens, die Wasserführung der angrenzenden Fliessgewässer zu regulieren, stellt zusätzliche Leistungen für die lokale Bevölkerung bereit. Die kontinuierliche Wasserversorgung sorgt für eine stabilere Elektrizitätsgewinnung von Wasserkraftwerken und kommt der Bewässerung der Landwirtschaft zugute (Götzl, Schwaiger, Schwarzl, & Sonderegger, 2015).

### 3.1.3. Kulturelle Leistungen

Kulturelle Ökosystemleistungen von Wäldern beinhalten in erster Linie den Erholungswert, den sowohl Einheimische wie auch Touristen bei ihrem Aufenthalt im Wald erfahren. Ein solcher Waldaufenthalt kann einer körperlichen Betätigung gewidmet werden, beispielsweise dem Spazieren, Wandern oder Mountainbiken. Ein Ausflug in den Wald kann auch zum Ziel haben Wildtiere zu beobachten, Waldprodukte, wie etwa Kräuter, Pilze oder Beeren zu sammeln oder Wild zu jagen. Der Erholungswert eines Waldaufenthaltes kann hierbei unter anderem durch die erfahrene Ruhe und die Wertschätzung der Ästhetik der Natur beeinflusst werden. Diekmann et al. (1999) haben im Jahr 1998 eine Umfrage in der Schweiz zu den Motiven der Waldbesuche durchgeführt. Die Befragten haben diese Motive zu den folgenden Prozentsätzen geäussert:

- Spazieren: 40.1%
- Erholung: 19.1%
- Wandern / Sport / Gesundheit: 18.2%
- Naturerlebnis: 9.9%
- Sammeln: 9.8%
- Luft (gute/kühle/frische): 8.6%

- Hund: 7.6%
- Arbeit: 4.0%
- Picknick / Fest: 3.1%
- Kinder: 1.2%

Nebst dem Erholungswert können Wälder auch Teil eines Kulturerbes sein und einen Identifikationswert für die lokale Bevölkerung darstellen, eine Quelle spiritueller und künstlerischer Inspiration sein oder auch bildende Aufgaben übernehmen (Kumar, 2012; Götzl, Schwaiger, Schwarzl, & Sonderegger, 2015).

#### 3.1.4. Habitatsleistungen

Während die sonstigen Leistungen einen direkten Nutzen für die Menschen darstellen, besitzen die Habitatsleistungen, und damit einhergehend die Biodiversität<sup>2</sup> der Wälder, einen nutzenunabhängigen Wert für die Bevölkerung. Ein typisches Beispiel von Habitatsleistungen von Wäldern ist die Generierung von natürlicher Dunkelheit ohne anthropogene Lichtquellen und -emissionen. Diese Dunkelheit stellt einen wichtigen Faktor für die Biodiversität dar (Götzl, Schwaiger, Schwarzl, & Sonderegger, 2015). Zusätzlich stellt der Erhalt der Biodiversität die Grundlage für viele der oben erwähnten ÖSL dar (Staub, et al., 2011). Beispielsweise stellen Wälder Nahrungsquellen für Wildbienen und Material für deren Nester zur Verfügung und ermöglichen dadurch die Existenz dieser Bienen. Zudem kommen im Wald natürliche Schädlingsbekämpfer wie Ameisen vor, die sich zu einem grossen Teil von Forstschädlingen ernähren (Götzl, Schwaiger, Schwarzl, & Sonderegger, 2015).

## 3.2. Schutzwälder in Liechtenstein

### 3.2.1. Hintergrund und Geschichte

Liechtenstein ist ein alpines Land, welches auf kleinstem Raum grosse Höhenunterschiede aufweist. Der tiefste Punkt liegt auf 430 m ü. M. und die Spitze des höchsten Berges auf 2'599 m ü. M. (Amt für Statistik, 2017). Seit jeher war sich die Bevölkerung Liechtensteins der Gefahr von natürlichen Ereignissen wie Lawinen, Rutschungen, Erosion und Steinschlägen bewusst. Bereits 1866 wurde in der Liechtensteiner Waldgesetzgebung der flächenmässige Schutz gewisser Waldgebiete zwecks Minderung und Vermeidung von Naturgefahren verankert. Das Schadenspotenzial und die Schutzbedürfnisse sind jedoch insbesondere in den letzten Jahrzehnten stark angewachsen. Das liegt unter anderem an der Siedlungsausdehnung und der Verdichtung des Strassennetzes (Zürcher & Wohlwend, 2006). So heisst es auch im Waldgesetz von 1991, dass Wälder dazu beitragen sollen, dass Menschenleben und erhebliche Sachwerte vor Naturgefahren geschützt werden sollen (Nigsch, 2009).

---

<sup>2</sup> Die Biodiversität ist die Summe aller Organismen einschliesslich ihrer genetischen Vielfalt und der Art und Weise, wie sie sich zu Gemeinschaften und Ökosystemen zusammenfügen (OECD, 2018).

### 3.2.2. Mengengerüst

Damit ein Wald eine Schutzfunktion aufweist, müssen gemäss Nigsch (2009) die folgenden beiden Kriterien erfüllt sein:

- Er wächst an Orten, von denen eine Naturgefahr wie Lawine, Steinschlag, Rutschung, Erosion oder Murgang ausgehen kann;
- Er ist heute oder in naher Zukunft in der Lage, diese Naturgefahr wirksam einzudämmen oder zu verhindern.

In Liechtenstein werden die Schutzwälder in zwei Hauptkategorien unterteilt: Wälder, die einen Standortschutz oder Wälder die einen Personen- und Objektschutz wahrnehmen. Beim Standortschutzwald steht der Erhalt des Standortes und des Waldes im Vordergrund. Obwohl diese Schutzleistung relevant ist für den Erhalt der Natur Liechtensteins, werden diese Leistungen in diesem Bericht nicht berücksichtigt. Einerseits bestehen grössere Überschneidungen mit Naturreservaten, was eine doppelte Erfassung von ÖSL zur Folge hätte. Andererseits werden gemäss dem Amt für Umwelt Liechtenstein für die Deckung des Bewirtschaftungsdefizits nur für den Personen- und Objektschutzwald staatliche Gelder gesprochen, weshalb der Standortschutzwald wohl kaum Gegenstand von Kostenabwägungen auf politischer Ebene ist. Gemäss den Rechenschaftsberichten von Liechtenstein wurde in den Jahren 2014 bis 2016 ein durchschnittlicher Jahresbeitrag von 523'078 CHF in die Pflege von Wäldern investiert, die einen Personen- und Objektschutz übernehmen. Wie Tabelle 2 zu entnehmen ist, beläuft sich die Gesamtfläche dieser aktiv bewirtschafteten Schutzwälder auf 1'575 Hektaren.

**Tabelle 2: Flächen aller Schutzwälder Liechtensteins im Jahr 2010**

<b>Art des Schutzes</b>	<b>Fläche (in ha)</b>
Direkter Personen- und Objektschutz	643
Indirekter Personen- und Objektschutz	932
Standortschutz	2'036

Die Schutzwaldkartierung Liechtensteins wird gegenwärtig überarbeitet, wobei insbesondere der Hochwasserschutz mehr Beachtung finden wird.

Die Schutzwälder, die Personen- und Objektschutz übernehmen, können weiter in direkte und indirekte Schutzwälder unterteilt werden. Während sich der direkte Schutz auf gravitative Naturgefahren mit eindeutigem Wirkungszusammenhang wie Lawinen oder Steinschläge bezieht, dient der indirekte Schutzwald insbesondere dem Schutz vor Naturgefahren wie Erosion oder Hochwasser. Da das gesamte Einzugsgebiet einen Beitrag zum Hochwasserschutz leistet, kann in den meisten Fällen kein direkter Zusammenhang zwischen dem Überflutungsszenario und einer lokalen Schutzwaldfläche hergestellt werden (Kleemayr, et al., 2019). Der Zusammenhang besteht daher indirekt. Für die Bewertung der Schutzwälder in Liechtenstein, ausgeführt im folgenden Kapitel, werden die Wälder mit Personen- und Objektschutzfunktion zusammengefasst betrachtet.

### 3.3. Bewertung der Schutzwälder

Zu den wichtigsten Ökosystemleistungen von Schutzwäldern existieren Werte in der Literatur. Auf Grundlage dieser Studien haben wir eine grobe Schätzung des jährlichen Nettonutzens<sup>3</sup> der liechtensteinischen Schutzwälder vorgenommen, die einen Objekt- oder Personenschutz wahrnehmen. Wie in Kapitel 3.2.2 erläutert, handelt es sich um Waldgebiete mit einer Gesamtfläche von 1'575 Hektaren.

#### **Regulierende Leistung: Schutzleistung**

Für die monetäre Bewertung der Schutzleistung eines Schutzwaldes, gibt es zwei unterschiedliche Ansätze. Naheliegender erscheint die Berechnung der potenziellen Schadenskosten durch Naturgefahren in der Abwesenheit des Waldes. Zum Beispiel Bebi et al. (2012) haben diesen Ansatz für die Bewertung der Schutzfunktion des Waldes in Davos mit Fokus auf den Lawinenschutz gewählt. Hierbei resultierte ein durchschnittlicher Jahreswert von 30'000 CHF pro Hektar<sup>4</sup>. Wir erachten diesen Ansatz bei der Gesamtbewertung der Ökosystemleistungen jedoch als nicht geeignet. Die Schutzleistung wird mit diesem Ansatz stark überschätzt, denn falls Schutzwälder gänzlich fehlen, werden besonders zum Schutz vor Lawinen und Erdbeben künstliche Schutzeinrichtungen installiert. Zum Schutz vor Erosion können Schutzwälder ebenfalls substituiert werden<sup>5</sup>. Entsprechend erachten wir den zweiten Ansatz, der die Kosten von künstlichen Substituten für Schutzwälder berechnet, als sinnvoller. Dieser wurde unter anderem von Häyhä et al. (2015) bei der Berechnung von Ökosystemen im norditalienischen Trento und Paletto et al. (2015) für das österreichische Leiblachtal verfolgt. Während Häyhä et al. (2015) Kosten von 1'888 EUR pro Jahr und Hektar für künstliche Schutzeinrichtungen gegen Lawinen und Erdbeben schätzten, haben Paletto et al. (2015) Ersatzkosten von 581 EUR pro Jahr und Hektar für den indirekten Schutzwald und 707 EUR pro Jahr und Hektar für den direkten Schutzwald ermittelt. Hierbei wurden Marktpreise und die Lebensdauer der künstlichen Substitute berücksichtigt. Nachdem wir diese Werte gemäss Appendix A in Franken umgerechnet und inflationsbereinigt haben, ergibt dies einen jährlichen Wert für die Schutzleistung der liechtensteinischen Schutzwälder von rund 1.1 bis 3.2 Millionen CHF wie in Tabelle 3 ersichtlich ist.

#### **Regulierende Leistung: CO<sub>2</sub>-Sequestrierung der Bäume**

Eine weitere bedeutende ÖSL von Wäldern ist die CO<sub>2</sub>-Sequestrierung. Dazu gibt es viele unterschiedliche Studien. Wir stützen unsere Schätzung auf Werte des liechtensteinischen Inventarberichts 2019 vom Amt für Umwelt (2019). Dieser Bericht enthält Werte zum gebundenen Kohlenstoff in der Biomasse des liechtensteinischen Waldes inklusive des Waldbodens auf drei

<sup>3</sup> Der Nettonutzen ist der Gesamtnutzen abzüglich der Gesamtkosten.

<sup>4</sup> Jedoch resultierten enorme Standortunterschiede. Die Autoren haben die Schutzleistung auf 3 CHF bis 698'000 CHF pro Hektar geschätzt.

<sup>5</sup> Eine mögliche Substitution zum Schutz von Erosion in Abwesenheit von Wäldern ist «Hydro-Seeding», d.h. eine Bepflanzungstechnik, bei der eine Mischung aus Samen und Mulch auf den Hang aufgetragen wird.



unterschiedlichen Höhenstufen<sup>6</sup>. Zusätzlich wurden im liechtensteinischen Inventarbericht 2019 die gebundenen Kohlenstoffmengen für alternative Bodennutzungen aufgelistet. Für unsere Berechnungen haben wir die Kohlenstoffmengen des Dauergrünlands als Substitut angenommen aufgrund der Hanglage der meisten Schutzwälder in Liechtenstein, die eine intensive Landwirtschaft oder den Siedlungsbau verunmöglichen würde. Dazu gingen wir in Absprache mit dem Amt für Umwelt von der Annahme aus, dass die Hälfte der Schutzwälder Liechtensteins über und die andere Hälfte unter 1'000 m ü. M. liegt. Nach der Umrechnung des gebundenen Kohlenstoffs in CO<sub>2</sub> gemäss Appendix A könnte man noch den Einfluss der Wälder auf den Albedo-Effekt<sup>7</sup> berücksichtigen, wie dies beispielsweise Bebi et al. (2012) gemacht haben. Aufgrund von fehlenden aktuellen Daten für Liechtenstein haben wir davon abgesehen.

Für die monetäre Bewertung der vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen gehen wir von einem Unterwert von 180 EUR und einem Oberwert von 640 EUR pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent aus. Diese Werte basieren auf der Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten des Umweltbundesamtes (Bünger & Matthey 2019) und stellen aus unserer Sicht angesichts der Vielzahl verfügbarer Schätzungen plausible Grössenordnungen dar. Die Werte basieren auf den zu erwartenden globalen Schadenskosten, bereinigt nach lokalen Einkommensverhältnissen, wie dies beispielsweise auch vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) gemacht wird (IPCC, 2014). In der Klimaforschung wird mit dem Schadenskostenansatz die Höhe der Schäden für die Gesellschaft geschätzt, die durch Treibhausgasemissionen und dem daraus resultierenden Klimawandel entstehen. Während der Unterwert von 180 EUR pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent aufgrund der angenommenen Zeitpräferenz den Nutzen zukünftiger Generationen geringer wertet als den Nutzen der heutigen Generation, widerspiegelt der Oberwert von 640 EUR eine Gleichgewichtung der Nutzen heutiger und zukünftiger Generationen.<sup>8</sup> Die Anwendung eines Schadenskostensatzes mit weltweiter Sichtweise erscheint angemessen, da die ökonomischen Schäden aufgrund des Klimawandels grösstenteils unabhängig vom Emissionsort entstehen und auch teilweise international getragen werden. Dies wird am Beispiel der Entwicklungshilfen ersichtlich. Gestützt auf weitere Annahmen, die im Appendix A aufgelistet sind, haben wir einen jährlichen Wert der CO<sub>2</sub>-Sequestrierung der Schutzwälder Liechtensteins von rund 2.3 – 8.3 Millionen CHF berechnet.

<sup>6</sup> Im liechtensteinischen Inventarbericht 2019 wurden unterschiedliche Werte eruiert für Wälder von 0 – 600 m ü. M., 600 – 1'200 m ü. M. und allen Wäldern die höher als 1'200 m ü. M. liegen.

<sup>7</sup> Der Albedo Effekt beschreibt die Reflexion der (Sonnen-)Strahlung auf der Erdoberfläche, wobei helle Oberflächen, wie beispielsweise verschneite Flächen, deutlich stärker reflektieren. Bewaldete Flächen weisen somit im Winter oftmals tiefere Reflexionswerte auf als beispielsweise verschneite Wiesen, weil der Schnee teilweise von den Bäumen runterfällt (Spektrum.de, 2001).

<sup>8</sup> In der Methodenkonvention 3.0 des UBA wird die Verwendung eines Kostensatzes von 180 €2016 / t CO<sub>2</sub> äq für das Jahr 2016 empfohlen. Da es sich bei Schäden durch den Klimawandel um generationenübergreifende Schäden handelt, empfehlen die Autoren eine Sensitivitätsanalyse mit einem Wert von 640 €2016 / t CO<sub>2</sub> äq, da dieser eine Gleichgewichtung der Nutzen heutiger und zukünftiger Generationen widerspiegelt (vgl. Bünger & Matthey (2019)).

### **Regulierende Leistung: Absorbierung von Luftschadstoffen**

Der Fähigkeit der Bäume, Feinstaub-, Stickdioxid- und Ammoniak-Partikel aus der Luft zu filtern wird im Fall der liechtensteinischen Schutzwälder eher eine untergeordnete Bedeutung beigemessen, da vor allem die direkten Anwohner der Wälder von der besseren Luftqualität profitieren (Götzl, Schwaiger, Schwarzl, & Sonderegger, 2015). Somit haben wir angenommen, dass sich die eingesparten Gesundheits- und Umweltkosten in Liechtenstein zwischen 10 bis 20% der vom deutschen Umweltbundesamt ausgewiesenen Schadenskostensätze für die Emission dieser Luftschadstoffe befinden (Matthey & Bünger, 2019). So resultierte ein jährlicher Schätzwert von insgesamt 219'000 bis 437'000 CHF für die Filterung dieser Luftschadstoffe. Die detaillierte Vorgehensweise für die Berechnungen dieser Werte sind im Annex A einsehbar.

### **Bereitstellende Leistung: Versorgungsleistung**

Für die Versorgungsleistung haben wir die Werte für das norditalienische Trento von Häyhä et al. (2015) und Werte für das österreichische Leiblachtal von Paletto et al. (2015) kombiniert. Diese Entscheidung beruht darauf, dass die essenzielle ÖSL der Trinkwasserbereitstellung nur für das norditalienische Trento berücksichtigt wurde. Zusätzlich ist die Holzproduktion von Liechtenstein gemäss Informationen des Amtes für Umwelt Liechtenstein kaum gewinnbringend. Aus diesem Grund haben wir die Werte der oben genannten Studien bezüglich der Holzproduktion bereinigt, womit noch das Trinkwasser, die Jagderzeugnisse, Pilze und Beeren in der Versorgungsleistung berücksichtigt wurden. Aufgrund des eher steilen Geländes der Schutzwälder und ihrer wohl eher geringeren Biodiversität haben wir die konservative Annahme getroffen, dass der Versorgungswert durch die Erträge der Jagd, der Pilze und Beeren von den liechtensteinischen Schutzwäldern die Hälfte des Wertes der Vergleichsstudie beträgt<sup>9</sup>. Nachdem wir die Werte in Schweizer Franken umgerechnet und inflationsbereinigt haben<sup>10</sup>, resultierte zusammengefasst ein jährlicher Wert der Versorgungsleistungen für die Schutzwälder Liechtensteins von 157'000 bis 214'000 CHF.

### **Kulturelle Leistung: Erholungswert für Einheimische**

Der berechnete Erholungswert für Einheimische des Schutzwaldes in Liechtenstein basiert auf einer Studie des Schweizer Bundesamts für Umwelt (von Grünigen, Montanari, & Ott, 2014). So beläuft sich der ermittelte Erholungswert, den die befragten Personen durch Aufenthalte in Schweizer Wäldern erzielen, auf 290 bis 589 CHF pro Person und Jahr. Bei der Hochrechnung dieses Wertes auf die Gesamtbevölkerung sind gemäss den AutorInnen nur Personen im Erwachsenenalter zu berücksichtigen. Bei der Ermittlung des jährlichen Erholungswertes des Schutzwaldes in Liechtenstein wurde somit bloss die Bevölkerung berücksichtigt, welche min-

<sup>9</sup> Dies ergab eine Wertspanne für die Versorgungsleistungen von 92 bis 125.5 EUR pro Hektar und Jahr.

<sup>10</sup> Für die Berechnung wurde ein durchschnittlicher Wechselkurs von 1.067 EUR/CHF für das Jahr 2015 und eine Schweizer Inflationsrate von 1.4% von 2015 bis 2019 angenommen (UNCTADSTAT, o.D.; Bundesamt für Statistik, o.D.).

destens 18 Jahre alt ist<sup>11</sup>. Zusätzlich haben wir nur den prozentualen Anteil des Schutzwaldes an der Gesamtfläche<sup>12</sup> der liechtensteinischen Wälder berücksichtigt, welcher rund 30% beträgt (Bundesamt für Statistik BFS, 2015). Dazu muss wohl angenommen werden, dass die Pro-Kopf-Wertschätzung der SchweizerInnen für ihre Waldgebiete etwas höher ist als diejenige der liechtensteinischen Bevölkerung. Erstens besitzt die Bevölkerung Liechtensteins aufgrund der geringen Landesfläche auch die Möglichkeit regelmässige Waldausflüge im nahen Ausland vorzunehmen, während es vorstellbar ist, dass die SchweizerInnen ihre Waldausflüge zu einem hohen Anteil im Inland unternehmen. Zweitens ist die Pro-Kopf-Wertschätzung der SchweizerInnen für ihren Wald vermutlich höher, da die vergleichsweise grosse Waldfläche (240-mal grösser als die Waldfläche in Liechtenstein) aus allen Landesteilen der Schweiz diverse Landschaften und eine Vielzahl an verschiedenen Ausflugszielen beinhaltet (Bundesamt für Statistik BFS, 2019). Drittens ist ein Teil der Schutzwälder Liechtensteins in schlecht erschlossen und unzugänglich. Somit haben wir für die LiechtensteinerInnen einen eher konservativen Anteil der Pro-Kopf-Zahlungsbereitschaft aus der Schweizer Studie von 30 – 60% angenommen<sup>13</sup>. Den inflationsbereinigten<sup>14</sup> Erholungswert der liechtensteinischen Schutzwälder für die Einheimischen haben wir auf dieser Basis auf rund 0.9 bis 3.5 Millionen CHF pro Jahr geschätzt.

### **Kulturelle Leistung: Erholungswert Touristen**

Nicht nur Einheimische schätzen die Natur Liechtensteins, sondern auch dem Tourismussektor kommen insbesondere die alpinen Landschaften zugute. Um die Zahlungsbereitschaft der Touristen für das Naturerlebnis in den Wäldern zu schätzen, gingen wir von der oben berechneten jährlichen Pro-Kopf-Zahlungsbereitschaft der LiechtensteinerInnen für Waldaufenthalte zu Erholungsnutzen in den liechtensteinischen Schutzwälder aus<sup>15</sup>. Diese Werte haben wir dann analog dem Ansatz von Econcept (2002) auf die Touristen in Liechtenstein übertragen. Hierbei haben wir die jährlichen Zahlungsbereitschaften der Einheimischen auf die einzelnen Waldbesuche heruntergebrochen und dann mit der geschätzten Anzahl Übernachtungen der erwachsenen Naturtouristen in Liechtenstein multipliziert. Somit erhielten wir eine geschätzte Zahlungsbereitschaft der Touristen in Liechtenstein von rund 53'000 bis 216'000 CHF pro Jahr für Aufenthalte in den Schutzwälder. Details zu der Herleitung dieser Werte sind im Appendix A erläutert. In diesen Werten ist die Zahlungsbereitschaft der Touristen für die Biodiversität und das Landschaftsbild noch nicht berücksichtigt. Somit kann davon ausgegangen werden, dass der Wert der kulturellen Leistungen der Schutzwälder für den Tourismussektor noch höher ausfallen dürften. Von der berechneten Zahlungsbereitschaft dürfte insbesondere das liechtensteinische Gast- und Wintersportgewerbe profitieren.

<sup>11</sup> Gemäss der Bevölkerungsstatistik von Liechtenstein mit dem Stichtag am 30.06.2019 beträgt die Bevölkerungszahl der Personen über 18 Jahren in Liechtenstein 31'728 (Frick, 2019).

<sup>12</sup> Hierbei gingen wir nur von den Waldflächen ohne Gebüschwald aus.

<sup>13</sup> Für den Erholungswert von geschützten Wäldern in Liechtenstein, wie in Kapitel 4.3 erläutert, gingen wir von einem höheren Wert aus, 50 – 80%, da Freizeitaktivitäten in Schutzwäldern durchschnittlich wohl eher von geringerer Bedeutung sind.

<sup>14</sup> Die Inflationsrate in der Schweiz betrug von 2014 bis 2019 2.9% (Bundesamt für Statistik, o.D.).

<sup>15</sup> Der geschätzte Erholungswert der liechtensteinischen Bevölkerung durch Aufenthalte in den Objekt- und Personenschutzwälder Liechtensteins betragen für das Jahr 2019 27 bis 110 CHF pro erwachsene Person und Jahr.

### Kulturelle Leistung: Zahlungsbereitschaft Biodiversität Einheimische

Für die Wertschätzung der Biodiversität in Schweizer Wäldern haben Bade, Ott und von Grünigen (2011) eine Zahlungsbereitschaft von 40 bis 60 CHF pro Schweizer Haushalt und Jahr ermittelt. Diese Werte haben wir mit den 16'522 liechtensteinischen Haushalten multipliziert und inflationsbereinigt<sup>16</sup> (Frick, 2019). Zusätzlich haben wir für die LiechtensteinerInnen angenommen, dass ihre Pro-Kopf-Zahlungsbereitschaft einen Wert von 50 bis 80% der Zahlungsbereitschaft der SchweizerInnen annimmt. Diese Annahme haben wir getätigt, weil Liechtenstein beispielsweise rund 60% der Schweizer Wildtierarten besitzt und in den liechtensteinischen Wäldern circa 70% der Baumarten der Schweizer Wälder vorkommen (Liechtenstein.li, 2019; Thöny, 2012; WaldSchweiz, 2018). Der resultierende Wert für die Biodiversität der Schutzwälder Liechtensteins liegt somit im Bereich zwischen 99'000 und 237'000 CHF pro Jahr.

## 3.4. Resultate für die Schutzwälder

Wie in Tabelle 3 dargestellt, entspricht der berechnete Nettonutzen pro Jahr für die Schutzwälder Liechtensteins insgesamt einem Wert zwischen 4.3 bis 15.6 Mio. CHF. Insbesondere der Wert der Schutzleistungen in der Höhe von 1.1 bis 3.2 Mio. CHF pro Jahr entspricht einer vorsichtigen Schätzung, da wir lediglich die Kosten für künstliche Substitutionsverbauungen berücksichtigt haben. Gemäss Informationen des Amtes für Umwelt Liechtenstein seien solche technischen Verbauungen jedoch bloss punktuell wirksam und können einen Schutzwald nicht komplett ersetzen.

**Tabelle 3: Geschätzte Bandbreite für den Wert der Objekt- und Personenschutzwälder Liechtensteins in CHF pro Jahr**

Art der Leistung/Kosten	Untertwert	Obertwert
Wert CO <sub>2</sub> -Sequestrierung Bäume	2'347'000	8'344'000
Schutzleistung: Kosten künstliche Substitute	1'077'000	3'217'000
Erholungswert Einheimische	856'000	3'476'000
Wert der Versorgungsleistungen	157'000	214'000
Wert der Feinstaub-Absorbierung	118'000	235'000
Zahlungsbereitschaft Biodiversität Einheimische	99'000	237'000
Wert der Ammoniak-Absorbierung	80'000	161'000
Erholungswert Touristen	53'000	216'000
Wert der Stickdioxid-Absorbierung	21'000	41'000
<b>Bruttonutzen</b>	<b>4'808'000</b>	<b>16'141'000</b>
<b>Pflegekosten</b>	<b>- 523'000</b>	<b>- 523'000</b>
<b>Nettonutzen</b>	<b>4'285'000</b>	<b>15'618'000</b>

<sup>16</sup> Die Inflationsrate in der Schweiz betrug von 2011 bis 2019 -0.6% (Bundesamt für Statistik, o.D.).

## 4. Geschützte Naturgebiete

In diesem Kapitel betrachten wir die Naturschutzgebiete, die Landschaftsschutzgebiete, die Sonderwaldflächen und Waldreservate von Liechtenstein. Da für diese beiden Waldtypen zu meist dieselben ÖSL anrechenbar sind wie für die Schutzwälder, werden wir im einleitenden Kapitel 4.1 zu den allgemeinen ÖSL dieser geschützten Naturgebiete nicht weiter auf die Wälder eingehen. Zusätzlich besitzen auch die Naturschutzgebiete und die Landschaftsschutzgebiete Liechtensteins kleinere Waldstücke, dessen ÖSL wir in diesem Unterkapitel auch nicht weiter behandeln. Informationen bezüglich der generell zu erwartenden Ökosystemleistungen von Wäldern sind im Kapitel 3.1 aufgelistet. Die Übersichtstabellen aller bewerteten ÖSL dieser geschützten Naturgebiete Liechtensteins sind im Kapitel 4.4 zu finden.

### 4.1. Ökosystemleistungen von geschützten Naturgebieten

Wie erwähnt treffen die ÖSL der Wälder, wie im Kapitel 3.1 beschrieben, grundsätzlich auch auf Wälder zu, welche einen Schutzstatus besitzen. Somit fokussieren wir uns in diesem Kapitel vor allem auf sonstige Naturgebiete, wie beispielsweise Teich- und Seenlandschaften, Moore und Magerwiesen.

#### 4.1.1. Regulierende Leistungen

In der Forschung hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass nicht nur Wälder wertvoll sind bezüglich der CO<sub>2</sub>-Sequestrierung, sondern auch Moore ein entscheidender Faktor sein können bei der Minderung des Treibhausgaseffekts durch die Bindung von Kohlendioxid. Während intakte Moore CO<sub>2</sub> binden können durch die gebremste Zersetzung des organischen Materials aufgrund des Wasserüberschusses, sind ausgetrocknete Moore beträchtliche CO<sub>2</sub>-Emittenten (Höper, 2007). Es wird geschätzt, dass obwohl Moore weltweit bloss rund 3% der gesamten Landesfläche ausmachen, circa 30% des globalen Kohlenstoffs aller Böden binden (Cavicchioli, 2019). Eine Austrocknung dieser Flächen würde somit verheerende Folgen für den Klimawandel haben.

Moore, naturbelassene Böden und Gewässer mit naturnahen Auen übernehmen auch eine Selbstreinigungsfunktion, wobei sie Schadstoffe vor allem von angrenzenden Landwirtschaftsflächen abbauen oder herausfiltern. Dadurch verbessert sich die Grundwasser- und Oberflächengewässerqualität. Noch relevanter erscheinen jedoch die vermiedenen Schadenskosten, die durch die landwirtschaftliche Verwendung von Düngemitteln und synthetischen Pestiziden<sup>17</sup> zustande kämen, falls die geschützten Gebiete in landwirtschaftliche Flächen umgewandelt werden würden (Naturkapital Deutschland - TEEB DE, 2012). Deren Einsatz belastet einerseits die Gewässer, wodurch die Wasserqualität vermindert wird und zu erhöhten Gesund-

---

<sup>17</sup> Synthetische Pestizide werden grösstenteils von der konventionellen Landwirtschaft verwendet, während die Landwirtschaft nach Bio-Richtlinie auf dessen Einsatz verzichtet (Bio Suisse, 2020).

heitskosten führen kann, andererseits können überdüngte Ökosysteme adverse Effekte bezüglich der Biodiversität nach sich ziehen.

Auch die Biodiversität von intakten Ökosystemen ihrerseits verrichtet regulierende ÖSL. Verschiedenste Tierarten agieren als sogenannte Nützlinge indem sie beispielsweise auf natürliche Weise die Schädlingspopulationen regulieren. Dadurch kann der Einsatz von Pestiziden vermindert werden. Schätzungen gehen davon aus, dass die Populationen von 99% der Schädlingsarten durch natürliche Feinde wie Spinnen, Vögel, Bakterien oder Pilze eingedämmt werden können (Naturkapital Deutschland - TEEB DE, 2012). Dazu übernehmen Insekten wesentliche Bestäubungsleistungen, sowohl zur Erhaltung der bestehenden Flora als auch im Dienst der Landwirtschaft. Sutter et al. (2017) haben geschätzt, dass in der Schweiz auf circa 5% der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche und auf 14% der Ackerflächen bestäubungsabhängige Kulturen angebaut werden, was einem jährlichen Wert von 205 bis 479 Millionen Franken gleichkommt. Abgesehen von Honigbienen kommen hierbei wilden bestäubenden Insekten eine grosse Bedeutung zu. Damit Wildbienen und sonstige Bestäuber weiterhin ihrer Aufgabe nachkommen können, sind naturbelassene Flächen essenziell.

Naturnahe Biotope wie zum Beispiel Wälder, Moore und Feuchtgebiete vermindern zudem das Hochwasserrisiko, da diese den Abfluss von Niederschlagswasser verzögert abgeben. Besonders wirksam ist dieser Effekt des verzögernden Abflusses bei naturnahen Auen oder auch bei Torfböden, die sich durch eine ausgeprägte Quellfähigkeit auszeichnen (Naturkapital Deutschland - TEEB DE, 2012; Bund Naturschutz, 2020). Zusätzliche Leistungen bezüglich des Mikroklimas von naturbelassenen Flächen, Gewässern und Mooren sind die Feuchtigkeits- und Temperaturregulation, wobei hiervon die angrenzenden Siedlungsgebiete und die lokale Flora und Fauna besonders profitieren (Staub, et al., 2011).

#### 4.1.2. Bereitstellende Leistungen

Aufgrund des Schutzstatus, wie oben erläutert, sind die bereitstellenden Leistungen dieser Landschaftstypen abgesehen von den Wäldern sehr beschränkt. Während naturbelassene Gewässer sonst wertvoll für den Fischfang, für die Trinkwasserversorgung oder für die Bewässerung der Landwirtschaft sein können, Mooregebiete eine Quelle von Torf darstellen können und Landschaften mit einer hohen Biodiversität beispielsweise Heilpflanzen oder auch Rohstoffe für die biochemische Produktion bereitstellen können, beschränken sich die bereitstellenden Leistungen von geschützten Naturgebieten höchstens auf die punktuelle Entnahme genetischen Materials zu Forschungszwecken (Früh, et al., 2013; Kumar, 2012). Landschaftsschutzgebiete hingegen, abhängig vom jeweiligen Schutzstatus, können einen Beitrag zur landwirtschaftlichen Produktion übernehmen, wobei sich dieser zumeist auf den Obst- und Rebbau beschränkt.

#### 4.1.3. Kulturelle Leistungen

In erster Linie bestehen die kulturellen Leistungen aus dem Erholungswert, welchen man durch einen Besuch eines Naturschutzgebietes oder einer geschützten Landschaft bezieht. Wie bei einem Waldbesuch stehen hier die körperliche Betätigung, die Ruhe, die Naturerfahrung oder

Faktoren des Mikroklimas wie frische Luft oder angenehme Temperaturen im Vordergrund. Zudem können solche Landschaften ein Teil des Kulturerbes und der Identifikation der lokalen Bevölkerung darstellen. Zusätzlich können geschützte Landschaften einen naturkundlichen Wert für die Forschung und Bildung besitzen oder auch als spirituelle oder künstlerische Inspirationsquelle dienen (Kumar, 2012).

#### 4.1.4. Habitatsleistungen

Die Habitatsleistungen der geschützten Naturgebiete stiften für den Menschen wiederum keinen direkten Nutzen. Jedoch können wichtige Rückzugsgebiete für verschiedenste Tierarten geschaffen werden, welche beispielsweise als Bestäuber oder als natürliche Schädlingsbekämpfer agieren können. Zudem können grössere, zusammenhängende Schutzgebiete wichtige Wanderkorridore für Tiere darstellen.

## 4.2. Geschützte Naturgebiete in Liechtenstein

### 4.2.1. Hintergrund und Geschichte

Erste Impulse erhielt der Naturschutz zu Beginn des 20. Jahrhunderts von der mitteleuropäischen Strömung gegen die Industrialisierung und die von ihr verursachten Bedrohung des Naturreichtums. Diese Bewegung war auch im ländlichen Liechtenstein spürbar, wo sie 1903 mit dem Schutz des Edelweisses und weiterer Alpenpflanzen zu den ersten gesetzlichen Bestimmungen führte. Im Jahr 1933 hat Liechtenstein sein erstes, damals durchaus modernes Naturschutzgesetz verfasst, welches eine lange Liste von Tier- und Pflanzenarten unter Schutz stellte. Auch sollten Standorte seltener Pflanzen und «Naturgebilde» wie Wasserfälle und geologische Formationen erhalten werden. Trotzdem hatten diese vom Ausland inspirierten Bemühungen kaum Erfolg. Erst seit den 1950er Jahren fand der Naturschutz in Liechtenstein vermehrt Beachtung, wodurch 1952 das Malbuntal zum Pflanzenschutzgebiet und die Gebiete Schwabbrünnen-Äscher und das Gampriner Seelein 1961 zu den ersten Naturschutzgebieten Liechtensteins erklärt wurden (Landesverwaltung Fürstentum Liechtenstein, 1961; Landesverwaltung Fürstentum Liechtenstein, 1961). Während das mit 93.6 Hektaren grösste Naturschutzgebiet Liechtensteins, das Ruggeller Riet, 1978 unter Schutz gestellt wurde, erhielten 26.7% der gesamten Waldflächen Liechtensteins im Jahr 2000 den Schutzstatus. Diese Wälder sind fortan als Waldreservate und Sonderwaldflächen ausgewiesen worden (Broggi, 2011).

Aufgrund des mäandrierenden Rheins haben sich in der Ebene des heutigen Rheintals und Liechtensteins ausgedehnte Sümpfe und Niedermoore gebildet. So bildete sich im Rheintal beispielsweise das gemessen an der Fläche grösste Torfgebiet der Schweiz (Seitz, 2013). Obwohl die Riede<sup>18</sup> in Liechtenstein ab 1834 systematisch entwässert wurden, besass das Land noch bis Mitte des 20. Jahrhunderts einen hohen Anteil an natürlichen Feuchtflächen. Um das Kulturland zu erhalten beziehungsweise zusätzliche Flächen zu gewinnen und die Ernährungs-

<sup>18</sup> Riede sind Spätstadien von Niedermooren, die im Bereich von verlandenden Restseen nach der letzten Eiszeit entstanden sind (Haidvogel, 2011).

basis der Bevölkerung zu verbessern, hat man ab 1931 die Anstrengungen zur Entwässerung erhöht. Dies geschah durch den Bau des Binnenkanals, der Regulierung der Esche und der Drainage durch unterirdisch verlegte Entwässerungsrohre (Haidvogel, 2011). Somit verbleiben im heutigen Liechtenstein nur noch kleinste Flächen der einst grossflächigen Moorlandschaft.

#### 4.2.2. Mengengerüst

Das Pflanzenschutzgebiet stellt in Liechtenstein mit 6'247 Hektaren das grösste Schutzgebiet dar. Das Pflanzenschutzgesetz verfolgt das Ziel, die Gebirgsflora zu schützen. Es verbietet, im Pflanzenschutzgebiet wildwachsende Pflanzen auszureissen, auszugraben, zu pflücken, zu beschädigen oder deren Lebensräume zu zerstören (Landesverwaltung Fürstentum Liechtenstein, 1989). Da gemäss dem Amt für Umwelt Liechtenstein die Bevölkerung mittlerweile bezüglich des Naturschutzes sensibilisiert wurde und sich auch das Sammeln gewisser Blumen nicht mehr der gleichen Beliebtheit wie früher erfreut, kommt diesem Gesetz nicht mehr dieselbe Bedeutung zu. Darüber hinaus sind die gesetzlichen Einschränkungen des Gebiets eher gering und beträchtliche Teile des Pflanzenschutzgebietes sind gleichzeitig Teil eines Waldreservates oder einer Sonderwaldfläche. Deshalb haben wir das Pflanzenschutzgebiet von Liechtenstein nicht zusätzlich in unsere Bewertung miteinbezogen (Landesverwaltung Fürstentum Liechtenstein, 2020).

Auch die Pilzschutzgebiete, welche insgesamt eine Fläche von 1'435 Hektaren einnehmen, haben wir von unserer Bewertung ausgenommen. Grund dafür ist, dass das gesamte Gebiet zugleich entweder ein Naturschutzgebiet oder ein Waldreservat darstellt und somit doppelt bewertet werden würde (Landesverwaltung Fürstentum Liechtenstein, 2020). In den Pilzschutzgebieten besteht ein absolutes Pflückverbot von Pilzen (Landesverwaltung Fürstentum Liechtenstein, 2002).

**Tabelle 4: Schutzgebiete von Liechtenstein**

<b>Art der Schutzgebiete</b>	<b>Fläche (ha)</b>
Pflanzenschutzgebiete	6'247
Pilzschutzgebiete	1'435
Waldreservate	1'274
Sonderwaldflächen	479
Naturschutzgebiete	176
Landschaftsschutzgebiete	77

Da die Pflanzen- und Pilzschutzgebiete beträchtliche Überschneidungen mit den sonstigen aufgeführten Schutzgebieten aufweisen, sind diese Flächen nicht additiv zu verstehen.

Quelle: Amt für Statistik Liechtenstein (2018)

Aufgrund der Ähnlichkeit der Waldreservate und Sonderwaldflächen haben wir eine kombinierte Gesamtbewertung der beiden Gebietsarten vorgenommen, wobei wir diese im weiteren Verlauf dieses Berichts geschützte Waldgebiete nennen. Der einzige Unterschied bei der Be-



wertung dieser beiden Gebietsarten bezog sich auf ihren jeweiligen Schutzstatus. Während in den Waldreservaten jegliche menschlichen Eingriffe ausser der Jagd untersagt sind, ist in den Sonderwaldflächen beispielsweise das Sammeln von Beeren und Pilzen zugelassen (Landesverwaltung Fürstentum Liechtenstein, 2000). Gemäss dem Amt für Umwelt Liechtenstein beliefen sich die durchschnittlichen jährlichen Bewirtschaftungskosten dieser geschützten Wälder, bezogen auf die Jahre 2017 bis 2019, auf rund 33'000 CHF. Zusätzlich werden Entschädigungen aufgrund des Nutzungsverzichts von jährlich 37'000 CHF an die Besitzer der geschützten Wälder ausbezahlt.

Die als Naturschutzgebiet ausgewiesenen Gebiete mit einer Gesamtfläche von 176 Hektaren haben wir ebenfalls einer monetären Bewertung unterzogen. Rund 147 Hektaren dieser Gesamtfläche sind Flachmoore oder besitzen Flachmoorfragmente, wobei hiervon die beiden grössten Naturschutzgebiete Liechtensteins, das Ruggeller Riet und die Riedlandschaft Schwabbrünnen-Äscher, mit einer gemeinsamen Fläche von rund 145 Hektaren den grössten Teil darstellen (Amt für Umwelt, 2020). Die Unterschutzstellung dieser Gebiete verfolgt das Ziel deren Zustand zu wahren und verbietet die Veränderung oder Zerstörung dieser Naturschutzgebiete. Die jährlichen Kosten für den Pflegeaufwand des Ruggeller Riets belaufen sich gemäss Informationen des Amtes für Umwelt Liechtenstein<sup>19</sup> auf circa 250'000 – 300'000 CHF. Diese Zahlen haben wir proportional zur Fläche auf alle weiteren Naturschutzgebiete übertragen, was zu einem geschätzten jährlichen Pflegeaufwand aller Naturschutzgebiete Liechtensteins von 484'000 – 581'000 CHF führt. Die einzelnen Naturschutzgebiete Liechtensteins mit deren individueller Grösse und dem Hinweis, ob es sich um ein Flachmoor handelt, sind im Appendix B aufgelistet.

Im Rahmen dieses Berichts haben wir auch die insgesamt rund 77 Hektar grossen Landschaftsschutzgebiete Liechtensteins bewertet. Als Landschaftsschutzgebiete können in Liechtenstein Landschaften und Landschaftsteile bestimmt werden, in denen ein besonderer Schutz von Natur und Landschaft erforderlich ist:

- zur Erhaltung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes,
- wegen der Vielfalt, Eigenart oder Schönheit des Landschaftsbildes,
- wegen des kulturhistorischen Wertes einer Landschaft,
- wegen der besonderen Bedeutung einer Landschaft für Mensch und Natur.

Die beiden Landschaftsschutzgebiete in Liechtenstein, das Gebiet «Periol, Bofel, Neufeld, Undera Forst» und der «Wesa-Fokswinkel» zeichnen sich vor allem durch eine grosse Lebensraumvielfalt mit einem hohen Anteil an Vernetzungsstrukturen aus. Zusätzlich sind die Gebiete unverbaut und werden dadurch auch als Naherholungsgebiet von der Bevölkerung sehr geschätzt (Liechtenstein Marketing, 2014). Die Kosten für die Förderung und Pflege von landschaftsprägenden Elementen innerhalb der Landschaftsschutzgebiete, wie beispielsweise Tro-

---

<sup>19</sup> Gemäss Aussagen des Amtes für Umwelt Liechtenstein setzen sich diese Unterhaltskosten aus den Bewirtschaftungsgeldern der Landwirte, dem Grabenunterhalt und der Neophytenbekämpfung zusammen.

ckenmauern, Obstbaumkulturen oder Feldgehölze, werden von den Gemeinden und dem Naturschutz getragen<sup>20</sup>. Gemäss einer Mitteilung des Amtes für Umwelt Liechtenstein belaufen sich die jährlichen Kosten dieser Arbeiten auf circa 100'000 CHF. Diesen Wert verwenden wir für die jährlichen Unterhaltskosten, welche von der öffentlichen Hand getragen werden. Die zusätzlichen Bewirtschaftungskosten der Landwirte für die Landschaftsschutzgebiete haben wir nicht in unsere Gesamtkosten aufgenommen, da diese Kosten wohl grösstenteils durch die landwirtschaftlichen Erträge dieser Arbeiten gedeckt werden und wohl nur in den seltensten Fällen nicht kostendeckend verrichtet werden. Details zu den beiden Landschaftsschutzgebieten sind im Appendix B aufgelistet.

### 4.3. Bewertung der geschützten Naturgebiete

Die Tabellen der geschätzten jährlichen Werte zu Nutzen und Kosten der drei untersuchten Schutzgebietsarten, der Naturschutzgebiete, der geschützten Wälder und der Landschaftsschutzgebiete, sind im Kapitel 4.4 zu finden. Im Folgenden wird die Herleitung der geschätzten Werte pro ÖSL erläutert.

#### **Regulierende Leistung: CO<sub>2</sub>-Sequestrierung der Bäume**

Abgesehen von den geschützten Wäldern Liechtensteins haben wir aufgrund von Satellitenbildern von Google Maps angenommen, dass 5-10% der Naturschutzgebiete und 20-30% der Landschaftsschutzgebiete bewaldet sind. Wie bereits bei der Bewertung der Schutzwälder stützen wir uns bezüglich der Bewertung der CO<sub>2</sub>-Sequestrierung der Bäume auf die Kohlenstoffwerte der Wälder des liechtensteinischen Inventarberichts 2019 vom Amt für Umwelt (2019). Bei den Berechnungen für die geschützten Wälder und die Wälder der Landschaftsschutzgebiete haben wir die Kohlenstoffwerte des Dauergrünlands und für die Wälder der Naturschutzgebiete die Kohlenstoffwerte des Ackerlands als Substitut angenommen. Diese Annahmen basieren auf der Tatsache, dass die geschützten Wälder und die Landschaftsschutzgebiete in landwirtschaftlich eher unbedeutenden Teilen des Landes oder in unwegsamem Gelände liegen, während die Naturschutzgebiete sich grösstenteils inmitten von Ackerbauflächen befinden. Für die Bewertung der vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen haben wir wiederum die Schadenskostensätze von 180 EUR für den Unterwert und 640 EUR pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent für den Oberwert verwendet. Unter Verwendung weiterer Annahmen wie beispielsweise zu den Höhenlagen der Waldgebiete, die im Appendix B erläutert werden, erhalten wir die folgenden monetären Schätzwerte pro Jahr für die CO<sub>2</sub>-Sequestrierung der Bäume der geschützten Naturgebiete Liechtensteins:

- Geschützte Wälder (Waldreservate und Sonderwaldflächen): Rund 2.5 – 8.7 Mio. CHF
- Landschaftsschutzgebiete: Rund 18'000 – 97'000 CHF
- Naturschutzgebiete: Rund 11'000 – 80'000 CHF

<sup>20</sup> Gemäss Aussagen des Amtes für Umwelt Liechtenstein übernehmen die Gemeinden und der Naturschutz je 50% dieser Kosten.

### **Regulierende Leistung: Verhinderte Emission von Treibhausgasen der Moore**

Wie im Kapitel 4.1.1 erwähnt, besitzen naturnahe und intakte Moore die Fähigkeit Kohlendioxid zu binden. Jedoch wird auf überstauten Flächen in den Torfschichten auch Methan gebildet, welches direkt an die Atmosphäre abgegeben wird. Deshalb hat Höper (2007) in seiner Metastudie für deutsche Niedermoore aufgrund des 25-fach stärkeren Treibhauseffekts von Methan selbst für naturnahe Niedermoorstandorte positive Emissionswerte festgestellt (Umweltbundesamt, 2019):

- Naturnahes Niedermoor: Emission von 101 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Hektar und Jahr
- Extensiv genutztes oder ungenutztes Niedermoor (teilentwässert): Emission von 4'415 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Hektar und Jahr

Da die Niedermoore Liechtensteins starke Austrocknungstendenzen aufweisen, darf davon ausgegangen werden, dass die von uns bewerteten Moore der Naturschutzgebiete nicht mehr naturnah sind (Regierung des Fürstentums Liechtenstein, 2019). Somit haben wir angenommen, dass die Moore Liechtensteins jährlich zwei bis vier Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Hektar emittieren. Eine Studie der Universität Basel und Agroscope über einen ehemaligen Niedermoorstandort in Cressier, an welchem Ackerbau betrieben wurde und mittlerweile eine extensive Grünlandnutzung stattfindet, ermittelte eine jährliche Emission von rund 15 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Hektar (Denzler, 2017). Diesen Wert haben wir für ein stark degeneriertes und komplett entwässertes Niedermoor verwendet. Unter der Annahme der Vergleichbarkeit der Region Cressier mit dem Fürstentum Liechtenstein, sind diese die zu erwartenden Emissionen bei einer weiteren Degenerierung und landwirtschaftlichen Nutzung der Moorstandorte Liechtensteins. Nach der Verrechnung mit den Schadenskostensätzen von 180 EUR für den Unterwert und 640 EUR pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent für den Oberwert resultiert ein jährlicher Wert von rund 0.16 bis 1.01 Mio. CHF für die Aufrechterhaltung der Moore der Naturschutzgebiete Liechtensteins. Weitere Details zu dieser Berechnung sind im Appendix B aufgelistet.

### **Regulierende Leistung: Vermiedene Umwelt- und Gesundheitskosten Landwirtschaft**

Die Natur- und Landschaftsschutzgebiete Liechtensteins befinden sich zumeist inmitten landwirtschaftlich genutzter Flächen. Somit erscheint es naheliegend, dass bei einer Aufhebung der Schutzbestimmungen grosse Teile dieser Gebiete in landwirtschaftliche Flächen umgewandelt würden. Die Landwirtschaft emittiert, abhängig von der Nutzung der Flächen, grosse Mengen Treibhausgase, vor allem Methanemissionen aus der Verdauung der Tiere und die Treibhausgasemissionen aus der Anwendung (Lachgasemissionen) und der Lagerung (Methan- und Lachgasemissionen) von Dünger (Bretscher, Ammann, Wüst, Nyfeler, & Felder, 2018). In einem internationalen Kontext würden zusätzliche landwirtschaftliche Aktivitäten Liechtensteins zumindest langfristig aufgrund von Marktmechanismen zu einem Produktionsrückgang von landwirtschaftlichen Erzeugnissen im Ausland führen. Da wir bezüglich der Treibhausgasemissionen und der damit einhergehenden Schadenskosten eine internationale Sichtweise einnehmen, wie im Kapitel 3.3 erläutert, haben wir diese potenziellen, zusätzlichen Emissionen nicht berück-

sichtigt. Lediglich die Produktionseffizienzen der liechtensteinischen Landwirtschaft und die Transportemissionen von sich verändernde Handelsaktivitäten würden zusätzlich anfallen oder wegfallen<sup>21</sup>. Dasselbe gilt für die Produktion von synthetischen Pflanzenschutz- und Düngemitteln, deren Klimarelevanz im Kapitel 6.3 zur biologischen Landwirtschaft erläutert wird.

Jedoch haben wir diejenigen Schadenskosten berücksichtigt, welche auf die lokalen Aktivitäten zurückzuführen sind und keine direkten Auswirkungen auf das Ausland haben. Diese umfassen die externen Kosten durch die zusätzliche Anwendung von synthetischen Pestiziden und der Ammoniakemissionen durch die zusätzliche Düngerausbreitung. Das Thema der externen Kosten von Pflanzenschutzmitteln und die allgemeine Vorgehensweise bei den Berechnungen werden ausführlich im Kapitel 6.3 beschrieben, während zusätzliche Informationen für die spezifische Berechnung der unten aufgeführten Zahlen im Appendix B aufgelistet sind. Die jährlichen monetären Einsparungen dieser vermiedenen landwirtschaftlichen Kosten haben wir folgendermassen geschätzt:

- Naturschutzgebiete, vermiedene externe Kosten Pestizideinsatz: 5'000 – 12'000 CHF
- Landschaftsschutzgebiete, vermiedene externe Kosten Pestizideinsatz: 2'000 – 5'000 CHF

Der zusätzliche Düngereinsatz auf den hypothetisch gewonnenen Landwirtschaftsflächen würde zusätzliche Mengen Ammoniak emittieren, wodurch Gesundheitskosten und Kosten aufgrund von Biodiversitätsverlusten entstehen könnten (Matthey & Bünger, 2019). Basierend auf Daten aus der Schweiz aus dem Jahr 2015 werden gemäss unseren Berechnungen, die in Appendix B beschrieben werden, die folgenden geschätzten Kosten pro Jahr vermieden durch die fortbestehende Existenz dieser geschützten Gebiete:

- Naturschutzgebiete, vermiedene Kosten der Ammoniakemissionen: 12'000 – 15'000 CHF
- Landschaftsschutzgebiete, vermiedene Kosten der Ammoniakemissionen: 4'000 – 6'000 CHF

### **Regulierende Leistung: Absorbierung von Luftschadstoffen**

Die geschützten Wälder Liechtensteins, die Waldreservate und Sonderwaldflächen, tragen aufgrund ihrer grossen Fläche wesentlich zur Filterung der Luftschadstoffe Feinstaub, Ammoniak und Stickdioxid bei. Unter denselben Annahmen wie im Kapitel 3.3 für die Schutzwälder führt diese Filterleistung zu den folgenden jährlichen Schätzwerten für die geschützten Wälder in Liechtenstein:

- Feinstaub-Absorbierung: 90'000 – 181'000 CHF
- Ammoniak-Absorbierung: 73'000 – 146'000 CHF
- Stickdioxid-Absorbierung: 19'000 – 38'000 CHF

---

<sup>21</sup> Eine zusätzliche liechtensteinische Produktion von Agrarprodukten könnte die Importe senken oder die Exporte erhöhen und somit entweder die Treibhausgasemissionen reduzieren beziehungsweise erhöhen.

### **Regulierende Leistung: Bestäubungsleistung für die Landwirtschaft**

Aufgrund von Flächen- und Ertragszahlen zur bestäubungsabhängigen Landwirtschaft in der Schweiz haben wir für die Nachbarkantone von Liechtenstein, St. Gallen und Graubünden, einen bestäubungsabhängigen Anteil der jährlichen pflanzlichen Landwirtschaftserträge von rund 1.1 bis 2.9% geschätzt (Sutter, Herzog, Dietemann, Charrière, & Albrecht, 2017). Verglichen mit dem schweizweiten Anteil von rund 4.8 bis 11.2% sind die bestäubungsabhängigen Erträge der Landwirtschaft in der Ostschweiz eher bescheiden, was vor allem auf die relativ kleine Fläche des bestäubungsabhängigen Ackerbaus zurückgeführt werden kann. Überträgt man die Werte von St. Gallen und Graubünden auf die liechtensteinischen Verhältnisse entspricht dies landwirtschaftlichen Erträgen aufgrund von bestäubenden Insekten von insgesamt 45'000 bis 122'000 CHF pro Jahr in Liechtenstein. Hierfür sind naturbelassene und strukturreiche Gebiete mit einer hohen Blütenvielfalt essenziell, da sie die Lebensgrundlage für viele bestäubende Insekten bilden.

Entgegen gängiger Annahmen übernehmen die kultivierten Honigbienen gemäss einer Studie aus Grossbritannien jedoch höchstens einen Drittel der gesamten Bestäubungsleistungen in der Landwirtschaft und wilde Bestäuber, angeführt von Wildbienen<sup>22</sup>, steuern den grössten Bestäubungsanteil sowohl von Wild- als auch Kulturpflanzen bei (Pfiffner & Müller, 2016; Breeze, Bailey, Balcombe, & Potts, 2011). Da auch kultivierte Honigbienen zu einem gewissen Anteil von funktionierenden Ökosystemen abhängig sind, unter anderem aufgrund des notwendigen Nahrungsangebots bestehend aus Pollen und Nektar, haben wir angenommen, dass die naturbelassenen oder naturnahe Flächen Liechtensteins für 70 – 100% der Bestäubungsleistung in der liechtensteinischen Landwirtschaft verantwortlich sind. Aufgeteilt auf die verschiedenen Gebietstypen gemäss Appendix B, haben wir die folgenden jährlichen Schätzwerte für die landwirtschaftliche Bestäubung ermittelt:

- Naturschutzgebiete: 13'000 – 49'000 CHF
- Geschützte Wälder (Waldreservate und Sonderwaldflächen): 5'000 – 19'000 CHF
- Landschaftsschutzgebiete: 3'000 – 12'000 CHF

### **Bereitstellende Leistung: Versorgungsleistung**

Für bereitstellende Leistungen der geschützten Wälder Liechtensteins haben wir uns wiederum an die Werte der Studie von Häyhä et al. (2015) für das norditalienische Trento und die Werte von Paletto et al. (2015) für das österreichische Leiblachtal angelehnt<sup>23</sup>. In den Waldreservaten Liechtensteins ist jedoch das Sammeln von Pilzen und Beeren untersagt und nur die Jagd ist gestattet, wohingegen in den Sonderwaldflächen keine solchen Einschränkungen existieren (Landesverwaltung Fürstentum Liechtenstein, 2000). Dies führte in Franken umgerechnet und

<sup>22</sup> In der Schweiz gibt es rund 600 Wildbienenarten. Sonstige wilde bestäubende Insekten, die bei uns heimisch sind, umfassen beispielsweise Schwebfliegen, Schmetterlinge, Käfer oder auch Wespen (Zurbuchen, Müller, & Dorn, 2010).

<sup>23</sup> Wiederum mussten wir den jährlichen Wert von 75 Euro pro Hektar für die Trinkwasserversorgungsleistung der Wälder, wie von Häyhä et al. (2015) ermittelt, dem Wert der Studie von Paletto et al. (2015) hinzufügen. Zusätzlich wurde auch für die geschützten Wälder der Holztertrag nicht berücksichtigt aufgrund von Aussagen des Amtes für Umwelt Liechtenstein, dass die Holzproduktion nicht gewinnbringend sei in Liechtenstein.

inflationbereinigt<sup>24</sup> zu geschätzten jährlichen Versorgungsleistungen der geschützten Wälder Liechtensteins von 201'000 bis 315'000 CHF.

Die Landschaftsschutzgebiete Liechtensteins besitzen einige Obstbäume. Diese werden den sogenannten Dauerkulturen zugerechnet, welche 2017 in Liechtenstein im Durchschnitt 9'035 CHF pro Hektar erwirtschafteten (Regierung des Fürstentums Liechtenstein, 2019). Aufgrund des losen und spärlichen Vorkommens an Obstbäumen in diesen geschützten Gebieten haben wir 5 bis 10% dieses Wertes pro Hektar angenommen. Dies führte unter Berücksichtigung der Inflationsrate in der Schweiz<sup>25</sup> zu einem Schätzwert der Versorgungsleistungen der Landschaftsschutzgebiete Liechtensteins von 35'000 bis 70'000 CHF pro Jahr.

### **Kulturelle Leistungen: Erholungswert und Biodiversität Einheimische und Touristen**

Für die geschützten Wälder Liechtensteins haben wir den monetären Erholungswert für Einheimische und Touristen und die Zahlungsbereitschaft der Einheimischen für den Erhalt der Biodiversität grundsätzlich mit derselben Methode ermittelt wie die Werte für die Schutzwälder, wie im Kapitel 3.3 beschrieben. Der einzige Unterschied besteht darin, dass wir für die Pro-Kopf-Zahlungsbereitschaft der Einheimischen und Touristen bezogen auf die geschützten Wälder Liechtensteins 50 – 80% der Werte der verwendeten Schweizer Studien verwendet haben im Vergleich zu den 30 – 60% für die Schutzwälder. Dies basiert auf der Plausibilitätsüberlegung, dass Freizeitaktivitäten in den geschützten Wäldern durchschnittlich wohl einen höheren Stellenwert geniessen und auch die Waldstrukturen in den geschützten Wäldern diverser sind. Folglich resultieren die folgenden jährlichen Schätzwerte:

- Geschützte Wälder, Erholungswert Einheimische: 1'587'000 – 5'157'000 CHF
- Geschützte Wälder, Wertschätzung Biodiversität Einheimische: 110'000 – 264'000 CHF
- Geschützte Wälder, Erholungswert Touristen: 99'000 – 321'000 CHF

Die Zahlungsbereitschaften für den Erhalt der Natur- und Landschaftsschutzgebiete in Liechtenstein wurden mit einer anderen Methode ermittelt. Econcept (2002) hat angelehnt an Umfrageresultate aus einer Studie<sup>26</sup> über den Schweizer Jura eine jährliche Zahlungsbereitschaft in der lokalen Bevölkerung von 400 CHF pro erwachsener Person und eine tägliche Zahlungsbereitschaft von 12.50 CHF pro volljährigem Naturtouristen für den Erhalt dieser naturnahen Landschaft und deren Artenvielfalt ermittelt. Generell bieten sich diese Studienresultate an, da man in dieser Studie von einem grösstenteils naturnahen Gebiet im Jura mit einer Grösse von rund 150 km<sup>2</sup> ausging, während die Gesamtheit der natürlichen Landschaften in Liechtenstein rund 121 km<sup>2</sup> beträgt (Bundesamt für Statistik BFS, 2015). Somit ist eine gewisse Vergleichbarkeit der Gebietsgrössen gegeben. Dazu wurden in der Ausgangsstudie sowohl aktive Erholungssuchende als auch Städter aus der näheren Umgebung befragt. Letztere erfahren keinen direk-

<sup>24</sup> Der durchschnittliche Wechselkurs von 2015 betrug 1.067 EUR/CHF und die Inflationsrate in der Schweiz von 2015 bis 2019 betrug 1.4% (UNCTADSTAT, o.D.; Bundesamt für Statistik, o.D.).

<sup>25</sup> Die Schweizer Inflationsrate von 2017 bis 2019 betrug 1.3% (Bundesamt für Statistik, o.D.).

<sup>26</sup> Diese Studie wurde von Blöchliger und Jäggin (1996) verfasst.

ten Erholungsnutzen, weshalb die ermittelten Zahlungsbereitschaften sowohl den Erholungswert als auch die Wertschätzung der Biodiversität beinhalten dürften.

Aufgrund der Tatsache, dass sich die oben erwähnten Zahlungsbereitschaften jedoch bloss auf die Verbesserung der bestehenden Schutzbestimmungen im Jura und sich nicht auf die Landschaft selbst beziehen, darf davon ausgegangen werden, dass diese Werte tendenziell Unterschätzungen der tatsächlichen Wertschätzung der Einheimischen und der Touristen darstellen. Zusätzlich sind die Landschaftsschutzgebiete Liechtensteins beliebte Naherholungsgebiete der liechtensteinischen Bevölkerung und dem Ruggeller Riet, das mehr als die Hälfte der Gesamtfläche aller liechtensteinischen Naturschutzgebiete ausmacht, kommt sogar eine internationale Bedeutung zu aufgrund seiner diversen Flora und Fauna (Gemeinde Ruggell, 2020; Liechtenstein Marketing, 2014). Die Natur- und Landschaftsschutzgebiete in Liechtenstein dürften somit pro Flächeneinheit einen höheren Wert in der Bevölkerung geniessen als das von der Schweizer Studie betrachtete Gebiet im Jura. Deshalb haben wir sowohl die jährliche Zahlungsbereitschaft von 400 CHF der Einheimischen als auch die tägliche Zahlungsbereitschaft von 12.50 CHF der Naturtouristen den Gegebenheiten der liechtensteinischen Natur- und Landschaftsschutzgebiete angepasst. Zuerst haben wir für diese beiden Gebietstypen die flächenmässigen Anteile der Zahlungsbereitschaften relativ zur Gesamtfläche von 121 km<sup>2</sup> aller natürlichen Gebiete Liechtensteins berechnet. Anschliessend haben wir diese Werte mit einem Faktor von drei für die Untergrenze und einem Faktor von fünf für die Obergrenze multipliziert, um der Annahme eines höheren ökologischen Werts pro Flächeneinheit Rechnung zu tragen. Diese bereinigten Pro-Kopf-Zahlungsbereitschaften haben wir für die Einheimischen noch auf die erwachsene<sup>27</sup> Bevölkerung Liechtensteins, respektive auf die Anzahl der Logiernächte für die erwachsenen Naturtouristen hochgerechnet, um jährliche Gesamtwerte zu erhalten. Inflationsbereinigt<sup>28</sup> ergibt dies die folgenden geschätzten Zahlungsbereitschaften pro Jahr (weitere Details zu diesen Berechnungen sind im Appendix B erläutert):

- Naturschutzgebiete, Erhalt Landschaft Einheimische: 619'000 – 1'032'000 CHF
- Naturschutzgebiete, Erhalt Landschaft Touristen: 77'000 – 129'000 CHF
- Landschaftsschutzgebiete, Erhalt Landschaft Einheimische: 269'000 – 449'000 CHF
- Landschaftsschutzgebiete, Erhalt Landschaft Touristen: 34'000 – 56'000 CHF

Den Vermächtniswert, der sich auf die Bereitschaft bezieht, die Natur für die Nachwelt bewahren zu wollen, haben wir in diesen Berechnungen nicht explizit ausgewiesen. Die ermittelten Zahlungsbereitschaften für die geschützten Wälder basieren auf der Reisekostenmethode, die den Erholungswert aus den Kosten für den Hin- und Rückweg eines Waldbesuchs ableitet. Diese Methode kann lediglich den direkten Nutzen der Waldbesuche abschätzen, weshalb der Vermächtniswert in den obigen Zahlungsbereitschaften für die Wälder nicht berücksichtigt ist. Bei der Studie, die wir für die Natur- und Landschaftsschutzgebiete verwenden, wurde ein dis-

<sup>27</sup> Die erwachsenen Personen sind mindestens 18 Jahre alt.

<sup>28</sup> Die Inflationsrate in der Schweiz betrug von 1996 bis 2019 11.6% (Bundesamt für Statistik, o.D.).

ketes Entscheidungsfindungsexperiment durchgeführt, welches den Studienteilnehmenden unterschiedliche Optionen und deren monetären Kosten zur Wahl anbietet. Bei diesen Experimenten wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass die Studienteilnehmenden auch die indirekten Nutzenwerte für ihre Entscheidungen berücksichtigen (Arnold, Schwarzwälder, Zbinden, Beer-Tóth, & Baumgart, 2009). Deshalb ist der Vermächtniswert der Natur- und Landschaftsschutzgebiete grösstenteils durch die oben ermittelten Zahlungsbereitschaften abgedeckt.

#### **Opportunitätskosten: Landwirtschaftliche Erträge**

Bisher haben wir nur die potenziellen Kosten einer landwirtschaftlichen Nutzung anstelle der Natur- und Landschaftsschutzgebiete erwähnt. Jedoch müsste man auch die Opportunitätskosten, sprich die potenziellen landwirtschaftlichen Erträge, berücksichtigen. Somit haben wir die jährlichen Nettoerträge<sup>29</sup> der landwirtschaftlichen Betriebe Liechtensteins pro Hektar berechnet. Zusätzlich haben wir unterschieden zwischen Betrieben mit biologischem Anbau (Bio-Betriebe) und konventionellen Betrieben (ÖLN-Betriebe)<sup>30</sup>. Dies führt zu den folgenden jährlichen Nettoerträgen für 2017 (Regierung des Fürstentums Liechtenstein, 2019):

- Bio-Betriebe: 531 CHF pro Hektar
- ÖLN-Betriebe: 339 CHF pro Hektar

Unter Annahme, dass die hypothetisch neu geschaffenen Agrarflächen zu den momentanen Prozentsätzen<sup>31</sup> von Bio- und ÖLN-Betrieben bewirtschaftet werden würden und dass diese geschützten Flächen nicht sofort die oben erwähnten Erträge abwerfen würden, ergibt dies die folgenden geschätzten Opportunitätskosten der Schutzgebiete pro Jahr:

- Naturschutzgebiete: 37'000 – 74'000 CHF
- Landschaftsschutzgebiete: 24'000 – 32'000 CHF

Diese Landwirtschaftserträge dürften in einem volkswirtschaftlichen Kontext lediglich unter der Annahme berücksichtigt werden, dass diese hypothetisch zusätzlich geschaffenen Landwirtschaftsflächen zusätzliche Wertschöpfung generieren<sup>32</sup>. Weitere Details zu diesen Berechnungen sind im Appendix B zu finden.

## **4.4. Resultate für die geschützten Naturgebiete**

Gemäss unseren Schätzungen erbringen die geschützten Naturgebiete Liechtensteins zusammen jährliche Nettoleistungen im Wert von rund 5.2 bis 17.3 Millionen Schweizer Franken, wie in den folgenden drei Tabellen dargestellt ist. Es ist davon auszugehen, dass es sich hierbei

<sup>29</sup> Der Nettoertrag errechnet sich als die Betriebseinkommen abzüglich der staatlichen Direktzahlungen.

<sup>30</sup> Auch von den konventionellen Betrieben wird in Liechtenstein ein ökologischer Leistungsnachweis (ÖLN) gefordert, sofern diese staatliche Förderleistungen beziehen möchten.

<sup>31</sup> 2017 betrug der Anteil landwirtschaftlicher Nutzfläche, welche nach den biologischen Richtlinien bewirtschaftet wurden, rund 39% (Regierung des Fürstentums Liechtenstein, 2019). Somit entsprach der Anteil der konventionellen Bewirtschaftung 61%.

<sup>32</sup> Falls für die Bewirtschaftung dieser neuen Landwirtschaftsflächen zusätzliche inländische Arbeitskräfte eingestellt und diese ihre bisherige Arbeitsstelle aufgeben oder das bisherige Arbeitspensum reduzieren, käme dies lediglich einer Einkommensverschiebung innerhalb zweier Sektoren gleich.



eher um Untergrenzen handelt, da nicht alle ÖSL berücksichtigt werden konnten, wie beispielsweise die Folgenden:

- In den Jahren 2014 bis 2018 entstanden gemäss den jeweiligen Rechenschaftsberichten Liechtensteins Biber Schäden von durchschnittlich 420'000 CHF pro Jahr zumeist an Dämmen oder sonstigen Hochwasserschutzanlagen. Diese Kosten könnten vermutlich zumindest teilweise vermieden werden, falls man Biber durch eine Kombination von Lebensraumaufwertungen und Lebensraumabwertungen in ihrer Lebensraumwahl lenken würde.
- Die Landschaftsschutzgebiete sind einige der wenigen unverbauten, zusammenhängenden Gebiete Liechtensteins. Somit stellen sie wichtige Korridore für Wildtiere dar. Obwohl diese ÖSL teilweise in der Zahlungsbereitschaft der Einheimischen miteinbezogen sein könnten, sind sie wahrscheinlich nur beschränkt abgebildet in den berechneten Schätzwerten.
- Feuchtgebiete absorbieren mehr Luftschadstoffe, wie beispielsweise Ammoniak, als Trockenwiesen (Rihm & Achermann, 2016). Dieser Effekt dürfte jedoch im Verhältnis zu den sonstigen Werten eher gering ausfallen, weshalb wir sie nicht weiter berücksichtigt haben.

**Tabelle 5: Geschätzte Bandbreite für den Wert der Naturschutzgebiete in CHF pro Jahr**

<b>Art der Leistung/Kosten</b>	<b>Untervwert</b>	<b>Oberwert</b>
Zahlungsbereitschaft der Einheimischen für Erhalt Landschaft	619'000	1'032'000
Verhinderte Emission von Treibhausgasen der Moore	161'000	1'014'000
Zahlungsbereitschaft der Touristen für Erhalt Landschaft	77'000	128'000
Bestäubungsleistung für die Landwirtschaft	13'000	49'000
Vermiedene Kosten Ammoniakemission Landwirtschaft	12'000	15'000
Wert CO <sub>2</sub> -Sequestrierung Bäume	11'000	80'000
Vermiedene externe Kosten Pestizide Landwirtschaft	5'000	12'000
<b>Bruttonutzen</b>	<b>898'000</b>	<b>2'331'000</b>
<b>Unterhaltskosten</b>	<b>- 484'000</b>	<b>- 581'000</b>
<b>Opportunitätskosten landwirtschaftliche Erträge</b>	<b>- 37'000</b>	<b>- 74'000</b>
<b>Nettonutzen</b>	<b>377'000</b>	<b>1'676'000</b>

**Tabelle 6: Geschätzte Bandbreite für den Wert der geschützten Waldgebiete in CHF pro Jahr**

<b>Art der Leistung/Kosten</b>	<b>Untertwert</b>	<b>Obertwert</b>
Wert CO <sub>2</sub> -Sequestrierung Bäume	2'453'000	8'722'000
Erholungswert Einheimische	1'586'000	5'157'000
Wert der Versorgungsleistungen	201'000	315'000
Wertschätzung Biodiversität Einheimische	110'000	264'000
Erholungswert Touristen	99'000	321'000
Wert der Feinstaub-Absorbierung	90'000	181'000
Wert der Ammoniak-Absorbierung	73'000	146'000
Wert der Stickdioxid-Absorbierung	19'000	38'000
Bestäubungsleistung für die Landwirtschaft	5'000	19'000
<b>Bruttonutzen</b>	<b>4'637'000</b>	<b>15'163'000</b>
Nutzungsverzicht	- 37'000	- 37'000
Unterhaltskosten	- 33'000	- 33'000
<b>Nettonutzen</b>	<b>4'567'000</b>	<b>15'093'000</b>

**Tabelle 7: Geschätzte Bandbreite für den Wert der Landschaftsschutzgebiete in CHF pro Jahr**

<b>Art der Leistung/Kosten</b>	<b>Untertwert</b>	<b>Obertwert</b>
Zahlungsbereitschaft der Einheimischen für Erhalt Landschaft	216'000	360'000
Versorgungsleistung	35'000	70'000
Zahlungsbereitschaft der Touristen für Erhalt Landschaft	33'000	56'000
Wert CO <sub>2</sub> -Sequestrierung Bäume	18'000	97'000
Vermiedene Kosten Ammoniakemission Landwirtschaft	4'000	6'000
Bestäubungsleistung für die Landwirtschaft	3'000	12'000
Vermiedene externe Kosten Pestizide Landwirtschaft	2'000	5'000
<b>Bruttonutzen</b>	<b>365'000</b>	<b>695'000</b>
Opportunitätskosten landwirtschaftliche Erträge	- 24'000	- 32'000
Unterhaltskosten	- 100'000	- 100'000
<b>Nettonutzen</b>	<b>241'000</b>	<b>563'000</b>

## 5. Renaturierungen von Fluss- und Bachläufen

Dieses Kapitel behandelt die Renaturierung von Fließgewässern. Zuerst werden allgemein zu erwartende Ökosystemleistungen solcher renaturierten Gebiete aufgezeigt, danach wird ein Überblick über die acht – gemäss unseren Informationen – wichtigsten Projekte in Liechtenstein gegeben und zum Schluss werden deren Ökosystemleistungen bewertet. Im Kapitel 5.4 sind die zusammengefassten jährlichen Werte zu finden.

### 5.1. Ökosystemleistungen von naturnahen Fluss- und Bachläufen

#### 5.1.1. Regulierende Leistungen

Renaturierte Fließgewässer übernehmen insbesondere zwei wichtige regulierende Leistungen. Die erste betrifft den sogenannten Nährstoffrückhalt, d.h. der Rückhalt von überschüssigen Nährstoffen wie Nitrat und Phosphat, welche überwiegend aus der landwirtschaftlichen Düngung stammen. Dies bewirkt eine Reinigung des Fließgewässers selbst und schlussendlich auch des Grundwassers. Der Rückhalt dieser Nährstoffe, welche zumeist an Sedimente gebunden sind, die vom Fluss mitgeführt werden, hängt grösstenteils von zwei Faktoren ab (Schäfer & Kowatsch, 2015):

- Kontaktflächen des Gewässers mit dem Gewässerbett und den Uferzonen, damit die Sedimente haften bleiben können.
- Fließgeschwindigkeit, wobei sich die Sedimente in langsameren Gewässern besser ablagern können.

Der Nährstoffrückhalt von naturnahen, mäandrierenden<sup>33</sup> Flüssen und Bächen ist somit deutlich grösser verglichen mit begradigten Fließgewässern. Zusätzlich besitzen Flussauen starke Filterfunktionen. Als Flussauen bezeichnet man die Uferlandschaften von Bächen und Flüssen, welche geprägt sind von wechselndem Hoch- und Niedrigwasser und somit auch Überschwemmungsflächen darstellen. Auenböden sind häufig wassergesättigt und sauerstoffarm, wodurch Bakterien die abgelagerten Nährstoffe besonders effektiv abbauen können (Schäfer & Kowatsch, 2015).

Die zweite wesentliche regulierende Leistung von renaturierten Fluss- und Bachläufen sind die abgeschwächten Hochwasserrisiken. Einerseits können Flussauen als Pufferzonen zu Siedlungs- und Landwirtschaftsgebieten wirken und Hochwasserspitzen senken, andererseits kann ein mäandrierendes Fließgewässer mit einem breiteren Flussbett tendenziell höhere Wassermengen führen und deren tiefere Fließgeschwindigkeiten drosseln den Anstieg eines Hochwassers (Schäfer & Kowatsch, 2015). Die Begradigung eines Flusses verstärkt oftmals das Hochwasserproblem flussabwärts (Zeit Online, 2013).

Sonstige Regulierungsleistungen von naturnahen Fluss- und Bachläufen können die Regulation des lokalen Klimas in Bezug auf den Temperatur- und Feuchtigkeitsausgleich, sowie die

---

<sup>33</sup> Ein mäandrierender Fluss zeichnet sich durch die Wechselfolge von teilweise starken, richtungswechselnden Flusswindungen aus.

Luftschadstofffilterung durch Bäume oder die Bestäubungsleistungen durch die Förderung von Insektenpopulationen umfassen (Kumar, 2012).

### 5.1.2. Bereitstellende Leistungen

Während beispielsweise der Fischfang in dem renaturierten Teilstück des Binnenkanals bei Ruggell untersagt ist (Lebendiger Alpenrhein, o.D.), führen solche Rückzugsorte und Laichgebiete generell zu einer Zunahme von Fischarten und der Fischdichte, welche wiederum zu höheren Fischfangerträgen in angrenzenden Gewässern führen können.

### 5.1.3. Kulturelle Leistungen

Aus einer Studie, welche sich auf Befragungen zu fünf Naherholungsgebieten in der Schweiz stützt, geht hervor, dass für Schweizer Erholungssuchende nach Wäldern und Waldrändern die Gewässer das beliebteste Landschaftselement darstellen (Siegrist & Bonnelame Ketterer, 2018). Hierbei haben die Umfrageresultate gezeigt, dass das Spazieren die mit Abstand beliebteste Aktivität ist, welcher man in Naherholungsgebieten nachgeht. Abgesehen von diesem Erholungswert von naturnahen Fluss- und Bachläufen können diese eine Quelle von Inspiration sein oder auch Bestandteil des kulturellen Erbes und der Identifikation der lokalen Bevölkerung. Zusätzlich können naturbelassene Biotope wertvolle Untersuchungsgegenstände der Forschung sein und dadurch eine bildende Rolle übernehmen (Kumar, 2012).

### 5.1.4. Habitatsleistungen

Naturnahe Flussabschnitte mit unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten und strukturreichen Böschungen sowie Flussauen können wertvolle Refugien für eine Vielzahl an Vögel-, Amphibien-, Reptilien- und Fischarten darstellen und übernehmen somit wertvolle Habitatsleistungen wie im folgenden Kapitel beispielhaft für Liechtenstein aufgezeigt wird.

## 5.2. Renaturierte Fluss- und Bachläufe in Liechtenstein

### 5.2.1. Hintergrund und Geschichte

Der Binnenkanal Liechtensteins ist ein künstliches Fließgewässer, das von 1931 bis 1943 erbaut wurde. Der Binnenkanal fasste alle damaligen Gewässersysteme zusammen, um die Entwässerungs- und Hochwasserproblematik in den Talflächen zu lösen. Anfangs der 1980er Jahre wurden Kampagnen des Europarates zum Schutz von Gewässerufern gestartet. Daraufhin wurden Bestandesaufnahmen der liechtensteinischen Talgewässer durchgeführt, die ergeben hatten, dass der Binnenkanal mangels Heterogenität erhebliche Gestaltungsdefizite aufwies. Dies führte zu ersten Sanierungsüberlegungen. Nach dem Absenken der Rheinsohle um rund 4.5 Meter wegen dem Kiesaushub hat man 1985 mit dem Bau von Fischtreppe erste Massnahmen umgesetzt um die Artenvielfalt<sup>34</sup> im Binnenkanal zu fördern und zu schützen (Amt für

<sup>34</sup> Diese Fischtreppe wurden im Rahmen eines internationalen Programms zur Rettung der bedrohten Bodensee-Seeforelle errichtet.

Umweltschutz, 2004; Amt für Umwelt, o.D.). Das grösste Renaturierungsprojekt in Liechtenstein fand zwischen 1989 und 2009 statt, wobei in drei Etappen im Mündungsbereich des Binnenkanals in den Rhein unterschiedliche Strukturen geschaffen wurden. Dazu gehörte beispielsweise die Schaffung eines Auenwaldes, mehrerer Weiher und Ruhigwasserzonen. Durch die Neugestaltung wurde zudem die Passierbarkeit aller Fischarten ermöglicht. Dieses mehrjährige Renaturierungsprojekt hat seine Ziele erreicht (Amt für Umweltschutz, 2004):

- In den 1980er Jahren lebten im Binnenkanal vier Fischarten. Im Jahr 2004 konnten bereits 16 Arten nachgewiesen werden.
- Die Fischdichte hat sich ebenfalls positiv entwickelt. Während im Jahr 2000 noch rund 33 Fische pro 100 m Fließstrecke lebten, so waren es 2003 schon über 200.
- Vor dem Renaturierungsprojekt lebten 27 Vogelarten im Gebiet um den Binnenkanal bei Ruggell, 2004 waren es bereits 44 Arten.
- Für Reptilien wie die Ringelnatter, die Schlingnatter oder die Zauneidechse ist der renaturierte Abschnitt des Binnenkanals ein wertvoller Lebensraum.

### 5.2.2. Mengengerüst

Wie bereits erwähnt, ist die Renaturierung des Binnenkanals bei Ruggell das strecken- und kostenmässig grösste Projekt seiner Art in Liechtenstein. Dieses erstreckt sich auf rund 1'300 m und kostete insgesamt rund 2 Mio. CHF (Ingenieurbüro Sprenger & Steiner, o.D.). Die zusätzlichen Renaturierungsprojekte Liechtensteins, für welche uns Zahlen zu Strecken und Kosten vorliegen, sind in Tabelle 8 dargestellt. Deren Erstellungskosten beliefen sich insgesamt auf rund 2.6 Mio. CHF. Gemäss der Amt für Umwelt (o.D.) wurde bei allen Projekten auf eine verbesserte Passierbarkeit für Fische geachtet, die Gewässervernetzung sichergestellt sowie durch die Aufweitung des Flussbettes der Gewässerraum vergrössert und das Geschiebemanagement optimiert, wodurch die Hochwassersicherheit verbessert werden konnte.

**Tabelle 8: Renaturierungsprojekte von Fließgewässern in Liechtenstein**

Projekt	Umsetzung	Länge (m)	Neue Breite (m)	Erstellungskosten (CHF)
Renaturierung Binnenkanal Ruggell	1989 – 2009	1'300	80	2'000'000
Renaturierung Esche, Sportpark Eschen-Mauren	2004	200	22	160'000
Renaturierung Esche, Industrie Los 1	2008	155	25	120'000
Renaturierung Binnenkanal Schaan, Bofel	2008	450	32	400'000
Renaturierung Esche, Industrie Los 2	2011	195	25	120'000
Renaturierung Binnenkanal Schaan, Pfarrmader	2011 – 2013	350	43	600'000
Naturnahe Sanierung Erlentbach	2013 – 2014	NA*	NA*	380'000
Renaturierung Binnenkanal Vaduz	2014 - 2015	220	29	755'000

\* Hierfür sind die Werte unbekannt. Ausgehend von einem Bericht zu dem Projekt gingen wir für die Berechnungen der ÖSL von einer neuen Bachbreite (inklusive erstellten Weihern) von rund 20 Metern aus und einer Länge des Gesamtprojekts von rund 400 Metern.

Quellen: Zukunft Alpenrhein (o.D.), Ingenieurbüro Sprenger und Steiner (o.D.), Informationen vom Amt für Umwelt Liechtenstein

### 5.3. Bewertung der renaturierten Fluss- und Bachläufe

Die bewerteten ÖSL und die jeweiligen Kosten sind für die Renaturierungsprojekte in Liechtenstein in Kapitel 5.4 aufgelistet. In diesem Kapitel erläutern wir die Herleitung der berechneten Werte.

#### Regulierende Leistung: Nährstoffrückhalt

Für den Wert des Nährstoffrückhalts haben wir uns an die Studien von Jessel, Tschimpke und Walser (2009) sowie Meyerhoff und Dehnhardt (2002) gehalten. Beide Studien schätzten die Nährstoffretentionsleistung von Elbauen mittels Substitutionskostenansatz, welcher die sonst anfallenden Kosten der Trinkwasserbehandlung oder die Kosten in Bezug auf die Anpassung der Landwirtschaft berechnet. Diese Literaturwerte beziehen sich explizit auf Flussaue. Aufgrund mangelnder Literaturwerte für renaturierte Fließgewässer ohne Flussaue, haben wir dieselben Werte für alle Flächen der Renaturierungsprojekte aus Tabelle 8 angenommen. Da die renaturierte Fläche des Binnenkanals bei Ruggell inklusive der neugestalteten Auenlandschaft bereits rund 60% der Gesamtfläche aller renaturierten Fluss- und Bachläufe in Liechtenstein ausmacht, erscheint dieses Vorgehen vertretbar. Inflationsbereinigt und in Schweizer Franken umgerechnet gemäss Appendix C, ergibt dies jährliche Leistungen des Nährstoffrückhaltes im Wert von circa 11'000 bis 12'000 CHF.

Solche wasserreinigenden ÖSL könnten in Liechtenstein bald noch wertvoller werden, da die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) der Europäischen Union 2011 ins liechtensteinische Gewässerschutzgesetz übernommen wurde. Die WRRL setzt für Liechtenstein die Frist, bis 2021

einen guten ökologischen und chemischen Zustand der Gewässer Liechtensteins zu erreichen. Dieses Ziel wird wohl verfehlt und es kann eine Fristverlängerung beantragt werden (Amt für Umwelt Liechtenstein, 2019). Bei einer wiederholten Verfehlung der Zielsetzungen könnten Reputationsschäden für Liechtenstein oder sogar monetäre Bussen resultieren.

### **Bereitstellende Leistung: Fischfang**

Auf Basis der Fischfangzahlen von 2017 und den Marktpreisen der Fische haben wir die zusätzlichen Erträge aus dem Fischfang im Binnenkanal Liechtensteins auf rund 6'000 bis 10'000 CHF geschätzt. Details zu diesen Zahlen sind im Appendix C erläutert.

### **Kulturelle Leistung: Zahlungsbereitschaft für Erhalt der Landschaft**

Arnold et al. (2009) haben in vier Regionen der Schweiz ein diskretes Entscheidungsfindungsexperiment angewendet, um die Zahlungsbereitschaft der lokalen Bevölkerung bezüglich verschiedenen Attributen einer ökologischen Aufwertung des örtlichen Flusses zu bestimmen. Hierfür wurde den Experimentteilnehmenden verschiedene bildliche Optionen einer Renaturierung vorgelegt, wobei ein besonderes Augenmerk auf die Erschliessung für Erholungsaktivitäten gelegt wurde. Da diskrete Entscheidungsfindungsexperimente sowohl nutzungsabhängige als auch nutzungsunabhängige<sup>35</sup> Werte berücksichtigen, sind in den geschätzten Zahlungsbereitschaften der vorliegenden Studie unter anderem der Vermächtniswert und die Wertschätzung der Biodiversität mit grosser Wahrscheinlichkeit berücksichtigt worden. Jedoch wurden sowohl der Hochwasserschutz als auch die wasserreinigende Fähigkeit von renaturierten Flüssen in dieser Studie explizit nicht berücksichtigt, weshalb diese Werte der verschiedenen ÖSL additiv zu verstehen sind.

In der erwähnten Studie zur Zahlungsbereitschaft von Renaturierungsprojekten von Flüssen wurde angenommen, dass lediglich derjenige Teil der Bevölkerung von der Renaturierung profitiert, welcher zu Fuss oder per Fahrrad das renaturierte Teilstück des Flusses innerhalb von 10 – 15 Minuten erreichen kann. Durch Abschätzungen zur erwachsenen Bevölkerung Liechtensteins, welche die renaturierten Fluss- und Bachläufe innerhalb dieser Zeit erreichen könnten, und angepasst auf die jeweiligen Längen der Flussrenaturierungen in Liechtenstein, erhalten wir eine geschätzte jährliche Zahlungsbereitschaft von 358'000 – 1'391'000 CHF für den Erhalt der acht betrachteten Renaturierungsprojekte. Die grosse Bandbreite ergab sich aus den unterschiedlichen Zahlungsbereitschaften in den vier verschiedenen Schweizer Regionen, welche in der vorliegenden Studie untersucht wurden. Zusätzliche Informationen zu den Berechnungen können dem Appendix C entnommen werden.

---

<sup>35</sup> Nutzungsabhängige Werte beinhalten den Nutzwert wie beispielsweise den Erholungswert oder den Konsum von Gütern. Nutzungsunabhängige Werte berücksichtigen den Existenzwert (z.B. Biodiversität), den Vermächtniswert für zukünftige Generationen oder auch den Wert eine Option zum Nutzenbezug zu besitzen (Arnold, Schwarzwälder, Zbinden, Beer-Tóth, & Baumgart, 2009).

### Erstellungs- und Pflegekosten

Insgesamt betragen die Erstellungskosten aller acht untersuchten Renaturierungen 4'535'000 CHF wie in Tabelle 8 ersichtlich ist. Mittels Annuitätenmethode<sup>36</sup> schätzen wir die jährlichen Annuitäten auf rund 68'000 CHF. Diese Transformation/Umwandlung ist notwendig, um die einmalig anfallenden Investitionskosten mit den jährlichen Nutzenwerten verrechnen zu können. Die Methode ist im Appendix C genauer erläutert. Es kann davon ausgegangen werden, dass für die renaturierten Teilstücke Liechtensteins keine Mehrausgaben für Unterhaltsarbeiten im klassischen Sinne vorgesehen sind, da man diese grösstenteils der natürlichen Dynamik überlassen möchte (Amt für Umweltschutz Liechtenstein, o.D.). Trotzdem können einige Pflege- und Monitoringarbeiten anfallen, wie beispielsweise Fischzählungen oder auch die Bekämpfung von Neophyten<sup>37</sup> (Büro für Räumliche Entwicklung und Natur Schaan, 2011). Die Kosten dieser Arbeiten haben wir proportional zu den Flächen den jeweiligen Renaturierungsprojekten angerechnet, wodurch eine Schätzung von jährlichen Aufwendungen von insgesamt 48'000 CHF resultierten. Mehr Informationen zu diesen Berechnungen sind im Appendix C ausgewiesen.

Zusätzlich übernehmen die acht Renaturierungsprojekte Liechtensteins gemäss dem Amt für Umwelt von Liechtenstein keinen signifikanten Hochwasserschutz. Im Gegenteil, Schlammablagerungen bei den renaturierten Teilstücken der Esche können die Abflusskapazität verringern und somit das Hochwasserrisiko erhöhen. Die Beseitigung dieser Schlammablagerungen führen pro Jahr zu geschätzten Mehrkosten von 10 bis 20 CHF pro Flussmeter. Dies entspricht 5'500 bis 11'000 CHF pro Jahr. Aufgerundet ergibt dies somit Kosten von rund 54'000 bis 60'000 CHF pro Jahr für die Pflege und das Monitoring der acht renaturierten Fluss- und Bachläufe in Liechtenstein.

## 5.4. Resultate für die renaturierten Fluss- und Bachläufe

Die renaturierten Fluss- und Bachläufe Liechtensteins erbringen geschätzte Nettoleistungen im Umfang von rund 250'000 bis 1'282'000 CHF pro Jahr, wie in Tabelle 9 ersichtlich ist. Um Kosten und Nutzen vergleichen zu können, haben wir die einmalig angefallenen Investitionskosten gemäss Annuitätenmethode in jährliche Kosten umgerechnet. Alternativ könnte man die Amortisationsdauer betrachten, die bestimmt, nach wie vielen Jahren die einmalig angefallenen Investitionskosten durch die kumulierten jährlichen Bruttonutzen beglichen werden. Die einmalig angefallenen Investitionskosten von 4'535'000 CHF sind in diesem Fall nach 4 bis 18 Jahren beglichen, abhängig von der Wahl der Ober- oder Untergrenze der jährlichen Nutzenwerte.

<sup>36</sup> Bei dieser Methode haben wir einen risikofreien Zinssatz von 1% angenommen. Dies erscheint sinnvoll, da zum momentanen Zeitpunkt selbst für 50-jährige Schweizer Staatsanleihen negative Zinsen ausbezahlt werden, jedoch mittel- bis langfristig eine Normalisierung erwartet werden kann (Investing.com, 2020). Zusätzlich haben wir eine Lebensdauer von 100 Jahren für die renaturierten Fluss- und Bachstrecken angenommen.

<sup>37</sup> Neophyten sind invasive, gebietsfremde Pflanzen, welche sich in der Natur etablieren und sich auf Kosten einheimischer Arten effizient ausbreiten.



**Tabelle 9: Geschätzte Bandbreite für den Wert der renaturierten Fließgewässer in CHF pro Jahr**

<b>Art der Leistung/Kosten</b>	<b>Untерwert</b>	<b>Oberwert</b>
Zahlungsbereitschaft der Einheimischen für Erhalt Landschaft	358'000	1'391'000
Nährstoffrückhalt: Kosten für alternative Massnahmen	11'000	12'000
Wert Fischfang	6'000	10'000
<b>Bruttonutzen</b>	<b>375'000</b>	<b>1'413'000</b>
Pflege- und Monitoringaufwand	- 54'000	- 60'000
Erstellungskosten	- 71'000	- 71'000
<b>Nettonutzen ohne Unterhaltskosten</b>	<b>250'000</b>	<b>1'282'000</b>

## 6. Biologische Landwirtschaft

Dieses Kapitel behandelt die Vor- und Nachteile der biologischen und konventionellen Landwirtschaft bezüglich ÖSL und finanziellen Aspekten und versucht die wichtigsten Unterschiede der beiden Anbauarten zu monetarisieren. Im Zentrum steht die Überlegung, welchen zusätzlichen Nutzen die Bio-Landwirtschaft auf ihrer momentanen Fläche generiert im Vergleich zum Szenario, in dem diese Fläche in konventionelle Landwirtschaft transformiert wird. Diese Betrachtungsweise bedeutet keineswegs, dass die konventionelle Landwirtschaft keine ÖSL bietet. Vielmehr beschränken wir den Untersuchungsgegenstand auf die Leistungen, die durch biologische Landwirtschaft zusätzlich gewonnen werden.

In Liechtenstein (und der Schweiz) wird mehrheitlich zwischen zwei Landbauformen unterschieden<sup>38</sup>, der Bewirtschaftung nach den Richtlinien der biologischen Produktion (Bio-Betriebe) und der konventionellen Bewirtschaftung nach den Richtlinien des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN-Betriebe). Um staatliche Direktzahlungen zu erhalten, müssen die liechtensteinischen Landwirtschaftsbetriebe mindestens die ÖLN-Anforderungen erfüllen. Diese beinhalten unter anderem gewisse Themen der Tierhaltung und des Umwelt- und Naturschutzes (Regierung des Fürstentums Liechtenstein, 2019). Die Richtlinien von Bio Suisse, nach welchen sich die biologisch geführten Landwirtschaftsbetriebe Liechtensteins richten, beinhalten weitergehende Vorschriften wie beispielsweise die Folgenden (Bio Suisse, 2020):

- Verbot der Anwendung von chemisch-synthetischen Düngemittel
- Verbot der Anwendung von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmittel/Pestiziden
- Humuswirtschaft: Die Zufuhr und der Aufbau organischer Substanz müssen langfristig mindestens die Abbauverluste ersetzen

<sup>38</sup> Im Jahr 2017 erfüllten zwei landwirtschaftliche Betriebe Liechtensteins zusätzlich zu den Bio Suisse Richtlinien auch die IP Suisse Richtlinien (Regierung des Fürstentums Liechtenstein, 2019). Die IP Suisse Richtlinien beinhalten im Vergleich zu Bio Suisse vor allem weitergehende Vorschriften in Bezug auf die Biodiversität (WWF, o.D.). Zusätzlich existiert die theoretische Möglichkeit, dass vereinzelt Landwirte keinerlei Richtlinien erfüllen und somit auch nicht staatlich anerkannt sind.

- Vielseitige und ausgewogene Fruchtfolge um die Bodenfruchtbarkeit, gesunde Ernteprodukte, Gewässersauberkeit und die biologische Artenvielfalt zu gewährleisten
- Vermeidung von Nährstoffverlusten durch zu intensive Bodenbearbeitung
- Tierhaltung: Regelmässiger Auslauf oder auch maximale Anzahl an Tieren pro Flächeneinheit

Nachdem in den folgenden Kapiteln zuerst allgemeine Informationen über die biologische Landwirtschaft in Liechtenstein vermittelt werden, sind die Schätzungen der monetären Unterschiede der beiden Anbauweisen im Kapitel 6.4 aufgelistet.

## 6.1. Ökosystemleistungen der biologischen Landwirtschaft

### 6.1.1. Regulierende Leistungen

Wie oben beschrieben, müssen die konventionellen und die Bio-Betriebe unterschiedliche Vorgaben einhalten. Wir fokussieren uns hier nur auf den Pflanzenanbau. Inwiefern die unterschiedliche Tierhaltung in der biologischen und konventionellen Landwirtschaft einen Einfluss auf die Ökosystemdienstleistungen der genutzten Flächen hat, konnten wir auf Basis der betrachteten Studien nicht eruieren. Dadurch erbringen die biologisch betriebenen Landwirtschaftsbetriebe zusätzliche regulierende Leistungen im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft. Die strengeren Vorschriften für Bio-Betriebe führen vor allem zu den folgenden regulierenden Leistungen (Bio Suisse, 2020):

- Das Verbot von synthetischen Düngern und Pflanzenschutzmitteln für Bio-Betriebe verhindert die erheblichen Treibhausgasemissionen, die bei deren Herstellung entstehen. Darüber hinaus wirkt sich der vermiedene Pestizideinsatz sowohl positiv auf die Boden-, Gewässer- und Luftqualität aus und die gesundheitsschädlichen Effekte der Pestizidrückstände auf den Lebensmitteln können ebenfalls vermieden werden (Zandonella, Sutter, Liechti, & von Stokar, 2014).
- Die gezielte Humuswirtschaft von Bio-Betrieben kann der Bodenerosion<sup>39</sup> entgegenwirken oder sogar zusätzliches Kohlendioxid im Boden speichern durch die Ausbringung von Pflanzenresten, während die konventionelle Landwirtschaft zumeist den Boden abträgt.
- Eine vielseitige und ausgewogene Fruchtfolge leistet einen Beitrag zur biologischen Artenvielfalt, stellt die Bodenfruchtbarkeit sicher und kann auch den Austrag von Nährstoffen ins Grundwasser und in die Oberflächengewässer minimieren.
- Die schonende und zurückhaltende Bodenbearbeitung kann Nährstoffverluste reduzieren.

Bei der Produktion von synthetischen Düngemitteln werden hohe Mengen an Treibhausgasen emittiert. De Klein et al. (2006) haben im Rahmen des 2006 erschienenen IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme Richtwerte festgelegt, die besagen, dass synthetische und

---

<sup>39</sup> Die Bodenerosion ist die Abtragung des Bodens, welche entsteht, wenn Bodenpartikel durch zumeist grössere Wassermassen an andere Orte verfrachtet werden. Während die Intensität der Bodenerosion von natürlichen Einflussfaktoren wie dem Klima, der Bodenbeschaffenheit oder auch des Gefälles des Geländes abhängen, kann auch die Bewirtschaftungsweise einen Einfluss auf die Erosion haben (Umweltbundesamt, 2019).

organische Düngemittel dieselben Mengen Lachgas emittieren nachdem sie auf dem Feld oder dem Acker ausgebracht wurden. Somit fokussieren wir uns in diesem Bericht lediglich auf die Produktion und nicht auf die Ausbringung von synthetischen Düngern.

Die Mindestanforderungen an die ökologischen Ausgleichsflächen der konventionellen Betriebe, die nach den ÖLN-Richtlinien wirtschaften, und an die Bio-Betriebe sind generell vergleichbar<sup>40</sup>. Trotzdem kann davon ausgegangen werden, dass die Biodiversität auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen der Bio-Betriebe deutlich höher ist, beispielsweise aufgrund des ausbleibenden Pestizideinsatzes und einer gemässigten Düngung. Somit erbringt die biologische Landwirtschaft auch mehr ÖSL wie die Bestäubungsleistungen oder die natürliche Schädlingsbekämpfung (Götzl, Schwaiger, Sonderegger, & Süßenbacher, 2011).

### 6.1.2. Bereitstellende Leistungen

Die Hauptaufgabe der Landwirtschaft besteht darin, Lebensmittel zu produzieren. Das Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) Schweiz hat im weltweit bedeutendsten Langzeit-Feldversuch zum Vergleich von biologischer und konventioneller Anbausysteme über eine Periode von über 35 Jahre festgestellt, dass die biologischen Anbauverfahren über alle untersuchten Kulturen hinweg rund 80% des Ertrags der konventionellen Anbauweisen pro Flächeneinheit produzieren. Hierbei wurden verschiedene Ackerkulturen wie Weizen, Kartoffeln, Mais, Soja oder auch Klee gras am selben Standort in Leimental bei Basel verglichen (FiBL Schweiz, 2015). Es gibt jedoch auch Studien, die die geringere Produktivität der biologischen Landwirtschaft relativieren. So suggerieren die Resultate einer umfassenden Metastudie aus dem Jahr 2014, dass biologisch hergestellte Lebensmittel durchschnittlich höhere Werte einiger Antioxidantien und tiefere Werte des gesundheitsschädlichen Cadmiums besitzen (Pflanzenforschung.de, 2014). Ein höherer Nährstoffgehalt könnte den tieferen Flächenertrag der biologischen Landwirtschaft etwas kompensieren, allerdings sind die Studienresultate zu den Nährstoffunterschieden nicht ganz unbestritten. Somit trägt die konventionelle Landwirtschaft tendenziell zu einer höheren Nahrungsmittelsicherheit wodurch die Abhängigkeit von importierten Lebensmitteln teilweise verringert werden kann.

### 6.1.3. Kulturelle Leistungen

Landwirtschaftliche Flächen gehören zum traditionellen Landschaftsbild Liechtensteins. Somit können die landwirtschaftlichen Flächen zur Identifikation der liechtensteinischen Bevölkerung und auch zum kulturellen Erbe des Landes beitragen. Zusätzlich können landwirtschaftliche Flächen einen ästhetischen Wert besitzen, wodurch landwirtschaftlich geprägte Erholungsräume geschaffen werden (Götzl, Schwaiger, Sonderegger, & Süßenbacher, 2011). Obwohl ökologisch bewirtschaftete Landwirtschaftsflächen tendenziell eine höhere Struktur und Vielfalt

---

<sup>40</sup> ÖLN: Die ökologische Ausgleichsflächen müssen mindestens 7% der landwirtschaftlichen Nutzfläche betragen und 3.5% bei Spezialkulturen (Landwirtschaftlicher Informationsdienst, 2007). Bio: Die ökologische Ausgleichsflächen müssen für alle Kulturen mindestens 7% der landwirtschaftlichen Nutzfläche betragen (Bio Suisse, 2011).

aufweisen, kann davon ausgegangen werden, dass diese Leistungen gleichermaßen auf die konventionelle Landwirtschaft zutreffen.

#### 6.1.4. Habitatsleistungen

Wie im Kapitel 6.1.1 beschrieben, führt die Vermeidung von synthetischen Pestiziden und Düngemitteln und die schonende Bewirtschaftungsweise des biologischen Landbaus zu einer höheren Biodiversität. Somit wird ein Habitat für eine Vielzahl an Tieren und Pflanzen geschaffen, die wiederum wertvolle ÖSL übernehmen können (Götzl, Schwaiger, Sonderegger, & Süßenbacher, 2011).

## 6.2. Biologische Landwirtschaft in Liechtenstein

### 6.2.1. Geschichte und Hintergrund

Obwohl in Liechtenstein erst 1991 der erste biologische Landwirtschaftsbetrieb entstand, gilt Liechtenstein heute als Bio-Weltmeister (Liechtenstein Marketing, o.D.). Bereits 2000 waren rund 20% der landwirtschaftlichen Nutzfläche Liechtensteins biologisch bewirtschaftet worden und 2017 waren es circa 38%. Dies war der weltweit höchste Wert im Jahr 2017, gefolgt von Österreich mit rund 24%. Die Schweiz lag etwas abgeschlagen mit dem weltweit achthöchsten Wert von rund 14% biologisch bewirtschafteter landwirtschaftlicher Nutzflächen (FiBL, o.D.). Die Beliebtheit von biologischen Lebensmitteln in Liechtenstein widerspiegelt sich auch in den durchschnittlichen Ausgaben für Lebensmittel. 2017 gaben die LiechtensteinerInnen jährlich rund 171 EUR pro Person für biologisch hergestellte Lebensmittel aus, nur fünf Länder wiesen pro Person und Jahr höhere Ausgaben für solche Produkte auf, angeführt von den SchweizerInnen mit jährlichen Ausgaben von 288 EUR pro Person (FiBL, o.D.). Dieser hohe Stellenwert von biologischen Produkten in Liechtenstein kann teilweise erklärt werden durch die regionale Verarbeitung und Produktion im Land, welche kurze Transportwege und somit auch Transparenz garantieren können (Liechtenstein Marketing, o.D.).

### 6.2.2. Mengengerüst

Tabelle 10 listet die Kennzahlen der 106 anerkannten Landwirtschaftsbetriebe Liechtensteins aus dem Jahr 2017 auf. Wie bereits erwähnt beträgt der Anteil der biologischen Nutzfläche in Liechtenstein rund 39% der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche.

**Tabelle 10: Landwirtschaftliche Nutzflächen in Liechtenstein im Jahr 2017**

Bewirtschaftungsart	Anzahl Betriebe	Nutzfläche pro Betrieb** (ha)	Gesamte Nutzfläche (ha)	Anteil
Bio Landwirtschaft	39	37.6	1'388	39%
ÖLN* Landwirtschaft	67	33.8	2'171	61%

\* ÖLN: Betriebe, welche einen ökologischen Leistungsnachweis erbringen. Diese sind in Liechtenstein die konventionellen Betriebe.

\*\* Diese Flächen beziehen sich auf diejenigen Betriebe, welche die buchhalterischen Qualitätskriterien erfüllt haben (61 ÖLN-Betriebe und 36 Bio-Betriebe).

Quelle: Regierung des Fürstentums Liechtenstein (2019).

### 6.3. Bewertung der biologischen Landwirtschaft

Wie in Kapitel 6.2.2 erläutert, umfassen die folgenden Auswertungen ausgewählte ÖSL, bei denen deutliche Unterschiede zwischen dem biologischen und konventionellen Pflanzenbau bestehen. Nicht betrachtet wird die Tierhaltung. Die Tabellen der geschätzten jährlichen Werte zu Nutzen und Kosten sind im Kapitel 6.4 aufgelistet. In diesem Kapitel erläutern wir die Herleitung der berechneten Werte.

#### **Regulierende Leistung: Externe Kosten Pestizideinsatz**

Der Einsatz von Pestiziden hat verschiedenste Auswirkungen auf das menschliche Wohlbefinden. Einerseits kann er die Wasser-, Luft- und Bodenqualität beeinträchtigen, was zu Schäden in den Ökosystemen führen und dadurch auch negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben kann. Der Pestizideintrag in Ökosystemen kann beispielsweise zu einem Populationsrückgang von verschiedensten Nützlingen wie Regenwürmern, Vögeln oder bestäubenden Insekten führen. Andererseits können die Pestizidrückstände auf Lebensmitteln die menschliche Gesundheit beeinträchtigen. Einer langanhaltenden Exposition gegenüber Pestiziden wird beispielsweise eine krebserregende und hormonaktive Wirkung nachgesagt. Hinzu kommen noch Kosten für den behördlichen Regulierungsaufwand des Pestizideinsatzes und dessen Kontrollen. So haben Zandonella et al. (2014) die gesamten volkswirtschaftlichen Kosten des Pestizideinsatzes in der Schweiz für das Jahr 2012 auf 50 bis 100 Mio. CHF geschätzt. Übertragen auf die Fläche der biologischen Landwirtschaft Liechtensteins ergibt dies jährliche Kosten von rund 79'000 bis 157'000 CHF, welche durch eine konventionelle Bewirtschaftung dieser Fläche entstehen würden (siehe Tabelle 11). Die Herleitung dieser Zahlen ist im Appendix D beschrieben.

#### **Regulierende Leistung: CO<sub>2</sub>-Emissionen Dünger- und Pestizidproduktion**

Die Produktion von synthetischen Dünger- und Pflanzenschutzmitteln ist sehr energieintensiv und wird unter Einsatz von fossilen Brennstoffen hergestellt. FiBL (2013) schätzt, dass die weltweite Produktion von Stickstoffdüngern zu Emissionen von rund 800 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> führt, was circa 2 Prozent der gesamten, weltweiten Kohlendioxidemissionen ausmacht. Die Emissionen für die Dünger- und Pestizidproduktion fallen nicht direkt in Liechtenstein an. Da die ökonomischen Schäden von CO<sub>2</sub>-Emissionen jedoch unabhängig vom Emissionsort entstehen, sind sie dennoch Liechtenstein zuzuweisen und mit dem Schadenskostensatz von 180 EUR pro Tonne emittierten Kohlendioxids für den Unterwert und 640 EUR für den Oberwert zu rechnen. Die jährlichen Kosten, welche durch die Treibhausgasemissionen bei der Produktion der zusätzlichen synthetischen Pestizide und Stickstoffdünger anfallen würden, falls die momentane Fläche der Bio-Landwirtschaft in Liechtenstein konventionell bewirtschaftet werden würde, belaufen sich gemäss unserer Berechnungen auf jährlich 14'000 bis 52'000 CHF für die

Pestizidproduktion und auf 16'000 bis 190'000 CHF pro Jahr für die Produktion von Stickstoffdünger<sup>41</sup>. Die Herleitungen dieser Werte sind im Appendix D zu finden.

### **Regulierende Leistung: CO<sub>2</sub>-Sequestrierung der landwirtschaftlichen Böden**

Gemäss Lindenthal et al. (2011) werden durch den biologischen Ackerbau durchschnittlich 400 kg CO<sub>2</sub> pro Jahr und Hektar im Humus gebunden. Durch konventionelle Bewirtschaftung kommt es dagegen zu einer durchschnittlichen Freisetzung von 202 kg CO<sub>2</sub> pro Jahr und Hektar, verursacht durch den Humusabbau. Durch die Verrechnung mit dem Schadenskostensatz von 180 EUR pro emittierter Tonne CO<sub>2</sub> für den Unterwert und dem Schadenskostensatz von 640 EUR für den Oberwert tragen die biologischen Landwirtschaftsbetriebe Liechtensteins zu einer jährlichen CO<sub>2</sub>-Sequestrierung im Wert von ungefähr 17'000 bis 62'000 CHF bei. Die konventionelle Landwirtschaft würde auf derselben Fläche jährlich Humus abbauen, wodurch Schäden durch das emittierte Kohlendioxid im Wert von circa 16'000 bis 56'000 CHF entstehen würden. Erläuterungen zu diesen Berechnungen sind im Appendix D festgehalten.

### **Regulierende Leistung: Bestäubungsleistung von Insekten**

Die Bestäubungsleistung der Landwirtschaft haben wir analog zum Vorgehen bei den Naturgebieten berechnet (vgl. Kapitel 4.3). Dabei haben wir der Landwirtschaft gemäss dem ÖLN einen Gesamtbeitrag zur landwirtschaftlichen Bestäubung von 5% und dem Landbau gemäss den Bio-Richtlinien einen Beitrag von 15% beigemessen. Somit leistet die konventionelle Landwirtschaft Liechtensteins jährlich einen geschätzten Beitrag zur landwirtschaftlichen Bestäubung im Wert von 2'000 CHF und die biologische Landwirtschaft einen geschätzten, jährlichen Beitrag im Wert von 5'000 CHF.

### **Bereitstellende Leistung: CO<sub>2</sub>-Bilanz von Kompensationsproduktion im Ausland**

Wie im Kapitel 6.1.2 erläutert, wird generell davon ausgegangen, dass die biologische Landwirtschaft geringere Erträge erwirtschaftet relativ zu den konventionellen, landwirtschaftlichen Betrieben. In Anlehnung an FiBL Schweiz (2015), gehen wir von einem Ertragsanteil von 80% aus. Somit müssten aufgrund der tieferen Produktivität der biologischen Landwirtschaft heute mehr pflanzliche Agrarprodukte aus dem Ausland importiert werden verglichen mit der hypothetischen Situation, in welcher die komplette Landwirtschaft Liechtensteins konventionell bewirtschaftet werden würde. Angenommen, dass diese kompensatorischen Lebensmittel im Ausland alle konventionell hergestellt werden, und dass deren Produktion dieselbe Produktivität wie die konventionelle Landwirtschaft in Liechtenstein<sup>42</sup> aufweist, bräuchte es im Ausland eine zusätzliche konventionelle Landwirtschaftsfläche von 278 Hektaren, um die Produktivitätsdefizite der biologischen Landwirtschaft in Liechtenstein zu kompensieren. Der Humusab-

<sup>41</sup> Die grosse Spannweite für die Produktion des Stickstoffdüngers resultierte aufgrund des grossen Unterschieds der Schadenskostensätze für CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Spannweite der Einsparung von synthetischen Stickstoffdüngern im Biolandbau, die auf 50 bis 150 kg pro Hektar geschätzt wird (FiBL, 2013).

<sup>42</sup> Und der Schweiz, da sich die Ertragsstudie von FiBL auf landwirtschaftliche Flächen im Kanton Basel-Landschaft bezieht.

bau und der Pestizid- und Stickstoffdüngereinsatz auf dieser Fläche würden zu Treibhausgasemissionen führen, die in geschätzten weltweiten Schäden im Wert von rund 9'000 bis 60'000 CHF pro Jahr resultieren würden. Diese Schadenswerte wurden gemäss den obigen Berechnungen hergeleitet und entstehen aufgrund des biologischen Anbaus in Liechtenstein.

Falls die heutigen Bio-Flächen konventionell bewirtschaftet würden, könnten die erhöhten landwirtschaftlichen Erträge entweder die liechtensteinischen Exporte von landwirtschaftlichen Produkten steigern oder zu einer Importreduktion von Agrarprodukten nach Liechtenstein führen. Aus der liechtensteinischen Aussenhandelsstatistik wird nicht ersichtlich, welcher Effekt überwiegen würde<sup>43</sup>. Je nachdem welcher Effekt überwiegte, würde durch höhere Importe beziehungsweise tiefere Exporte entweder zusätzliches Kohlendioxid emittiert oder eingespart.

### **Finanzieller Aspekt und kulturelle Leistung: Nettoerträge der Betriebe**

Die landwirtschaftlichen Betriebe Liechtensteins erhalten staatliche Direktzahlungen, vorausgesetzt sie erfüllen mindestens die Richtlinien des ÖLN. Hierbei werden einerseits einkommensverbessernde Direktzahlungen und andererseits leistungsabhängige Direktzahlungen ausbezahlt. 2017 haben die leistungsabhängigen und die einkommensverbessernden Direktzahlungen ungefähr je die Hälfte der gesamten Direktzahlungen für die landwirtschaftlichen Betriebe ausgemacht<sup>44</sup>. Um eine volkswirtschaftliche Vergleichbarkeit der Erträge des biologischen und konventionellen Landbaus zu erhalten, haben wir die staatlichen Direktzahlungen von den Durchschnittswerten der jeweiligen Betriebseinkommen abgezogen. 2017 betrug dieser durchschnittliche Nettoertrag pro Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche für die Bio-Betriebe 531 CHF und für die ÖLN-Betriebe 339 CHF. Trotz der höheren Direktzahlungen pro Hektar für die Bio-Betriebe, ist der Nettoertrag pro Hektar für Bio-Betriebe demnach deutlich höher, da diese profitabler gewirtschaftet und höhere Betriebseinkommen pro Hektar erzielt hatten<sup>45</sup> (Regierung des Fürstentums Liechtenstein, 2019). Hochgerechnet ergibt dies einen jährlichen Nettoertrag von 746'000 CHF für den biologischen und 477'000 CHF für den konventionellen Landbau Liechtensteins<sup>46</sup>, welcher auf der heutigen Fläche der biologischen Landwirtschaft Liechtensteins erzielt werden würden. Dies bildet nicht nur die finanzielle Rentabilität in einem volkswirtschaftlichen Sinn ab, sondern zum Teil auch die Zahlungsbereitschaft der Bevölkerung für eine biologische Anbauweise, da die höheren Betriebseinkommen pro Flächeneinheit zum Teil durch die höheren Preise für die Bio-Produkte zustande kommen.

<sup>43</sup> Im Jahr 2018 wurden Fischereiprodukte und land- und forwirtschaftliche Produkte im Wert von 240 Mio. CHF direkt exportiert und dieselben Produkte im Wert von 107 Mio. CHF direkt importiert (Amt für Statistik LIE, 2019).

<sup>44</sup> Einkommensverbessernde Direktzahlungen: 48% aller Direktzahlungen; leistungsabhängige (ökologische und tiergerechte Leistungen) Direktzahlungen: 47% aller Direktzahlungen; Erschwerisbeiträge (u.a. Hanglagen): 5% aller Direktzahlungen (Regierung des Fürstentums Liechtenstein, 2019).

<sup>45</sup> Die Bio-Betriebe haben 2017 durchschnittlich 613 CHF mehr Direktzahlungen pro Hektar erhalten und durchschnittlich 804 CHF mehr pro Hektar erwirtschaftet (Regierung des Fürstentums Liechtenstein, 2019).

<sup>46</sup> Diese Werte wurden unter der Annahme einer Inflationsrate von 1.3% zwischen 2017 und 2019 errechnet (Bundesamt für Statistik, o.D.).

## 6.4. Resultate für die biologische Landwirtschaft

Tabelle 11 bildet die Unterschiede von ausgewählten Leistungen der beiden Anbauarten ab bezogen auf die Fläche, die die biologische Landwirtschaft Liechtensteins momentan bewirtschaftet. Gemäss diesen Unterschieden erbringt die biologische Landwirtschaft gesamthaft höhere jährliche Leistungen gegenüber der konventionellen Landwirtschaft im geschätzten Umfang von 446'000 bis 677'000 CHF pro Jahr. Wie in Kapitel 6 erläutert, berücksichtigen wir hier nur den Unterschied ausgewählter ÖSL von biologischer und konventioneller Landwirtschaft. Diese eng gesetzte Systemgrenze lässt somit keinerlei Rückschlüsse über den Nutzen der ÖSL der gesamten landwirtschaftliche Fläche in Liechtenstein z.B. im Vergleich zur Umwandlung in Siedlungsgebiet getroffen werden.

**Tabelle 11: Geschätzte Bandbreiten ausgewählter Leistungen nach Anbauweise in CHF pro Jahr**

Art der Leistung/Kosten	Bio Landwirtschaft		ÖLN* Landwirtschaft	
	Untervwert	Oberwert	Untervwert	Oberwert
CO <sub>2</sub> -Emission Produktion Dünger	-	-	- 190'000	- 16'000
Externe Kosten Pestizideinsatz	-	-	- 150'000	- 75'000
CO <sub>2</sub> -Emission Produktion Pestizid	-	-	- 52'000	- 14'000
CO <sub>2</sub> -Sequestrierung Boden	17'000	62'000	- 56'000	- 16'000
Bestäubungsleistung für die Landwirtschaft	5'000	5'000	2'000	2'000
CO <sub>2</sub> -Bilanz Kompensationsproduktion Ausland	- 60'000	- 9'000	-	-
Nettoerträge der Betriebe	746'000	746'000	477'000	477'000
Summe	708'000	804'000	31'000	358'000
Mehrwert Bio Landwirtschaft	446'000	677'000	-	-

Diese Werte beziehen sich auf die Fläche der biologischen Landwirtschaft in Liechtenstein im Jahr 2018.

Diese Betrachtungsweise bedeutet keineswegs, dass die konventionelle Landwirtschaft keine ÖSL bietet. Vielmehr beschränken wir den Untersuchungsgegenstand auf die Leistungen, die durch biologische Landwirtschaft zusätzlich gewonnen werden.

\* ÖLN: Betriebe, welche einen ökologischen Leistungsnachweis erbringen. Diese sind in Liechtenstein die konventionellen Betriebe.

Diese Zusammenstellung ist jedoch nicht komplett. Wie eingangs dieses Kapitels erwähnt, haben wir beispielsweise nur die pflanzliche Produktion untersucht, während wir die Herstellung von tierischen Produkten aufgrund mangelnder Datenlage nicht untersucht haben. Bei der Gegenüberstellung der Tierhaltung von biologischer und konventioneller Landwirtschaft könnten beispielsweise Produktivitätsunterschiede, unterschiedliche Landnutzungsraten, die Zahlungsbereitschaft der Bevölkerung für das Tierwohl oder auch unterschiedliche Futtermittel<sup>47</sup> eine Rolle spielen. Der IPCC hat in einem kürzlich erschienenen Bericht über den Klimawandel und die Landnutzung erneut empfohlen weniger Fleisch zu konsumieren, um sowohl die Treibhausgasemissionen zu reduzieren als auch adverse gesundheitliche Effekte zu vermeiden (Mbow, et al., 2019). Diese Thematik könnte zukünftig noch wichtiger werden, weshalb der

<sup>47</sup> Bio Suisse (2015) hat das Ziel gesetzt, ab 2019 nur noch biologisches Futtermittel aus Europa zu importieren, wobei vor allem die Sojaimporte aus Übersee betroffen sind. Dies verbessert die CO<sub>2</sub>-Bilanz der biologischen, tierischen Produkte.



Tierhaltung zumindest langfristig wohl eher eine untergeordnete Rolle zukommt. Zusätzlich zur Herstellung von tierischen Produkten konnten wir eine Reihe von weiteren Aspekten für unsere Berechnungen nicht berücksichtigen:

- Während in der biologischen Landwirtschaft die chemisch-synthetischen Pestizide verboten sind, ist der Einsatz von Kupfer als Fungizid insbesondere im biologischen Rebbau verbreitet. Dieses Kupfer kann sich im Boden anreichern und eine schädigende Wirkung auf die Bodenlebewesen haben. Jedoch darf der Kupfereinsatz der Bio-Betriebe vorgegebene Höchstmengen nicht überschreiten, welche zumeist auch deutlich unterschritten werden. So wird Kupfer als Fungizid mengenmässig in erster Linie in der konventionellen Landwirtschaft eingesetzt (Bio Suisse, o.D.; Speiser, Mieves, & Tamm, 2015). Aufgrund mangelnder Daten zur Inwertsetzung des Kupfereinsatzes konnten wir diesen Aspekt nicht abdecken. Dies gilt auch für die Bodenfruchtbarkeit, welche bei der biologischen Anbauweise langfristig aufrechterhalten werden kann.
- Ein weiterer Faktor, den wir nicht monetär bewerten konnten, betrifft die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) des Europäischen Wirtschaftsraums die bereits im Kapitel 5.3 erläutert wurde. Deren Ziele eines guten ökologischen und chemischen Zustands der Gewässer wird Liechtenstein kurzfristig nicht erreichen können, wobei unter anderem der Pestizid- und Düngereinsatz der Landwirtschaft eine gewichtige Rolle spielen (Amt für Umwelt Liechtenstein, 2019). Eine wiederholte Verfehlung der WRRL-Ziele könnte – wie oben bereits erwähnt – einen Reputationsschaden Liechtensteins oder auch finanzielle Konsequenzen zur Folge haben. Die biologische Landwirtschaft trägt aufgrund des Verzichts synthetischer Pestizide und des verminderten Düngemitelesatzes zu dieser Zielerreichung bei.
- Schliesslich leistet die konventionelle Landwirtschaft aufgrund der Annahme der höheren Produktivität auch einen höheren Beitrag zur Nahrungsmittelsicherheit Liechtensteins. Diese Leistung wird teilweise durch die jeweiligen Zahlungsbereitschaften der liechtensteinischen Bevölkerung für biologische und konventionell hergestellte Produkte abgedeckt. Trotzdem dürfte das Bedürfnis nach inländischer Nahrungsmittelproduktion in unseren Berechnungen ungenügend abgebildet sein.

## 7. Gesamtübersicht und Diskussion

Der monetäre Nettowert der ÖSL der vier Gebietstypen, Schutzwälder, geschützte Naturgebiete, renaturierte Fließgewässer und biologische Landwirtschaftsfläche, belaufen sich nach unseren Schätzungen jährlich auf circa 10 bis 35 Mio. CHF. Um eine gewisse Vergleichbarkeit aller verschiedener Gebietstypen zu erhalten, haben wir in der Tabelle 12 unten sowohl die absoluten jährlichen Nutzenwerte als auch die jeweiligen Nettonutzen pro Hektar aufgelistet. Da die renaturierten Fließgewässer keine konkreten Flächen darstellen, haben wir auf die Berechnung der Nettonutzen pro Hektar bewusst verzichtet. Die absoluten Werte weisen aber darauf hin, dass die renaturierten Fluss- und Bachläufe einen hohen Stellenwert für die lokale Bevölkerung besitzen, sowohl als Naherholungsgebiet als auch als Förderflächen für die Biodiversität. Die weiteren Gebietsarten weisen – abgesehen von der Biolandwirtschaft, wo wir nur den Mehrwert gegenüber der konventionellen Landwirtschaft quantifiziert haben – vergleichbare Nettonutzenwerte pro Hektar auf.

**Tabelle 12: Geschätzte Bandbreite der Nettonutzen der untersuchten Gebietstypen Liechtensteins**

Gebietstypen	Fläche (ha)	Nettonutzen (CHF/Jahr)		Nettonutzen pro Fläche (CHF/ha/Jahr)	
		Untervwert	Oberwert	Untervwert	Oberwert
Schutzwälder	1575	4'285'000	15'618'000	2'700	9'900
Geschützte Wälder	1752.6	4'567'000	15'093'000	2'600	8'600
Naturschutzgebiete	176	377'000	1'676'000	2'100	9'500
Landschaftsschutzgebiete	76.6	241'000	563'000	3'100	7'300
Bio-Landwirtschaft	1388	446'000	677'000	300	500
Renaturierte Fließgewässer	-	250'000	1'282'000	-	-

Die von uns berechneten Werte in diesem Bericht basieren auf verschiedensten Annahmen, welche wir für unsere Berechnungen treffen mussten, um die Literaturwerte auf die liechtensteinischen Verhältnisse übertragen zu können. Die Literaturwerte für den Erholungsnutzen und für die Wertschätzung der Biodiversität wurden über Zahlungsbereitschaftsexperimente ermittelt. Dabei sind folgende zwei Aspekte zu beachten:

- In Entscheidungsfindungsexperimenten wird die Zahlungsbereitschaft der Experimentteilnehmer für ein gewisses Gut eruiert, oftmals durch die Gegenüberstellung einer Massnahme und den damit einhergehenden Steuererhöhungen. Während diese Zahlungsbereitschaften auf das einzelne Gut zutreffen mögen, kann es in gewissen Fällen unzulässig sein, die Zahlungsbereitschaften aus unterschiedlichen Experimenten zu addieren, da diese für mehrere Güter zusammen betrachtet geringer ausfallen könnte. In diesem Bericht haben wir für die Wälder sowohl die Zahlungsbereitschaft für den Erhalt der Landschaft als auch die Zahlungsbereitschaft für den Erhalt der Biodiversität addiert, was in der Tendenz zu einer Überschätzung führen könnte.

- In Zahlungsbereitschaftsexperimenten bezieht man sich immer auf hypothetische Szenarien, was die Gefahr einer Überschätzung der effektiven Zahlungsbereitschaft unter einer realen Budgetrestriktion impliziert. So hat Roschewitz (1999) mit der kontingenten Bewertungsmethode, die im Kapitel 2.3 beschrieben wird, die Höhe der Zahlungsbereitschaft der lokalen Bevölkerung untersucht, um die Kulturlandschaft des Zürcher Weinlandes zu erhalten. Die hierbei eruierte durchschnittliche Zahlungsbereitschaft erwies sich als deutlich zu hoch, wie die Abstimmungsresultate über die Erhöhung des Natur- und Heimatschutzfonds im Kanton Zürich kurz nach der Umfrage aufgezeigt hatten (Schlöpfer, 2005). Diese Inkongruenzen konnten entweder auftreten, weil die Umfrage Mängel aufwies, oder weil die Umfrageteilnehmer in realen Situationen anders handeln als in hypothetischen Szenarien, die keine konkreten finanziellen Konsequenzen nach sich ziehen.

Aufgrund gewisser Grenzen des Monetarisierungsansatzes und der Vielzahl notwendiger Annahmen ist somit eine umfassende und exakte ökonomische Bewertung von ÖSL kaum zu erreichen. Trotzdem stellen die monetären Schätzwerte grobe, plausible Grössenordnungen dar, welche die grosse Bedeutung und die verschiedenen Facetten des Umwelt- und Naturschutzes aufzeigen und den politischen Entscheidungsträgern als Anhaltspunkt dienen können.

Mit Blick auf die Zukunft ist anzunehmen, dass sich die Klima- und Umweltthematik weiter akzentuieren wird, wodurch beispielsweise die CO<sub>2</sub>-Sequestrierung oder der Erhalt der Biodiversität zusätzlich an Bedeutung gewinnen werden. Aufgrund der zunehmenden Häufigkeit von Extremereignissen gehen wir ebenfalls von einer zunehmenden Bedeutung von Schutzwäldern aus. Somit ist zukünftig mit einer Zunahme der monetären Werte der in diesem Bericht untersuchten Gebietstypen zu rechnen.

Dieser Bericht stellt eine Pionierarbeit für die Bewertung der bedeutendsten ÖSL Liechtensteins dar. Gewisse natürliche Flächen, allen voran die Wälder, die weder eine Schutzleistung erbringen noch einen Schutzstatus besitzen, wurden in dieser Arbeit aus Relevanzüberlegungen und der Datenlage nicht berücksichtigt. Auch Siedlungsgebiete selbst und deren Grünflächen können gewisse ÖSL erbringen. So übernehmen etwa Bäume in solchen Gebieten besonders wertvolle temperatur- und feuchtigkeitsausgleichende und luftreinigende Funktionen. In weiterführenden Arbeiten zu den ÖSL Liechtensteins könnten diese weiteren Ökosysteme untersucht werden und/oder auch Umfragen und Experimente in der liechtensteinischen Bevölkerung durchgeführt werden, um die Literaturwerte zu den Zahlungsbereitschaften zu plausibilisieren bzw. präzisieren.

## Annex A – Schutzwälder

### Schutzleistung: Währungsumrechnung und Inflation

1. Wir haben zuerst die Literaturwerte mit dem durchschnittlichen Wechselkurs von 1.067 EUR/CHF aus dem Jahr 2015 verrechnet (UNCTADSTAT, o.D.).
2. Danach haben wir noch die Schweizer Inflationsrate von 1.4% von 2015 bis 2019 berücksichtigt (Bundesamt für Statistik, o.D.).

### CO<sub>2</sub>-Sequestrierung Wälder: Zusätzliche Annahmen und Berechnung

1. Ausgehend vom liechtensteinischen Inventarbericht 2019 vom Amt für Umwelt (2019) haben wir von den gebundenen Kohlenstoffmengen des «Productive forests» die Kohlenstoffmengen des Dauergrünlands subtrahiert für die jeweilige Höhenlage. Hierbei haben wir den gebundenen Kohlenstoff der lebenden Biomasse, des Totholzes, des Einstreus und des mineralischen Bodens berücksichtigt. Den organischen Boden haben wir ausgelassen, da für diesen keine Werte für die Wälder im Inventarbericht 2019 ausgewiesen wurden.
2. Wir haben angenommen, dass Schutzwälder, die
  - unter 1'000 m ü. M. liegen, zu 25% zwischen 0 und 600 m ü. M. und zu 75% zwischen 600 und 1'000 m ü. M. liegen
  - über 1'000 m ü. M. liegen, zu 25% zwischen 1'000 und 1'200 m ü. M. und zu 75% über 1'200 m ü. M. liegen
3. Somit konnten wir die gebundenen Kohlenstoffmengen pro Hektar Wald für die drei Höhenlagen berechnen. Diese mussten nun mit 3.67 multipliziert werden, um die entsprechende Menge CO<sub>2</sub> zu erhalten (Thürig & Schmid, 2008).
4. Für die Umrechnung der Schadenskostensätze von 180 und 640 EUR pro Tonne emittiertem CO<sub>2</sub> haben wir den durchschnittlichen Wechselkurs von 2016 von 1.09 EUR/CHF verwendet (Eidgenössische Steuerverwaltung, o.D.). Zusätzlich haben wir die Teuerungsrate in der Schweiz von rund 1.8% von 2016 bis 2019 berücksichtigt (Bundesamt für Statistik, o.D.).
5. Diese Werte für die vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen sind statisch, da der entsprechende Kohlenstoff zum momentanen Zeitpunkt im Wald gebunden ist. Somit mussten wir die erhaltenen Werte auf jährliche Nutzenwerte runterbrechen für die zukünftigen Jahre. Dies haben wir mittels Annuitätenmethode realisiert mit der Annahme von einem risikofreien Zinssatz von 1% und einer angenommenen Lebenserwartung der Schutzwälder von 150 Jahren. Dies ergab folgende Rechnung:

$$\text{Jährlicher Nutzenwert} = \frac{\text{Statistischer Gesamtwert} * 0.01 * (1 + 0.01)^{150}}{(1 + 0.01)^{150+1} - 1}$$

Dieser Ansatz verfolgt die Logik, dass man den im Wald gebundenen monetären Wert des Kohlendioxids zum heutigen Zeitpunkt komplett dem Wald entnimmt und mit dem risikofreien Zinssatz am Finanzmarkt anlegt, so dass man dem Wald heute und in den nächsten 150 Jahren denselben nominalen Betrag als Nutzen zuweisen kann. Aufgrund der Teuerung wird somit zukünftigen Jahren einen kleineren realen Wert zugewiesen. Somit wird mit dieser Methode auch der Tatsache Rechnung getragen, dass für die liechtensteinischen Entscheidungsträger zukünftige Jahre mit Unsicherheit behaftet sind, beispielsweise bezüglich der Existenz der Wälder selbst.

Der risikofreie Zinssatz von 1% erscheint sinnvoll, da zum momentanen Zeitpunkt selbst für 50-jährige Schweizer Staatsanleihen negative Zinsen ausbezahlt werden (Investing.com, 2020). Jedoch kann erwartet werden, dass sich die Zinssituation wieder normalisieren wird in den nächsten Jahren bis Jahrzehnte. Die angenommene Lebenserwartung von 150 Jahren bezieht sich auf die Existenz von Wäldern auf der Fläche der momentanen Schutzwälder Liechtensteins. Es scheint nicht absehbar, dass diese Wälder demnächst gerodet werden könnten. Jedoch ist es nicht auszuschliessen, dass sich diese Situation dereinst verändern könnte.

#### Luftfilterung von Feinstaub, Ammoniak- und Stickdioxid: Annahmen und Berechnung

Generelle Formel zur Deposition von Luftschadstoffen gemäss Hein (2011):

$$\text{Deposition} \left( \frac{\text{kg}}{\text{Jahr}} \right) = \text{Fläche} (\text{m}^2) * \text{Abscheidegeschwindigkeit} \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) * \text{Zeit} \left( \frac{\text{Sekunden}}{\text{Jahr}} \right) * \text{Luftkonzentration} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

1. Abscheidegeschwindigkeit für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) gemäss Powe und Willis (2004) und Hein (2011):

- Für Laubwälder: 0.32 cm/s  
(dies ist ein jährlicher Durchschnittswert unter der Annahme, dass Laubbäume ein halbes Jahr keine Blätter tragen)
- Für Nadelwälder: 0.8 cm/s
- Für Wiesen und Ackerböden: 0.1 cm/s

2. Abscheidegeschwindigkeit für Ammoniak (NH<sub>3</sub>) gemäss Rihm und Achermann (2016):

- Für Laubwälder: 2.2 cm/s
- Für Nadelwälder: 3.0 cm/s
- Für landwirtschaftliche Flächen: 1.2 cm/s

3. Abscheidegeschwindigkeit für Ammoniak (NH<sub>3</sub>) gemäss Rihm und Achermann (2016):

- Für Laubwälder: 2.2 cm/s
- Für Nadelwälder: 3.0 cm/s
- Für landwirtschaftliche Flächen: 1.2 cm/s

4. Anzahl Sekunden pro Jahr gemäss dem gregorianischen Kalender: 31'556'952

5. Luftkonzentration von Feinstaub (PM<sub>10</sub>) in Liechtenstein:

- 13 µg/m<sup>3</sup>
- Dieser ist ein Durchschnittswert der Jahre 2017 bis 2019 und stammt von der Messstation Vaduz, Landesbibliothek (OSTLUFT, 2020). Dies ist die einzige Messstation in Liechtenstein, für die Feinstaub-Daten der vergangenen Jahre öffentlich zugänglich waren.

6. Luftkonzentration von Ammoniak (NH<sub>3</sub>) in Liechtenstein:

- 6.1 µg/m<sup>3</sup>
- Dies ist ein Durchschnittswert der Jahre 2016 bis 2018 von den Messstationen in Balzers Aviols, Eschen Riet und Schaan (OSTLUFT, 2020). Diese waren die einzigen öffentlich zugänglichen Daten von Messstationen für die Luftkonzentration von Ammoniak in Liechtenstein.

7. Luftkonzentration von Stickdioxid (NO<sub>2</sub>) in Liechtenstein:

- 15.7 µg/m<sup>3</sup>
- Dies ist ein Durchschnittswert der Jahre 2017 bis 2019 von der Messstation Vaduz, Landesbibliothek (OSTLUFT, 2020). Dies ist die einzige Messstation in Liechtenstein, für die Stickdioxid-Daten der vergangenen Jahre öffentlich zugänglich waren.

Weitere Annahmen für die Berechnung der Feinstaub- und Ammoniak-Absorbierung:

- Durchschnittliche Kosten in Deutschland bezüglich Gesundheits- und Ernteschäden von Emissionen gemäss der Methodenkonvention 3.0 vom Umweltbundesamt (Matthey & Büniger, 2019):
  - 41'200 EUR/t PM<sub>10</sub>-Emission
  - 21'600 EUR/t NH<sub>3</sub>-Emission
  - 15'200 EUR/t NO<sub>2</sub>-Emission
- Durchschnittlicher Wechselkurs von 1.09 EUR/CHF im Jahr 2016 (Eidgenössische Steuerverwaltung, o.D.) und eine Inflationsrate von rund 1.8% zwischen 2016 und 2019 (Bundesamt für Statistik, o.D.).
- Von der frischen Luft durch die Schadstofffilterung profitieren vor allem die direkten Anwohner der Wälder. Somit sollte der Gesamtwert reduziert werden:
  - Für den Mindestwert wurde 10% der vermiedenen Kosten angenommen
  - Für den Maximalwert wurde 20% der vermiedenen Kosten angenommen

## Zahlungsbereitschaft des Tourismus für den Erhalt der Landschaft: Annahmen und Berechnung

Gesamtwert Zahlungsbereitschaft der Touristen für die Schutzwälder =  $\frac{\text{Zahlungsbereitschaft CH pro Jahr}}{\text{Waldbesuche Schweizer pro Jahr}}$  \* Wertminderung für LIE \* Inflation \* bereinigte Logiernächte

- Zahlungsbereitschaft Schweizer pro Jahr: 290 bis 589 CHF (von Grünigen, Montanari, & Ott, 2014)
- Durchschnittlich unternehmen die Schweizer 64 Waldbesuche pro Jahr (von Grünigen, Montanari, & Ott, 2014). Wir nehmen an, dass die Zahlungsbereitschaft pro Waldbesuch dem Erholungswert der Touristen pro Tag entspricht, welche sie den Wäldern beimessen.
- Wertminderung für Liechtenstein: Wie im Haupttext beschrieben haben wir für die Untergrenze 30% und die Obergrenze 60% des Schweizer Werts angenommen.
- Inflation: Die Zahlungsbereitschaften beruhen auf einer Studie aus dem Jahr 2014. Somit mussten wir die obigen Werte noch mit der Inflationsrate von 2.9% für 2014 bis 2019 bereinigen (Bundesamt für Statistik, o.D.).
- Bereinigte Logiernächte: Diese betrug 126'474 in Liechtenstein im Jahr 2018 aufgrund der folgenden Bereinigungen und Annahmen:
  - Anzahl Logiernächte in Liechtenstein im Jahr 2018 von ausländischen Touristen: 158'728 (Amt für Statistik LIE, 2019).
  - Annahme des Anteils an Landschaftstouristen basierend auf einer Schweizer Studie: 83% (Econcept, 2002). Nur dieser Anteil wurde für den Gesamtwert berücksichtigt.
  - Annahme des Anteils an Kinder, welche keine Zahlungsbereitschaft besitzen, basierend auf einer Schweizer Studie: 4% (Econcept, 2002). Kinder wurden nicht berücksichtigt für unseren Gesamtwert.
- Fläche Objekt- und Personenschutzwälder in Liechtenstein: 1'575 ha (Informationen des Amts für Umwelt Liechtenstein)
- Fläche aller Wälder in Liechtenstein: 5'228 ha (Bundesamt für Statistik BFS, 2015)

## Annex B – Geschützte Naturgebiete

### Naturschutzgebiete Liechtensteins

Name des Gebiets	Fläche (in ha)	Moorgebiet
Ruggeller Riet in Ruggell und Schellenberg	90.9	Ja
Schwabbrünnen/Äscher in Eschen, Planken und Schaan	53.9	Ja
Matilaberg in Triesen	14.3	
Schneckenäule und Teilfläche in der Au in Ruggell	6.5	
Triesner Heilos	3.1	
Äulehäg in Balzers	2.8	
Gampriner Seelein	2.3	
Wisaneln in Mauren	1.1	Ja
Birka in Mauren	0.6	Ja
Mareewiesen in Vaduz	0.5	

Quelle: Amt für Statistik LIE (2019), Amt für Umwelt (2020)

### Landschaftsschutzgebiete Liechtensteins

Name des Gebiets	Fläche (in ha)
Periol, Bofel, Neufeld, Udera Forst in Triesen	64.4
Wesa-Fokswinkel in Triesen	12.2

Quelle: Amt für Statistik LIE (2019)

### CO<sub>2</sub>-Sequestrierung Wälder: Annahmen und Berechnung

1. Die jährlichen Werte für die CO<sub>2</sub>-Sequestrierung der Wälder der geschützten Naturgebiete Liechtensteins wurden grundsätzlich gleich berechnet wie die Werte der CO<sub>2</sub>-Sequestrierung der Schutzwälder, dessen Berechnung und Annahmen im Appendix A beschrieben sind. Die einzigen Unterschiede der Berechnungen sind die Folgenden:

- Annuität: Annahme anderer Lebenserwartung (siehe Punkt 2 unten)
- Höhenlage: Geschätzte Höhenlagen der Wälder sind unterschiedlich (siehe Punkt 3 unten)
- Alternative Bodennutzung: Für die Naturschutzgebiete wurde als Substitut die Kohlenstoffbindung des Ackerlands verwendet

2. Berechnung Annuität:

Für die Berechnungen der jährlichen monetären Schätzwerte wurde dieselbe Vorgehensweise, die Annuitätenmethode, angewendet wie diejenige der Schutzwälder (siehe Appendix A für Details). Auch für die Wälder der geschützten Gebiete wurde ein risikofreier Zinssatz von 1% angenommen. Allerdings haben wir für diese Wälder nun eine Lebenserwartung von 200 Jahren angenommen, im Vergleich zu den 150 Jahren für die Schutzwälder. Diesen Unterschied haben wir aufgrund des Schutzstatus vorgenommen.



### 3. Höhenlagen der Wälder:

- Landschafts- und Naturschutzgebiete: Alle Wälder liegen unter 600 m ü. M.
- Geschützte Wälder (Waldreservate und Sonderwaldflächen):
  - 0 – 600 m ü.M. : 7% der Wälder
  - 600 – 1'200 m ü.M. : 28% der Wälder
  - über 1'200 m ü.M. : 65% der Wälder

Die Annahmen der Höhenlagen der geschützten Wälder basieren auf Dokumenten zu den Waldreservaten und Sonderwaldflächen, die vom Amt für Umwelt Liechtenstein zur Verfügung gestellt wurden. Hierbei wurden die existierenden Angaben zu den Höhenlagen der einzelnen Waldgebiete verwendet um pro Waldstück prozentuale Werte für die drei Höhenstufen 0 – 600 m ü.M. , 600 – 1'200 m ü.M. und 1'200+ m ü.M. zu bilden. Hierbei wurde auch mittels topographischer Karten berücksichtigt, ob ein Waldstück beispielsweise Teil eines kegelförmigen Berges ist, wodurch die prozentuale Fläche der höheren Lagen kleiner sein müssten. Dies führte zu den geschätzten Höhenlagen, welche in der Tabelle 13 und der Tabelle 14 aufgelistet sind. Für die 96.9 Hektar grossen Waldgebiete, für welche keine Höhenangaben vorlagen, wurde angenommen, dass sie dem Durchschnitt der restlichen Waldreservate und Sonderwaldflächen entsprechen.

**Tabelle 13: Geschätzte Höhenlagen für einige Waldreservate**

Name des Waldes	Gesamtfläche (ha)	Fläche (ha):		
		0 – 600 m ü.M.	600 – 1'200 m ü.M.	über 1'200 m ü.M.
Garsälli/Zegerberg , Balzers	279.4	0	74.7	204.7
Garsälli/Zegerberg, Planken	186.7	0	52.1	134.6
Garsälli/Zegerberg, Triesenberg	429.7	0	94.4	335.3
Garsälli/Zegerberg, Alpg. Guschgfiel	26.1	0	0	26.1
Messweid, BG Triesen	8.2	0	0	8.2
Mittagsspitze, BG Balzers	97.5	17	50.5	30
Mittagsspitze, BG Triesen	115.6	20.6	59.9	35.6
Rinderwald, Triesen	16.5	0	0	16.5
Ruggeller Rheinau, Ruggell	12.4	12.4	0	0
Schlosswald, Fürstl. Domäne	49	11.1	37.9	0

Die Flächen pro Höhenlagen beruhen auf Angaben zu den Höhenlagen der einzelnen Wälder und eigenen Schätzungen.

Quelle für Gesamtfläche: (Landesverwaltung Fürstentum Liechtenstein, 2000)

Tabelle 14: Geschätzte Höhenlagen für einige Sonderwaldflächen

Name des Waldes	Gesamtfläche (ha)	Fläche (ha): 0 – 600 m ü.M.	Fläche (ha): 600 – 1'200 m ü.M.	Fläche (ha): über 1'200 m ü.M.
Bim Hensile, Ruggell	12.9	12.9	0	0
Fuermazög, Eschen	26.5	0	13.5	13.0
Gampriner Au, Gamprin	7.5	7.5	0	0
Gantenstein, Eschen	1.1	0	1.1	0
Gantenstein, Gamprin	0.1	0	0.1	0
Gantenstein, Mauren	0.5	0	0.5	0
Gantenstein, Schellenberg	0.8	0	0.8	0
Guschg/Nachtsäss, Alpg. Guschg	26.1	0	0	26.1
Hälos, BG Triesen	6.5	6.5	0	0
Hochwuerza, Mauren	14.2	0	8.3	5.9
Malanser/Lotzagüetli, Eschen	6.2	4.1	2.1	0
Malanser/Lotzagüetli, Gamprin	1.9	1.3	0.6	0
Maschera, BG Triesen	60	0	5.7	54.3
Mogga-wald/Schwarzwald, Vaduz	89.7	0	52.7	37.0
Plattawald/Bleika, Schaan	72.6	0	13.7	58.9
Pradamee, Alpg. Vaduzer Malbun	19.6	0	0	19.6
Retta, Alpg. Gritsch	3.2	0	0	3.2
Retta, Triesen	4.2	0	0	4.2
Ruggeller Rheinau, Ruggell (SWR)	14.7	14.7	0	0
Säliwald, Triesenberg	12	0	0	12
Säliwald, Vaduz	13.5	0	0	13.5
Stachler Wald, Slpg. Guschg	37.9	0	0	37.9
Unterau, Eschen	0.4	0.4	0	0
Unterau, Schaan	2.5	2.5	0	0

Die Flächen pro Höhenlagen beruhen auf Angaben zu den Höhenlagen der einzelnen Wälder und eigenen Schätzungen.

Quelle für Gesamtfläche: (Landesverwaltung Fürstentum Liechtenstein, 2000)

### Vermiedene CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Moore: Zusätzliche Annahmen

1. Wir haben angenommen, dass von den drei Schutzgebieten, welche Moorfragemente besitzen und insgesamt 146.5 Hektare bedecken, 50 – 75% der Fläche tatsächlich Moore sind.

2. Der durchschnittliche Wechselkurs von 2016 für die Umrechnung der Schadenskostensätze einer Tonne emittierten Kohlendioxids beträgt 1.09 EUR/CHF (Eidgenössische Steuerverwaltung, o.D.) und die Teuerungsrate in der Schweiz betrug rund 1.8% zwischen 2016 und 2019 (Bundesamt für Statistik, o.D.).

#### Vermiedene externe Kosten des Pestizideinsatzes: Zusätzliche Annahmen

Die generelle Vorgehensweise bei der Berechnung dieser Kosten sind im Kapitel 6.3 und im Appendix D erläutert. Für die Berechnungen der Werte in diesem Kapitel wurden diese zusätzlichen Annahmen getätigt:

- Falls die Natur- und Landschaftsschutzgebiete in landwirtschaftliche Flächen transformiert werden würden, würden 61% der Flächen konventionell und 39% biologisch bewirtschaftet werden, was den momentanen Verhältnissen Liechtensteins entspricht (Regierung des Fürstentums Liechtenstein, 2019). Somit würde nur auf 61% der Flächen dieser geschützten Gebiete synthetische Pestizide eingesetzt.
- Während die heutigen Naturschutzgebiete aufgrund des sumpfigen Untergrunds und einzelnen Baumgruppen eventuell nicht komplett bewirtschaftet werden könnten, sind bei den heutigen Landschaftsschutzgebieten aufgrund der Wälder und der teils steilen Hanglage Einschränkungen für die hypothetische Landwirtschaft vorstellbar. Somit haben wir für die beiden Gebietstypen angenommen, dass sie zu den folgenden Prozentsätzen bewirtschaftet werden könnten:
  - Naturschutzgebiete: 80 – 100%
  - Landschaftsschutzgebiete: 60 – 100%

#### Vermiedene Kosten der Ammoniakemission von Düngemitteln: Berechnungen

1. Der Pflanzenbau hat 2015 in der Schweiz insgesamt zu Ammoniakemissionen von 2'900 Tonnen geführt (Kupper, Bonjour, Menzi, Bretscher, & Zaucker, 2018). Die landwirtschaftlichen Flächen, die für den Pflanzenbau verwendet wurden, das offene Ackerland, das Rebland und die Obstanlagen, betrug im Jahr 2015 293'340 Hektare (Bundesamt für Statistik, 2020). Somit konnten wir die Ammoniakemissionen pro Hektar Anbaufläche von Pflanzen bestimmen. Diese Emissionsdaten wurden nicht weiter aufgeteilt in konventionelle und biologische Landwirtschaft, weshalb wir im weiteren Verlauf dieser Berechnungen von Durchschnittswerten der liechtensteinischen Landwirtschaft ausgingen.

2. Durchschnittlich besass ein landwirtschaftlicher Betrieb in Liechtenstein im Jahr 2017 eine Nutzfläche von 35.21 Hektare, wovon die offenen Ackerflächen 8.2 Hektare und die Dauerkul-

turen<sup>48</sup> 0.2 Hektaren ausmachten (Regierung des Fürstentums Liechtenstein, 2019). Dies entspricht einem Anteil des Pflanzenbaus von rund 24%. Wir haben angenommen, dass zu diesem Prozentsatz auf den zusätzlich geschaffenen Landwirtschaftsflächen Pflanzen angebaut werden würden.

3. Gemäss einer Studie publiziert vom Umweltbundesamt Deutschland, führte eine Tonne emittiertes Ammoniak im Jahr 2016 zu Gesundheitsschäden und Kosten aufgrund von Biodiversitätsverlusten im Umfang von 32'000 EUR.

4. Wir gingen von einem durchschnittlichen Wechselkurs von 1.09 EUR/CHF für das Jahr 2016 aus und haben eine Teuerungsrate in der Schweiz von 1.8% angenommen für die Jahr 2016 – 2019 (Bundesamt für Statistik, o.D.; Eidgenössische Steuerverwaltung, o.D.).

6. Zusätzlich haben wir noch angenommen, dass die heutigen geschützten Gebiete nicht komplett bewirtschaftet werden könnten. Während die heutigen Naturschutzgebiete aufgrund des sumpfigen Untergrunds und einzelnen Baumgruppen eventuell nicht komplett bewirtschaftet werden könnten, sind bei den heutigen Landschaftsschutzgebieten aufgrund der Wälder und der teils steilen Hanglage Einschränkungen für die hypothetische Landwirtschaft vorstellbar. Somit haben wir für die beiden Gebietstypen angenommen, dass sie zu den folgenden Prozentsätzen bewirtschaftet werden könnten:

- Naturschutzgebiete: 80 – 100%
- Landschaftsschutzgebiete: 60 – 100%

5. Somit konnten wir die geschätzten jährlichen Emissionskosten des Ammoniaks aus der pflanzlichen Landwirtschaft berechnen.

#### Bestäubungsleistung für die Landwirtschaft

1. Schätzungen für das Jahr 2014 beziffern die jährlichen Erträge der bestäubungsabhängigen Landwirtschaft in der Schweiz auf 205 bis 479 Millionen Franken (Sutter, Herzog, Dietemann, Charrière, & Albrecht, 2017).

2. Die gesamte Erzeugung von pflanzlichen Gütern in der Schweizer Landwirtschaft erzielte 2014 zu laufenden Herstellungspreisen einen Gesamtwert von 4'251'690'000 CHF (Bundesamt für Statistik, 2019). Somit beträgt der bestäubungsabhängige Teil dieser Erzeugnisse schweizweit ungefähr 4.8 bis 11.3%.

---

<sup>48</sup> Die Dauerkulturen umfassen unter anderem die Rebberge und die Obstanlagen.

3. Dies sind die jeweiligen Flächen der bestäubungsabhängigen und der gesamten Landwirtschaft:

**Tabelle 15: Landwirtschaftliche Nutzflächen in der Schweiz, 2014**

	Schweiz	St. Gallen	Graubünden
Landwirtschaftliche Nutzfläche (ha)	1'049'478	71'555	55'866
Bestäubungsabhängige Nutzfläche (ha)	50'298	773	693
Ackerbau (ha)	37'695	214	245
Obst (ha)	9'371	403	273
Beeren (ha)	3'232	156	175
Anteil bestäubungsabhängige Fläche	4.79%	1.08%	1.24%

Quelle: Sutter et al. (2017), Bundesamt für Statistik (2019)

4. Somit konnten wir Werte bezüglich des prozentualen Anteils der Erträge aus bestäubungsabhängigen Erzeugnissen für die Kantone St. Gallen und Graubünden an den gesamten pflanzlichen Erträgen schätzen. Dies unter der Annahme, dass jegliche bestäubungsabhängige Nutzflächen denselben Ertrag abwerfen. Dies waren unsere Berechnungen hierzu:

*Anteil Umsätze aus bestäubungsabhängiger Landwirtschaft pro Kanton =*

$$\frac{\text{Umsätze bestäubungsabhängige Landwirtschaft CH}}{\text{Gesamte Umsätze pflanzliche Landwirtschaftserzeugnisse CH}} * \frac{\text{Anteil bestäubungsabhängige Fläche Kanton}}{\text{Anteil bestäubungsabhängige Fläche CH}}$$

Unter Berücksichtigung der Bandbreite der jährlichen Erträge der bestäubungsabhängigen Landwirtschaft in der Schweiz von 205 bis 479 Millionen Franken ergibt dies folgende Umsatzanteile für St. Gallen und Graubünden:

- St. Gallen: 1.09 – 2.54%
- Graubünden: 1.25 – 2.92%

5. Gemäss dem Agrarbericht 2017 von Liechtenstein erzeugte ein durchschnittlicher landwirtschaftlicher Betrieb in Liechtenstein im Jahr 2017 pflanzliche Produkte im Wert von 39'487 (Regierung des Fürstentums Liechtenstein, 2019). Hochgerechnet auf die insgesamt 106 Landwirtschaftsbetriebe in Liechtenstein ergibt dies einen Gesamtwert von jährlich 4'185'622 CHF. Verrechnet man diesen Wert mit den prozentualen Anteilen der Umsätze der bestäubungsabhängigen Erzeugnissen an der gesamten pflanzlichen Produktion von St. Gallen und Graubünden ergibt dies für 2017 einen geschätzten Wert der Bestäubungsleistungen von Insekten in Liechtenstein von insgesamt 45'490 – 122'051 CHF pro Jahr.

6. Diese Werte haben wir mit der Inflationsrate von 1.3% für 2017 bis 2019 verrechnet (Bundesamt für Statistik, o.D.).

7. Die resultierten Bestäubungsleistungen haben wir diesen Gebieten zu folgenden Anteilen zugeteilt:

- Naturschutzgebiete: 40%
- Geschützte Wälder: 15%
- BIO-Landwirtschaft: 15%
- Nicht untersuchte Gebietstypen: 15%
- Landschaftsschutzgebiete: 10%
- ÖLN-Landwirtschaft: 5%

Diese Annahmen wurden getroffen aufgrund verschiedenster Beiträge der jeweiligen Gebiete zur Lebensgrundlage der bestäubenden Insekten und der Gebietsgrößen in Liechtenstein getätigt. Hier einige Fakten, die als Grundlage für unsere Annahmen gedient haben:

- Waldränder bieten essenzielle Nahrungsquellen, Nistplätze oder auch Material für den Nestbau für Wildbienen (Götzl, Schwaiger, Schwarzl, & Sonderegger, 2015). Dazu sollten sich diese Wälder in näherer Umgebung zu landwirtschaftlich genutzten Flächen befinden, da beispielsweise für die meisten Wildbienenarten in der Schweiz maximale Flugdistanzen von 100 - 300 m zwischen dem Nest und der Nahrungspflanze geschätzt wurden. Jedoch existieren einzelne Ausnahmen von Wildbienenarten, welche Flugdistanzen von mehr als einem Kilometer zurücklegen können (Zurbuchen, Müller, & Dorn, 2010).
- Bienen benötigen für die eigene und die Ernährung ihrer Larven grosse Mengen an Pollen und Nektar. Eine hohe Blütenvielfalt ist vor allem essenziell für Wildbienen, da sich viele Arten auf gewisse Pflanzenfamilien spezialisiert haben (Pfiffner & Müller, 2016).
- Die konventionelle Landwirtschaft kann aufgrund des überhöhten Einsatzes von Pestiziden, Herbiziden und auch Dünger eine erhebliche Gefahr für die Wildbienenpopulation darstellen (Guntern, Suzner, Neumann, & Müller, 2014).
- Ökologische Ausgleichsflächen, vor allem durch die biologische Landwirtschaft geschaffen, sind wichtig für die Förderung der Wildbienen (Pfiffner & Müller, 2016).

#### Zahlungsbereitschaft Erhalt der Landschaft: Informationen zur Berechnung

1. Berechnung der flächenmässigen Anteile der Zahlungsbereitschaften: Die Gesamtfläche der natürlichen Landschaften Liechtensteins haben wir auf 121 km<sup>2</sup> geschätzt, und setzt sich gemäss unseren Annahmen aus den folgenden Flächen zusammen (Amt für Statistik LIE, 2019):

- Wald
- Unproduktive Flächen
- Obstbau, Rebbau
- Naturwiesen

- Alpwiesen, Alpweiden

Die Gesamtflächen der Natur- und Landschaftsschutzgebiete Liechtensteins sind im Mengengerüst im Haupttext aufgelistet.

2. Übernachtungszahl der erwachsenen Naturtouristen: Diese betrug im Jahr 2018 in Liechtenstein 126'474 aufgrund der folgenden Bereinigungen und Annahmen:

- Anzahl Logiernächte in Liechtenstein im Jahr 2018 von ausländischen Touristen: 158'728 (Amt für Statistik LIE, 2019).
- Annahme des Anteils an Landschaftstouristen basierend auf einer Schweizer Studie: 83% (Econcept, 2002). Nur dieser Anteil wurde für den Gesamtwert berücksichtigt.
- Annahme des Anteils an Kinder, welche keine Zahlungsbereitschaft besitzen, basierend auf einer Schweizer Studie: 4% (Econcept, 2002). Kinder wurden nicht berücksichtigt für unseren Gesamtwert.

3. Erwachsene Bevölkerung Liechtensteins: Gemäss der Bevölkerungsstatistik von Liechtenstein mit dem Stichtag am 30.06.2019 beträgt die Bevölkerungszahl der Personen über 18 Jahren in Liechtenstein 31'728 (Frick, 2019).

#### Opportunitätskosten der geschützten Gebiete: Annahmen

1. Die Ertragswerte aus 2017 mussten wir noch bezüglich der Teuerung bereinigen. Die Schweizer Inflationsrate von 2017 bis 2019 betrug 1.3% (Bundesamt für Statistik, o.D.).

2. Zusätzlich zu den Annahmen welche im Haupttext erwähnt wurden, haben wir bei den Berechnungen angenommen, dass einerseits nicht die kompletten Flächen der Natur- und Landschaftsschutzgebiete zu optimalen Bedingungen bewirtschaftet werden können, beispielsweise aufgrund einer Hanglage, und dass teilweise höhere Kosten zu erwarten wären bei einer kompletten Transformation zu landwirtschaftlicher Nutzfläche. Solche Kosten könnten die grossflächige Entwässerung oder auch die Abholzung von Wäldern in den Schutzgebieten beinhalten. Somit haben wir für die beiden geschützten Gebietstypen angenommen, dass die folgenden Bandbreiten des errechneten Nettoertrags pro Hektar erwirtschaftet werden könnten:

- Naturschutzgebiete: 50 – 100%
- Landschaftsschutzgebiete: 75 – 100%

Die Naturschutzgebiete bestehen zu grossen Teilen aus Mooren oder auch kleinen Seen und Teichen, dazu gibt es auch kleinere bewaldete Gebiete. Die Kosten für eine kommerzielle Bewirtschaftung würden in der kurzen Frist wohl hoch ausfallen. Dagegen wäre eine Transformation der Landschaftsschutzgebiete wohl kostengünstiger. In der langen Frist würden die landwirtschaftlichen Erträge dieser Gebietsflächen wohl dem Landesdurchschnitt entsprechen, weshalb für die Obergrenze ein Wert von 100% gewählt wurde.

## Annex C – Renaturierte Fluss- und Bachläufe

### Nährstoffrückhalt: Zahlen und Berechnung

1. Meyerhoff und Dehnhardt (2002) haben für die Nährstoffretentionsleistung der Elbauen einen jährlichen Wert von 530 EUR pro Hektar berechnet und Jessel, Tschimpke und Walser (2009) einen Wert von 585 EUR pro Hektar und Jahr.

2. Zuerst haben wir die im Jahr 2002 und 2009 publizierten Werte mit den damaligen Wechselkursen verrechnet. Die durchschnittlichen jährlichen Wechselkurse der beiden Jahre betragen gemäss (UNCTADSTAT, o.D.):

- 2002: 1.467 EUR/CHF
- 2009: 1.512 EUR/CHF

3. Danach haben wir noch die Teuerungsraten in der Schweiz seit 2002 und 2009 und bis 2019 gemäss Bundesamt für Statistik (o.D.) berücksichtigt:

- 2002 bis 2019: 6.75%
- 2009 bis 2019: 0.28%

### Fischfang: Annahmen und Berechnungen

1. Die Fischfanzahlen im Binnenkanal Liechtensteins waren 2017 folgendermassen:

**Tabelle 16: Fischfangzahlen im Binnenkanal Liechtenstein, 2017**

<b>Fischart</b>	<b>Anzahl gefangene Fische</b>
Regenbogenforelle	415
Bachforelle	102
Äsche	66
Hechte	15
Seeforellen	3
Andere	3

Quelle: Fischereiverein Liechtenstein (o.D.)

2. Zusätzlich haben wir Schätzwerte für die drei meistgefangenen Fische angenommen. Eine Bio-Regenbogenforelle kostet ungefähr 13.90 CHF (Farmy, 2019), eine Bachforelle ungefähr 11.55 CHF (Grabenmühle Forellen, o.D.; Fischlexikon.eu, o.D.) und eine Äsche circa 28.50 CHF (Ruppelt, Jörg, 2018; Tierdoku.com, o.D.).

3. Dies führt für die drei meistgefangenen Fische zu 8'800 CHF. Werden für die anderen Fische Schätzwerte addiert und berücksichtigt, dass auch ohne die Renaturierungsmassnahmen ent-



lang des Binnenkanals eine gewisse Anzahl Fische gefangen werden könnte, erhielten wir für die jährlichen Fischfangerträge eine Bandbreite von 6'000 bis 10'000 CHF, welche aufgrund der renaturierten Teilstücke des Binnenkanals erzielt werden können.

### Zahlungsbereitschaft Erhalt Landschaft: Annahmen und Berechnungen

1. Dies sind die Zahlungsbereitschaften (ZB) gemäss der betrachteten Studie, wobei diese durch hypothetische Steuererhöhungen eruiert wurden:

**Tabelle 17: Zahlungsbereitschaften pro Person für Flussrenaturierungen in der Schweiz**

Eigenschaft	Balsthal (ZB)	Delémont (ZB)	Dübendorf (ZB)	Payerne (ZB)
Deutlich naturnähere Flusslandschaft	0 CHF	22 CHF	51 CHF	0 CHF
Schätzkonstante*	149 CHF	82 CHF	0 CHF	71 CHF
Länge: 1 km	37 CHF	16 CHF	17 CHF	0 CHF
Summe	186 CHF	120 CHF	68 CHF	71 CHF

\* Die Schätzkonstante beinhaltet u.a. die Zahlungsbereitschaft für eine etwas naturnähere Flusslandschaft und die generelle Einstellung bzgl. Renaturierungsprojekten.

Quelle: Arnold et al. (2009)

Die Aufwertung zu einer deutlich naturnäheren Flusslandschaft beinhaltet folgende Eigenschaften:

- Beidseitig Aufweitung des Flusses von 5 – 10 Meter
- Landschaftlich abwechslungsreicherer Uferverlauf
- Uferbepflanzung auf einer grösseren Fläche anzutreffen und standortgerechter
- Strukturelemente im Bachbett (Kiesbänke und -inseln, Steine)
- Der Fluss mäandriert
- Die Artenvielfalt von Tieren und Pflanzen (im Wasser und am Ufer) nimmt deutlich zu

All diese Eigenschaften scheinen erfüllt worden sein bei den acht untersuchten Renaturierungsprojekten in Liechtenstein.

2. Somit haben wir für den Mindestwert die Summe der Zahlungsbereitschaften aus Dübendorf (68 CHF pro Person) proportional zu einem Kilometer Flussstrecke betrachtet und für den Maximalwert die Summe aus dem Balsthal (186 CHF). Dies erklärt letztendlich die grosse Bandbreite zwischen Mindest- und Maximalwert.

3. Geschätzte Bevölkerungszahl, welche innerhalb von 10 – 15 Minuten zu Fuss oder per Fahrrad die jeweiligen renaturierten Flüsse und Bäche Liechtensteins erreichen könnten:

**Tabelle 18: Bevölkerungszahlen im Einzugsgebiet der Renaturierungsprojekte**

Renaturierungsprojekt	Bevölkerungszahl Min.	Bevölkerungszahl Max.
Binnenkanal Ruggell	Gemeinde Ruggell (2'295)	Gemeinde Ruggell (2'295) + 20% der Ortschaft Sennwald (SG) (343)
Esche (Los 1 und 2; Sportpark Eschen-Mauren)	80% der Ortschaften Mauren und Schaanwald (3'523)	Ortschaften Mauren und Schaanwald (4'404)
Binnenkanal Schaan (Bofel und Pfarrmader)	30% der Ortschaft Schaan (1'799)	30% der Ortschaft Schaan (1'799) und 10% der Ortschaft Buchs (SG) (1'274)
Erlenbach	80% der Ortschaft Nendeln (1'151)	Ortschaft Nendeln (1'439) und 10% der Ortschaft Eschen (299)
Binnenkanal Vaduz	60% der Gemeinde Vaduz (3'401)	80% der Gemeinde Vaduz (4'534)

Das Einzugsgebiet definiert sich durch die Erreichbarkeit innerhalb von 10 – 15 Minuten zu Fuss oder per Fahrrad.

Quellen: Amt für Statistik LIE (2019), Sennwald.ch (o.D.), Stadt Buchs (2020), Eschen Nendeln (2019)

Für die Renaturierungen des Binnenkanals in Ruggell und in Schaan wurden teilweise auch Schweizer Ortschaften berücksichtigt, da diese Flussabschnitte auch für diese Schweizer einfach zugänglich sind aufgrund von Rheinbrücken. Für die gesamte Inwertsetzung dieser natürlichen Flächen ist der Einbezug von Schweizern auch zulässig, obwohl die Zahlungsbereitschaft in der Schweizer Studie durch hypothetische Steuererhöhungen erhoben wurde.

4. Der prozentuale Anteil der ständigen Wohnbevölkerung Liechtensteins ab 18 Jahren betrug 2019 82.3% (Amt für Statistik LIE, 2019). Die Bevölkerungszahlen aus der Tabelle oben wurden mit diesem Prozentsatz verrechnet, da nur die erwachsenen Personen die hypothetische Steuererhöhung zu tragen hätten.

5. Da die Bäche Esche und Erlenbach deutlich kleiner sind als die Flüsse der Schweizer Studie, haben wir die Zahlungsbereitschaften für die drei Renaturierungen dieser beiden Flüsse mit 50% verrechnet.

#### Erstellungs- und Pflegekosten: Annuitätenmethode

Wie im Haupttext erläutert, mussten wir die einmaligen Investitionskosten der Renaturierungen der Flüsse und Bäche in jährliche Werte umwandeln. Dies haben wir mittels Annuitätenmethode realisiert mit der Annahme von einem risikofreien Zinssatz von 1% und einer Lebenserwartung von 100 Jahren für die Projekte. Dies ergab folgende Rechnung:

$$\text{Jährliche Investitionskosten} = \frac{\text{Gesamte Investitionskosten} * 0.01 * (1 + 0.01)^{100}}{(1 + 0.01)^{100+1} - 1}$$

Mit dieser Formel wird ausgehend von den gesamten Investitionskosten dem jetzigen Zeitpunkt und den nächsten 100 Jahren denselben nominalen Kostenwert zugewiesen. Jedoch der

reale Wert dieser Kosten kleiner, je weiter ein spezifisches Jahr in der Zukunft liegt. Die Zuweisung von abnehmenden Investitionskosten für zukünftige Jahre erscheint sinnvoll, da die Existenz einer renaturierten Flussstrecke in ferner Zukunft ungewiss ist.

Der risikofreie Zinssatz von 1% erscheint sinnvoll, da zum momentanen Zeitpunkt selbst für 50-jährige Schweizer Staatsanleihen negative Zinsen ausbezahlt werden (Investing.com, 2020). Jedoch kann erwartet werden, dass sich die Zinssituation wieder normalisieren wird in den nächsten Jahren bis Jahrzehnte. Die Annahme der Lebenserwartung von 100 Jahren scheint plausibel, da Flussrenaturierungen in Zukunft tendenziell bedeutender werden könnten um die Ziele der europäischen Wasserrichtlinien zu erreichen (Amt für Umwelt Liechtenstein, 2019).

#### Erstellungs- und Pflegekosten: Pflege- und Monitoringarbeiten

Dies sind die Erläuterungen zu den Kosten, die grösstenteils durch Monitoringarbeiten und die Neophytenbekämpfung anfallen.

1. Gemäss dem Bericht zur Erfolgskontrolle der Binnenkanalrevitalisierungen bei Bofel und Pfarrmader betragen die im Jahr 2011 prognostizierten Ausgaben für Pflege- und Monitoringarbeiten für die Jahre 2011 bis 2014 durchschnittlich 10'750 CHF.
2. Obwohl diese Kosten wahrscheinlich vor allem in den ersten Jahren nach der Erstellung angefallen sind, wurde angenommen, dass diese Kosten auch zukünftig anfallen könnten. Somit haben wir diese Kosten proportional zu den jeweiligen Flächen auch den anderen Renaturierungsprojekten Liechtensteins angerechnet.
3. Diese Werte haben wir noch mit der Teuerungsrate von -0.6% für die Jahre 2011 – 2019 bereinigt (Bundesamt für Statistik, o.D.).

## Annex D – Biologische Landwirtschaft

### Externe Kosten Pestizideinsatz: Berechnungen

1. Die geschätzten externen Kosten wurden in der Schweiz, wie im Haupttext beschrieben, auf rund 50 bis 100 Mio. CHF für das Jahr 2012 geschätzt.
2. Im Jahr 2012 lag der Anteil der biologisch bewirtschafteten Landwirtschaftsfläche bei 11.6% und die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche in der Schweiz betrug 1'051'037 Hektare (FiBL, o.D.; Bundesamt für Statistik, 2020). Somit betrug die konventionell bewirtschaftete Landwirtschaftsfläche 929'116 Hektare.
3. Somit konnten wir die externen Kosten pro Hektar konventionelle Landwirtschaft berechnen und mit der Teuerungsrate von rund 1% von 2012 bis 2019 bereinigen (Bundesamt für Statistik, o.D.).
4. Wenn man auf der heutigen biologisch bewirtschafteten Fläche Liechtensteins konventionelle Landwirtschaft betreiben würde, würden durch den Pestizideinsatz somit externe Kosten im Umfang von 75'000 bis 150'000 CHF anfallen.

### Treibhausgasemissionen Stickstoffdüngerproduktion: Herleitungen

1. Durch das Düngermanagement im Biolandbau werden jährlich 50 bis 150 kg Stickstoffdünger pro Hektar eingespart (FiBL, 2013).
2. Schätzungen gehen davon aus, dass pro Kilogramm produziertem Stickstoffdünger 4.0 bis 4.57 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente emittiert werden, wobei die überwiegende Mehrheit auf Kosten des Kohlendioxids gehen (Fuß, Stichnothe, & Flessa, 2018; Giuntoli, Agostini, Edwards, & Marelli, 2017).
3. Diese Mengen Kohlendioxid-Äquivalente haben wir mit den Schadenskostensätzen von 180 EUR und 640 EUR pro emittierter Tonne CO<sub>2</sub> verrechnet, welche wir noch mit dem durchschnittlichen Wechselkurs von 1.09 EUR/CHF für das Jahr 2016 in Franken umgerechnet haben (Eidgenössische Steuerverwaltung, o.D.; Matthey & Bünger, 2019). Dazu haben wir diesen Wert noch mit der Schweizer Inflationsrate von rund 1.8% für die Jahre 2016 bis 2019 (Bundesamt für Statistik, o.D.).
3. Wir haben die Annahme getroffen, dass die Stickstoffdünger mit einer überwiegenden Mehrheit nur auf Ackerflächen eingesetzt werden. In Liechtenstein besaßen die konventionellen Landwirtschaftsbetriebe im Jahr 2017 im Durchschnitt eine landwirtschaftliche Nutzfläche

von 33.8 Hektare, wobei die Ackerflächen durchschnittlich 9.5 Hektare ausmachten (Regierung des Fürstentums Liechtenstein, 2019). Diese prozentuale Ackerfläche von rund 28% der konventionellen Landwirtschaftsbetriebe haben wir mit der momentanen Fläche von biologischen Landwirtschaftsbetrieben, 1'388 Hektare, verrechnet und mit den zu erwartenden Schadenskosten pro Hektar Ackerfläche verrechnet. Somit resultierten hypothetische Schadenskosten durch die Produktion von Stickstoffdünger von 16'000 bis 190'000 CHF pro Jahr, falls die momentane biologische Nutzfläche konventionell bewirtschaftet werden würde.

#### Treibhausgasemissionen Pestizidproduktion: Herleitungen

Diese Kosten haben wir mit zwei unterschiedlichen Methoden hergeleitet, welche zu ähnlichen Resultaten führten.

1.1. Im Durchschnitt bewirtschaftete 2017 ein konventioneller Landwirtschaftsbetrieb in Liechtenstein 33.8 Hektaren, wobei 9.5 Hektare Ackerflächen sind und 0.2 Hektare Dauerkulturen, welche den Spezialkulturen gleichgestellt werden können (Regierung des Fürstentums Liechtenstein, 2019). Somit wird auf circa 34% der landwirtschaftlichen Nutzfläche Pestizide eingesetzt.

1.2. In der Schweiz werden circa 7 kg Pflanzenschutzmittel pro Hektar Ackerland und Spezialkultur ausgebracht (Bosshard, 2016).

1.3. Die Food and Agriculture Organization der Vereinten Nationen, die FAO (2017), beziffert die Treibhausgasemissionen für die Herstellung von synthetischen Pestiziden auf 25.5 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Kilogramm produzierten Pestiziden.

1.4. Somit würde die Produktion von synthetischen Pestiziden, welche eingesetzt würden, falls die heutige Fläche Bio-Landwirtschaft (2017: 1'388 ha) in Liechtenstein konventionell bewirtschaftet werden würde, jährlich rund 71.1 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente emittieren. Verrechnet mit den Schadenskostensätzen von 180 EUR und 640 EUR pro Tonne emittiertem CO<sub>2</sub>, umgerechnet in Franken mit dem Wechselkurs von 2016 von 1.09 EUR/CHF und inflationsbereinigt mit der Teuerungsrate von 1.8% für die Jahre von 2016 bis 2019 ergibt das jährliche Schadenskosten von circa 15'000 bis 52'000 CHF (Eidgenössische Steuerverwaltung, o.D.; Bundesamt für Statistik, o.D.).

2.1. Im Jahr 2016 wurden in der Schweiz 2'157'500 kg Pestizide verkauft (Bundesamt für Landwirtschaft, 2018). Dazu wird geschätzt, dass die Pflanzenschutzmittel in der Schweiz zu 85 bis 90% in der Landwirtschaft eingesetzt werden (Bosshard, 2016). Unter der Annahme eines landwirtschaftlichen Anteils von 87.5% wären dies 1'887'813 kg Pestizide pro Jahr.

2.2. Diese werden lediglich in der konventionellen Landwirtschaft eingesetzt. Die konventionell bewirtschaftete Nutzfläche im Jahr 2016 betrug 907'028 Hektare, welche sich durch die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche von 1'049'072 Hektare und einem Anteil von 86.5% berechnen liess, bezogen auf 2016 (FiBL, o.D.; Bundesamt für Statistik, 2020). Somit liess sich der durchschnittliche Pestizideinsatz pro Hektar Landwirtschaft für die Schweiz berechnen.

2.3. Wenn man nun diesen durchschnittlichen Pestizideinsatz der Schweiz mit der Fläche der biologischen Landwirtschaft Liechtensteins von 2017 verrechnet, erhält man die geschätzte Menge an synthetischen Pestiziden, welche in der konventionellen Landwirtschaft eingesetzt werden würden, falls man die heutige Fläche biologische Landwirtschaft Liechtensteins konventionell bewirtschaften würde.

2.4. Um die geschätzten Schadenskosten der Produktion dieser synthetischen Pflanzenschutzmittel zu berechnen verfährt man gleich wie oben beschrieben. Somit erhält man beinahe deckungsgleiche Schadenskosten von 14'000 bis 50'000 CHF pro Jahr.

#### CO<sub>2</sub>-Sequestrierung landwirtschaftliche Böden: Ergänzungen

1. Dies waren in Liechtenstein im Jahr 2017 die durchschnittlichen Ackerbauflächen relativ zur gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche der beiden Anbauformen (Regierung des Fürstentums Liechtenstein, 2019):

- Bio Landwirtschaft: 15.69%
- ÖLN/konventionelle Landwirtschaft: 28.11%

2. Für die Umrechnung der Schadenskostensätze von 180 EUR und 640 EUR pro emittierter Tonne Kohlendioxid wurde der durchschnittliche Wechselkurs des Jahres 2016 von 1.09 EUR/CHF angenommen (Eidgenössische Steuerverwaltung, o.D.). Dazu haben wir diesen Wert noch inflationsbereinigt mit der Schweizer Teuerungsrate von rund 1.8% für die Jahre von 2016 bis 2019 (Bundesamt für Statistik, o.D.).

## Literatur

- Agrarbericht. (2019). Von Landwirtschaftliche Nutzfläche:  
<https://www.agrarbericht.ch/de/betrieb/strukturen/landwirtschaftliche-nutzflaeche-abgerufen>
- Amt für Statistik. (2017). *Liechtenstein in Zahlen 2018*. Vaduz: Amt für Statistik Liechtenstein.
- Amt für Statistik LIE. (2018). *Umweltstatistik 2017*. Vaduz: Amt für Statistik.
- Amt für Statistik LIE. (2019). *Aussenhandelsstatistik 2018*. Vaduz: Amt für Statistik LIE.
- Amt für Statistik LIE. (2019). *Bevölkerungsstatistik - 30. Juni 2019*. Vaduz: Amt für Statistik LIE.
- Amt für Statistik LIE. (2019). *Tourismusstatistik 2018*. Vaduz: Amt für Statistik Liechtenstein.
- Amt für Statistik LIE. (2019). *Umweltstatistik 2018*. Vaduz: Amt für Statistik Liechtenstien.
- Amt für Umwelt. (2019). *Liechtenstein's Greenhouse Gas Inventory 1990 - 2017: National Inventory Report 2019*. Vaduz: Amt für Umwelt.
- Amt für Umwelt. (2020). Von Naturschutzgebiete in Liechtenstein:  
[https://www.llv.li/files/au/pdf-llv-au-naturschutzgebiete\\_in\\_liechtenstein.pdf](https://www.llv.li/files/au/pdf-llv-au-naturschutzgebiete_in_liechtenstein.pdf) abgerufen
- Amt für Umwelt Liechtenstein. (2019). *Bewirtschaftungsplan und Massnahmenprogramm nach Wasserrahmenrichtlinie*. Vaduz: Regierung des Fürstentums Liechtenstein.
- Amt für Umwelt Liechtenstein. (2019). *Bewirtschaftungsplan und Massnahmenprogramm nach Wasserrahmenrichtlinie*. Vaduz: Regierung des Fürstentums Liechtenstein.
- Amt für Umwelt. (o.D.). Von Gewässer - Revitalisierungsprojekte in Liechtenstein:  
[https://www.llv.li/files/au/pdf-llv-au-flyer\\_lbk\\_gesamt.pdf](https://www.llv.li/files/au/pdf-llv-au-flyer_lbk_gesamt.pdf) abgerufen
- Amt für Umweltschutz. (2004). *Erfolgskontrolle Neugestaltung Binnenkanalmündung Ruggell*. Schaan: Amt für Umweltschutz.
- Amt für Umweltschutz Liechtenstein. (o.D.). *Gewässer - Revitalisierungsprojekte in Liechtenstein - Liechtensteiner Binnenkanal (LBK)*. Vaduz: Amt für Umweltschutz Liechtenstein.
- Arnold, M., Schwarzwälder, B., Zbinden, M., Beer-Tóth, K., & Baumgart, K. (2009). *Mehrwert naturnaher Wasserläufe - Untersuchung zur Zahlungsbereitschaft mit besonderer Berücksichtigung der Erschliessung für den Langsamverkehr*. Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU.
- Bade, S., Ott, W., & von Grünigen, S. (2011). Zahlungsbereitschaft für Massnahmen zur Förderung der Biodiversität im Wald. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 382-388.
- Bebi, P., Teich, M., Hagedorn, F., Zurbruggen, N., Brunner, S. H., & Grêt-Regamey, A. (2012). *Entwicklung und Leistungen von Schutzwäldern unter dem Einfluss des Klimawandels*. Davos: WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF,.
- Bio Suisse. (2011). Von Biodiversität: Was der Biolandbau leistet: [https://www.bio-suisse.ch/media/Aktuell/Dokumente2011/Foerderprojekt/d\\_factsheet\\_biodiversitaet\\_leistungenbiolandbau.pdf](https://www.bio-suisse.ch/media/Aktuell/Dokumente2011/Foerderprojekt/d_factsheet_biodiversitaet_leistungenbiolandbau.pdf) abgerufen
- Bio Suisse. (2015). Von 01.12.2015 | Knospe-Futter wird ab 2019 nur noch aus Europa importiert: [https://www.bio-suisse.ch/de/presse/news.php?ID\\_news=856](https://www.bio-suisse.ch/de/presse/news.php?ID_news=856) abgerufen

- Bio Suisse. (2020). Von Mehr Bio - weniger Pestizide: <https://www.bio-suisse.ch/de/mehrbiowenigerpestizide.php> abgerufen
- Bio Suisse. (2020). *Richtlinien für die Erzeugung, Verarbeitung und den Handel von Knospe-Produkten - Fassung vom 01. Januar 2020*. Basel: Bio Suisse.
- Bio Suisse. (o.D.). Von Allgemeine Fragen - WARUM DARF IM BIO-ANBAU KUPFER GESPRITZT WERDEN?: <https://www.bio-suisse.ch/de/konsumenten/allgemeinefragenbiolandbau/#kupfer> abgerufen
- Blöchlinger, H., & Jäggin, B. (1996). *Der Wert der Artenvielfalt im Jura*. Basel: Stiftung Mensch-Gesellschaft-Umwelt der Universität Basel.
- Bosshard, A. (2016). *Pestizid-Reduktionsplan Schweiz*. Litzibuch: Vision Landwirtschaft.
- Breeze, T., Bailey, A., Balcombe, K., & Potts, S. (2011). Pollination services in the UK: How important are honeybees? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 137-143.
- Bretscher, D., Ammann, C., Wüst, C., Nyfeler, A., & Felder, D. (2018). Reduktionspotenziale von Treibhausgasemissionen aus der Schweizer Nutztierhaltung. *Agrarforschung Schweiz*, 376-383.
- Broggi, M. F. (2011). Von Naturschutz: <https://historisches-lexikon.li/Naturschutz> abgerufen
- Bund Naturschutz. (2020). Von Klimaschutz & mehr: Was intakte Moore für uns leisten: <https://www.bund-naturschutz.de/natur-und-landschaft/moore-in-bayern/klimaschutz-und-hochwasserschutz.html> abgerufen
- Bundesamt für Landwirtschaft. (2018). Von Verkaufsmengen der Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe: <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/53100.pdf> abgerufen
- Bundesamt für Statistik. (2019). Von Gesamtproduktion der Landwirtschaft. Zu laufenden Preisen : <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/landforstwirtschaft/landwirtschaft/produktion-finanzielle-aspekte.assetdetail.10067519.html> abgerufen
- Bundesamt für Statistik. (2020). Von Landesindex der Konsumentenpreise - LIK-Teuerungsrechner: [http://www.portal-stat.admin.ch/lik\\_rechner/d/lik\\_rechner.htm](http://www.portal-stat.admin.ch/lik_rechner/d/lik_rechner.htm) abgerufen
- Bundesamt für Statistik. (2020). Von Landwirtschaftliche Nutzfläche. Ohne Sömmerungsweiden: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/landforstwirtschaft/landwirtschaft.assetdetail.11667296.html> abgerufen
- Bundesamt für Statistik BFS. (2015). *Arealstatistik Fürstentum Liechtenstein 1984 – 1996 – 2002 – 2008 – 2014*. Neuchâtel: Bundesamt für Statistik BFS.
- Bundesamt für Statistik BFS. (2019). *Bundesamt für Statistik*. Von Waldflächen: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/landforstwirtschaft/forstwirtschaft/waldflaechen-holzvorrat.html> abgerufen
- Bundesamt für Statistik. (o.D.). Von LIK, Totalindex auf allen Indexbasen [INDEXIERUNGSTABELLEN] : <https://www.bfs.admin.ch/asset/de/cc-d-05.02.08> abgerufen



- Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. (2019). *Wald schützt uns!* Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.
- Büro für Räumliche Entwicklung und Natur Schaan. (2011). *Vorschlag - Erfolgskontrolle Binnenkanalrevitalisierungen «Bofel» und «Pfarrmeder» Schaan*. Schaan: Büro für Räumliche Entwicklung und Natur, Schaan.
- Cavicchioli, R. (2019). Scientists' warning to humanity: microorganisms and climate change. *Nature Reviews Microbiology*, 569-586.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., . . . van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 253-260.
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., . . . Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 152-158.
- De Klein, C., Novoa, R. S., Ogle, S., Smith, K. A., Rochette, P., & Wirth, T. C. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - N2O emissions from managed soils, and CO2 emissions from lime and urea application*. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies.
- Denzler, L. (2017). Von Wie der Verlust der Moore das Klima anheizt: [www.lukasdenzler.ch/wp-content/uploads/2017/03/Umgang-mit-Moorboeden-Langversion.pdf](http://www.lukasdenzler.ch/wp-content/uploads/2017/03/Umgang-mit-Moorboeden-Langversion.pdf) abgerufen
- Diekmann, A., Schmithüsen, F. J., Franzen, A., Zimmermann, W., Hungerbühler, A., & Wild-Eck, S. (1999). *Gesellschaftliche Ansprüche an den Schweizer Wald - Ergebnisse einer Meinungsumfrage des BUWAL 1998*. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- Econcept. (2002). *Plausibilisierung Nutzenschätzung Landschaft für den Tourismus*.
- EconoMe. (o.D.). *Wirkung und Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren*. Von Massnahmenkosten: [https://econome.ch/eco\\_work/eco\\_wiki\\_main.php?wiki\\_link=105](https://econome.ch/eco_work/eco_wiki_main.php?wiki_link=105) abgerufen
- Eidgenössische Steuerverwaltung. (o.D.). Von Jahresmittelkurse: <https://www.estv.admin.ch/estv/de/home/direkte-bundessteuer/wehrpflichtersatzabgabe/dienstleistungen/jahresmittelkurse.html> abgerufen
- Eschen Nendeln. (2019). Von Einwohnerstatistik - 2018 (Stichdatum: 31.12.2018): <https://www.eschen.li/Portals/0/Downloads/Einwohnerstatistik/Einwohnerstatistik-2018.pdf> abgerufen
- FAO. (2017). *Global database of GHG emissions related to feed crops - Methodology. Version 1*. Rome: FAO.
- Farmy. (2019). Von Fisch: <https://www.farmy.ch/hofladen/fleisch-fisch/fisch> abgerufen
- FiBL. (2013). *Klimaschutz auf Biobetrieben*. Frick: Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL.
- FiBL. (o.D.). Von FiBL Statistics - Data on organic area in worldwide - Organic area share of total farmland: <https://statistics.fibl.org/world/area-world.html> abgerufen

- FiBL. (o.D.). Von FiBL Statistics - Organic retail sales - Organic per capita consumption:  
<https://statistics.fibl.org/world/retail-sales-world.html> abgerufen
- FiBL Schweiz. (2015). Von DOK-Versuch: <https://www.fibl.org/index.php?id=2018> abgerufen
- Fischereiverein Liechtenstein. (o.D.). Von Statistik - Fangzahlen:  
<https://www.fischen.li/CFDOCS/cms/cmsout/index.cfm?GroupID=210&MandID=1&meID=58&Lang=1&SubCategory2ID=42&ObjectID=6079> abgerufen
- Fischlexikon.eu. (o.D.). Von Fischlexikon: Bachforelle (*Salmo trutta fario*):  
[https://www.fischlexikon.eu/fischlexikon/fische-suchen.php?fisch\\_id=0000000007](https://www.fischlexikon.eu/fischlexikon/fische-suchen.php?fisch_id=0000000007)  
 abgerufen
- Freer-Smith, P., K.P., B., & Taylor, G. (2005). Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoides* × *trichocarpa* 'Beaupré', *Pinus nigra* and × *Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment. *Environmental Pollution*, 157-167.
- Frick, F. (2019). *Bevölkerungsstatistik - 30. Juni 2019*. Vaduz: Amt für Statistik.
- Früh, S., Gattenlöhner, U., Hammerl, M., Hartmann, T., Megerle, H., Spaich, F., & Hörmann, S. (2013). *Ökonomischer Wert von Seen und Feuchtgebieten*. Radolfzell: Global Nature Fund.
- Fuß, R., Stichnothe, H., & Flessa, H. (2018). Wie lassen sich Treibhausgasemissionen im Rapsanbau mindern? *Raps*, 4, 38-40.
- Gemeinde Ruggell. (2020). Von Naturschutzgebiet Ruggeller Riet:  
<https://www.ruggell.li/naturschutzgebiet-ruggeller-riet> abgerufen
- Giuntoli, J., Agostini, A., Edwards, R., & Marelli, L. (2017). *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions - Calculated according to the methodology set in COM(2016) 767 - Version 2*. Luxembourg: European Union.
- Götzl, M., Schwaiger, E., Schwarzl, B., & Sonderegger, G. (2015). *Ökosystemleistungen des Waldes*. Wien: Umweltbundesamt.
- Götzl, M., Schwaiger, E., Sonderegger, G., & Süßenbacher, E. (2011). *Ökosystemleistungen und Landwirtschaft*. Wien: Umweltbundesamt Österreich.
- Grabenmühle Forellen. (o.D.). Von Frischfischverkauf (Markt):  
<https://www.grabenmuehle.ch/frischfischverkauf.html> abgerufen
- Guntern, J., Suzner, M., Neumann, P., & Müller, A. (2014). *Bienen und andere Bestäuber: Bedeutung für Landwirtschaft und Biodiversität*. Bern: Akademien der Naturwissenschaften Schweiz.
- Haidvogel, G. (2011). Von Riede: <https://historisches-lexikon.li/Riede> abgerufen
- Hansjürgens, B., & Herkle, S. (2012). *Der Nutzen von Ökonomie und Ökosystemleistungen für die Naturschutzpraxis*. Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Häyhä, T., Franzese, P. P., Paletto, A., & Fath, B. D. (2015). Assessing, valuing, and mapping ecosystem services in Alpine forests. *Ecosystem Services*, 12-23.
- Hein, L. (2011). Economic benefits generated by protected areas: the case of the Hoge Veluwe forest, the Netherlands. *Ecology and Society*.

- Hein, L., van Koppen, K., de Groot, R. S., & van Ierland, E. C. (2006). Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics*.
- Höper, H. (2007). Freisetzung von Treibhausgasen aus deutschen Mooren. *TELMA*, 85-116.
- Ingenieurbüro Sprenger & Steiner. (o.D.). Von Renaturierung am Binnenkanal / Neugestaltung Mündung Rhein:  
<http://www.spst.li/referenzen/renaturierungen/binnenkanalmuendung/> abgerufen
- Investing.com. (2020). Von Schweiz - Staatsanleihen: <https://de.investing.com/rates-bonds/switzerland-government-bonds> abgerufen
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014 Impacts, Adaptation, and Vulnerability - Part A: Global and Sectoral Aspects*. New York: Cambridge University Press.
- Jessel, B., Tschimpke, O., & Walser, M. (2009). *Produktivkraft Natur*. Hamburg: Hoffmann und Campe Verlag.
- Kleemayr, K., Teich, M., Perzl, F., Hormes, A., Markart, G., & Plörer, M. (2019). *alpine-space.eu*. Von Schutzwald-Definitions-Matrix: [https://www.alpine-space.eu/projects/greenrisk4alps/downloads/gr4a\\_schutzwald\\_definition-matrix\\_german.pdf](https://www.alpine-space.eu/projects/greenrisk4alps/downloads/gr4a_schutzwald_definition-matrix_german.pdf) abgerufen
- Kumar, P. (2012). *The economics of ecosystems and biodiversity: ecological and economic foundations*. New York: Routledge.
- Kumar, P., Brondizio, E., Gatzweiler, F., Gowdy, J., de Groot, D., Pascual, U., Reyers, B., & Sukhdev, P. (2013). The economics of ecosystem services: from local analysis to national policies. *Environmental Sustainability*.
- Kupper, T., Bonjour, C., Menzi, H., Bretscher, D., & Zaucker, F. (2018). *Ammoniakemissionen der schweizerischen Landwirtschaft 1990-2015*. Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU.
- Landesverwaltung Fürstentum Liechtenstein. (1961). Von Verordnung vom 28. September 1961 betreffend das Naturschutzgebiet "Gampriner Seelein":  
<https://www.gesetze.li/konso/1962002002> abgerufen
- Landesverwaltung Fürstentum Liechtenstein. (1961). Von Verordnung vom 28. September 1961 betreffend das Naturschutzgebiet "Schwabbrünnen/Äscher":  
<https://www.gesetze.li/konso/1962002001> abgerufen
- Landesverwaltung Fürstentum Liechtenstein. (1989). Von Verordnung vom 17. Mai 1989 zum Schutz der Gebirgsflora: <https://www.gesetze.li/konso/1989049000> abgerufen
- Landesverwaltung Fürstentum Liechtenstein. (2000). Von Verordnung vom 21. November 2000 über Waldreservate und Sonderwaldflächen: <https://www.gesetze.li/konso/2000.230> abgerufen
- Landesverwaltung Fürstentum Liechtenstein. (2000). Von Verordnung vom 21. November 2000 über Waldreservate und Sonderwaldflächen: <https://www.gesetze.li/konso/2000.230> abgerufen
- Landesverwaltung Fürstentum Liechtenstein. (2000). Von Verordnung vom 21. November 2000 über Waldreservate und Sonderwaldflächen: <https://www.gesetze.li/konso/2000.230> abgerufen

- Landesverwaltung Fürstentum Liechtenstein. (2002). Von Verordnung vom 18. Juni 2002 zum Schutz der Pilze (Pilzschutzverordnung, PSV): <https://www.gesetze.li/konso/2002084000> abgerufen
- Landesverwaltung Fürstentum Liechtenstein. (2020). Von Geodatenportal - Naturlandschaft: <https://geodaten.llv.li/geoportal/naturlandschaft.html> abgerufen
- Landwirtschaftlicher Informationsdienst. (2007). Von Dossier Nr. 421 ÖLN vom 28. März 2007 - Der ÖLN - ein Massnahmenpaket: <https://www.lid.ch/medien/dossier/detail/info/artikel/3-der-oeln-ein-massnahmenpaket/> abgerufen
- Lebendiger Alpenrhein. (o.D.). Von Revitalisierung - Liechtensteiner Binnenkanal: Aus dem Korsett befreit: <http://www.lebendigerrhein.org/index.php?id=8356> abgerufen
- Liechtenstein Marketing. (2014). Von Neues Landschaftsschutzgebiet in Liechtenstein genehmigt: <https://www.liechtenstein.li/news-detail/article/neues-landschaftsschutzgebiet-in-liechtenstein-genehmigt/> abgerufen
- Liechtenstein Marketing. (o.D.). Von Landwirtschaft in Liechtenstein: [http://www.olma-messen.ch/sites/default/files/2016-09/32\\_Landwirtschaft\\_FL\\_olma16.pdf](http://www.olma-messen.ch/sites/default/files/2016-09/32_Landwirtschaft_FL_olma16.pdf) abgerufen
- Liechtenstein.li. (2019). Von Fauna: <https://www.liechtenstein.li/land-und-leute/geografie/fauna/> abgerufen
- Lindenthal, T., Rudolph, G., Theurl, M., Hörtenhuber, S., & Kraus, G. (2011). *Biologische Bodenbewirtschaftung als Schlüssel zum Klimaschutz in der Landwirtschaft*. Wien: FiBL Österreich.
- Matthey, A., & Bünger, B. (2019). *Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Mbow, C., Rosenzweig, C., Benton, T., Herrero, M., Krishnapillai, M., Liwenga, E., . . . Xu, Y. (2019). Food Security. In *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*.
- Meyerhoff, J., & Dehnhardt, A. (2002). Nachhaltige Entwicklung der Elbe. *Ökologisches Wirtschaften*, 27-28.
- Naturkapital Deutschland - TEEB DE. (2012). *Der Wert der Natur für Wirtschaft und Gesellschaft - Eine Einführung*. Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Nigsch, N. (2009). *Der Schutzwald in Liechtenstein*. Vaduz: Amt für Wald, Natur und Landschaft des Fürstentums Liechtenstein.
- OECD. (2018). *Cost-Benefit Analysis and the Environment: Further Developments and Policy Use*. Paris: OECD Publishing.
- Olschewski, R. (2017). Bewertung von Ökosystemleistungen: eine Bestandsaufnahme. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*.
- OSTLUFT. (2020). *ostluft.ch*. Von Jahreswerte, Entwicklung seit 1991 - Feinstaub (PM10): <https://www.ostluft.ch/index.php?id=60> abgerufen

- OSTLUFT. (2020). *ostluft.ch*. Von NH<sub>3</sub>-Jahresmittelwerte 2018 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]:  
<https://www.ostluft.ch/index.php?id=260> abgerufen
- OSTLUFT. (2020). *ostluft.ch*. Von Jahreswerte, Entwicklung seit 1991 - Stickdioxid:  
[https://www.ostluft.ch/index.php?id=60&tx\\_ostluft\\_rueckblick\\_jahr\[datenrueckblickId\]=103](https://www.ostluft.ch/index.php?id=60&tx_ostluft_rueckblick_jahr[datenrueckblickId]=103) abgerufen
- Paletto, A., Geitner, C., Grilli, G., Hastik, R., Pastorella, F., & Rodríguez García, L. (2015). Mapping the value of ecosystem services: A case study from the Austrian Alps. *Annals of Forest Research*, 157-175.
- Pfiffner, L., & Müller, A. (2016). *Wildbienen und Bestäubung*. Frick: Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL.
- Pflanzenforschung.de. (2014). Von Bio doch gesünder als konventionelle Produkte? Laut neuer Studie enthalten Bio-Lebensmittel mehr Antioxidantien:  
<https://www.pflanzenforschung.de/de/journal/journalbeitrage/bio-doch-gesuender-als-konventionelle-produkte-laut-neu-10283> abgerufen
- Powe, N. A., & Willis, K. G. (2004). Mortality and morbidity benefits of air pollution (SO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub>) absorption attributable to woodland in Britain. *Journal of Environmental Management*, 119-128.
- Regierung des Fürstentums Liechtenstein. (2019). Von Interpellationsbeantwortung der Regierung an den Landtag des Fürstentums Liechtenstein betreffend Naturschutzgebiet Ruggeller Riet: [https://www.llv.li/files/srk/bua\\_090\\_2019\\_interpellationsbeantwortung-betreffend-das-naturschutzgebiet-ruggeller-riet.pdf](https://www.llv.li/files/srk/bua_090_2019_interpellationsbeantwortung-betreffend-das-naturschutzgebiet-ruggeller-riet.pdf) abgerufen
- Regierung des Fürstentums Liechtenstein. (2019). *Bericht über die wirtschaftliche Entwicklung der Landwirtschaftsbetriebe im Fürstentum Liechtenstein - Agrarbericht 2017*. Vaduz: Regierung des Fürstentums Liechtenstein.
- Rheintaler Binnenkanal. (o.D.). Von Aktueller Stand:  
<http://www.binnenkanal.ch/hochwasserschutz/> abgerufen
- Rihm, B., & Achermann, B. (2016). *Critical Loads of Nitrogen and their Exceedances*. Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU.
- Roschewitz, A. (1999). *Der monetäre Wert der Kulturlandschaft - Eine Contingent Valuation Studie*. Zürich: ETH Zürich.
- Ruppelt, Jörg. (2018). Von Sternekoch Sebastian Rösch freut's: Die begehrte Äsche ist nun auch aus Schweizer Zucht zu haben: <https://www.hotellerie-gastronomie.ch/de/artikel/sternekoch-sebastian-roesch-freuts-die-begehrte-aesche-ist-nun-auch-aus-schweizer-zucht-zu-haben/> abgerufen
- Schäfer, A., & Kowatsch, A. (2015). *Gewässer und Auen - Nutzen für die Gesellschaft*. Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Schläpfer, F. (2005). Die Natur der ökonomischen Werte und die ökonomischen Werte der Natur. *Hotspot*, 12-13.
- Schrader, F., & Brümmer, C. (2014). Land use specific ammonia deposition velocities: A review of recent studies (2004–2013). *Water, Air, & Soil Pollution*.

- Schrader, F., & Brümmer, C. (2014). Land use specific ammonia deposition velocities: A review of recent studies (2004–2013). *Water, Air, & Soil Pollution*.
- Schürch, M., Herold, T., & Kozel, R. (2003). Grundwasser – die Funktion des Waldes. *Bündner Wald*, 71-76.
- Schutzwald Schweiz. (13. 11 2019). Von Schutzwald Wissen: <http://www.schutzwald-schweiz.ch/de/schutzwald-wissen.html> abgerufen
- Seitz, N. J. (2013). *Drainagen in der Schweiz - Zeitlicher Verlauf, aktuelle Datenlage und Einfluss auf die Landschaftsentwicklung*. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.
- Sennwald.ch. (o.D.). Von Einwohnerzahl per 31.12.2018: <http://www.sennwald.ch/de/portrait/statistiken/einwohnerzahl/> abgerufen
- Siegrist, D., & Bonnelame Ketterer, L. (2018). *Naherholungstypen. Leitfaden für die nachfrageorientierte Planung und Gestaltung von naturnahen Naherholungsgebieten*. Rapperswil: HSR Hochschule für Technik Rapperswil.
- Speiser, B., Mieves, E., & Tamm, L. (2015). Kupfereinsatz von Schweizer Biobauern in verschiedenen Kulturen. *Agrarforschung Schweiz* 6, 4, 160-165.
- Spektrum.de. (2001). Von Lexikon der Geographie - Albedo: <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/albedo/241> abgerufen
- Stadt Buchs. (2020). Von über Buchs - Bevölkerung (Stand Dezember 2019): <https://www.buchs-sg.ch/kennzahlen> abgerufen
- Staub, C., Ott, W., Heusi, F., Klingler, G., Jenny, A., Häcki, M., & Hauser, A. (2011). *Indikatoren für Ökosystemleistungen: Systematik, Methodik und Umsetzungsempfehlungen für eine wohlfahrtsbezogene Umweltberichterstattung*. Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU.
- Sutter, L., Herzog, F., Dietemann, V., Charrière, J.-D., & Albrecht, M. (2017). Nachfrage, Angebot und Wert der Insektenbestäubung in der Schweizer Landwirtschaft. *Agrarforschung Schweiz*, 332-339.
- Tagblatt. (2019). Von Das beliebige Spiel mit den Fakten: Leitartikel zur Dorfbachabstimmung in Zuzwil: <https://www.tagblatt.ch/ostschweiz/wil/zuzwil-leitartikel-zur-dorfbachabstimmung-ld.1159181> abgerufen
- TEEB. (2012). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Edited by Pushpam Kumar. Routledge, Abingdon and New York.
- Thöny, P. (2012). *Liechtensteinisches Landeswaldinventar - Ergebnisse der dritten Erhebung 2010*. Vaduz: Amt für Wald, Natur und Landschaft.
- Thürig, E., & Schmid, S. (2008). Jährliche CO<sub>2</sub>-Flüsse im Wald: Berechnungsmethode für das Treibhausgasinventar. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 31-38.
- Tiefbauamt des Kantons Bern. (2018). Von Projekt 2018 - Hochwasserschutz Reichenbach i.K. Louwibach und Kander: [https://reichenbach.ch/wp-content/uploads/2018/08/1280\\_43\\_TB\\_VP\\_Louibach\\_20180825.pdf](https://reichenbach.ch/wp-content/uploads/2018/08/1280_43_TB_VP_Louibach_20180825.pdf) abgerufen
- Tierdoku.com. (o.D.). Von Europäische Äsche: <http://tierdoku.com/index.php?title=Äsche> abgerufen

- Umweltbundesamt. (Juli 2019). Von Erosion:  
[https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/bodenbelastungen/erosion#wodurch-kommt-es-zu-bodenerosion-durch-wasser abgerufen](https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/bodenbelastungen/erosion#wodurch-kommt-es-zu-bodenerosion-durch-wasser-abgerufen)
- Umweltbundesamt. (Juni 2019). Von Die Treibhausgase:  
[https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/die-treibhausgase abgerufen](https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/die-treibhausgase-abgerufen)
- UNCTADSTAT. (o.D.). Von Currency exchange rates, annual :  
<https://unctadstat.unctad.org/wds/TableView/tableView.aspx> abgerufen
- von Grünigen, S., Montanari, D., & Ott, W. (2014). *Wert der Erholung im Schweizer Wald*. Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU.
- WaldSchweiz. (2018). *Faktenblatt - Biodiversität im Wald*. Solothurn: WaldSchweiz.
- WWF. (o.D.). Von Lebensmittel-Label-Empfehlungen für einen nachhaltigen Konsum:  
<https://www.wwf.ch/de/lebensmittel-label-ratgeber/ip-suisse> abgerufen
- Zandonella, R., Sutter, D., Liechti, R., & von Stokar, T. (2014). *Volkswirtschaftliche Kosten des Pestizideinsatzes in der Schweiz - Pilotberechnung*. Zürich: INFRAS.
- Zeit Online. (2013). Von "Die Leute sollten aus Flutgebieten wegziehen":  
<https://www.zeit.de/wissen/2013-06/interview-david-blackbourn-flussbegradigung-hochwasser> abgerufen
- Zukunft Alpenrhein. (o.D.). Von Abgeschlossene Projekte:  
<https://www.alpenrhein.net/Projekte/Umsetzungsprojekte/Abgeschlossene-Projekte> abgerufen
- Zurbuchen, A., Müller, A., & Dorn, S. (2010). Kurze Flugdistanzen zwischen Nist- und Nahrungshabitaten fördern eine reiche Wildbienenfauna. *Agrarforschung Schweiz*, 360-365.
- Zürcher, J., & Wohlwend, S. (2006). *Umgang mit Naturgefahren*. Vaduz: Amt für Wald, Natur und Landschaft des Fürstentums Liechtenstein.

**Amt für Umwelt**

Gerberweg 5  
9490 Vaduz  
T +423 236 64 00  
F +423 236 64 11  
info.au@llv.li

[www.au.llv.li](http://www.au.llv.li)