



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„GIS-basierte, multikriterielle Eignungssanalyse für
autarken Wohnraum in Österreich“

verfasst von / submitted by

Christopher Grindl BSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien, 2021 / Vienna 2021

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 066 856

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium Kartographie und Geoinformation

Betreut von / Supervisor:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl

Inhalt

Inhalt	i
Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis	vii
Abkürzungen	viii
Begriffsdefinitionen	x
Kurzfassung	xiii
Abstract	xiv
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Zielsetzung.....	1
1.2 Problemstellung	2
1.3 Rahmenbedingungen und Stand der Forschung	2
1.4 Forschungsfrage	3
1.5 Relevanz der Arbeit und praktische Einsatzmöglichkeiten	4
1.6 Aufbau der Arbeit und Vorgehensweise	4
2 Konzeptuelle Rahmenbedingungen – Einführung in die Kreisläufe der Autarkie	6
2.1 Erneuerbare Energien	6
2.2 Heizung und Kühlung	9
2.3 Wasser- & Nährstoffkreislauf.....	11
2.4 Rechtliche Aspekte im Vergleich	19
2.5 Grundlegende Annahmen und Ableitungen für das Modell zur Eignungsanalyse.....	32
2.6 Anforderungen & Datenqualität	34
3 Methodische Vorgehensweise	37
3.1 Überblick über multikriterielle Eignungsanalysen	37
3.2 Diskussion geeigneter Methoden	45

3.3 Gewichtete Überlagerung	49
3.4 Expertenumfrage	50
4 Umsetzung des Modells	52
4.1 Datengrundlage	52
4.2 Erstellung des Modells	53
4.3 Auswertung der Expertenumfrage	55
4.4 Digitales Geländemodell	55
4.5 Hangneigung	57
4.6 Hangausrichtung	60
4.7 Landbedeckung: Corine Land Cover 2018 (CLC).....	63
4.8 Lufttemperaturen.....	68
4.9 Sonnenenergiepotenzial.....	70
4.10 Windgeschwindigkeiten	72
4.11 Niederschlagsmengen.....	74
4.12 Neuschneesummen.....	77
4.13 Bodenqualität	78
4.14 Entfernung zu Verkehrsnetz	82
4.15 Umsetzung der Gewichteten Überlagerung und Finalisierung des Modells	86
5 Auswertung der Ergebnisse	87
5.1 Statistik	87
5.2 Ergebnisvisualisierung	95
6 Zusammenfassung und Ausblick	96
Literatur	99
Anhang	108
Fragebogen der Expertenumfrage	108
Teil 1: Gewichtung der Parameter.....	109
Teil 2: Zusatzfrage.....	110
Anhang: Beschreibung der Parameter	110

Kommentare.....	113
Begriffsbestimmungen der Corine Land Cover Klassifikation.....	114
Ergebniskarten.....	120

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Weltweite Sonneneinstrahlung und Potenzial zur Stromerzeugung (LOSTER 2006b)	7
Abbildung 2: Mittlere jährliche Windgeschwindigkeiten in Österreich in 100 m über Boden (WINKELMEIER et al. 2014)	9
Abbildung 3: Alter Kreislauf: Trennung von Nährstoff- und Wasserkreislauf (KLÖTZLI 1980)	12
Abbildung 4: Heutiger Kreislauf (KLÖTZLI 1980).....	13
Abbildung 5: Grundprinzip der Stoffstromtrennung (DWA 2008)	15
Abbildung 6: Decision Tree für MCE-Methoden (verändert nach GREENE et al. (2011))	41
Abbildung 7: Workflow für die Durchführung der Analyse	48
Abbildung 8: Übersicht des Analysemodells (ArcGIS Pro Model Builder)	54
Abbildung 9: Ergebniskarte der Bewertung des digitalen Geländemodells (ArcGIS Pro)	57
Abbildung 10: Ergebniskarte der Bewertung der Hangneigung (ArcGIS Pro)	59
Abbildung 11: Ergebniskarte der Bewertung der Hangneigung am Beispiel Altenmarkt im Pongau (ArcGIS Pro)	59
Abbildung 12: Ausrichtungsrichtungen des Tools "Aspect" (ESRI o.J.-b).....	61
Abbildung 13: Bewertung der Hangausrichtung in Kreisdarstellung (eigene Darstellung)	62
Abbildung 14: Konvertierung der CLC mit dem Polygon to Raster Tool (ArcGIS Pro)..	67
Abbildung 15: Ergebniskarte der Bewertung der Corine Land Cover (ArcGIS Pro)	68
Abbildung 16: Ergebniskarte der Bewertung der Jahresdurchschnittstemperaturen (ArcGIS Pro).....	69
Abbildung 17: Ergebniskarte der Bewertung des Sonnenenergiepotenzials (ArcGIS Pro)	71
Abbildung 18: Ergebniskarte der Bewertung der mittleren Windgeschwindigkeiten (ArcGIS Pro).....	73
Abbildung 19: Funktionsweise des Spatial Analyst Tools Plus (ESRI o.J.-d)	75
Abbildung 20: Ergebniskarte der Bewertung der mittleren Jahresniederschlagsmengen (ArcGIS Pro).....	76

Abbildung 21: Ergebniskarte der Bewertung der mittleren Neuschneesummen (ArcGIS Pro).....	78
Abbildung 22: Ergebniskarte der Bewertung der Bodenqualität (ArcGIS Pro)	81
Abbildung 23: Funktionsweise des Tools Erase (ESRI o.J.-f)	86
Abbildung 24: Vergleich der Flächenanteile nach Bewertungszahl – Österreich gesamt.	87
Abbildung 25: Vergleich der Flächenanteile nach Bewertungszahl - Burgenland	90
Abbildung 26: Vergleich der Flächenanteile nach Bewertungszahl - Kärnten.....	90
Abbildung 27: Vergleich der Flächenanteile nach Bewertungszahl - Niederösterreich ...	91
Abbildung 28: Vergleich der Flächenanteile nach Bewertungszahl - Oberösterreich	91
Abbildung 29: Vergleich der Flächenanteile nach Bewertungszahl - Steiermark	92
Abbildung 30: Vergleich der Flächenanteile nach Bewertungszahl - Salzburg	92
Abbildung 31: Vergleich der Flächenanteile nach Bewertungszahl - Tirol	93
Abbildung 32: Vergleich der Flächenanteile nach Bewertungszahl - Vorarlberg	93
Abbildung 33: Vergleich der Flächenanteile nach Bewertungszahl – Wien	94
Abbildung 34: Ergebniskarte des Autarkieindex (ArcGIS Pro)	95
Abbildung 35: Kartenserie Indexübersicht (ArcGIS Pro)	120
Abbildung 36: Kartenblatt A4 (ArcGIS Pro)	121
Abbildung 37: Kartenblatt A5 (ArcGIS Pro)	121
Abbildung 38: Kartenblatt A6 (ArcGIS Pro)	122
Abbildung 39: Kartenblatt A7 (ArcGIS Pro)	122
Abbildung 40: Kartenblatt A8 (ArcGIS Pro)	123
Abbildung 41: Kartenblatt B4 (ArcGIS Pro).....	123
Abbildung 42: Kartenblatt B5 (ArcGIS Pro).....	124
Abbildung 43: Kartenblatt B6 (ArcGIS Pro).....	124
Abbildung 44: Kartenblatt B7 (ArcGIS Pro).....	125
Abbildung 45: Kartenblatt B8 (ArcGIS Pro).....	125
Abbildung 46: Kartenblatt C1 (ArcGIS Pro).....	126
Abbildung 47: Kartenblatt C2 (ArcGIS Pro).....	126

Abbildung 48: Kartenblatt C3 (ArcGIS Pro).....	127
Abbildung 49: Kartenblatt C4 (ArcGIS Pro).....	127
Abbildung 50: Kartenblatt C5 (ArcGIS Pro).....	128
Abbildung 51: Kartenblatt C6 (ArcGIS Pro).....	128
Abbildung 52: Kartenblatt C7 (ArcGIS Pro).....	129
Abbildung 53: Kartenblatt C8 (ArcGIS Pro).....	129
Abbildung 54: Kartenblatt D1 (ArcGIS Pro)	130
Abbildung 55: Kartenblatt D2 (ArcGIS Pro)	130
Abbildung 56: Kartenblatt D3 (ArcGIS Pro)	131
Abbildung 57: Kartenblatt D4 (ArcGIS Pro)	131
Abbildung 58: Kartenblatt D5 (ArcGIS Pro)	132
Abbildung 59: Kartenblatt D6 (ArcGIS Pro)	132
Abbildung 60: Kartenblatt D7 (ArcGIS Pro)	133
Abbildung 61: Kartenblatt D8 (ArcGIS Pro)	133

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Nachteile der heutigen Abwasserentsorgung durch Schwemmkanalisation mit zentraler Kläranlage (nach WILDERER, PARIS 2001)	14
Tabelle 2: Abwasserteilströme des häuslichen Abwassers (nach OLDENBURG, OTTERPOHL 2001).....	15
Tabelle 3: Qualitätsmerkmale nach ISO Norm 19157:2013	35
Tabelle 4: Übersicht über die verwendeten Daten	52
Tabelle 5: Auswertung Frage 1- Gewichtung der Parameter	55
Tabelle 6: Bewertung der Höhenbereiche aus dem DGM.....	56
Tabelle 7: Bewertung der Hangneigung aus dem DGM	58
Tabelle 8: Bewertung der Hangausrichtung	61
Tabelle 9: Corine Land Cover Nomenklatur und Eignung als Autarkie-Baufläche (verändert nach NATIONALPARK HOHE TAUERN TIROL 2014)	63
Tabelle 10: Bewertung der Landbedeckung.....	66
Tabelle 11: Bewertung der Jahresdurchschnittstemperaturen 1994 - 2018.....	69
Tabelle 12: Bewertung der Globalstrahlung bei optimalem Neigungswinkel (GTI).....	71
Tabelle 13: Bewertung der mittleren Windgeschwindigkeiten	73
Tabelle 14: Bewertung der Niederschlagsmengen.....	75
Tabelle 15: Bewertung der Neuschneesummen.....	77
Tabelle 16: Bewertung der Bodenqualität.....	80
Tabelle 17: Bewertung der Entfernung zum Verkehrsnetz	83
Tabelle 18: Straßenklassifizierung im OSM-Datensatz	83
Tabelle 19: Statistische Auswertung der Autarkieindexflächen nach Bundesländern.....	88

Abkürzungen

AHP	Analytic Hierarchy Process
ARA	Abwasserbehandlungsanlage
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
CLC	Corine Land Cover
DESAR	Decentralised Sanitation and Reuse
EcoSan	Ecological Sanitation
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
g	Gramm
GHI	Globale Horizontalstrahlung
GIS	Geographisches Informationssystem
K	Kalium
KEV	kostenorientiertes Einspeisevergütungssystem
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kg	Kilogramm
kW	Kilowatt (= 1 000 Watt)
kWh	Kilowattstunde (Einheit für Energie)
kWh/m ² a	Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr
l	Liter
l/(E*a)	Liter pro Einwohner pro Jahr
m	Meter
m ²	Quadratmeter (Fläche)
MADM	Multiple Attribute Decision Making
MCDA	Multi Criteria Decision Analysis; Multikriterielle Entscheidungsanalyse
MCE	Multi Criteria Evaluation; Multikriterielle Evaluierung
MODM	Multiple Objective Decision Making
MMU	Minimal Mapping Unit
MW	Megawatt

N	Stickstoff
NASS	Neuartige Sanitärsysteme
OeMAG	Abwicklungsstelle für Ökostrom AG
OWA	Ordered Weighted Averaging
OSM	Open Street Map
P	Phosphor
PKA	Pflanzenkläranlage
PV	Photovoltaik
SDSS	Spatial Decision Support System; Räumliches Entscheidungsunterstützungssystem
TTC	Trockentrenntoilette
W	Watt (Einheit für Leistung)
WE	Wasseräquivalent der Schneedecke

Begriffsdefinitionen

Ackerland: *Alle Flächen, die in die Fruchtfolge einbezogen sind, einschließlich Hopfen und Tabak, Gemüse, Erdbeeren, Zierpflanzen und sonstige Gartengewächse im feldmäßigen Anbau und im Erwerbsgartenbau (auch unter Glas). Auch Ackerflächen mit Obstbäumen zählen zum Ackerland, sofern die Ackerfrüchte die Hauptnutzung darstellen; andernfalls zählen diese Flächen zu den Obstanlagen und werden unter den Dauerkulturen nachgewiesen (LEXIKON DER GEOGRAPHIE 2001a).*

Autarkie: *Die vollständige oder teilweise Selbstversorgung eines Haushalts, einer Region oder eines Staates mit Gütern und Dienstleistungen. (DUDEN 2016).*

Braunwasser: *Fäkalien und Toilettenspülwasser (SCHRAMM 2008).*

Dezentrale Abwasserbehandlung: *Die Ver- und/oder Entsorgung erfolgt in Einzelanlagen für je ein Wohngebäude/ einen Haushalt. Ein Transportnetz für das entsprechende Medium ist über die Hausgrenze hinaus nicht erforderlich (STABEN 2008).*

Gelbwasser: *Urin mit reduzierter Spülwassermenge (SCHRAMM 2008).*

Globalstrahlung: *Die gesamte Strahlungsenergie, die auf die Erdoberfläche trifft. Diese setzt sich zusammen aus direkter und diffuser Strahlung. Die direkte Strahlung kommt auf geradem Weg und ungestört auf der Erdoberfläche an, während die diffuse Strahlung von Wolken oder Staubteilchen in der Atmosphäre gestreut oder reflektiert wird. Beide werden zur Energiegewinnung genutzt, wobei der Anteil der diffusen Strahlung an der Gesamtenergie geringer ist als der der direkten Strahlung (E-GENIUS 2018a).*

Grauwasser: *Leicht verschmutztes Abwasser aus Waschbecken, Dusche, Badewanne, Waschmaschinen und Spülmaschinen (WILDERER, PARIS 2001).*

Grobanteil: *Alle primären mineralischen Gemengteile, deren ungefährender Durchmesser mehr als 2 mm beträgt, bilden den Grobanteil eines Bodens. Es sind mehr oder weniger angewitterte Gesteinsbruchstücke, deren Form durch den Transport (durch Wasser oder Wind) weitgehend verändert sein kann; allerdings spielt dabei auch die Härte des Ausgangsmaterials eine beträchtliche Rolle (BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD; NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT o.J.-a).*

Gründigkeit: *Unter Gründigkeit versteht man die Mächtigkeit jener Zone, die zwischen der Bodenoberfläche und dem festen Gestein oder einem Horizont liegt, der vorwiegend aus Grobanteil besteht oder extrem verhärtet ist. Man unterscheidet seichtgründige (seichter als 30 cm), mittelgründige (30 - 70 cm) und tiefgründige Böden (tiefer als 70 cm) und drückt damit aus, ob für das Wurzelwachstum viel oder wenig Raum zur Verfügung steht und ob der Speicherraum für Wasser und Nährstoffe groß oder klein ist (BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD; NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT o.J.-a).*

Grünland: *Bezeichnung sowohl für die als Weiden und Wiesen genutzten Flächen als auch die darauf stockenden Pflanzenbestände. Grünland unterscheidet sich vom Ackerland durch*

das Fehlen einer jährlichen Bodenbearbeitungs- und Ansaatnotwendigkeit. Dauergrünland umfasst Wiesen- oder Weideflächen (Dauerweidewirtschaft), die dauerhaft keiner anderen Nutzung zugeführt werden. Nicht zum Dauergrünland zählen der Grasanbau auf dem Ackerland sowie Grünlandflächen mit Obstbäumen, bei denen das Obst die Hauptnutzung darstellt (LEXIKON DER GEOGRAPHIE 2001b)

Hangneigung: Auch Böschungswinkel, englisch slope; beschreibt die Neigung der Geländeoberfläche gegenüber der Horizontalen entlang einer Falllinie, d. h. der jeweils maximale Neigungswinkel des Geländes. Kenngröße zur quantitativen Beschreibung des Reliefs eines Hanges, aber auch ganzer Flusseinzugsgebiete. Die Ermittlung der Hangneigung kann auf der Grundlage topographischer Karten erfolgen. Sie lässt sich als Böschungswinkel in Winkelmaß (Alt- und Neugrad), als Gefälle (oder Steigung) in % oder ‰ einer Längeneinheit, oder als Verhältnis von Länge einer horizontalen Strecke zur Höhe, die 1 gesetzt wird, angeben. Ihre Darstellung erfolgt in absoluten Werten in °, in % oder in Hangneigungsklassen (LEXIKON DER KARTOGRAPHIE UND GEOMATIK 2001).

Klärschlamm: Fällt bei der Behandlung von Abwasser in Abwasserbehandlungsanlagen (Kläranlagen) an. Er wird entwässert, getrocknet oder in sonstiger Form weiterbehandelt. Meist wird Klärschlamm aufgrund seiner geringen Schadstoffgehalte kompostiert und landwirtschaftlich verwertet. Die thermische Behandlung von Klärschlamm ist ebenfalls möglich. Klärschlamm aus Großkläranlagen ist meist mit verschiedensten Stoffen belastet und wird demzufolge nur noch ungenutzte von der Landwirtschaft abgenommen (DAS UMWELT-LEXIKON 2020).

Luftmasse: Englisch „Airmass“; bezeichnet die Länge des Weges, den Lichtstrahlen durch die Atmosphäre bis zum Erdboden zurücklegen, verglichen mit dem kürzesten Weg, nämlich dem bei senkrechtem Lichteinfall. Eine Luftmasse von 1 entspricht einem senkrechten Lichteinfall (Winkel von 0°), wenn die Sonne im Zenit steht. Eine Luftmasse von 1,5 entspricht einem Lichteinfall von circa 48°, wenn die Lichtstrahlen schräg auf die Erdoberfläche treffen (E-GENIUS 2018a).

Netzparallelbetrieb: Im Allgemeinen bezeichnet man mit Netzparallelbetrieb den parallelen Betrieb einer Stromerzeugungsanlage neben dem öffentlichen Stromnetz, zwischen denen eine Verbindung besteht. Oft spricht man von Netzparallelbetrieb, wenn eine Solaranlage an das öffentliche Stromnetz angeschlossen ist und ihr produzierter Strom in dieses eingespeist wird (SOLARANLAGE INFOPORTAL FÜR SONNENENERGIE 2020).

Photovoltaik: Der Begriff Photovoltaik (PV) besteht aus den Wortteilen Phos (griechisch: Licht) und Volt (Maßeinheit der elektrischen Spannung). Photovoltaik ist also die Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie, und zwar mithilfe von Solarzellen (E-GENIUS 2018a).

Primärenergie: Natürlich vorkommende Energie in ihrer ursprünglichen Form, bevor sie z. B. in Strom oder Kraftstoff umgewandelt wird. Zu Primärenergiequellen zählen Kohle-, Erdöl- und Erdgasvorkommen, Uran, Wasserkraft, Sonnenstrahlung, Windkraft, Erdwärme

und Biomasse. Nach der Umwandlung spricht man von Sekundärenergie und schließlich von der Endenergie, die beim Verbraucher ankommt (E-GENIUS 2018a).

Schwarzwasser: *Fäkalien, Urin und Toilettenspülwasser* (SCHRAMM 2008).

Solarthermie: *Durch Solarthermie wird aus der Sonnenenergie nicht elektrische, sondern thermische Energie gewonnen, also Wärme. Dafür werden sogenannte Solarkollektoren verwendet, in denen ein Wärmeträgermedium (z. B. ein Wasser-Glykol-Gemisch) durch die Sonnenenergie aufgeheizt wird. Solarthermie wird zur Gebäudeheizung und zur Warmwasserbereitung verwendet* (E-GENIUS 2018a).

Verschmutzung: §30 Abs. 3 WRG (Wasserrechtsgesetz Österreich) definiert die „Verschmutzung“ von Gewässern, als die durch menschliche Tätigkeiten direkt oder indirekt bewirkte Freisetzung von Stoffen oder Wärme in Wasser, die der menschlichen Gesundheit oder der Qualität der Ökosysteme oder der direkt von ihnen abhängigen Landökosysteme schaden können oder eine Beeinträchtigung oder Störung des Erholungswertes und anderer legitimer Nutzungen der Umwelt mit sich bringen (KROISS, WAITZ-VETTER VON DER LILIE 2011).

Verunreinigung: *Die Verunreinigung umfasst jegliche Abweichung von der natürlichen Beschaffenheit und somit die gesamte Bandbreite unterhalb des sehr guten Zustandes. Die Verschmutzung ist eine mehr als geringfügige, daher „wesentliche Verunreinigung“, die die Einhaltung bzw. Erreichung eines konkreten Umweltziels nach §30a WRG gefährdet* (KROISS, WAITZ-VETTER VON DER LILIE 2011).

Wasseräquivalent der Schneedecke (WE): *Höhe der Wasserschicht in mm, die sich nach dem Schmelzen der Schneedecke ausbilden würde, wenn das Schmelzwasser ohne Infiltration oder Verdunstung auf einer horizontalen Fläche verbliebe. 1 mm Wasseräquivalent entspricht 1 l Schmelzwasser / m²* (DEUTSCHER WETTERDIENST o. J.).

Wasserverhältnisse: *Darunter ist jene von vielen Faktoren (Niederschlags- und Grundwasserverhältnisse, Bodenart, Humusverhältnisse, Durchlässigkeit, Speicherkraft, Verdunstung und dergleichen) abhängige Aussage zu verstehen, die feststellt, ob ein Standort sehr trocken, trocken, mäßig trocken, gut versorgt, mäßig feucht, feucht oder nass ist* (BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD; NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT o.J.-a).

Wirkungsgrad: *beschreibt unter anderem bei der Photovoltaik die Effizienz der Energieumwandlung. Wie viel Sonnenenergie wird von einer Solarzelle in elektrische Energie umgewandelt? Der Wirkungsgrad wird entweder mit η (Eta) bezeichnet oder in Prozent angegeben: Eine Solarzelle hat z. B. einen Wirkungsgrad von 16 %, oder aber $\eta = 0,16$* (E-GENIUS 2018a).

Zentrale Abwasserbehandlung: *Die Ver- und/oder Entsorgung erfolgt über ein zentrales System (Kanalnetz, Kläranlage/Wasserwerk, Leitungsnetz) für eine große Anzahl an angeschlossenen Einwohnern* (STABEN 2008).

Kurzfassung

Bedingt durch die voranschreitende globale Umweltzerstörung, den hohen Verbrauch an Ressourcen und den einhergehenden Klimawandel ist aktuell ein Trend hin zu einer nachhaltigeren, minimalistischen Lebensweise zu beobachten. Dies wirkt sich auch auf den Wohnraum aus, und eine Vielzahl an Menschen entscheidet sich mittlerweile für sogenannte „Tiny Houses“, welche oftmals auch mobil sind. Die Fortführung dieser Idee sind autarke Kleinhäuser, welche durch den technischen Fortschritt größtenteils unabhängig („autark“) von öffentlichem Stromnetz, Wasser- und Kanalanschluss funktionieren können. Auch in Österreich ist diese Idee bereits angekommen, wie man an diversen erfolgreichen Projekten sehen kann. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der örtlichen Eignung Österreichs für autarken Wohnraum. Dazu wurde eine multikriterielle Eignungsanalyse durchgeführt, in der verschiedene autarkierelevante Standortparameter bewertet, gewichtet und zu einem flächendeckenden Index zusammengefasst wurden. Nach einem vorangehenden Ausschlussverfahren ungeeigneter Standorte wurden diverse Kriterien für Flächen in Österreich in einer einheitlichen Skala bewertet. Die so standardisierten Einzelkriterien wurden daraufhin mittels der Methodik der gewichteten Überlagerung zu einem Autarkieindex zusammengefasst. Die Parametergewichtungen wurden durch Expertenbefragungen ermittelt. Der so entstandene Index gibt die allgemeine relative Eignung eines jeden in Frage kommenden Standorts für autarke Wohnbauten an. Es konnte gezeigt werden, dass die Methodik der gewichteten Überlagerung geeignet ist, als Entscheidungsunterstützung bei multikriteriellen Eignungsanalysen für autarken Wohnraum eingesetzt zu werden. Die Analyse hat ergeben, dass etwa ein Viertel der Fläche Österreich hinsichtlich der untersuchten Parameter grundsätzlich für autarken Wohnraum in Frage kommt. Auffällig dabei ist, dass sich die Regionen mit der größten Eignung im Osten, Nordosten, Süden und Südwesten des Landes konzentrieren. Einzelne größere Alpentäler der Steiermark, Tirol und an der westlichen Grenze Vorarlbergs weisen ebenfalls größere geeignete Gebiete auf. In den Alpen selbst sind meist kleine bis mittelgroße, vereinzelt Flächen vertreten. Es lässt sich daraus schließen, dass im gesamten Bundesgebiet ein großes Potenzial zur Erschließung von Wohnraum besteht, welcher autark funktionieren und damit einen Beitrag zur Wiederherstellung nachhaltiger Wasser- und Nährstoffkreisläufe leisten kann.

Abstract

Due to the ongoing global destruction of the environment, high consumption of resources and its association with climate change, a trend towards a more sustainable, minimalist way of living can currently be observed. This also has an impact on living space, and a growing number of people are now opting for so-called "tiny houses", which are often also mobile. The continuation of this housing trend are self-sufficient small houses, which can function largely independently of the public power grid, water, and sewer connections ("off grid") due to technical progress. This idea has already arrived in Austria, as can be observed from various successful projects. The present work deals with the local suitability of Austria for self-sufficient living space. For this purpose, a multi-criteria suitability analysis was carried out in which various location parameters relevant to self-sufficiency were assessed, weighted, and summarized in an index. Following a previous process of excluding unsuitable locations, various criteria for areas in Austria were rated on a uniform scale. The individual criteria standardized in this way were then combined into an autarky index using the weighted overlay method. The parameter weightings were determined through expert surveys. The resulting index indicates the general relative suitability of each location in question for self-sufficient residential buildings. It could be shown that the method of weighted overlay is suitable to be used as decision support in multi-criteria suitability analyses for self-sufficient living space. The analysis has shown that about a quarter of the area of Austria is in principle suitable for self-sufficient living space in terms of the examined parameters. It is noticeable that the regions with the greatest suitability are concentrated in the east, northeast, south and southwest of the country. Individual larger Alpine valleys in Styria, Tyrol and on the western border of Vorarlberg also have larger suitable areas. In the Alps themselves, mostly small to medium-sized, isolated areas are represented. It can be concluded from this that there is great potential for the development of self-sufficient living space throughout Austria that can function independently and thus contribute to the restoration of sustainable water and nutrient cycles.

1 Einleitung

1.1 Motivation und Zielsetzung

Die „Tiny House Movement“ ist eine gesellschaftliche Bewegung mit Ursprung in den USA, die das Leben in kleinen, oftmals mobilen Häusern (~15 – 45 m²) zum Ziel hat. Dieser Trend war ursprünglich eine Reaktion auf die anhaltende Immobilienkrise (WILKINSON 2011). Eine aktuelle Umfrage in den USA zum Thema Tiny Houses ergab, dass über die Hälfte der Amerikaner bereit wäre, in einem Tiny House, bzw Tiny Home zu leben. Außerdem gaben 86% der Befragten an, dass sie den Kauf eines Tiny Home als erste eigene Wohnimmobilie in Betracht ziehen. Die meistgenannten Gründe hierfür waren die Leistbarkeit, Effizienz, Umweltfreundlichkeit, Minimalistische Lebensweise, Downsizing, Mobilität und Privatsphäre (IPX 1031 2021).

Auch die Weiterentwicklung dieser Idee, die sogenannten *Off-Grid-Homes*, sind in den USA bereits seit längerem ein Begriff und es ist ein globaler Trend zu beobachten, der immer mehr Anhänger gewinnt (KAPELLER 2018). Innovative, global agierende Unternehmen wie beispielsweise Tesla reagieren bereits auf diese Entwicklungen und versuchen, ihr Angebot auf den Sektor der Off Grid-Technologien auszuweiten (HULAC 2015).

Gemeint sind mit dem Begriff *Off-Grid Homes* im Allgemeinen mobile oder fest installierte (meist kleine) Häuser („Tiny Homes“), welche sich und ihre Bewohner teilweise oder auch komplett „autark“, also mit Energie aus erneuerbaren Energiequellen (Energieautarkie), wiederaufbereitetem Trinkwasser (Wasserautarkie) und selbst angebauten Lebensmitteln versorgen. In der globalisierten Bevölkerung vollzieht sich mit den fortschreitenden Auswirkungen des Klimawandels aktuell ein Wandel des Bewusstseins, weg von einer industriellen Konsumgesellschaft hin zum Wunsch einer minimalistischeren, umweltschonenden Lebensweise. Das Konzept der Autarkie, der Unabhängigkeit von technisch aufwendigen, kostenintensiven und ineffizienten Wasser- und Stromnetzen erfreut sich dabei wachsender Beliebtheit (TANKSALVALA o.J.). Auch hierzulande ist diese Idee durch innovative Projekte, wie die der Firma *Wohnwagon*, bereits angekommen (WOHNWAGON 2020). In Bezug auf erneuerbare Energie ist die staatliche als auch privat laufende Umstellung in Österreich in den letzten Jahren stetig fortgeschritten, stellenweise sogar vorgeschrieben. Durch die immer effektiveren und kostengünstigeren Systeme zur Strom- und Wärmeerzeugung wird ein Umstieg für immer mehr Wirtschaftssektoren und auch Privatpersonen attraktiver und leistbarer (FECHNER et al. 2018). Sowohl der Photovoltaik-Markt als auch der Markt für Windkraftanlagen erleben seit 2011 ein stetig hohes Wachstum (Biermayr et al. 2018). Und auch das (teilweise) autarke Wohnen ist ein wachsender Marktsektor. Mittlerweile wird mancherorts eine fast vollständige Autarkie erreicht (WOHNWAGON 2020), was zeigt, dass dies mit heutiger Technologie mit westlichen Lebensstandards umsetzbar ist.

Die vorliegende Arbeit soll einen wissenschaftlichen Beitrag zum Themenfeld der Autarkie leisten, indem mittels einem Geographischen Informationssystem (GIS) ein Tool zur

räumlichen Eignungsanalyse für Autarkie entwickelt wird, welche am Beispiel von Österreich durchgeführt wird. Dies soll in erster Linie dazu dienen, sich einen Überblick über das gesamte Bundesgebiet zu verschaffen und Regionen miteinander vergleichbar machen zu können. Für konkrete Bauvorhaben ist das Untersuchungsgebiet Österreich zu groß, vielmehr soll es durch die Berücksichtigung diverser physikalischer Parameter als Entscheidungsunterstützung bei der Standortwahl betrachtet werden.

1.2 Problemstellung

Die Frage nach nachhaltigem, umweltfreundlichem Bauen und Leben ist aktuell und akut (IPCC 2014, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME 2020). Ob und zu welchem Grad Autarkie funktioniert, hängt zu einem großen Teil von der Wahl eines geeigneten Standorts ab. Um einen idealen Standort für ein vollautarkes Heim auszuwählen, müssen viele naturräumliche Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Oftmals fehlen die nötigen Ressourcen und das Know-how, eine solche Analyse durchzuführen und sich einen Überblick über ein Gebiet zu verschaffen. Hinzu kommt, dass eine Vergleichbarkeit verschiedener Standorte meist nicht gegeben ist, weil es dazu keine objektiv messbare Skala gibt. Dies macht eine Entscheidungsfindung schwierig. Bisher wurde kein derartiges Projekt in Österreich mit Hilfe eines GIS (Geoinformationssystem) umgesetzt.

1.3 Rahmenbedingungen und Stand der Forschung

Zunächst soll in der Theorie zusammenfassend erläutert werden, was zu einer Erreichung (vollständiger) Netzunabhängigkeit gegeben sein muss. Damit Autarkie funktioniert, müssen verschiedene Kreisläufe möglichst effizient gestaltet werden. Dies umfasst folgende Bereiche und gibt damit die Rahmenbedingungen des Modells vor:

- I. Energie- und Wärmeerzeugung, -speicherung und -umwandlung (E-GENIUS 2018a, E-GENIUS 2018b, PULIDO 2019).
- II. Wasserkreislauf: Wassersammlung, -speicherung und -aufbereitung sowie der Wiederverwendung oder Rückführung in Gewässer (KLÖTZLI 1980).
- III. Nährstoffkreislauf: Wiederverwertung von Abwasser und Kompostierung von organischen Abfällen, sowie Rückführung von Nährstoffen in die Böden der Anbauflächen (KLÖTZLI 1980).

Der Themenkomplex der erneuerbaren Energien ist bereits gut erforscht, und die Systeme werden laufend weiterentwickelt. In besonderem Maße gilt dies für den Ausbau von PV-Anlagen und Windrädern. Photovoltaikanlagen der neuen Generation weisen bereits Wirkungsgrade von >30% (BIERMAYR et al. 2018) auf und auch die Energiespeicherung wird stetig effizienter (BIERMAYR et al. 2018, PULIDO 2019). Off-Grid-Häuser haben das Potenzial, bei der Umstellung auf erneuerbare Energien eine wichtige Rolle zu spielen. Sie ermöglichen es, die Technologie der erneuerbaren Energien in vielen ruralen Gebieten

einzusetzen, in denen sonst keine Netzabdeckung vorhanden ist. Die Energie wird dabei lokal erzeugt und gespeichert (PULIDO 2019).

In den vergangenen Jahren werden vermehrt die Möglichkeiten des Einsatzes neuartiger Sanitärsysteme diskutiert, welche zumeist auf der effizienten Abwasserstromtrennung und lokalen Aufbereitung direkt bei der Erzeugung basieren. Vor allem in ländlichen Gebieten, wo die Installation oder Instandhaltung konventioneller Schwemmkanalisationen und zentralen Kläranlagen mit hohen Kosten verbunden ist, erscheinen diese Ansätze sinnvoll (AMT FÜR WASSER UND ABFALL 2014, BALLY, BITTNER 2009, HOLZAPFEL +KONSORTEN 2019, LANGE, OTTERPOHL 1997, SCHRAMM 2008, STABEN 2008, STARKL et al. 2005) und wurden bereits in diversen Projekten im deutschsprachigen Raum umgesetzt (HAMBURG WASSER 2021, STABEN 2008, STARKL et al. 2005, STOLLHOFF).

Geographische Informationssysteme (GIS) kommen häufig als *räumliche Entscheidungsunterstützungssysteme (Spatial Decision Support Systems; SDSS)* zum Einsatz (KEENAN 1997, MALCZEWSKI 2004). Allen diesen Systemen liegt eine Modellbasis als wichtige Komponente zu Grunde (DENSHAM 1991). Eine besondere Art von Modellen stellt dabei die *multikriterielle Bewertung (Multi Criteria Evaluation; MCE)* dar, die sich in GIS in den letzten Jahrzehnten in verschiedensten Anwendungsbereichen der räumlichen Entscheidungsfindung etabliert hat (MALCZEWSKI 1999).

Bisher wurden multikriterielle Eignungsanalysen erfolgreich bei einer Vielzahl von Studien eingesetzt, um in Modellen die Fragen zu beantworten, wie, in welchen Größenordnungen oder an welchen Standorten optimal *off grid* Energie erzeugt und gespeichert werden kann (ARABI-NOWDEH et al. 2021, CAI et al. 2020, TAHRI et al. 2015, JAMAL et al. 2020, PULIDO 2019, CHARABI, GASTLI 2011). Diese Studien sind jedoch primär auf fallspezifische rurale Gebiete in Sub-Sahara Regionen wie Uganda, Oman, Kenia oder beispielsweise auch Australien beschränkt. Die Modelle wurden zudem für größere Maßstäbe konzipiert, wie etwa für die Bereitstellung von Strom für ganze Kommunen an abgelegenen Standorten, oder etwa die Standortwahl für große PV-Plantagen. Die Erkenntnisse daraus können deshalb nur begrenzt auf einzelne Wohnhäuser übertragen werden. Die physikalischen und klimatischen Standortbedingungen sind in den Untersuchungsgebieten dieser Studien zudem gänzlich andere als in den gemäßigten Breiten Österreichs. Weiters ergab die Literaturrecherche keine Modelle, die spezifische für autarken Wohnraum relevanten Parameter kombiniert betrachten, die untersuchten Artikel sind thematisch abgegrenzt und es gibt kaum Überschneidungen. Daraus lässt sich folgern, dass hinsichtlich der Frage, ob und in welchem Ausmaß speziell in Österreich Potenzial für autarken Wohnraum vorhanden ist, ein Forschungsdefizit vorliegt.

1.4 Forschungsfrage

Um die Eignung potentieller Standorte objektiv bewerten zu können, soll das Ziel dieser Arbeit sein, ein österreichweites GIS-Modell zur multikriteriellen Standortanalyse zu erstellen, welches die potenziellen Bauflächen im Hinblick auf ihre Eignung zur Errichtung solch autarker Wohneinheiten beurteilt. Dies soll mit Hilfe der Software *ArcGIS Pro (Model*

Builder; Spatial Analyst) umgesetzt werden. Das Modell soll im Ergebnis einen österreichweiten Rasterdatensatz produzieren, der alle relevanten Parameter berechnet, diese gewichtet und zu einem Eignungsindex zusammenfasst. Die Ergebnisse sollen in Ergebniskarten visualisiert werden.

Die Forschungsfrage dieser Arbeit kann also wie folgt formuliert werden:

„Lässt sich ein geeignetes GIS-basiertes Modell entwickeln, um österreichweit Standorte aufgrund verschiedener Kriterien für die Eignung zur Errichtung autarker Wohnbauten zu bewerten?“

Zur Beantwortung der Forschungsfrage ergeben sich weitere Teilfragen:

I. Was sind die konzeptuellen und technischen Rahmenbedingungen für eine Autarkieanalyse und was zeichnet geeignete Standorte aus?

II. Welche Anforderungen bestehen an die Daten, welche Daten stehen zur Verfügung und wie müssen diese aufbereitet werden?

III. Welche Methoden sind für die multikriterielle Eignungsanalyse am besten geeignet?

IV. Wie können die Daten untereinander gewichtet werden?

V. Was sagt das Ergebnis des Modells aus?

1.5 Relevanz der Arbeit und praktische Einsatzmöglichkeiten

Ein solches neuartiges Standortanalyse-Modell für Autarkie kann eine geeignete Entscheidungshilfe sein, um einen landesweiten Vergleich für geeignete Standorte autarker Projekte anzustellen, oder Grundstücke im Vorfeld auf eine Eignung hin zu untersuchen. Interessierte können sich somit ohne großes Vorwissen und Aufwand einen Überblick über verschiedene Standorte verschaffen. Der Fokus liegt dabei nicht auf einer möglichst konkreten und genauen Analyse von Einzelstandorten, sondern darin, Flächen und Parameter durch die Implementierung einer einheitlichen Bewertungsskala österreichweit objektiv vergleichbar zu machen.

1.6 Aufbau der Arbeit und Vorgehensweise

Die Kapitel 2 und 3 bilden den theoretischen Teil der Arbeit, der die Grundlagen und Methodiken vermittelt. Es soll in Kapitel 2 zunächst darum gehen, die aktuellen technischen Möglichkeiten herauszuarbeiten und so zu kombinieren, dass ein möglichst effizientes und ressourcensparendes Modell entsteht, welches in eigenen Kreisläufen und im Idealfall völlig

autark funktioniert und den Bezugsrahmen für die Analyse dieser Arbeit bildet. Außerdem sollen die Anforderungen an den Inhalt und die Qualität der benötigten Daten festgestellt werden. Die multikriterielle Eignungsanalyse (MCE oder MCDA) im GIS ist eine etablierte Methode zur räumlichen Entscheidungsunterstützung bzw. -findung. (MALCZEWSKI 2006) In Kapitel 3 soll ein Überblick über die verschiedenen Ansätze gegeben werden, um die für dieses Modell zielführendste Vorgehensweise zu bestimmen und begründen zu können. Außerdem soll dort die Grundlage der Parametergewichtung durch den Einsatz einer Expertenumfrage erläutert werden.

Kapitel 4 bildet den praktischen Teil der Arbeit. Es werden die Daten beschrieben, die der Analyse zugrunde liegen und deren Aufbereitung dokumentiert, ebenso wie die Auswertung der Expertenumfrage.

In Kapitel 5 werden die Ergebnisse der Eignungsanalyse ausgewertet und interpretiert. Das abschließende Kapitel 6 fasst die gewonnenen Erkenntnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf potenzielle Anschlussarbeiten in dem Themenkomplex der Autarkie.

2 Konzeptuelle Rahmenbedingungen – Einführung in die Kreisläufe der Autarkie

In diesem Abschnitt sollen die grundlegenden Begriffe und Kreisläufe der Autarkie erläutert, sowie aktuelle Methoden und Technologien vorgestellt werden und wie diese zum Gesamtkonzept eines autarken Wohnraums kombiniert werden können. Hierbei geht es darum, einen Überblick über Technologien und aktuelle Praxis zu erhalten. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die *Effizienz*, die *Schonung von Ressourcen* und eine allgemein (im Untersuchungsgebiet Österreich) *gute Umsetzbarkeit* gelegt. Dies ist entscheidend für die Erstellung der Rahmenbedingungen des Modellkonzepts und fließt später auch in die Gewichtung der einzelnen Faktoren mit ein. Das Konzept soll einen modernen Lebensstandard ermöglichen und daher folgende Ansprüche erfüllen:

- Durchgehende Bereitstellung von Strom
- Fließend (Warm-) Wasser
- Beheizbare Räumlichkeiten
- Bereitstellung von Trinkwasser
- Sanitäre Anlagen
- Umweltfreundliche Entsorgung/Aufbereitung von Abwasser

Um die Situation in Österreich besser einordnen zu können, wird auch ein Vergleich der gesetzlichen Grundlagen mit den deutschsprachigen Ländern Deutschland und der Schweiz (auch genannt *D-A-CH-Raum*) angestellt. In diesem Vergleich soll ein Überblick über alle relevante rechtliche Fragen in Bezug auf Autarkie gegeben werden, die in Bezug auf eine autarke Lebensweise von Belang sind.

2.1 Erneuerbare Energien

Als erneuerbare (regenerative) Energien gelten jene Energieformen, die entweder im Überfluss vorhanden sind und nicht versiegen (wie etwa Sonnenenergie, Wind- und Wasserkraft) oder nachwachsende Rohstoffe verwenden (etwa Holz oder Stroh). Die erneuerbaren Energiressourcen unterscheiden sich somit von den nicht erneuerbaren (fossilen) Ressourcen wie Erdöl, Erdgas oder Kohle. Diese können sich nur sehr langsam erneuern, nachdem man aus ihnen Energie gewonnen hat. Ein weiterer Unterschied, der im Zuge des Klimawandels immer mehr an Bedeutung gewinnt, ist, dass Energiegewinnung aus fossilen Ressourcen klima- und umweltschädlich ist, da bei der Verbrennung beispielsweise CO₂ freigesetzt wird. Das Nutzen von Sonnenenergie ist demnach eine Alternative, klimafreundlich Strom und Wärme zu erzeugen und die natürlichen Ressourcen zu schonen. Die Strahlungsleistung, die von der Sonne ausgehend auf die Erdoberfläche trifft, deckt den Gesamtenergiebedarf der Erde ca. um ein 10.000-faches (E-GENIUS 2018a).

Untenstehende Abbildung 1 zeigt die durchschnittliche lokale Sonneneinstrahlung auf der Erdoberfläche in einem 3-Jahresdurchschnitt. Die fehlende Einstrahlung bei Nacht und Bewölkung ist dabei bereits berücksichtigt. Die dunklen Flecken auf der Karte stellen jene Flächen dar, die bei einer vollständigen Abdeckung durch Solarpanels mit einem Wirkungsgrad von lediglich 8% mehr als ausreichen würden, um die gesamte Erde mit Strom zu versorgen. Diese Flächen würden insgesamt ca. 18 Terawatt (=10¹² W) an elektrischer Leistung erzeugen, mehr als alle aktuell verfügbaren primären Energiequellen inklusive Kohle, Öl, Gas, Kern- und Wasserkraft (LOSTER 2006a).

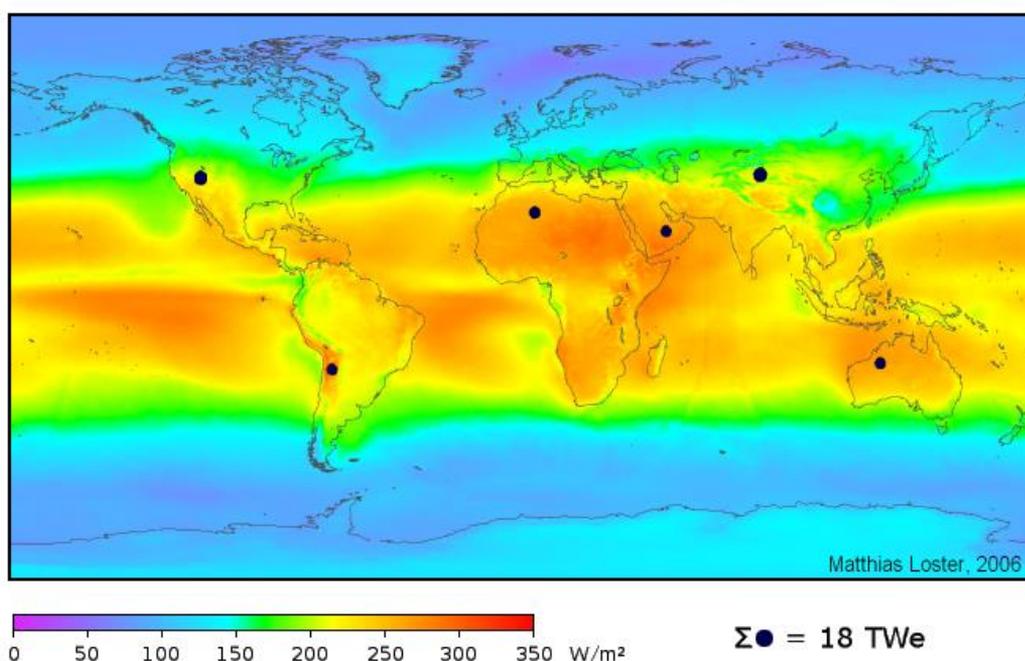


Abbildung 1: Weltweite Sonneneinstrahlung und Potenzial zur Stromerzeugung (LOSTER 2006b)

Die Bestrahlungsstärke auf der Erdoberfläche liegt tagsüber, also zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang im Jahresverlauf im Durchschnitt bei ca. 1000 W/m^2 (ca. 50 W/m^2 bei stark bedecktem Himmel bis ca. 1200 W/m^2 bei optimalem Wolkenstand). Die in Österreich eingestrahelte Energiemenge *pro Jahr* bewegt sich zwischen 1000 und $1400 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (E-GENIUS 2018a).

Photovoltaik-Anlagen dienen dazu, die Energie aus der Sonneneinstrahlung in elektrischen Strom umzuwandeln. Die gängigsten Arten von Solarzellen sind mono- und polykristalline Silizium-Solarzellen. Monokristalline Solarzellen sind teurer in der Herstellung und erreichen im Schnitt Wirkungsgrade von 14 - 20%, polykristalline Solarzellen können günstiger produziert werden und erreichen Wirkungsgrade von etwa 6-12%. Ein Wirkungsgrad von 15% bedeutet demnach, dass von der sogenannten Primärenergie, die in Form von elektromagnetischer Strahlung auf den Solarzellen ankommt, 15% in Sekundärenergie, also elektrische Energie in Form von Strom, umgewandelt wird. Die gängigste Montageart von Solarzellen ist die Montage auf dem Dach. Weitere

Möglichkeiten sind etwa die dachintegrierte, fassadenintegrierte oder freistehende Anlagen. Der Vorteil von PV-Anlagen besteht darin, dass Sonnenenergie im Gegensatz zu fossilen Energieressourcen nicht erst erschlossen und transportiert werden muss und immer verfügbar ist (mit Einschränkungen wie regionale Lage, Exponierung, Tages- oder Jahreszeit) (E-GENIUS 2018a). Bei der Solarenergie kann der Strom direkt dort erzeugt werden, wo er verbraucht wird. Damit ist die Solarenergie zum einen umweltfreundlich und zum anderen gelöst von politischer und wirtschaftlicher Abhängigkeit von Akteuren wie Importeuren. Entsprechend ist diese Form der Energieerzeugung für die Selbstversorgung geeignet.

Ähnlich wie mit einer Solarstromanlage, kann mit einem kleinen Windrad lokal Strom erzeugt werden. Ein solches Windrad kann auf dem eigenen Grundstück in Kombination mit einer PV-Anlage den Grad der Autarkie erhöhen. Dies liegt vor allem an der sich ausgleichenden Energieproduktion, denn mit einem Kleinwindrad wird oftmals zu den Zeiten Strom erzeugt, an denen die Sonne nicht oder wenig scheint: nachts, an windigen und regnerischen/bewölkten Tagen oder im Winter, wenn der solare Einstrahlwinkel flacher ist. Somit können auch oftmals die Batteriekapazitäten zur Stromspeicherung kleiner gehalten werden, da die Stromerzeugung im Laufe der Tages- und Jahreszeiten gleichmäßiger abläuft. Jedoch ist die Lage des Grundstücks bei der Windkraft von weitaus größerer Bedeutung, als dies bei Solaranlagen der Fall ist. Diese sind von der vertikalen oder schrägen Sonneneinstrahlung gekennzeichnet, Hindernisse und Verschattung kommen deshalb relativ selten und ortsfest vor. Bei der Windkraft findet die Energiebewegung jedoch parallel zum Boden und aus wechselnden Richtungen statt, weshalb Hindernisse wie Bäume, Hecken oder Gebäude den Wind abbremsen und zu Turbulenzen führen können. Deshalb empfiehlt es sich, Windkraftanlagen so hoch wie möglich zu bauen, um diese negativen Einflüsse zu minimieren. Bei privaten kleinen Windkraftanlagen bedeutet dies eine Höhe von 10 – 30m, je nach rechtlicher Situation (JÜTTEMANN 2013).

In Österreich spielt auch die geografische Lage des Grundstücks eine besondere Rolle, da das Land zu einem Großteil durch die Gebirgszüge der Alpen geprägt ist. Wie in Abbildung 2 zu erkennen, sind die kontinental geprägten, flachen Regionen im Westen Österreichs und nördlich der Alpen für Windkraft grundsätzlich besser geeignet. Eine Ausnahme bilden dabei stark exponierte und hoch gelegene Bereiche der Alpen. Diese eignen sich jedoch aufgrund zahlreicher anderer Gründe nicht zum Siedeln. Am wenigsten geeignet für Windkraft scheinen vor allem tiefer gelegene Alpentäler, die von Gebirgen umgeben sind, als auch die Regionen südlich der Alpen, wo das Gebirge eine Barriere für die Windbewegungen des Großklimas darstellt.

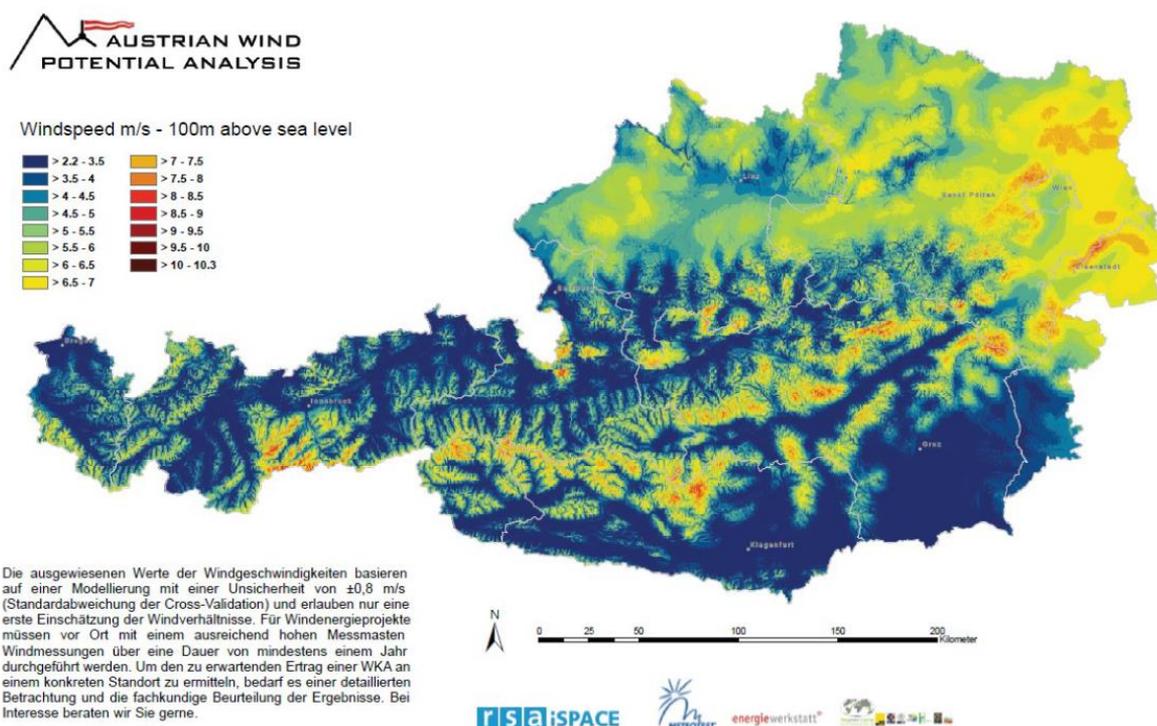


Abbildung 2: Mittlere jährliche Windgeschwindigkeiten in Österreich in 100 m über Boden (WINKELMEIER et al. 2014)

In der Praxis ist meistens auch zu solchen Zeiten ein Grundstrombedarf vorhanden, in denen durch Solar und Wind nicht ausreichend Strom produziert werden kann. Beispielsweise müssen Kühlschränke durchgehend mit Strom versorgt oder bei schlechten Lichtverhältnissen künstliches Licht verwendet werden. Aus diesem Grund müssen in jeder Konstellation Akkus oder Batterien oder andere Arten der Energiespeicherung zum Einsatz kommen. Hier gibt es verschiedene Technologien und Möglichkeiten, die aber immer an die individuellen Bedürfnisse und Gewohnheiten der Menschen angepasst werden müssen. Auf die Thematik der Speicherung wird deshalb in dieser Arbeit nicht weiter eingegangen.

Ebenso wird die Wasserkraft in der Analyse nicht weiter berücksichtigt. Die in dieser Arbeit umgesetzte Analyse ist flächendeckend für ganz Österreich und Kleinwasserkraftwerke sind immer auf das Vorhandensein von geeigneten Fließgewässern beschränkt. Hinzu kommt, dass Solar- und Windkraftanlagen auch auf mobile Wohnlösungen wie autarke Wohnwägen montiert werden können, bei Kleinwasserkraftanlagen ist dies nicht möglich.

2.2 Heizung und Kühlung

Solarthermie erlaubt es, Sonnenenergie in Form von Wärme für Wohngebäude nutzbar zu machen. Sie beruht auf der Umwandlung von Solarstrahlung in thermische Energie. Die mittels Solarkollektoren erzeugte thermische Energie wird über Wärmeleitungen an ein zirkulierendes Wärmeträgermedium, welches bei Durchströmen des Kollektors erhitzt und

danach einem Speicher zugeführt wird. So steht Warmwasser auch zu Zeiten zur Verfügung, in denen keine Solarstrahlung vorhanden ist.

Diese Art, Wärme zu gewinnen, ist geeignet für Einfamilienhäuser oder im Falle von größeren Kollektorfeldern, für die Einspeisung in ein Nahwärme- oder Fernwärmenetz sowie für solare Prozesswärme und solare Kühlung. Die häufigste Anwendung liegt nach wie vor im privaten Bereich, mit typischen Kollektorflächen von 6 m² für Solaranlagen zur Warmwasserbereitung und 15 bis 20 m² für Kombianlagen (in Einfamilienwohnhäusern). Mit diesen Anlagen werden normalerweise 40 bis 80 % des jährlichen Warmwasserbedarfs gedeckt (E-GENIUS 2018b).

In den kälteren Monaten kann die fehlende Wärmeenergie beispielsweise mit einem (wassergeführten) Holzofen, der in den Solarthermie- oder Heiz-Kreislauf mit eingebunden wird, sehr gut ausgeglichen werden (WOHNWAGON 2020).

Eine weitere Technologie, die in der Stadtentwicklung vermehrt eingesetzt wird, ist die Dachbegrünung. Sie kombinieren die Ansprüche der Effizienz und der Umweltverträglichkeit bei relativ geringen Anschaffungs- und Instandhaltungskosten und werden bereits in vielen Städten und Gemeinden in Österreich, Deutschland und der Schweiz finanziell gefördert (ERLACH 2012, NITSCH 2017). Die *extensive Dachbegrünung* besteht dabei aus robuster und unkomplizierter Vegetation und braucht wenig Pflege, eine *intensive Dachbegrünung* ist meist ein eigentlicher Garten auf dem Dach und ist entsprechend pflegeintensiv (NITSCH 2017). Eine Dachbegrünung bietet diverse Vorteile gegenüber herkömmlichen Dächern:

- Das Dach hat eine erhöhte Lebensdauer. *Starke Temperaturunterschiede, UV-Strahlung und Hagel werden von der Dachoberfläche ferngehalten* (ERLACH 2012) und die thermischen und mechanischen Belastungen des Daches so effektiv verringert.
- Kühleffekte der Dachbegrünung (ERLACH 2012):
 - Durch die Verringerung von Beton- und Steinflächen, welche in den Sommermonaten zur Aufheizung des Baukörpers beitragen, hat ein Gründach einen kühlenden Effekt und sorgt für angenehmere Temperaturen im Umfeld.
 - Das Raumklima der darunter liegenden Räume wird positiv beeinflusst. Besonders Einfamilienhäuser und flachere Bauten profitieren von diesem Umstand. Im Sommer hat ein Gründach eine kühlende Wirkung und im Winter fungiert es als Wärmedämmung. Beides resultiert in einer Senkung der Energiekosten.
 - Die Begrünung von Dächern bringt einen Vorteil bei der Aufstellung von PV-Anlagen. Solarmodule sind elektrische Bauteile, deren Leistung mit steigender Temperatur abnimmt, da der elektrische Widerstand steigt. In den Sommermonaten herrschen auf begrünten Flachdächern geringere Temperaturen als auf herkömmlichen Kies- und Blechdächern. Dies bewirkt laut einer dreijährigen Testreihe eine spürbare Ertragssteigerung von PV-Anlagen um ca. 4%.

- Durch die Photosynthese wird CO₂ gebunden und Sauerstoff produziert, was einen Beitrag zum Klimaschutz leistet.
- Durch den Wurzelbereich und die Bepflanzung auf Gründächern kann ein erhöhter Abbau von Schadstoffen sowohl aus Regenwasser als auch der Luft stattfinden, was die Wasser- und Luftqualität erhöht.

2.3 Wasser- & Nährstoffkreislauf

Die Wasserversorgung ist eine der grundlegendsten Eckpfeiler des menschlichen Daseins und somit ein wichtiger Aspekt bei der Etablierung von autarkem Wohnraum. Hier gibt es bereits Lösungen, die effizienter und ressourcenschonender sind als bei Durchschnittshaushalten, welche an das öffentliche Wassernetz angeschlossen sind. Im Folgenden soll ein Überblick über diese Technologien gegeben werden.

Das klassische Wasserversorgungssystem in den industrialisierten Ländern besteht aus einer zentralen Wasserversorgung, Schwemmkanalisation und zentraler Kläranlage. Dieses System *widerspricht in vielerlei Hinsicht den Ansprüchen der Nachhaltigkeit und weist Nachteile ökologischer und ökonomischer Natur auf. Die Verwendung von Trinkwasser zum Wegspülen von Fäkalien ist als Verschwendung der natürlichen Wasserressourcen einer Region zu bewerten* (Wilderer, Paris 2001). Heutzutage sind in Österreich und der Schweiz ca. 96%, in Deutschland 98% aller Haushalte direkt oder indirekt über eine Schwemmkanalisation an eine zentrale Kläranlage angeschlossen. Bei der Benutzung konventioneller Spültoiletten wird mit jeder Spülung der Nährstoffkreislauf der Natur mit dem Wasserkreislauf vermischt (BERGER 2015).

Abbildung 3 zeigt die alte Wirtschaftsweise, in der Nährstoff- und Wasserkreislauf voneinander getrennt sind. Der Nährstoffkreislauf ist dort ein theoretisch abgeschlossenes System, welches vom Acker Nährstoffe in die Kulturpflanzen, und von diesen zum Menschen liefern. Die Ausscheidungen von Menschen kommen schließlich wieder in Form von Jauche und Exkrementen auf die Felder zurück; der Kreislauf kann von neuem beginnen. Der Wasserkreislauf ist ebenfalls ein geschlossenes System und folgt den natürlichen Abläufen von Regen, Versickerung, Abfluss in Flüsse und Seen, sowie anschließender Verdunstung und erneutem Abregnen. Durch diese Trennung kommt es weder zu Nährstoffverlusten noch zu Wasserverschmutzung.

Abbildung 4 zeigt dagegen den heutigen Kreislauf, einhergehend mit hohem Wasserverbrauch und großen Nährstoffverlusten. Dies ist der Vermischung der Stoffkreisläufe geschuldet. Sowohl Regenwasser als auch alle anderen häuslichen und industriellen Abwässer werden in die Schwemmkanalisation geleitet und miteinander vermischt. In zentralen, hochentwickelten Kläranlagen werden die vermischten Abwasserströme in aufwendigen Verfahren wieder getrennt. Dies geschieht jedoch nicht immer vollständig, und vielerorts sind Gewässer mit Nährstoffen, Krankheitserregern und Schadstoffen aus Kläranlagenabwasser belastet (BERGER 2015). Neben aufbereitetem

Wasser, welches wieder in Flüsse und Seen geleitet wird, fällt in Kläranlagen außerdem Klärschlamm an. Dieser wird teilweise wieder zu Dünger verarbeitet und auf Wiesen und Äcker zurückgeführt, wodurch die Nährstoffe wieder in Boden und Kulturpflanzen gelangen können und wiederum zurück zum Menschen, wodurch der Kreislauf geschlossen wird. Klärschlamm wird aber auch häufig verbrannt, wodurch die enthaltenen Nährstoffe verloren gehen und nicht mehr in den Kreislauf zurückgeführt werden. Langfristig betrachtet führt dies zu einer irreversiblen Degradation der Böden und Ackerflächen.

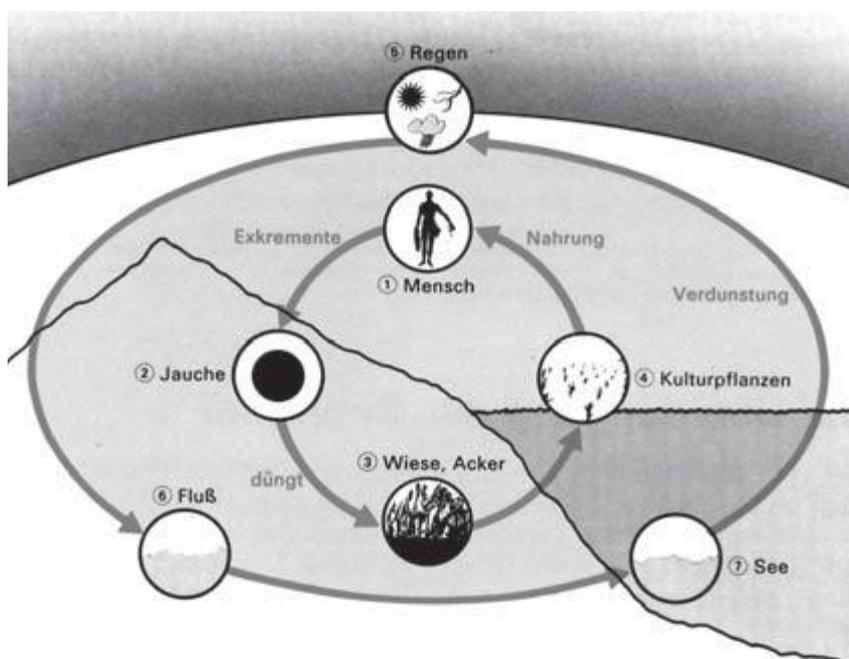


Abbildung 3: Alter Kreislauf: Trennung von Nährstoff- und Wasserkreislauf (KLÖTZLI 1980)

Kunstdüngerherstellung benutzt werden, aber in einem Zeitraum von wenigen Jahrzehnten verbraucht sein könnten (LANGE, OTTERPOHL 1997). Die herkömmliche Abwasserentsorgung hat anerkannte Vorteile, wie etwa die Vermeidung fäkalienbezogener Krankheiten, das Abführen von Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten bei Regenereignissen, die kostengünstige Ver- und Entsorgungstechnik des Abwassersystems, eine effiziente Überwachung und klar geregelte Zuständigkeiten. Doch sie bringt auch viele Nachteile mit sich, wie in nachfolgender Tabelle 1 dargestellt:

Tabelle 1: Nachteile der heutigen Abwasserentsorgung durch Schwemmkanalisation mit zentraler Kläranlage (nach WILDERER, PARIS 2001)

Problematik	Erläuterung
Vermischung aller Abwässer	Gemeinsame Ableitung der verschiedenen Abwässer in die Kanalisation und Behandlung in einer zentralen Kläranlage
Hoher Wasserverbrauch	Verwendung großer Mengen an Wasser als Transportmittel für Abfälle
Belastung der Oberflächengewässer mit problematischen Schadstoffen	Chemikalien, Arzneimittelrückstände und endokrin wirksame Stoffe
Offenes Durchflusssystem	<ul style="list-style-type: none"> • Keine direkte Wiederverwendung des gereinigten Abwassers möglich • Beschränkte Möglichkeiten für eine Rückführung der im Abwasser enthaltenen Nährstoffe in den Stoffkreislauf
Risiken bei der Nutzung des Klärschlammes	Belastung der Klärschlämme mit Schwermetallen und anthropogenen, organischen Schadstoffen
Hohe Kosten für Transport und Behandlung	<ul style="list-style-type: none"> • Unterhaltung und Sanierung der Kanalisation • Erweiterung der Kläranlagen zur Nährstoffelimination • Belüftung bei der aeroben Behandlung des Abwassers
Inflexibilität des Systems	Umplanungen und Umbauten nur begrenzt möglich

In einem Haushalt fallen diverse Abwasserteilströme an, die sich hinsichtlich Stoffkonzentration und Gefährdungspotenzial voneinander unterscheiden. Diese werden in Abbildung 5 grafisch dargestellt.

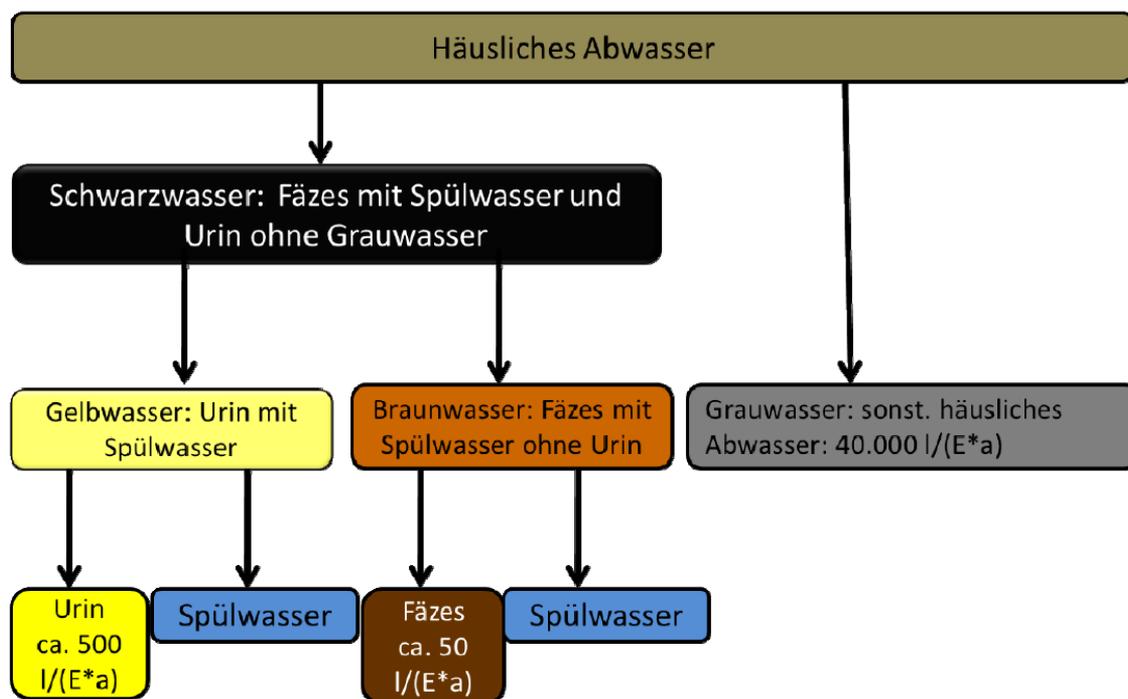


Abbildung 5: Grundprinzip der Stoffstromtrennung (DWA 2008)

Häusliches Abwasser lässt sich also in Schwarzwasser und Grauwasser aufteilen. Das Schwarzwasser kann noch weiter unterschieden werden in Gelbwasser (bestehend aus Urin und Spülwasser), sowie Braunwasser (bestehend aus Fäkalien und Spülwasser). Nachfolgende Tabelle 2 gibt eine Übersicht über diese Teilströme:

Tabelle 2: Abwasserteilströme des häuslichen Abwassers (nach OLDENBURG, OTTERPOHL 2001)

Teilstrom	Beschreibung
Schwarzwasser	Sanitärabwasser der Toiletten und Urinale (Fäkalien und Urin mit Spülwasser); nährstoffreich und schadstoffarm
Gelbwasser	Urin aus Urinseparationstoiletten und Urinalen, mit oder ohne Spülwasser
Braunwasser	Schwarzwasser ohne Urin beziehungsweise Gelbwasser
Grauwasser	Häusliches Abwasser aus Küche, Bad, Dusche, Waschmaschine usw. (ohne Fäkalien und Urin); nährstoffarm und schadstoffbelastet

In Österreich werden durchschnittlich jeden Tag etwa 130 Liter Wasser pro Kopf verbraucht. Ein Großteil dieses Wasserverbrauchs ist dem hohen Lebensstandard in Österreich geschuldet. Es gibt kaum noch Einsparpotenzial, ohne diesen Standard zu senken.

Beispielsweise arbeiten Elektrogroßgeräte wie Waschmaschinen und Geschirrspüler wassersparender als die klassische Handwäsche, und die tägliche Körperpflege und Dusche ist ein gesellschaftlich etablierter Hygienestandard. Der größte tägliche Verbraucher ist mit 40 Litern die Toilettenspülung (ÖSTERREICHISCHE WASSERWERKE 2020b). Die häuslichen Abfälle werden durch den Einsatz von hochwertigem Trinkwasser abtransportiert. Diese Wasserentnahme aus den natürlichen Wasservorkommen belastet die ökologischen Verhältnisse in besiedelten Räumen und durch die Absenkung des Grundwasserspiegels kann es zu Versteppungserscheinungen kommen. Eine Alternative zur traditionellen Schwemmkanalisation könnten die sogenannten *neuartigen Sanitärsysteme (NASS)* (DWA 2008), auch *DESAR (Decentralised Sanitation and Reuse)* oder *EcoSan (Ecological Sanitation)* genannt, darstellen. Diese Konzepte haben sich zum Ziel gesetzt, unter den Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit, Kosteneffizienz und Exporttauglichkeit anfallende kritische Stoffströme getrennt zu erfassen und nahe dem Anfallort aufzubereiten (Wilderer, Paris 2001). Dabei wird auf eine holistische (Ab-)Wasserbewirtschaftung gesetzt: vom Trinkwasserverbrauch über die Aufbereitung der Teilströme und ihrer weiteren Nutzung bis zur Rückgewinnung nutzbarer Abwasserinhaltsstoffe. Praktische Maßnahmen zu einer nachhaltigen Wasserwirtschaft umfassen folgende Punkte (WILDERER, PARIS 2001):

- Senkung des Trinkwasserverbrauchs: Dies kann entweder direkt erfolgen durch Änderung des Konsumverhaltens, beziehungsweise technischen Sparmaßnahmen, oder indirekt durch das Ersetzen von Trinkwasser durch Regenwasser oder aufbereitetem Grauwasser für Toilettenspülung, Waschmaschine, Garten, etc. Lediglich 3 Liter des verbrauchten Wassers pro Person pro Tag werden zum Trinken und für die Essenzubereitung eingesetzt. Allein die Toilettenspülung, die Gartenbewässerung und die Waschmaschine machen über die Hälfte des häuslichen Wasserverbrauchs aus. Diese können sehr gut durch Regenwasser oder aufbereitetes Grauwasser ersetzt werden, da hier keine Trinkwasserqualität erforderlich ist und dieses zudem noch weniger kalkhaltig ist als herkömmliches Leitungswasser (IG RESSOURCE WASSER 2020a).
- Teilung der Stoffströme im Haushalt: Die Abwasserströme werden bereits im häuslichen Bereich durch den Einsatz spezieller Sanitäreinrichtungen wie Vakuumtoiletten oder Trockentrenntoiletten (TTC) getrennt. Diese Teilstrombehandlung sollte energieeffizient gestaltet sein, sowie auf die Erzeugung verwertbarer Rückstände und deren Rückführung in die Landwirtschaft setzen.
- Erschließung der Kreisläufe: Die stoffliche Verwertung basiert auf der Rückführung der Nährstoffe aus häuslichen Abwässern in den natürlichen Stoffkreislauf. Nährstoffe wie P, N oder K sollten nicht über das Kanalsystem abtransportiert werden, sondern stattdessen wieder als Dünger auf Ackerflächen ausgetragen werden. Durch die Teilstrombehandlung von Schwarz-, Braun- oder Gelbwasser können verwertbare Reststoffe erzeugt werden und so die Nährstoffe, die mit den Lebensmitteln von der Landwirtschaft kommen, wieder auf den Acker zurückgebracht werden. Somit schließt sich der Nährstoffkreislauf.
- Vermeidung von Nährstoffeinträgen in Oberflächengewässer: Die Nährstoff- und Wasserkreisläufe werden getrennt voneinander behandelt, und die

abwasserspezifischen Stoffe auf die Umweltkompartimente Wasser und Boden verteilt.

- Verminderung des in der konventionellen Abwasserbehandlung entstandenen Energieaufwands: Durch den Einsatz von NASS entstehen stofflich konzentrierte Abwässer, also geringere Abwassermengen, zu deren Transport kleinere maschinelle Einheiten, Kanäle und Reaktoren gebraucht werden.
- Ökonomische Regenwasserbewirtschaftung
- Sensibilisierung der Bevölkerung

Die Einsatzmöglichkeiten des DESAR/EcoSan-Konzepts sind hauptsächlich (WILDERER, PARIS 2001):

- Ländlich strukturierte Gebiete
- Lagen mit technisch extremen Randbedingungen, wie zum Beispiel für den mobilen Einsatz oder bei Objekten in alpinen Extremlagen.
- Siedlungen in ariden Gebieten, wo Wasser eine knappe Ressource ist.
- Stadtrandgebiete, in denen die ursprüngliche Struktur mit Wald, Feldern und kleinen Ortsteilen erhalten bleiben soll.
- Schnell wachsende Städte oder Mega-Cities, wie zum Beispiel in Südamerika oder Asien, wo eine flächendeckende Kanalisation in kurzer Zeit nicht realisierbar ist.

In Deutschland, Österreich und der Schweiz gibt es bereits zahlreiche Projekte, die die Konzepte von NASS, beziehungsweise DESAR/EcoSan in verschiedenen Maßstäben umgesetzt haben (DWA 2010).

Die ökologisch sinnvollste und einfachste Methode zum Fäkalienmanagement ist das Nachkompostieren der Abscheidungen, die in Trockentrenntoiletten anfallen. Bei TTC gibt es zusätzlich eine Urinseparation, bei der anfallender Urin separat gesammelt und ebenfalls zu Dünger weiterverarbeitet wird (Wilderer, Paris 2001). Bei der Kompostierung von Fäkalien (auch *Rotte* genannt) werden die organischen Bestandteile unter Sauerstoffzufuhr (=aerob) durch Mikroorganismen und Kleinlebewesen zersetzt. Bei diesem Vorgang wird die Biomasse wieder in ihre Einzelbestandteile zerlegt und steht damit erneut höheren Pflanzen als Nährstoff zur Verfügung. Durch diese Kompostierung ist ein weitestgehendes Recycling der im Abwasser vorhandenen Nährstoffe möglich (STABEN 2008). Um eine vollständige Hygienisierung des erzeugten Kompostes zu erreichen, muss das Nachkompostieren korrekt ausgeführt und überwacht werden. Der Kompostprozess muss lange genug andauern, um etwaige Krankheitserreger abzutöten (in der Regel mindestens 9 Monate) (vgl. STARKL et al. 2005).

Hier ist das ökologische Einsparpotential bei autarken Lösungen folglich enorm. Jeder Erwachsene produziert pro Tag in etwa 100-200 g Kot und bis zu 1,5 l Urin. In der Jahressumme reicht der Nährstoffgehalt dieser Ausscheidungen aus, um ca. 200 kg Getreide zu erzeugen. Viele Hochkulturen des Altertums haben dieses Potenzial genutzt, um Nahrungsmittel zu erzeugen und die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten. Heutzutage gibt es aufgrund der seuchenhygienischen Wirkung der Kompostierung zum Schutz vor Epidemien Regeln und Grenzwerte (Berger 2015).

Die dezentrale Behandlung von Grauwasser findet weltweit immer größere Beachtung. Nach einer Vorklärung kann Grauwasser unter geringem Energieaufwand in aeroben technischen oder naturnahen Anlagen behandelt werden. Abschließend wird eine Desinfizierung des gereinigten Grauwassers empfohlen. Die gute Qualität des so gereinigten Grauwassers ermöglicht seine direkte Wiederverwendung im Haushalt als Brauchwasser (WILDERER, PARIS 2001). Der Betrieb von Pflanzenbeeten stellt die kostengünstigste Lösung zur Grauwasseraufbereitung dar (STABEN 2008).

Die ersten dieser modernen Pflanzenkläranlagen (PKA) wurden in den 1950er und 1960er Jahren entwickelt, diese bestanden aus mehreren kaskadenartig aufgebauten Kiesbecken mit Sumpfpflanzen, welche vom Abwasser durchflossen wurden. Diese Technologie der „Constructed Wetlands“ wurde seither weiterentwickelt, intensiv erforscht und weltweit erprobt, sodass sie im Hinblick auf Prozessstabilität, Reinigungsleistung und Wintersicherheit heute ebenso anerkannt ist wie die technischen Verfahren. PKA haben den Vorteil, dass sie ressourcenschonend mit gängigen Materialien gebaut werden können, die Wartung wenig aufwendig ist und sie kaum Strom benötigen. Der Nachteil ist der große Platzbedarf, und bautechnische Einschränkungen in steilem Gelände. PKA reinigen das Abwasser in ähnlicher Weise wie technische Großkläranlagen, mit dem Unterschied, dass sie eine natürlichere, extensive Variante mit größerem Flächenbedarf darstellen, wohingegen eine technische Abwasserbehandlungsanlage (ARA) unter hohem technischem und Energieaufwand dasselbe platzsparend bewerkstelligt (BALLY, BITTNER 2009). Die Forschungsarbeit von ZEHNSDORF et al. (2016) konnte bestätigen, dass die Grauwasserbehandlung mithilfe von Sumpfpflanzenmatten auf Gebäudedächern erfolgen kann. Unter Praxisbedingungen wurde hierbei gezeigt, dass eine Sumpfpflanzenmatte für die Behandlung von typischem Grauwasser eines Wohnhauses geeignet ist. Wie bereits im Abschnitt Heizung und Kühlung erläutert wurde, wirkt sich dieses Vorgehen neben der Wasserbehandlung auch positiv auf die Gebäudeklimatisierung aus (ZEHNSDORF et al. 2016). Pflanzenkläranlagen bieten eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten zur Reinigung häuslicher, kommunaler oder industrieller Abwässer und erfreuen sich wachsender Beliebtheit, besonders in ländlichen Gegenden, wo noch wenig oder gar keine Abwasserinfrastruktur besteht (BALLY, BITTNER 2009).

Durch den Einsatz von Pflanzenkläranlagen können häusliche Abwässer hin zu Badewasserqualität aufbereitet und dann wieder in allen Bereichen des Haushaltes eingesetzt werden, ausgenommen Wasser, das zum Trinken und Kochen bestimmt ist (BALLY, BITTNER 2009). Grundwasser kann je nach Herkunft und Lagerung direkt als Trinkwasser verwendet werden oder mit einfachen Mitteln aufbereitet werden. Zur Aufbereitung zu Trinkwasserqualität müssen noch weitere Schritte erfolgen, was aber durch den technologischen Fortschritt in diesem Gebiet mittlerweile auch für einzelne Haushalte mit relativ geringem Aufwand zu bewerkstelligen ist. Zur Wasseraufbereitung gibt es je nach Ausgangslage verschiedene mehr oder minder geeignete Verfahren, einige davon lassen sich jedoch nur in einem größeren Maßstab umsetzen, da sie viel Platz benötigen. Bewährt haben sich in den letzten Jahrzehnten die sogenannten Membranverfahren, die das Wasser durch Membranen mit unterschiedlicher Porengröße filtern. Für das Recycling von Abwasser ist die sogenannte Umkehrosmose besonders geeignet. Im Handel werden

mittlerweile eine Vielzahl von Kleinanlagen angeboten, welche für die Wasseraufbereitung von einzelnen Haushalten konzipiert sind. Dabei handelt es sich meistens um Geräte zur Enthärtung, Ultrafiltration, Destillation, Entsäuerung und UV-Bestrahlung. Im Verkauf sind auch kombinierte Anlagen von Aktivkohle und Mikrofiltration, Verfahren nach dem Prinzip der Umkehrosmose sowie verschiedenste alternative Aufbereitungseinheiten. Diese werden entweder direkt an einen Wasserhahn angeschlossen oder vor einen Wassertank geschaltet, aus dem dann ein oder mehrere Haushalt(e) ihr Trinkwasser beziehen (VON GUNTEN 2009).

2.4 Rechtliche Aspekte im Vergleich

In diesem Abschnitt soll ein vergleichender Überblick über die gesetzlichen Bedingungen bei den eingangs beschriebenen Themenbereichen in den deutschsprachigen Ländern Österreich, Deutschland und der Schweiz gegeben werden, die bei der Planung von autarken Wohnbauten eine Rolle spielen.

Photovoltaikanlagen und Solarthermie

Österreich

Im Normalfall ist es in Österreich kein Problem, als Privatperson eine PV-Anlage in Betrieb zu nehmen, solange deren Aufstellung nicht in Konflikt mit (lokalen) baurechtlichen Auflagen wie etwa dem Denkmalschutz stehen. Bei der Befestigung auf oder an statisch relevanter Bausubstanz muss eventuell eine entsprechende Gewerbeberechtigung eingeholt werden (PHOTOVOLTAIC AUSTRIA 2020). Die österreichische Bundesregierung fördert den *Einsatz von klimaschonenden und umweltfreundlichen Stromerzeugungsanlagen* und es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Optionen, staatliche Förderungen zu beziehen. Dies gilt allerdings nur für den Betrieb der Anlage im Netzparallelbetrieb (KLIMA- UND ENERGIEFONDS 2020a). Für den in das öffentliche Netz eingespeisten Strom kann bei der *Abwicklungsstelle für Ökostrom AG (OeMAG)* eine Einspeisevergütung beantragt werden (OEMAG 2020a). Ab 2021 werden auch regionale und überregionale Energiegemeinschaften gefördert, welche lokal oder auch überregional finanzierten Strom aus erneuerbaren Energien erzeugen und diesen in ihrer Gemeinschaft nutzen (GRASEL 2020). Autarke Wohnanlagen, die vom öffentlichen Stromnetz getrennt sind, sind bisher von der staatlichen Förderung ausgeschlossen.

Bei der Aufstellung von Solarkollektoren für Anwendungen der Solarthermie gelten die gleichen Auflagen wie für PV-Anlagen. Gefördert werden solche Anlagen, die überwiegend zum Privatgebrauch errichtet werden. Die Baubewilligung für das entsprechende Gebäude muss dabei vor dem Jahr 2006 erteilt worden sein. Förderungsfähige Anlagen müssen von einer befugten Fachkraft installiert werden, und des Weiteren einige Vorgaben zu

Mindestgröße, Mindestlaufzeit, Gütesiegel und Garantie erfüllen (KLIMA- UND ENERGIEFONDS 2020b).

Deutschland

Bei Photovoltaikanlagen sind grundsätzlich Anlagen, die dem Baurecht entsprechen müssen. Dieses ist Ländersache und wird daher von den einzelnen Bundesländern individuell geregelt. Für die meisten PV-Anlagen, die auf Gebäudedächern installiert werden, ist keine Baugenehmigung erforderlich. Der/die Bauherr/-in ist dafür verantwortlich, dass die Anlage dem Baurecht entspricht. Für größere Anlagen (meistens ab 9 m Länge und 3 m Höhe), die auf freien Flächen aufgestellt werden, ist jedoch in den meisten Bundesländern eine Baugenehmigung nötig. Dies ist auch bei Gebäuden, die unter Denkmalschutz stehen der Fall. Die staatliche Förderung von PV-Anlagen ist durch das *Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)* geregelt. Das EEG dient der Förderung von regenerativen Energien. Dadurch soll die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern vermindert und die Technologieentwicklung gefördert werden (LÜTZELER 2018). Auf der Grundlage des EEG werden Netzbetreiber dazu verpflichtet, Strom aus erneuerbaren Energien bei einer Einspeisung in das Netz den konventionellen Energieträgern vorzuziehen. Die Erzeuger erhalten für den Strom eine Vergütung in Form eines über 20 Jahre festgelegten Vergütungssatzes, die im Grundsatz die Kosten decken soll (DEUTSCHE BUNDESREGIERUNG 2011). Die Konditionen für neue Solaranlagen werden dabei laufend an die Marktsituation angepasst (vgl. MÄRTEL 2020). Auch hier sind also PV-Anlagen, die nicht an das öffentliche Netz angeschlossen sind, von einer Förderung ausgeschlossen.

Die Anschaffung von Solarthermieanlagen wird vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) gefördert. Dazu müssen aber bestimmte Voraussetzungen erfüllt werden. Grundsätzlich werden nur solche Anlagen gefördert, die auf Bestandsgebäuden errichtet werden. Ausnahmen bilden große Kollektorflächen für innovative Projekte, wie z.B. Sonnenhäuser. Sowohl Privatpersonen als auch Vereine, Kommunen oder Zweckverbände können Fördermittel beantragen. Die Anlagen müssen dabei gewisse Anforderungen in Bezug auf ihre Bauart, Fläche und Dimensionierung erfüllen (LÜTZELER, SCHOMAKER 2018).

Schweiz

In der Schweiz wird die Errichtung von Solaranlagen durch das *Raumplanungsgesetz* und die *Raumplanungsverordnung* geregelt. Im Gegensatz zu den benachbarten Ländern werden Solaranlagen fast ausschließlich auf Gebäuden erstellt. Wegen diesem Umstand wurde das Gesetz entsprechend geändert, damit genügend angepasste Solaranlagen auf Dächern ohne Baubewilligung erstellt werden dürfen. Das Raumplanungsgesetz und die Raumplanungsverordnung beschreiben die Voraussetzungen, die Solaranlagen erfüllen müssen, um nur unter einer Meldepflicht gebaut werden zu dürfen. Anlagen, die eine der Voraussetzungen nicht erfüllen, bedürfen einer Baubewilligung. Dies gilt insbesondere für Anlagen auf Kultur- oder Naturdenkmälern von nationaler oder kantonaler Bedeutung, für

welche immer eine Baubewilligung vorhanden sein muss. Weiter muss die Gestaltung, Dimensionierung und Ästhetik den kantonalen Bauvorgaben entsprechen. Anders als beispielsweise in der deutschen Gesetzgebung wird der Funktionalität der Nutzung den ästhetischen Anliegen der Vorrang gegeben (SWISSOLAR 2015b).

In der Schweiz gibt es für erneuerbare Energien zum einen ein *kostenorientiertes Einspeisevergütungssystem (KEV)* für den erzeugten Strom, der den Produzenten einen Preis garantiert, der sich an den Produktionskosten orientiert (SUISSE EOLE 2020a). Zum anderen gibt es eine bundesweit geregelte Einmalvergütung für Photovoltaikanlagen. Die Einmalvergütung richtet sich dabei nach der Größe der Anlage (BUNDESAMT FÜR ENERGIE 2019). In den Kantonen Thurgau und Waadt werden außerdem Batteriespeicher gefördert (SWISSOLAR 2015a). Die meisten Kantone bieten steuerliche Vergünstigungen für erneuerbare Energien wie Photovoltaik (SWISSOLAR o.J.).

Windkraft

Österreich

Die gesetzlichen Auflagen für die Errichtung von Kleinwindkraftanlagen werden in Österreich von den einzelnen Bundesländern selbstständig geregelt. Die erste Instanz bei einem Genehmigungsverfahren ist dabei immer der/die Bürgermeister/-in der jeweiligen Kommune, in der die Anlage aufgestellt werden soll (vgl. INTERESSENGEMEINSCHAFT WINDKRAFT ÖSTERREICH o.J.). Windkraftanlagen können in Österreich durch eine Einspeisevergütung gefördert werden, sofern die Anlage von der OeMAG als Ökostromanlage anerkannt wird (OEMAG 2020b).

Deutschland

In Deutschland gibt es für die Genehmigung von kleinen Windkraftanlagen keine einheitliche Regelung auf Bundesebene. Maßgeblich sind die jeweiligen Landesbauordnungen der Bundesländer. Neben diesen baurechtlichen Belangen sind je nach Standort noch weitere Gesetze von Bedeutung, wie etwa das Naturschutzgesetz oder der Denkmalschutz (JÜTTEMANN o.J.-a).

Weiters fasst JÜTTEMANN (o.J.-a) fasst die rechtliche Situation bezüglich der Genehmigungen von Windrädern wie folgt zusammen:

Für die Genehmigung von Windkraftanlagen ist vor allem die Höhe der Anlage das maßgebliche Kriterium. Eine wichtige Schwelle liegt bei 50 m Gesamthöhe, damit ist der Punkt der höchsten Flügelspitze gemeint. Windanlagen über 50 m sind Großwindkraftanlagen, das Genehmigungsverfahren richtet sich nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz. Die Großanlagen dürfen nur auf ausgewiesene Vorrangflächen fernab der Siedlungen aufgebaut werden.

Kleinwindkraftanlagen haben eine Höhe unter 50 m und werden in der Nähe des Betreibers aufgestellt, um diesen mit Strom zu versorgen.

Ferner ist die Höhe von 30 m relevant. Je nach Landesbauordnung werden Windanlagen über 30 m Gesamthöhe als Sonderbauten eingestuft. Damit steigen die Anforderungen für die Baugenehmigung. In der Praxis sind die allermeisten Kleinwindanlagen in Deutschland kleiner als 30 m. Der mögliche Maximalwert von 50 m wird deutlich unterschritten.

Kleinwindanlagen über 10 Meter Höhe sind in allen Bundesländern genehmigungspflichtig. Für Kleinstanlagen unter 10 m Höhe wird in vielen Ländern auf eine Genehmigung verzichtet.

Strom aus Windkraft wird, wie auch bei PV-Anlagen, nach dem EEG in Form eines über 20 Jahre fixen Einspeisetarifs vergütet (JÜTTEMANN o.J.-b).

Schweiz

Wie bei der Photovoltaik auch, werden die gesetzlichen Rahmenbedingungen durch das *Raumplanungsgesetz* und die *Raumplanungsverordnung* vorgeben. Für die Windkraft wurde dafür das Konzept Windenergie erarbeitet (BUNDESAMT FÜR RAUMENTWICKLUNG 2020). Dieses definiert die bundesweiten Rahmenbedingungen für Windenergie, welche dann von den einzelnen Kantonen in deren jeweiligen kantonalen Raumentwicklungsplanungen, den sogenannten *Richtplanungen*, umgesetzt werden. Dort wird durch die Kantone entschieden, in welchen Gebieten diese Anlagen gebaut werden dürfen und wo nicht. Die Gemeinden der Region vor Ort sind weiters für die Nutzungsplanung und die Baubewilligung zuständig. Dort werden die Anforderungen an die Anlagen definiert und bestimmt, ob eine Windkraftanlage gebaut werden darf (SUISSE EOLE 2020b, SUISSE EOLE 2020c). Große Windkraftanlagen (In der Regel ab einer Gesamthöhe von 30 m definiert) unterliegen einer gesetzlichen Planungspflicht. Für eine Bewilligung bedarf es zusätzlich einer Umweltverträglichkeitsprüfung (SUISSE EOLE 2020b).

Für Windkraftanlagen besteht bei einem Anschluss an das öffentliche Stromnetz die Möglichkeit der Förderung durch das KEV. Die Vergütungstarife werden anhand von Referenzanlagen pro Technologie und Leistungsklasse festgelegt, die Vergütungsdauer ist unterschiedlich und wird mit den Tarifen regelmäßig angepasst (SUISSE EOLE 2020a).

Verwertung von Ausscheidungen

In EU-Gesetzen wird auf getrennt anfallende Abwasserfraktionen nicht gesondert eingegangen. Es wird auf die Nutzwirkung von Klärschlämmen für die Landwirtschaft hingewiesen, jedoch müssen diese Schlämme vor einer Ausbringung behandelt werden. Für Schlämme aus kleinen Anlagen, die lediglich haushaltsübliches Abwasser behandeln, gibt

es jedoch reduzierte Verpflichtungen bezüglich Information und Analysen, da diese ein geringeres Risiko darstellen (STARKL et al. 2005).

Österreich

In Österreich werden die Zulassung und das Inverkehrbringen von Düngern und deren Ausgangsstoffen durch das *Düngemittelgesetz* und die *Düngemittelverordnung* geregelt. Da menschliche Fäkalien ähnlich wie in Deutschland bisher nicht als Ausgangsstoff für Dünger zugelassen sind, gibt es auch keine Dünger aus anthropogenen Ausgangsstoffen (HARLOW 2019). Die Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft wird von den Bundesländern eigenständig über die jeweiligen Landesgesetze geregelt. Allerdings gibt es keine gesetzlichen Regelungen, die speziell die Behandlung von getrennt gesammelten Fäkalien, beziehungsweise die landwirtschaftliche Nutzung von aus diesen Fäkalien hergestellten Produkten wie Gärresten und Komposten betreffen. Die menschlichen Abwasserfraktionen können als Abfälle definiert werden, da sie definitionsgemäß „Dinge“ sind, derer sich der Mensch entledigen will, beziehungsweise entledigt hat. In der den Abfall betreffenden Gesetzesmaterie finden sich ebenfalls keine verbindlichen Vorgaben für getrennt gesammelte Fäkalien, da diese Abwasserfraktionen dort nicht erwähnt werden. Kompostanlagen für Fäkalien von Gemeinden stellen eine Verwertungsanlage dar, und da Fäkalien Abfall sind, unterliegen diese dem *Abfallwirtschaftsgesetz*.

Die Kompostverordnung (...) regelt die Qualitätsanforderungen für Komposte aus Abfällen, die Art und Herkunft der Ausgangsmaterialien, die Kennzeichnung, das Inverkehrbringen und auch das Ende der Abfalleigenschaft von Komposten aus Abfällen (STARKL et al. 2005).

Hergestellter Kompost darf nur dann als Produkt in Verkehr gebracht werden, wenn nach der Kompostverordnung kompostiert wurde. Da Fäkalien nicht auf der Liste der erlaubten Ausgangsstoffe aufgeführt sind, dürfen daraus auch keine gewerblichen Komposte hergestellt werden. Anlagen, die Kompost nach der Kompostverordnung produzieren, dürfen demnach keine Fäkalien verwerten, da dies als Abfallbeseitigung einzustufen ist und die Herstellung von Düngemitteln aus Abfällen nicht zugelassen ist. Werden Fäkalien allerdings direkt in eine Kläranlage eingebracht, entspricht dies dem „üblichen“ Input, der Output bleibt Klärschlamm und kann gemäß der Kompostverordnung zu Klärschlammkompost verarbeitet werden (STARKL et al. 2005).

Somit bleibt Privatpersonen nur die Möglichkeit, die produzierten Abwässer durch einen Kanalanschluss der Schwemmkanalisation zuzuführen, die Abfälle in eine Kläranlage einzubringen, sie als Restmüll zu behandeln oder diese auf dem eigenen Grundstück zu versickern, zu klären oder zu kompostieren und den daraus entstehenden Humus im eigenen Garten wieder zu verwenden. In Österreich haben alle Bundesländer ihre eigenen Regelungen zur Kanalanschlusspflicht, grundsätzlich müssen aber alle Gebäude, bei denen einschlägige Abwasserströme anfallen und ein Anschluss möglich ist, an das öffentliche Kanalnetz angeschlossen werden. Ausschlaggebend dafür, ob ein Anschluss als möglich oder nicht möglich betrachtet wird, ist meist primär die Entfernung zum bestehenden

Kanalnetz und die Kosten, die ein Anschluss in Relation zu den Kosten des Hausbaus verursacht (ÖSTERREICHISCHE BUNDESREGIERUNG 2020).

Deutschland

Bei der Kompostierung von menschlichen Fäkalien müssen in Deutschland folgende Gesetze und Verordnungen berücksichtigt werden (MEIXNER 2020):

- *Bundeskleingartengesetz (BKleingG);*
- *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BBodSchG); Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV);*
- *Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-AbfG); Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (BioAbfV); Abfallgesetz des Landes xx (AbfG xx); Klärschlammverordnung (AbfKlärV); Technische Anleitung Siedlungsabfall (TASi);*
- *Düngemittelgesetz (DüngeMG); Düngeverordnung (DüngeVO);*
- *Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes (WHG); Wassergesetz für das Land xx (WG xx);*
- *Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen (IfSG);*
- *Bauordnung des Landes xx (BauO xx)*

Verbraucher können heutzutage Kompost zum Teil als Blumenerde für den Garten kaufen, doch die gewerbliche Düngererzeugung aus menschlichen Fäkalien für die Lebensmittelerzeugung ist von der *Bioabfallverordnung* und *Düngeverordnung* in Deutschland (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2017b, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2017a) ausgeschlossen. Behandlungsanlagen zur Dünger-/Komposterzeugung dürfen nur Stoffe annehmen, die in der Düngeverordnung als Ausgangsstoffe zugelassen sind.

Privathaushalte oder kleinere Betrieben unterliegen prinzipiell der Anschlusspflicht an das kommunale Abwassernetz. Diese Anschlusspflicht kann bei der Erfüllung bestimmter Voraussetzungen aufgehoben werden. Die Bedingungen hierfür sind nicht eindeutig geregelt und werden in den einzelnen Kommunen unterschiedlich gehandhabt. Es kann von Vorteil sein, handelsübliche Kompost- oder Trenntoiletten zu verwenden, die bereits andersorts zugelassen sind. Eigenbauten müssen einer speziellen Überprüfung unterzogen werden. Besonders wichtig ist dabei, dass die Ausscheidungen in keinem Fall mit dem Grundwasser in Kontakt kommen dürfen. Zudem muss gewährleistet sein, dass keine Krankheitserreger auf Mensch und Umwelt übertragen werden können (MEIXNER 2020).

Schweiz

In der Schweiz wurde 2018 der weltweit erste Dünger aus menschlichem Urin zugelassen (BUNDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT 2018). Die gesetzlichen Grundlagen bilden dabei die *Dünger-Verordnung*, *Chemikalien-Verordnung* und die *Chemikalien-Risikoreduktionsverordnung*. Im Gegensatz zu Österreich und Deutschland existiert keine Liste über zugelassene Ausgangsstoffe für Dünger. Durch die Möglichkeit der Bewilligungsgesuche gibt es den rechtlichen Rahmen, neuartige Ausgangsstoffe für die Düngerherstellung, wie etwa Urin oder auch Fäkalien, nach einer Prüfung zulassen zu können. Dabei müssen je nach Anwendung und Düngertyp verschiedene Anforderungen an die Düngerqualität erfüllt werden. Bei einem Bewilligungsverfahren wird geprüft, ob ein Dünger geeignet erscheint und sichergestellt, dass dadurch keine Gefahr für Mensch und Umwelt besteht (HARLOW 2019).

Es besteht in der Schweizer Gesetzgebung eine Anschlusspflicht von Gebäuden an das öffentliche Kanalnetz der Gemeinden, solange der zu erwartende Aufwand und die Kosten *zweckmäßig* und *zumutbar* ist (AMT FÜR WASSER UND ABFALL 2014).

Grundsätzlich braucht man zum Betreiben einer Komposttoilette keine Bewilligung, jedoch müssen die Ausscheidungen fachgerecht entsorgt beziehungsweise verwertet werden. Wenn größere Mengen anfallen, als auf dem eigenen Grundstück ausgebracht oder legal abgeleitet werden können, muss ein Verwertungskonzept erstellt werden. Dies kann beispielsweise ein Abnahmevertrag mit einem Landwirt sein, sollte aber in jedem Fall mit den zuständigen Behörden abgeklärt werden (ECOVIA o.J.).

Dachbegrünungen

Österreich

Es gibt in Österreich eine Reihe von Fördermöglichkeiten und Vorgaben zur Umsetzung von Dachbegrünungen. Die Grundlage ist dabei immer die jeweilige Landesgesetzgebung. Die örtliche Umsetzung ist den einzelnen Gemeinden selbst überlassen. Im Allgemeinen wird die Gebäudebegrünung in Österreich stetig weiter etabliert, und ist in viele fachliche Konzepte mit unterschiedlichem örtlichen Bezug eingebettet (GRÜNSTATTGRAU 2020):

- Biodiversitätsstrategie 2020+ Ministerium für ein Lebenswertes Österreich
- Bioökonomie. Eine Strategie für Österreich BMK
- Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel BMK
- #mission 2030 Austrian Climate and Energy Strategy BMK
- Energy Strategy Austria BMK
- EMAS Umwelterklärung 2019 BMK
- Stadtentwicklungsplan STEP 2025, Fachkonzept Grün- und Freiraum der Stadt Wien
- Urban Heat Island Strategieplan UHI-STRAT der Stadt Wien

Die Umsetzung von Dachbegrünungen kann österreichweit als Teil der Wohnbauförderung gefördert werden, oder auch durch direkte Förderprogramme der einzelnen Städte und Gemeinden. Zudem gibt es für alle österreichischen Gemeinden Förderungen für die thermische Gebäudesanierung, worunter auch Dachbegrünungen fallen. Durch das Austrian Standards Institute (ASI) ist eine Norm für Dachbegrünung erlassen worden, welche für Dachbegrünungsprojekte standardisierte Mindestanforderungen vorgibt. Diese Vorgaben müssen für eine Förderung erfüllt sein. Ob für ein Projekt eine Baugenehmigung nötig ist, richtet sich nach den Vorgaben der Gemeinde und sollte im Vorfeld mit der örtlichen Baubehörde abgeklärt werden (GRÜNSTATTGRAU 2020).

Deutschland

In Deutschland gibt es eine Vielzahl an Fördermöglichkeiten für den Aufbau einer Dachbegrünung. Diese können in folgende Gruppen zusammengefasst werden (ANSEL o.J.):

- Direkte Zuschüsse für Dachbegrünung: Diese werden von den einzelnen Kommunen angeboten, vor allem in größeren Städten, vermehrt aber auch in kleineren Gemeinden.
- Reduzierte Niederschlagswassergebühren: In Deutschland wird bereits ein großer Teil aller Abwasserrechnungen nach dem gesplitteten Gebührenmaßstab erstellt. Die Trennung in Niederschlagswasser und Schmutzwassergebühren sorgt dabei für eine gerechtere Verteilung der Abwasserkosten. Parallel wird eine naturnahe Regenwasserbewirtschaftung gefördert. Die Grundlage für die Berechnung ist dabei die versiegelte Grundstücksfläche, da anfallende Niederschlagsmengen die städtischen Kanalsysteme und Kläranlagen zusätzlich belasten. Begrünte Dachflächen speichern dagegen einen Großteil der Niederschläge, sie werden deshalb als Entsiegelungsmaßnahme anerkannt und vielerorts entsprechend gefördert.
- Der Bund unterstützt Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs, zur Solarstromerzeugung und zur Verbesserung der Umweltsituation. *Die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)* vergibt zu diesem Zweck deutlich zinsverbilligte Darlehen und teilweise rückzahlungsfreie Zuschüsse. Dachbegrünung kann zur Instandhaltung und Sanierung von Altimmobilien dienen, hat wärmedämmende Eigenschaften und erhöht wie oben beschrieben den Wirkungsgrad von PV-Anlagen. Dadurch kommen Gründächer für eine Vielzahl von KfW-Förderungen in Frage.

Ob für ein Projekt eine Baugenehmigung nötig ist, richtet sich nach den Vorgaben der Gemeinde und sollte im Vorfeld mit der örtlichen Baubehörde abgeklärt werden. Carport-Begrünungen (Extensivbegrünungen) benötigen in der Regel keine Baugenehmigung, vielerorts sind sie sogar im Bebauungsplan vorgeschrieben. Genutzte Dachflächen (Intensivbegrünungen) sind hingegen genehmigungspflichtig (DACHBEGRÜNUNG-RATGEBER 2020).

Schweiz

In der Schweiz liegt der Fokus bei der Förderung von Dachbegrünungen vor allem auf Biodiversität und dem Erhalt seltener und bedrohter Pflanzen. Der Anspruch, dass bei Begrünungen stets der Naturschutz berücksichtigt werden muss, ist in den gesetzlichen Rahmenbedingungen verankert. Die Art und Umsetzungsweise der Begrünung muss dementsprechend gewählt und an die standortspezifischen Gegebenheiten und regionalen Gesetzeslagen angepasst werden. Begrünungsmaßnahmen müssen in der Regel behördlich genehmigt werden, bei nicht begehbaren Flachdächern sind extensive Begrünungen sogar gesetzlich verpflichtend. Dies kann bei der Notwendigkeit einer Umweltverträglichkeitsprüfung mit der Auflage verknüpft sein, eine *Umweltbaubegleitung (UBB)* einzusetzen. Diese kontrolliert die Umsetzung und Wirkung der Begrünungsmaßnahme während der Ausführung und nach dem Abschluss der Arbeiten (BOSSHARD et al. o.J.).

Dachbegrünungen werden von der *Schweizerischen Fachvereinigung Gebäudebegrünung (SFG)* finanziell gefördert, wenn diese die ökologischen und ökonomischen Qualitätsstandards der Richtlinien erfüllen. Dabei werden der Wasser- und Lufthaushalt (Speicherung und Abfluss von Niederschlagswasser) sowie die Vegetation (Artenvielfalt und Deckungsgrad) berücksichtigt (SCHWEIZERISCHE FACHVEREINIGUNG GEBÄUDEBEGRÜNUNG 2020).

Regenwassersammlung/Versickerung

Regenwassermanagement umfasst im Allgemeinen *sämtliche Maßnahmen, die einen möglichst nachhaltigen Umgang mit Niederschlag sicherstellen sollen*. Ziel dabei ist eine möglichst vollständige Rückgabe in den natürlichen Wasserkreislauf. Neben einem nachhaltigen Umgang mit dem Regenwasser selbst, bedeutet dies auch eine Verhinderung von Schäden und Überlastungen der Kanalisation durch übermäßig starke Niederschläge. In der Wasserrahmen-Richtlinie des Europarechts ist dieser Grundsatz verankert, und die Mitgliedsstaaten sind dazu *verpflichtet, entsprechende Maßnahmen zu ergreifen, die einen nachhaltigen Wassergebrauch fördern* (KROISS, WAITZ-VETTER VON DER LILIE 2011).

Österreich

Die rechtliche Situation in Österreich fassen KROISS UND WAITZ-VETTER VON DER LILIE (2011) zusammen:

Das österreichische Wasserrecht kennt viele unterschiedliche Einteilungen und Arten von Gewässern. Nach der Systematik des Wasserrechts sind öffentliche Gewässer Teil des öffentlichen Wassergutes, Grund- und Quellwasser gehören zu den Privatgewässern. Jede über den Gemeingebrauch hinausgehende Benutzung öffentlicher Gewässer, bei privaten Gewässern jede öffentliche Interessen oder fremde

Rechte berührende Benutzung bedürfen einer wasserrechtlichen Bewilligung.

Die Bewilligungspflicht von Regenwassermanagementmaßnahmen hängt in erster Linie von der Intensität der Einwirkung ab, insbesondere Verunreinigung und Verschmutzung. Liegt eine wesentliche Verunreinigung vor, ist eine Bewilligungspflicht gegeben, ansonsten nicht. In der Praxis bewerten die Behörden die Schwelle der Geringfügigkeit anhand von Sachverständigengutachten. Geringfügigkeit liegt dann vor, wenn die geplante Wasser(be)nutzung weder die Reinhaltung des Gewässers, noch Gesundheit von Mensch und Tier als auch den Gemeingebrauch (Waschen, Trinken, Baden..) des betroffenen Gewässers behindert (KROISS, WAITZ-VETTER VON DER LILIE 2011). Bei der Regenwassersammlung- und Versickerung im Garten ist dies demnach nicht der Fall. Regenwasser kann auch im Haushalt für alle Vorgänge genutzt werden, welche keine Trinkwasserqualität fordern. Wenn Regenwasser nach einer Nutzung im Haus in das Kanalnetz eingeleitet wird, ist dies dem Betreiber des Netzes anzuzeigen und eine Vereinbarung über das Entgelt für die Ableitung des Abwassers zu treffen. Die Regelungen sind regional sehr verschieden und es kann darüber keine generelle Aussage getroffen werden. Bei einer Regenwassernutzungsanlage mit Trinkwassernachspeisung ist eine strikte Trennung von Trink- und Regenwasser zu gewährleisten (IG RESSOURCE WASSER 2020a). Regenwassernutzungsanlagen werden unter Einhaltung gewisser Förderrichtlinien von den einzelnen Bundesländern gefördert. Das Ausmaß der Förderung wird dabei von jedem Bundesland individuell geregelt (IG RESSOURCE WASSER 2020b).

Deutschland

Auf Bundesebene lässt sich die Rechtslage nach KROISS UND WAITZ-VETTER VON DER LILIE (2011) zusammenfassen:

Gemäß (...) Wasserhaushaltsgesetz (WHG) bedarf das Einleiten von Niederschlagswasser in das Grundwasser durch schadlose Versickerung, soweit dies in einer Rechtsverordnung zur Gewässerbewirtschaftung bestimmt ist, grundsätzlich keiner Erlaubnis. Diese Erlaubnisfreiheit kann durch Landesrecht eingeschränkt oder noch auf weitere Fälle ausgedehnt werden. Niederschlag fällt auch in Deutschland unter den Abwasserbegriff. (...) WHG nennt das „Versickern“ als eigenen Tatbestand für Abwasserbeseitigung. Eine gesetzliche Verankerung findet auch ein wichtiger Grundsatz von Regenwassermanagementmaßnahmen, nämlich, dass das Niederschlagswasser ortsnah versickert werden soll.

Die Installation von Regenwasserbehandlungsanlagen ist grundsätzlich erlaubt, solange die örtlich geltenden einschlägigen Bauvorschriften eingehalten werden. Eine Baugenehmigung ist dabei nicht notwendig, die Errichtung einer Anlage ist jedoch dem örtlichen Wasserversorger mitzuteilen. Auch hier ist die strikte Trennung von Regenwasserkreislauf und Trinkwasserkreislauf zu beachten. Viele Kommunen fördern die Installation von

Regenwasser-Nutzungsanlagen in Form von Zuschüssen und profitieren oftmals zusätzlich von einer Begünstigung bei der Berechnung von Abwassergebühren (FAKTOR TECHNIK o.J.). Es gibt jedoch auch Fälle, in denen Zisternenbesitzern durch steigende Abwassergebühren hohe Kosten entstehen (BR FERNSEHEN 2021).

Schweiz

Für die Schweiz fassen KROISS UND WAITZ-VETTER VON DER LILIE (2011) die rechtliche Situation wie folgt zusammen:

In der Schweiz hat die Oberflächenversickerung die oberste Priorität, nur wenn dies nicht funktioniert, dann soll das Wasser in Versickerungsstränge oder Versickerungsschächte (=„Bauwerke“) abgeleitet werden. Sind diese beiden Varianten nicht möglich, dann darf erst die Einleitung in die Kanalisation erfolgen. Die rechtlichen Regelungen nun im Einzelnen:

Die gesetzlichen Grundlagen zum Thema sind auf Schweizer Bundesebene das BG über den Schutz der Gewässer und die darauf basierende Gewässerschutzverordnung. Gemäß GSchG ist das Niederschlagswasser vom Abwasserbegriff umfasst. Gemäß (...) GSchG wird Abwasser als „das durch häuslichen, industriellen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch veränderte Wasser, ferner das in der Kanalisation stetig damit abfließende Wasser sowie das von bebauten oder befestigten Flächen abfließende Niederschlagswasser“ definiert. Das GSchG untersagt, Stoffe, die Wasser verunreinigen können, in ein Gewässer einzubringen oder sie versickern zu lassen. Folglich muss verschmutztes Abwasser – somit auch verschmutztes Niederschlagswasser – behandelt werden und darf nur mit Bewilligung der kantonalen Behörde versickert werden. Die Versickerung von nicht verschmutztem Wasser richtet sich ebenfalls nach den „Anordnungen“ der kantonalen Behörde. Erlauben die örtlichen Verhältnisse dies nicht, so kann es in ein oberirdisches Gewässer eingeleitet werden; dabei sind nach Möglichkeit Rückhaltemaßnahmen zu treffen, damit das Wasser bei großem Anfall gleichmäßig abfließen kann. Einleitungen, die nicht in einer vom Kanton genehmigten kommunalen Entwässerungsplanung ausgewiesen sind, bedürfen der Bewilligung der kantonalen Behörde.³³

Im Bereich öffentlicher Kanalisation besteht eine Einleitungsverpflichtung ausschließlich für verschmutzte Abwässer in die zentrale Abwasserreinigungsanlage bzw. in den Kanal, nicht verschmutzte Abwässer dürfen dort nicht – bis auf behördlich genehmigte Ausnahmen – zugeführt werden.

Die Beurteilung über die Verschmutzung wird durch die Behörden anhand bestimmter Kriterien festgelegt, Niederschlagswasser, welches von Dachflächen stammt, gilt als nicht verschmutztes Abwasser (KROISS, WAITZ-VETTER VON DER LILIE 2011).

Grauwasseraufbereitung & Pflanzenkläranlagen

Österreich

Pflanzenkläranlagen zählen zu den Kleinkläranlagen mit einer typischen Größe von 4 bis 50 Einwohnerwerten. Die Hausbesitzer betreiben die Anlage selbstständig und übernehmen die Verantwortung für die Entsorgung der Abwässer. Für die Errichtung und den Betrieb einer solchen Anlage ist eine *wasserrechtliche Bewilligung* erforderlich, welche bei der jeweiligen Bezirkshauptmannschaft zu beantragen ist. Die Entsorgung und Aufbereitung von Abwässern ist ein zentraler Punkt in der österreichischen Gewässerschutzpolitik. Dabei gilt das Vorsorgeprinzip, wonach Abwässer nach dem aktuellen Stand der Technik gereinigt werden muss. So sollen teure Sanierungen vermieden werden, und zu diesem Zweck stehen für Anlagen zur Wasserversorgung und Abwasserbehandlung außerhalb von geschlossenen Siedlungen bundes- als auch landesweite Fördermittel zur Verfügung. Die landesweiten Förderungen unterscheiden sich dabei von Bundesland zu Bundesland (DAIBAU 2020).

Deutschland

Für Kleinkläranlagen müssen in Deutschland baurechtliche Genehmigungen eingeholt werden, allerdings gibt es für viele dieser Anlagen bereits Bauartzulassungen vom Deutschen Institut für Bautechnik. Für Grauwasserkläranlagen existieren diese Bauartzulassungen jedoch nicht, deshalb werden diese Anträge als Einzelfallentscheide bearbeitet (HOLZAPFEL +KONSORTEN 2019). Eine Befreiung von der Anschlusspflicht ist ebenso erforderlich. Wenn das Grundstück jedoch an das Kanalsystem angeschlossen ist, wird eine solche Bewilligung nur selten erteilt. Außerdem müssen bei einer Installation wasserrechtliche Bestimmungen eingehalten werden, welche Reinigung in welchem Umfang erfolgen muss (BAUER 2020). Um gereinigtes Grauwasser in ein Gewässer einleiten zu dürfen, ist eine wasserrechtliche Genehmigung erforderlich (HOLZAPFEL +KONSORTEN 2019).

Zum Zweck der Verbesserung der dezentralen Siedlungswasserwirtschaft und der Erhöhung der Gewässerqualität kann die Errichtung von Kleinkläranlagen in den einzelnen Ländern gefördert werden. Die genauen Voraussetzungen zur Förderung unterscheiden sich dabei von Bundesland zu Bundesland, grundlegende Bedingungen gelten aber in allen Fällen (BAUER 2020):

- *Die Anlage muss in einem Gebiet errichtet werden, das als nicht öffentlich zu entsorgendes Gebiet ausgewiesen ist. Nur dann ist eine Förderung möglich. Eine zukünftige Erschließung des Gebiets darf nicht vorgesehen sein. (...)*

- *Für die Beantragung der Förderung muss eine wasserrechtliche Erlaubnis nach dem WHG zur Errichtung der Kleinkläranlage vorliegen. (...)*
- *Die Errichtung der Kleinkläranlage wird nur dann gefördert, wenn sie auf einem hauptsächlich bewohnten Grundstück errichtet wird. Garten-, Erholungs- und Freizeitgrundstücke werden bei Förderungen ausgeschlossen. (...)*
- *In den meisten Fällen darf die Maßnahme, die gefördert werden soll, bei Antrag der Förderung noch nicht begonnen worden sein. (...)*

Schweiz

Da in der Schweiz, wie in Österreich und Deutschland auch, grundsätzlich eine Anschlusspflicht an das Kanalnetz besteht, kommen Pflanzenkläranlagen nur für periphere Grundstücke in Frage, in denen ein Kanalanschluss nicht zweckmäßig und zumutbar wäre (BALLY, BITTNER 2009). Für eine Einleitung von (gereinigten) Abwässern ist eine Wasserbaupolizeibewilligung erforderlich (AMT FÜR WASSER UND ABFALL 2020). Förderungen gibt es bisweilen nicht.

Private Hausbrunnen

Österreich

Das Wasserrechtsgesetz legt in Österreich den gesetzlichen Rahmen für Hausbrunnen und Hausquellen fest. Im Normalfall braucht es keine wasserrechtliche Bewilligung, um auf dem eigenen Grundstück Hausbrunnen oder Hausquellen zur Deckung des notwendigen Haus- und Wirtschaftsbedarf zu nutzen. Bewilligungsfrei ist die Entnahme von Grundwasser, wenn diese nur durch handbetriebene Pump- oder Schöpfwerke erfolgt und in einem angemessenen Verhältnis zum eigenen Grund steht. *Die Nutzung von Quellen, also frei zu Tage tretenden Grundwassers, gilt generell als wasserrechtlich bewilligungsfrei* (ZAUSSINGER 2019). Für die Qualitätskontrolle des Wassers von privaten Hausbrunnen gibt es keine rechtlichen Regelungen, der Betreiber des Brunnens ist selbst für die Wasserqualität und die Durchführung etwaiger Überprüfungen verantwortlich (ÖSTERREICHISCHE WASSERWERKE 2020a).

Deutschland

In Deutschland greift für Hausbrunnen und Hausquellen das Infektionsschutzgesetz, welches besagt, dass von Trinkwasser keine Infektionsgefahren ausgehen dürfen. Die

Trinkwasserverordnung ist dafür die für Trinkwasser maßgebliche Verordnung. Sie regelt die Anforderungen an die Beschaffenheit von Trinkwasser sowie an die Werkstoffe und Materialien, die in Hausbrunnenanlagen eingesetzt werden dürfen. Außerdem regelt sie die Pflichten, die Betreiber von Hausbrunnen haben, und die Überwachungsaufgaben des Gesundheitsamtes. Es wird dabei unterschieden zwischen *dezentralen kleinen Wasserwerken* (Nutzung von Trinkwasser auch in gewerblichen und öffentlichen Tätigkeiten) und *Kleinanlagen zur Eigenversorgung* (Trinkwasser ausschließlich zur Eigennutzung). Betreiber sind dazu verpflichtet, den Betrieb eines Hausbrunnens beim Gesundheitsamt zu melden. Die Anlage muss daraufhin vom Gesundheitsamt überprüft werden, und bei Bedarf werden von selbigen weitere Maßnahmen oder Nutzungsbeschränkungen festgelegt (UMWELTBUNDESAMT 2013).

Schweiz

Da Grund- und Oberflächenwasser als öffentliche Gewässer zählen und damit im Besitz der Kantone sind, müssen in der Schweiz Hausbrunnen vom *Amt für Wasser und Abfall* genehmigt werden. Dies geht mit gewissen Auflagen einher, die sich je nach Nutzung unterscheiden. Für die Nutzung als Trinkwasser sind die Auflagen an die Brunnenanlagen besonders streng (RENOVERO o.J.).

2.5 Grundlegende Annahmen und Ableitungen für das Modell zur Eignungsanalyse

Ausgehend von den in diesem Kapitel beschriebenen Stand der für Autarkie relevanten Technik wird nun ein konkretes Setup erstellt. Dieses dient dem Modell als konzeptueller Rahmen, und soll eine möglichst vollständige Autarkie erreichen können. Zu welchem Grad dies umgesetzt wird, ist je nach Lage, Bauprojekt, Wünschen und Zielen von Eigentümern unterschiedlich. Da dies eine standortbezogene Analyse ist, wird der Faktor der unterschiedlichen Möglichkeiten einer baulichen Umsetzung eliminiert, indem dieser zu einem Standardmodell zusammengefasst wird. Das Modell basiert auf den eingangs beschriebenen Themengebieten und versucht, diese möglichst effizient zu kombinieren. Grundsätzlich soll dieses auf erneuerbare Energien, Netzunabhängigkeit, eine hohe technologische Effektivität und ressourcenschonende Maßnahmen ausgelegt sein. Daraus ergeben sich folgende Grundlegende Annahmen:

I. Energieerzeugung/Speicherung

Die Energieerzeugung erfolgt primär über eine Photovoltaikanlage und die Speicherung der Energie in Akkus. Optimalerweise wird die Photovoltaikanlage auf einem extensiv begrünten Dach aufgestellt, um die Effektivität zu steigern. Dort, wo es baulich Sinn macht, kann eine Kleinwindkraftanlage als unterstützende/ausgleichende Maßnahme installiert werden. Als Sicherheit für Zeiten, in denen nicht genügend Energie selbst erzeugt werden kann, kann ein Notstromgenerator eingesetzt werden.

II. Heizung/Kühlung

Heizung und Warmwasser wird über ein Kombinationssystem aus Solarthermie und einem (wassergeführten) Holzofen abgedeckt. Wenn in sonnenärmeren Monaten die über Solarthermie erzeugte Wärme nicht ausreicht, kann mit einem wassergeführten Holzofen in Verbindung mit einem Pufferspeicher nach Bedarf geheizt werden. Ein extensives Gründach sorgt auf eine natürliche Weise für Abkühlung an heißen Tagen.

III. Abwasser

Es erfolgt eine Trennung von Abwasser:

- a. Grauwasser aus Bad und Küche wird durch Sumpfpflanzenkläranlage aufbereitet und in einen Wasserspeicher geleitet. Die Sumpfpflanzen können auch als extensive Dachbegrünung installiert werden.
- b. Regenwasser wird ebenfalls in einem Wasserspeicher/Teich gesammelt.
- c. Vom Wasserspeicher aus wird das gereinigte Wasser in Badewasserqualität wieder zum Duschen, Waschen, Bewässern, etc. bereitgestellt. So bleibt das Wasser größtenteils im Kreislauf. Verluste erfolgen lediglich durch Versickerung, Verdunstung und die Entnahme von Trinkwasser.
- d. Zur Erzeugung von Trinkwasser wird vorgereinigtes Wasser aus dem Wasserspeicher durch ein weiteres Filter-/Hygienisierungssystem zu Trinkwasserqualität aufbereitet
- e. Alternativ kann ein Trinkwasserbrunnen gebohrt werden
- f. Durch eine TTC werden Urin (Gelbwasser) und Fäkalien (Braunwasser) getrennt. Ersteres wird dabei verdünnt zum Düngen von Pflanzen verwendet, zweiteres wieder zu nährstoffreicher Erde/Humus für die Rückführung in den Boden kompostiert

Ein derartiges Setup hat sich für die Umsetzung autarker Lösungen bereits in der Praxis bewährt und in manchen Projekten eine fast vollständige Autarkie von 97% erreicht (WOHNWAGON 2020).

Es ergibt sich daraus, dass folgende Daten in einer geeigneten räumlichen Auflösung (im Langzeit-Jahresdurchschnitt) ermittelt und als Basisdaten die Analyse mit einbezogen werden sollen:

- Digitales Geländemodell:
 - Bewertung der Höhenlagen
 - Ausschluss von alpinen Flächen
- Landbedeckung
 - Bewertung für die Baueignung
 - Ausschluss von Flächen, die aufgrund ihrer Oberflächenbeschaffenheit und Landbedeckung nicht für eine Bebauung geeignet sind
- Lufttemperaturen

- Bewertung für die Baueignung
- Ausschluss von Flächen, die aufgrund extremen Temperaturbedingungen nicht für eine Bebauung/Bewirtschaftung in Frage kommen
- Sonnenenergiepotenzial aus einer geeigneten Sonnenmodellierung
 - Bewertung des Energiepotenzials auf zulässigen Flächen
- Windgeschwindigkeiten
 - Bewertung des Energiepotenzials auf zulässigen Flächen
- Niederschlagsmengen
 - Bewertung der Niederschlagsmengen auf zulässigen Flächen
- Neuschneesummen
 - Berücksichtigung und Bewertung von Schneefall
- Bodenqualität
 - Beurteilung der Bodenqualität bezüglich der Bodeneignung für Lebensmittelanbau
- Grundwasser
 - Beurteilung des Grundwasserspiegels für die Eignung für den Brunnenbau
 - Bewertung der Grundwasserqualität bezüglich der Nutzung als Trink- und Brauchwasser
- Entfernung zu Verkehrsnetz
 - Bewertung der Lage in Bezug auf die Entfernung zur nächstgelegenen befestigten Straße

Aus den Basisdaten sollen weiters folgende Parameter abgeleitet und in die Analyse mit einbezogen werden:

- Hangneigung:
 - Bewertung für die Baueignung
 - Ausschluss von Flächen, die aufgrund ihrer starken Neigung nicht für eine Bebauung geeignet sind
- Hangausrichtung:
 - Bewertung für Landwirtschaft

2.6 Anforderungen & Datenqualität

Zunächst muss erörtert werden, welche Anforderungen an die Basisdaten bestehen, und welche Eigenschaften diese im Idealfall aufweisen sollten.

Inhaltlich werden Daten stets durch Metadaten beschrieben, welche auch *Qualitätsmerkmale* erfassen. Letztendlich kann die *Qualität* der Daten aber immer nur durch

eine konkrete Fragestellung oder Eignung für einen klar definierten Zweck beurteilt werden. Die geometrische Auflösung von Rasterdaten ist meist weitaus geringer die von Vektordaten und sind für gewissen Anwendungen ungeeignet, sie sind jedoch das gängigste Datenmodell. Der Begriff *Qualität* bezeichnet im Allgemeinen die Gesamtheit aller charakteristischen Eigenschaften eines Produktes. Die *Datenqualität* beschreibt die Menge von Datenmerkmalen, die den Einsatz der Daten für eine konkrete Aufgabe ermöglichen. Die Prinzipien für die Beschreibung geographischer Daten sind in der ISO Norm 19157:2013 festgehalten. In der Norm werden Komponenten zur Beschreibung der Datenqualität definiert, sowie die Komponenten und Inhaltsstruktur eines Registers für Datenqualitätsmessungen festgelegt. Außerdem werden in der Norm allgemeine Verfahren zur Bewertung der Qualität geographischer Daten beschrieben und Grundsätze für die Berichterstattung über die Datenqualität definiert. Für die Verwendung bei der Bewertung und Berichterstattung werden außerdem Datenqualitätskennzahlen definiert (DE LANGE 2020).

Es wird dabei nach quantitativen und nicht-quantitativen Qualitätsmerkmalen unterschieden. In der nachfolgenden Tabelle 3 wird ein Überblick und eine kurze Beschreibung dieser Merkmale gegeben (DE LANGE 2020):

Tabelle 3: Qualitätsmerkmale nach ISO Norm 19157:2013

Nicht quantitative Qualitätsmerkmale	
Zweck (purpose)	Beschreibung der Gründe der Datenerhebung, u.a. Angabe zum geplanten Datennutzen
Verwendung (usage)	Verwendung der Daten
Herkunft (lineage)	Entstehungsgeschichte der Datenmenge, Lebenszyklus der Daten
Quantitative Qualitätsmerkmale	
Vollständigkeit (completeness)	Datenausschuss (zu viele Daten), Datenausfall (fehlende Daten)
Logische Konsistenz	Konsistenz und Widerspruchsfreiheit auf der konzeptionellen, logischen und physikalischen Datenstruktur, Einhaltung von Wertebereichen, topologische Konsistenz
Lagegenauigkeit (positional accuracy)	Absolute (oder externe), relative (oder interne) Genauigkeit, Genauigkeit von Gitter- und Rasterdaten
Zeitliche Genauigkeit (temporal accuracy)	Genauigkeit einer Zeitmessung, Gültigkeit von zeitlichen Angaben von Daten sowie zeitlichen Beziehungen, Konsistenz der Chronologie

Thematische Genauigkeit (thematic accuracy)	Korrekte Klassifizierung der Geoobjekte, korrekte Erfassung von nicht quantitativen und Genauigkeit von quantitativen Attributen
---	--

Die konkrete Aufgabe in der vorliegenden Analyse ist es, potenzielle Flächen für Wohnraum zu identifizieren. Die mindestens benötigte Flächeneinheit ist jene Wohnfläche, die für eine alleinstehende Person einem eingangs beschriebenen „westlichen Lebensstandard“ entspricht. Die Größe dieser Mindestwohnfläche ist demnach gleichzusetzen mit der nötigen geometrischen Auflösung der Daten und damit auch der Maßstab der *Datenqualität*. Im Jahr 2020 betrug die durchschnittliche Wohnfläche pro Person in deren Hauptwohnsitzen 45,5 m² (STATISTIK AUSTRIA 2021), was einer räumlichen Auflösung von rund 6,75 m Zellgröße entspricht. Wenn man den Trend der „tiny houses“ berücksichtigt, welche mit Wohnflächen ab 15 m² auskommen (WILKINSON 2011), ergibt dies jedoch eine optimale Mindestauflösung von rund 3,87 m pro Pixel. Ist diese Wohnfläche auf 2 Stockwerke aufgeteilt, sind es lediglich 2,74 m pro Pixel. Die erwünschte nominale Auflösung der Eingangsdaten sollte also mindestens 6,75 m betragen, ideal wäre eine Auflösung von 2,74 m oder höher.

Die Lagegenauigkeit quantifiziert die Genauigkeit von Koordinatenangaben der Lage von Geoobjekten, die wesentlich von der Erfassungsmethode abhängt. Die Fragestellung bzw. die Verwendung der Daten bestimmt, bis zu welcher Größe ein Lagefehler zu tolerieren ist (DE LANGE 2020). Es muss deshalb berücksichtigt werden, dass die vorliegende Analyse nicht den Anspruch erhebt, ohne weiteres für konkrete Bauvorhaben oder Projekte auf Katasterebene eingesetzt werden zu können. Der Maßstab ist hier explizit eine holistische Betrachtung für ganz Österreich, weshalb keine absolute zeitliche Genauigkeit, inhaltliche Konsistenz oder Lagegenauigkeit erforderlich ist, um sich einen Überblick über das Untersuchungsgebiet verschaffen zu können.

Grundsätzlich soll diese Methodik möglichst vielen Menschen zur Verfügung stehen und reproduzierbar sein, weshalb die verwendeten Basisdaten nach Möglichkeit *offene Daten* sein sollen. Das bedeutet, dass die Daten kostenlos und ohne Beschränkungen online frei zum Download verfügbar sein sollen.

3 Methodische Vorgehensweise

Um die Forschungsfrage und deren Teilfragen zu beantworten, soll zunächst ein Überblick über die verschiedenen Methoden der multikriteriellen Eignungsanalyse gegeben werden, welche sich in GI-Systemen etabliert haben, um die geeignetste Vorgehensweise für diese Arbeit festzulegen.

Wie aus der Beschreibung der Autarkiekreisläufe hervorgeht, sind manche Faktoren von größerer Bedeutung als andere. Beispielsweise ist aus Gründen der Effizienz die Verfügbarkeit von Energie aus Sonneneinstrahlung als wichtiger einzustufen als etwaige Windgeschwindigkeiten am Standort. Diese Überlegungen müssen entsprechend berücksichtigt und gewichtet werden, um ein realitätsnahes und praktikables Modell entwickeln zu können.

Aus diesem Grund sollen Menschen befragt werden, die Expertise und praktische Erfahrungen in dem Gebiet besitzen. Es soll eine Expertenumfrage entwickelt und an ausgewählte Personen ausgesendet werden, um eine möglichst realistische Gewichtung der Standortfaktoren zu gewährleisten.

Im weiteren Verlauf geht es darum, die Anforderungen an die Daten zu definieren, sowie geeignete Daten für die Analyse zu finden und für die Bearbeitung bereitzustellen.

3.1 Überblick über multikriterielle Eignungsanalysen

Die multikriterielle Bewertung, oft auch als *multikriterielle Analyse* oder *Multikriterielle Entscheidungsanalyse (Multi Criteria Decision Analysis; MCDA)* (GREENE et al. 2011) bezeichnet, ist ein Berechnungsverfahren, welches ursprünglich aus der Betriebswirtschaftslehre stammt. Mit der MCE werden eine Reihe alternativer Lösungswege in eine Rangfolge gebracht, welche als Entscheidungshilfe verstanden werden kann. Ein Vorteil dabei ist die Integration von mehreren Kriterien in eine einheitliche Bewertungszahl, unter der Berücksichtigung des Ausgleichs schlechter Leistungen in manchen Kriterien durch gute Leistung in anderen. Diese Möglichkeit der Kompensation ist bei *harten Filtern*, wie etwa *booleschen Filtern*, nicht gegeben, da dort alle Kriterien gleichermaßen erfüllt werden müssen. Eine Stärke ist die Möglichkeit, gleichzeitig quantitative und qualitative Kriterien zu berücksichtigen, solange letztere auf einer ordinalen oder kontinuierlichen Skala dargestellt werden können (GREENE et al. 2011). Räumliche Entscheidungsprobleme, wie auch in diesem Fall die Standortsuche für autarke Gebäude, sind in der Regel durch viele mögliche Entscheidungskriterien gekennzeichnet, die sich zumindest teilweise gegeneinander ausgleichen können (RINNER 2007). Seit den 1990er Jahren hat es eine Reihe von Studien gegeben, in denen MCE-Verfahren in GIS implementiert wurden (MALCZEWSKI 1999). In einem Review-Artikel untersuchte MALCZEWSKI (2006) mehr als 300 einschlägige wissenschaftliche Arbeiten zu der Thematik. Von diesen Arbeiten waren bei 26% die Komponenten MCE und GIS nicht miteinander integriert. Bei 33% lag eine

lockere Verknüpfung vor, bei 30% eine enge Verknüpfung, und 11% der Arbeiten waren voll integrierte Ansätze. Die am meisten vertretenen Anwendungsbereiche waren dabei die Domänen *Umweltschutz/Ökologie* (17%), sowie *Verkehr, Stadtplanung, Abfallmanagement, Hydrologie, Land- und Forstwirtschaft* (jeweils 11 – 8%) (MALCZEWSKI 2006).

Die Gemeinsamkeit, die alle diese Ansätze verbindet, ist dass das Entscheidungsproblem in einer Matrix beschrieben werden kann. Die Zeilen repräsentieren dabei die Lösungsalternativen als geographische Standorte (Punkte, Polygone oder Rasterzellen) und die Spalten die Entscheidungskriterien. Die Matrix enthält die Leistung, genannt *Performance*, der einzelnen Standorte in allen Kriterien, die durch eine Standardisierung numerisch vergleichbar gemacht und zeilenweise zu einer einzigen Bewertungszahl zusammengefasst werden. Die Bewertungszahl ermöglicht den Vergleich der Standorte, und im Optimalfall auch die Auswahl des am besten bewerteten Standorts. Der Raumbezug in der räumlichen MCE ist durch die geographische Ausprägung der Entscheidungsalternativen gegeben, deren Kriterienwerte im Normalfall als Attribute räumlicher Objekte in GIS-Datenbanken zugänglich sind. Dadurch ist die Darstellung der Alternativen und deren Bewertung auf Karten möglich (RINNER 2007). Für MCE gibt es je nach gewünschter Gewichtung oder Relation der Kriterien zueinander verschiedene Methoden, die in einem GIS implementiert werden können.

Ein Ansatz zur Kategorisierung von MCE-Szenarien ist die Assoziierung mit verschiedenen Problemtypen. Diese können nach GREENE et al. (2011) unterschieden werden in:

- (1) *Entscheidung*: Das Treffen einer Auswahl oder Aussprechen einer Empfehlung
- (2) *Ranking*: Etablierung einer bevorzugten Reihenfolge für einige oder alle Alternativen
- (3) *Beschreibung*: Mehr über das Problem lernen
- (4) *Design*: Entwicklung neuer Alternativen der Problemlösung
- (5) *Portfolio*: Auswahl einer Teilmenge von Alternativen

Folgende Faktoren beschreiben weiters die Entscheidungsprobleme und haben Einfluss auf die Auswahl und Implementierung von MCE-Methoden (nach GREENE et al. 2011):

- (1) *Anzahl der Entscheidungsträger*: MCE-Methoden, die für Individuen erstellt wurden, können auf Gruppenentscheidungen angewandt werden, wenn ein Konsens durch Wissensvermittlung oder Verhandlungen erreicht werden kann. Ist dies nicht möglich, müssen die Methoden durch Ansätze wie *aggregated weighting* (*aggregierter Gewichtung*) oder *Abstimmungen* erweitert werden.
- (2) *Entscheidungsphase(n)*: Die Phase oder Phasen der Entscheidung(en), die unterstützt werden soll(en). Hierbei gibt es viele Wege, die Entscheidungsphasen zu organisieren und zu beschreiben, eine wichtige Unterscheidung bei der MCE ist die Problemerkundungs-/Strukturierungsphase und der Evaluations-/Empfehlungsphase.
- (3) *Anzahl der Ziele*: Mit der Definition eines einzelnen Ziels können sich die Entscheidungsträger auf relevante Kriterien/Faktoren mit messbaren Attributen

- konzentrieren. Diese Methoden werden als *multiple attribute decision making (MADM)* bezeichnet. Gibt es hingegen mehrere Zielsetzungen, ist es notwendig, festzulegen, ob diese Ziele in Synergie oder Konflikt zueinander stehen, und die Kriterien nach den jeweiligen Zielsetzungen zu gruppieren. Techniken, die dies anwenden werden als *multiple objective decision making (MODM)* bezeichnet.
- (4) *Anzahl der Alternativen*: Szenarien mit einer begrenzten Anzahl an Alternativen sind diskrete Probleme, die in der Auswahl einer einzelnen Alternative enden. Eine große oder endlose Anzahl an Alternativen bedeutet in der Regel ein kontinuierliches Problem und wird als Screening, Suche, oder Eignungsbewertung charakterisiert.
 - (5) *Einschränkungen*: Lösungen können entweder in Form von Alternativen/Flächen, die nicht berücksichtigt werden, eingeschränkt werden, oder durch bestimmte Bedingungen, die die empfohlene Lösung erfüllen muss. Gängige Einschränkungen bei räumlich kontinuierlichen Problemen sind beispielsweise, dass die empfohlenen Lösungen eine Mindestgröße an zusammenhängender Fläche und/oder verbindende Korridore haben müssen.
 - (6) *Risikotoleranz*: Die Risikotoleranz ist das Ergebnis des Willens der Entscheidungsträger, die Risiken zu quantifizieren, die mit einer Entscheidung einhergehen. Bei der Suche nach Alternativen kann beispielsweise ein risikotoleranter Entscheidungsträger Alternativen akzeptieren, welche nur ein paar der untersuchten Kriterien erfüllen, wohingegen ein risikointoleranter Entscheidungsträger nur jene Alternativen akzeptieren würde, die alle Kriterien erfüllen.
 - (7) *Unsicherheit*: Mit Unsicherheit wird beschrieben, ob die Kriterien und deren Gewichtung mit mathematischer *Sicherheit* (z.B. *deterministisch*) oder *Unsicherheit* (z.B. durch *Wahrscheinlichkeiten* oder *Fuzzy Logic*) modelliert werden sollen. Diese Festlegung kann auf der Natur der Kriterien basieren, oder auf Modellpräferenzen. Beispielsweise können bei einer Landbedeckungs-Klassifizierung die Übergänge zwischen den Klassen entweder durch klare Grenzen oder fließende Übergänge dargestellt werden.
 - (8) *Maßstäbe und Einheiten*: Hierbei wird erwogen, ob es möglich ist heterogene Daten, die in unterschiedlichen Maßstäben und Skalierungen vorliegen (wie etwa Währungen und qualitative Umfrageergebnisse), in eine einheitliche Skala zu konvertieren. Weiters muss geklärt werden, ob es für Entscheidungsträger akzeptabel ist, die Kriterien numerisch darzustellen.
 - (9) *Erfahrung*: Die Ausbildung und Erfahrung der Analysten und Entscheidungsträger spielt angesichts der breiten Palette an zur Verfügung stehenden MCE-Methoden eine wichtige Rolle bei der Auswahl einer optimalen Vorgehensweise.
 - (10) *Rechenleistung*: Ein weiterer Punkt, der bei der Planung miteinbezogen werden muss, sind die zur Verfügung stehende Hardware und Software. Diese müssen unter Umständen im Budget eingeplant werden. Die Anwendbarkeit von MCDA-Methoden wird bei einer großen Anzahl an Alternativen durch die Rechenleistung (im Falle einer mathematischen Optimierung) oder durch die praktische Anwendbarkeit (bei paarweisen Vergleichen) beschränkt. Das limitiert die Auswahlmöglichkeiten an Methoden bei räumlich kontinuierlichen Problemen, bei

denen versucht wird ganze Landstriche zu bewerten, bei denen jede Rasterzelle eine mögliche Lösung darstellt. Ein Ansatz, um derartige Probleme auch anderen Methoden zugänglich zu machen, ist diese in eine kleinere Anzahl diskreter Alternativen zu konvertieren. Eine weitere Möglichkeit ist eine Klassifikation zu homogenen Zonen basierend auf Kriterienwerten oder Kategorien.

- (11) *Richtung der Problemlösungen:* Normalerweise werden Probleme vorwärtsgerichtet bearbeitet, um zu neuen Entscheidungen zu kommen. Es ist aber auch mögliche, existente Entscheidungen zurückzuverfolgen, um auf die zugrunde liegende Bewertung zur Unterstützung dieser Entscheidung zu schließen. Dieser Vorgang wird *preference disaggregation (Präferenz-Disaggregation)* genannt.

Bei der Vielzahl an MCE-Methoden hängt die Auswahl einer geeigneten Methode immer vom jeweiligen Kontext ab. GREENE et al. (2011) geben hier einen *Decision Tree* (Abbildung 6) zur Hand. Dieser ist nicht allumfassend oder endgültig, liefert aber ein Schema, welches den Entscheidungsprozess vereinfachen kann. Die wichtigste Unterscheidung liegt darin, ob es multiple Ziele (MODM) gibt oder nicht (MADM). Wenn entschieden wird, dass sich die einzelnen Ziele ergänzen, also komplementär sind, oder priorisiert werden können, dann können MADM-Methoden in zweistufiger oder mehrstufiger Schrittweise angewandt werden. Wenn die multiplen Ziele miteinander in Konflikt stehen, müssen MODM-Methoden angewandt werden. Die Wahl der Methode richtet sich hierbei nach der Anzahl der Alternativen. Mathematisch programmierbare Methoden werden verwendet, um eine optimale Lösung zu finden, heuristische Lösungen kommen zum Einsatz, um Lösungen nahe des Optimums zu lokalisieren. Es gibt keine eindeutige Definition darüber, was eine „große Anzahl an Alternativen“ ist, da dies hauptsächlich von der Rechenleistung der verwendeten Software abhängt (GREENE et al. 2011).

Auf der Seite der MADM wird zunächst nach dem Vorhandensein von Kompromisskriterien entschieden. Nicht-kompensatorische Ansätze sind weniger komplex und einfacher anzuwenden, doch sie sind auf eine Inklusion oder Exklusion von Alternativen aufgrund von harten Filtern angewiesen. Kompensatorische Ansätze sind kommen der Realität meist näher und sind in der Modellierung subtiler, da die Kriterien einander auf einer kontinuierlichen Skala kompensieren können. Eine schlechte Leistung eines Kriteriums kann somit durch eine gute Leistung eines anderen Kriteriums aufgewogen werden. MODM-Methoden sind von Natur aus kompensatorisch, somit gibt es bei diesen immer Kompromisskriterien. Wie bei MODM auch, wird bei MADM ebenfalls nach der Anzahl an Alternativen differenziert. (GREENE et al. 2011).

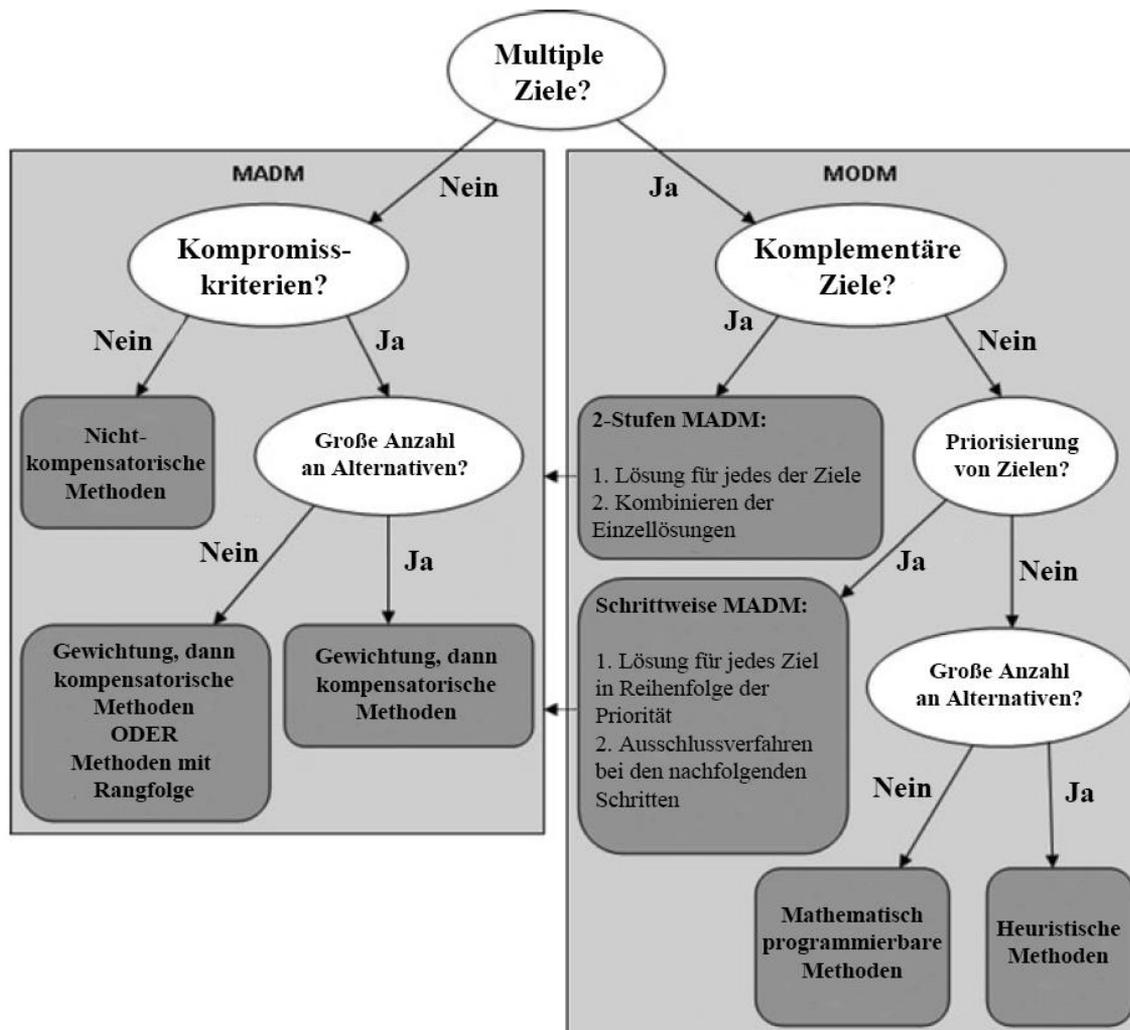


Abbildung 6: Decision Tree für MCE-Methoden (verändert nach GREENE et al. (2011))

Aufgrund der hohen Komplexität von Entscheidungsproblemen und der verschiedenen Entscheidungsphasen sind die Methoden dabei jedoch nicht ausschließlich auf die hier beschriebenen Einsatzgebiete beschränkt. Beispielsweise können nicht-kompensatorische Methoden für eine Vorauswahl an Alternativen eingesetzt werden, gefolgt von einer kompensatorischen Methode für die finale Entscheidung. Auch können multiple Methoden parallel verwendet werden, um die Tragkraft einer Alternative zu überprüfen und zu festigen. Ferner kann eine Sensibilitätsanalyse durchgeführt werden, bei der mehrere Durchgänge mit derselben Methode gemacht, und die Eingabedaten bei jedem Durchgang leicht verändert werden. Dadurch kann die Empfindlichkeit der Inputs anhand der jeweiligen Resultate überprüft werden (GREENE et al. 2011). Im Folgenden wird ein kurzer kategorischer Überblick über die verfügbaren Methoden gegeben (nach GREENE et al. 2011):

I. Nicht-kompensatorische Methoden der Aggregation: Werden oft für Screenings oder Selektion verwendet und lassen sich wie folgt unterscheiden:

A. *Konjunktiv:* Akzeptiert Alternativen nur dann, wenn sie definierte Grenzwerte bei jedem Kriterium erfüllen. Implementationen mit räumlichen Kriterien verwenden oftmals den *binären Overlay*, bei dem die Objekte oder Rasterzellen eines jeden

Layers auf 1 gesetzt werden, wenn sie die Grenzwerte erfüllen, und auf 0 gesetzt werden, wenn dies nicht der Fall ist. Die Layer werden mit einer *Überschneidungs-Operation* miteinander kombiniert (logische Funktion *AND*), um Lösungsgebiete zu identifizieren. Konjunktive Methoden schwächen Risiken ab, da alle Kriterien gänzlich erfüllt werden müssen.

B. *Disjunktiv*: Alternativen werden dann akzeptiert, wenn sie den Grenzwert von zumindest einem Kriterium erfüllen. Bei räumlichen Problemen kann dies ebenfalls durch einen *binären Overlay* implementiert werden. Dabei kommt eine *Union-Operation* zum Einsatz (logische Funktion *OR*). Die disjunktive Methodik ist damit als risikofreudig einzustufen.

C. *Lexikographisch*: Zunächst werden die Kriterien in eine Rangfolge gebracht, dann werden die Alternativen hierarchisch eliminiert, indem sie nacheinander aufgrund des höchstrangigen Kriteriums verglichen werden, dann des zweithöchsten, etc..

D. *Eliminierung durch Teilaspekte*: Hierbei wird ein *lexikographischer Ansatz* verwendet, doch zusätzlich noch ein konjunktiver Ausschluss durchgesetzt.

E. *Dominanz*: Bei dieser Methode wird nach dominanten Alternativen gesucht, die in Vergleich zu allen Kriterien aller Alternativen mindestens genauso gut abschneiden.

II. Gewichtung: Die Gewichtung wird verwendet, um relative Kriteriengewichte, sprich deren Wichtigkeit, im Vorfeld einer *kompensatorischen Aggregationsmethode* abzuleiten.

A. *Rangfolge*: Gibt den Werten eine Rangfolge und konvertiert diese in Kriteriengewichte. Folgende Methoden können verwendet werden:

1. *Rangsumme*: Werte der Rangfolge werden durch die Summe aller Rangfolge-Werte dividiert
2. *Wechselseitig*: 1 geteilt durch den Rangwert
3. *Exponentiell*: Bei n Kriterien, erhält der Rang r ein Gewicht $(n - r + 1)^p$. Der Exponent p ist dabei ein Parameter zur Kontrolle der Verteilung von Kriteriengewichten und wird üblicherweise zwischen 0 und 1 gesetzt. Bei $p=0$ erhalten alle Kriterien dieselbe Gewichtung, bei $p=1$ ist die Gewichtung wie bei der *Rangsumme* in Punkt 1. Je höher der Wert von p gesetzt wird, desto steiler fällt die Verteilung der Kriteriengewichtung aus (GITTA 2013).

B. *Bewertung*: Benutzt zur Bewertung eine einheitliche Skala (wie etwa Werte zwischen 0 und 1) oder ein Punktesystem (beispielsweise die Erreichung von insgesamt 100 Punkten aus allen Kriterien).

C. *Kompromissanalyse*: Beurteilt auf direkte Weise Kompromisse zwischen Kriterienpaaren. So werden jene Grenzwerte ermittelt, bei denen sie als gleich wichtig angesehen werden.

D. *Analytic Hierarchy Process*: Dieses von SAATY (1980) entwickelte Verfahren vereinfacht nach RINNER (2007) multikriterielle Entscheidungsprobleme, indem Entscheidungskriterien in einer Hierarchie angeordnet werden und die Festlegung der Kriteriengewichte auf den verschiedenen Hierarchieebenen separat erfolgt. Außerdem werden Kriterien paarweise gewichtet, wodurch die Kriteriengewichtung innerhalb der Hierarchieebenen weiter vereinfacht wird (RINNER 2007).

III. Kompensatorische Methoden der Aggregation

A. *Additive Methoden*: normalisieren die Kriterienwerte, um einen Vergleich der Performance auf einer einheitlichen Skala zu ermöglichen:

1. *Weighted linear combination (WLC; Gewichtete Überlagerung)*: Ist ein Überbegriff für diverse mehrkriterielle Operatoren, welche die *gewichtete Summe (simple additive weighting; SAW)* verallgemeinern (RINNER 2007). Beim WLC werden normalisierte Kriterienwerte mit den relativen Kriteriengewichten für jede Alternative multipliziert. Dabei können entweder alle gewichteten Kriterienwerte in einem einzelnen Schritt aufsummiert werden, oder hierarchisch aggregiert werden, sodass zunächst Gruppen verwandter Kriterien (wie etwa Tourismus oder Landwirtschaft) zusammengefasst werden, bevor sie mit anderen Gruppen kombiniert werden. Weil WLC durchgehend Kompromisslösungen und Kompensation zwischen den einzelnen Kriterien zulässt, ist sie auf der Skala der Risikotoleranz im Mittelfeld anzuordnen, kann also als risikoneutrale Technik bezeichnet werden.

2. *Fuzzy additive weighting*: Passt die WLC dahingehend an, dass anstelle von scharfen Kriteriengrenzen sogenannte *fuzzy (unscharfe)* Kriterien(gewichte) zum Einsatz kommen. Die Kriteriengewichte werden dabei von *unscharfen linguistischen Quantifizierungen* wie „hoch“, „mittel“ oder „niedrig“ abgeleitet.

3. *Ordered weighted averaging (OWA)*: Basiert ebenfalls auf *fuzzy-Methoden*. Dabei kommen neben der auch bei WLC verwendeten Multiplikation der standardisierten Kriterienwerte $a'[i]$ mit den *Kriteriengewichten $w[i]$* auch *Gewichtungsfaktoren*, sogenannte *order weights $v[j]$* , zum Einsatz.

$$a'[i] * w[i] = b[i]$$

Die daraus resultierenden Werte werden der Größe nach absteigend sortiert und die order weights werden nun auf die gewichteten Kriterienwerte angewandt, um entweder das obere oder untere Ende der sortierten Folge zu

verstärken. So können Entscheidungsträger entweder eine optimistische Sichtweise einfließen lassen, indem die besten Werte einer Option verstärkt werden, oder aber eine pessimistische Sichtweise, indem die schlechteren Werte mehr betont werden. Nach Anwendung der *order weights* werden die Terme zur *abschließenden Bewertungszahl* $e[j]$ aufsummiert (nach RINNER 2007).

$$v[j] * b[j] = e[j]$$

B. Nicht-additive Methoden: Verwenden die originalen Kriterienwerte:

1. *Ideal Point*: Identifiziert einen Punkt im *Kriterien-Output-Raum*, indem für jedes Kriterium ein bevorzugter Wert angegeben wird. Dieser Punkt liegt möglicherweise nicht in der Nähe einer umsetzbaren Alternative, doch es gibt eine Reihe von Methoden, eine geeignete Alternative zu finden. Dazu gehört beispielsweise die *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)*.

2. *Non-dominated set*: Identifiziert einen Satz an Alternativen, welche in mindestens einem Kriterium einen mindestens so hohen Wert erzielen wie jede andere Alternative. Dies wird auch *Efficient Set* oder *Pareto Set* genannt.

3. *Reasonable goals Methode*: Erweitert die *non-dominated-set-Methode* um eine visuelle Komponente in Form von zweidimensionalen Graphen des *Kriterien-Output-Raums*. Dies dient dazu, bei der Alternativenwahl zu visuell zu unterstützen.

IV. Outranking-Methoden der Aggregation: Bei diesen Methoden wird ein paarweiser Vergleich einer diskreten Menge an Alternativen durchgeführt. Das Ziel ist die Erstellung einer Rangfolge basierend auf Übereinstimmung (die Menge an Kriterien, bei der eine Alternative die andere dominiert) und Nicht-Übereinstimmung (die gegenseitige Menge). Bei der Outranking Philosophie wird berücksichtigt, dass Entscheidungsträger mehrdeutigen und sich verändernden Bewertungsentscheidungen unterliegen.

A. *ELECTRE*: Eine Familie von Outranking-Methoden (*ELECTRE I, II, III, IV und TRI*), die sich mit der europäischen Schule von MCDA entwickelt haben. *ELECTRE* ist in der Lage, vielseitige Problemtypen (Auswahl, Rangfolge, Gruppierung) und Ansätze zur Entscheidungsmodellierung lösen. Die Methodik führte *Schwellen* für *Indifferenzen* und *Präferenzen* zwischen zwei verschiedenen Alternativen bei einem bestimmten Kriterium ein, und auch die Unterstützung von Kriterien, die nicht gewichtet werden können.

B. *PROMETHEE*: Outranking-Methode, welche verschiedene *Kriterienpräferenz-Funktionen* unterstützt, beispielsweise *U-förmig, linear und flach (keine Schwellen)*.

V. Mathematisch programmierbare Methoden

A. *Lineare/integere Programmierung*: Eine Methode zur mathematischen Optimierung von einzelnen Kriterienwerten durch *Maximieren* oder *Minimieren* unter Verwendung von *Einschränkungen*. Wird häufig in Bereichen der *Operations Research* und *Managementwissenschaften* eingesetzt.

B. *Ziel/Kompromiss Programmierung*: Findet jene Alternativen, welche die Gesamtabweichung von den nutzerspezifischen *Ideal Points* oder den Ebenen von *Bestrebungen/Einschränkungen* für multiple Ziele gleichzeitig minimiert.

C. *Interaktive Programmierung (reference point)*: Benutzt Ebenen für *Bestrebungen und Einschränkungen*, welche in aufeinander folgenden Durchgängen immer weiter verfeinert und angepasst werden.

VI. Heuristische Methoden: Aufgrund von Einschränkungen in der Rechenleistung von Computersystemen ist eine mathematische Optimierung oftmals nicht möglich, wenn es eine große Anzahl an Problemen gibt, beispielsweise bei räumlich kontinuierlichen Problemen, welche unter der Verwendung von Rasterebenen modelliert werden und bei denen jedes mögliche Ergebnis einer jeden Rasterzelle eine mögliche Alternative ist. Heuristische Methoden können in solche Fällen eingesetzt werden, um Zellen auch bei widersprüchlichen Zielen so zuzuordnen, um einer optimalen Lösung möglichst nahe zu kommen.

A. *Multiple-objective land allocation (MOLA)*: Ordnet jede Zelle dem Objektiv mit dem nächstgelegenen *Ideal Point* zu. Ziele können optional auch ungleich gewichtet werden, sodass eine Zelle einem Objektiv mit einem höheren Gewicht zugeordnet werden kann, selbst wenn es ein Objektiv mit einem näher gelegenen Idealpunkt gibt

B. *Genetic algorithms (GA)*: Ordnet Zellen basierend auf einem Trial-and-Error-Prozess zu, welcher wiederum kleine Änderungen (evolutionäre Mutationen) und Tests zur Lösungsverbesserung zur Folge hat.

C. *Simulated annealing (SA)*: Ordnet Zellen basierend auf einem iterativen Zufallsprozess zu, der bei jedem Schritt die Gesamtverbesserung testet.

3.2 Diskussion geeigneter Methoden

Die in vorliegender Arbeit durchzuführende Analyse soll nun möglichst genau kategorisiert und die Rahmenbedingungen definiert werden, um aus der Vielzahl der MCDA-Methoden eine geeignete Methode auszuwählen.

Der Problemtyp nach GREENE et al. (2011) kann als *Ranking* definiert werden. Durch die Implementierung eines allgemeinen Autarkieindex wird eine bevorzugte

Reihenfolge/Rangfolge für alle möglichen Alternativen geschaffen. Folgende Faktoren müssen berücksichtigt werden (nach GREENE et al. 2011):

- (1) *Anzahl der Entscheidungsträger*: Die Entscheidungsträger bilden in dieser Analyse zum primär der oder die Anwender des Autarkieindex selbst, welcher die Rahmenbedingungen, die Methodik, und die verwendeten Parameter festlegt und die Datenauswahl und -aufbereitung durchführt, inklusive der Vorselektion. Zum anderen nehmen in vorliegender Arbeit jene Experten, die an der Expertenumfrage teilnehmen, Einfluss auf die Gewichtung der Parameter und damit auch auf das Ergebnis. Für die Analyse kann die Anzahl der Entscheidungsträger jedoch als Einzelperson definiert werden, da das Modell darauf ausgerichtet ist, von Individuen bedient werden zu können, die die Kriteriengewichte nach ihren persönlichen Präferenzen wählen können. Bei mehreren Entscheidungsträgern müsste im Vorfeld ein Kompromiss für die Gewichtung ermittelt und das Modell entsprechend angepasst werden.
- (2) *Entscheidungsphase(n)*: Es kann hier unterschieden werden in die Problemerkundungs-, Strukturierungs- und Aufbereitungsphase, welche durch den Verfasser der Arbeit durchgeführt wird. Die zweite Entscheidungsphase ist die Durchführung der Analyse, bei der die Perspektiven der Expertenumfrage über die Gewichtung entscheiden.
- (3) *Anzahl der Ziele*: Das einzige Ziel dieser Arbeit ist, einen flächendeckenden Index zu erstellen, wodurch die einzelnen Flächen objektiv vergleichbar gemacht werden. Somit handelt es sich bei vorliegender Analyse um *multiple attribute decision making (MADM)*.
- (4) *Anzahl der Alternativen*: Mit der Gesamtfläche Österreichs als Untersuchungsgebiet gibt es eine große Anzahl an Alternativen, und bei einer Vielzahl an Parametern (wie z.B. Lufttemperaturen oder Niederschlag) handelt es sich um kontinuierliche Probleme. Diese Bewertung kann deshalb als *Eignungsanalyse* charakterisiert werden, mit der eine *Übersicht über das Untersuchungsgebiet* geschaffen werden soll.
- (5) *Einschränkungen*: Es gibt bei fast jedem Parameter Ausprägungen, die Flächen für die Nutzung als Wohnraum ungeeignet machen (wie etwa extreme Höhenlagen, Steilhänge, Wasserflächen oder Orte mit wenig Sonneneinstrahlung). Diese Einschränkungen müssen definiert und aus den potenziellen Flächen ausgeschlossen werden.
- (6) *Risikotoleranz*: Die vorliegende Analyse soll einen Index erstellen, welche aus bautechnischer Notwendigkeit *alle* vordefinierten Parameter mit einbezieht. Beispielsweise kann an der Südseite eines Berges ein sehr großes Sonnenenergiepotenzial vorhanden sein. Wenn es sich dabei aber um eine nahezu senkrechte Felswand handelt, wird man darauf trotz der ansonsten guten Eignung nicht siedeln können. Wird gegen eine der Einschränkungen verstoßen, ist die Fläche ungeeignet. Innerhalb jener Grenzbereiche aller Faktoren können sich einzelne Parameter jedoch gegenseitig kompensieren. Damit ist das Modell auf einer risikointoleranten bis neutralen Position angesiedelt.

- (7) *Unsicherheit*: Die meisten Parameter liegen entweder als direkte Messwerte vor oder in mathematisch interpolierter oder klassifizierter Form mit ebenfalls eindeutigen Werten und klaren Klassengrenzen vor. Bei Parametern wie der Landbedeckung liegen die Grundlagendaten bereits in vereinfachter Form mit scharfen Abgrenzungen vor, obwohl Übergänge (wie etwa Waldgrenzen) oftmals fließend sind. Aufgrund der großen Datenmenge und der großen Ausdehnung des Untersuchungsgebiets soll jedoch auf weitere Interpolationen, Wahrscheinlichkeiten und Fuzzy Logic verzichtet und eindeutige Kriterienwerte beibehalten werden.
- (8) *Maßstäbe und Einheiten*: Die Daten in dieser Analyse liegen in verschiedenen Datentypen, Auflösungen und Einheiten vor. Es geht demnach im ersten Schritt darum, die Daten in den gleichen Datentyp und die gleiche räumliche Auflösung zu transformieren. Die Grundvoraussetzung für die Bewertungsanalyse ist, dass die Kriterien in Form von quantitativen, numerischen Werten vorliegen, und dass diese mit einer Eignung für eingangs definierten autarken Wohnraum in Verbindung gebracht werden können. Ist dies bei allen Kriterien der Fall, können die Kriterien anhand einer einheitlichen Bewertungsskala reklassifiziert werden.
- (9) *Erfahrung*: Mit der Studienfachrichtung Kartographie und Geoinformation besitzt der Autor dieser Analyse das nötige Fachwissen, um eine solche Analyse umzusetzen. Für die Gewichtung der Parameter werden Fachleute herangezogen, welche bereits Erfahrung bei autarken Projekten vorweisen können.
- (10) *Rechenleistung*: Zum Einsatz kommt ein handelsüblicher PC mit Intel(R) Core(TM) i7-10750H CPU @ 2.60GHz mit 16 GB RAM. Für die Analyse kommt die Software ArcGIS Pro 2.7 von ESRI zum Einsatz. Es stehen ca. 100 GB Datenspeicherplatz zur Verfügung. Diese sind limitierende Faktoren und schränken die Auswahlmöglichkeiten der Methoden bezüglich ihrer praktischen Umsetzbarkeit ein. Aufgrund dieser technischen Spezifikationen im Gegensatz zur Größe der untersuchten Fläche und des daraus resultierenden benötigten Rechenleistung und Speicherbedarfs gilt die Prämisse, das Modell möglichst einfach und effizient zu halten, sowie unnötige Datenmengen zu vermeiden. Wo möglich sollen ungeeignete Flächen sowie unnötige Parameterdaten bereits im Vorfeld bereinigt werden.
- (11) *Richtung der Problemlösungen*: Die Richtung der Problemlösung ist in diesem Fall eine *klassisch vorwärts* gerichtete.

Viele Softwareanbieter wie ArcGIS, IDRISI, CommonGIS oder QGIS bieten vollintegrierte MCDA-Methoden an (GREENE et al. 2011, QGIS 2020). Der Weltmarktführer ESRI und seine Software ArcGIS wird in 350 000 Unternehmen eingesetzt, darunter 90 der 100 Fortune-100-Unternehmen, sowie in zahlreichen Regierungsbehörden weltweit (PRUCHNIEWSKI 2020). Wegen seiner Komplettintegration von MCDA-Analysen und seiner weitverbreiteten Anwendung soll die Software auch für die nachfolgenden Analysen in dieser Arbeit verwendet werden.

Die hier vorliegende Analyse hat zum Ziel, österreichweit Standorte für Autarkie objektiv vergleichbar zu machen. Da dies die einzige Zielsetzung ist, handelt es sich damit um MADM. Außerdem gibt es bei der Analyse Kompromisskriterien, da beispielsweise hohe Sonneneinstrahlung eine höhere Hangneigung ausgleichen können. Gleichzeitig gibt es

durch das große Untersuchungsgebiet und die Vielzahl an einzubeziehenden Daten eine große Anzahl an Alternativen. Es gibt auch Einschränkungen, da einige Bereiche wie Wasserflächen, dicht bebaute/versiegelte Fläche oder abgeschattete, Steil- und Höhenlagen generell für eine Bebauung ungeeignet sind und damit bereits im Vorfeld ausgeschlossen werden können. Diese Flächen können auch nicht durch andere Kriterien ausgeglichen werden und sind daher *nicht-kompensatorischer* Natur. Damit ist nach dem von GREENE et al. (2011) gegebenen Decision Tree in Abbildung 6 die Auswahl der Vorgehensweise auf eine *Vorselektion* mittels *nicht-kompensatorischer* Methoden, gefolgt von einer *Gewichtung* mit *kompensatorischen Methoden* eingrenzbar. Bei der nicht-kompensatorischen Vorauswahl kommt die konjunktive Methodik des binären Overlays zum Einsatz. Damit werden in jedem Datensatz die Alternativen in geeignet/nicht geeignet klassifiziert. Die *Schnittmenge* geeigneter Alternativen aller Kriterien sind jene Gebiete, die für die weitere Analyse verwendet werden. Für die Gewichtung der Faktoren soll die Methode der *Bewertung* verwendet werden, da diese für den Zweck dieser Analyse individueller justierbar ist, als mit der Rangfolge zu arbeiten. Eine *Kompromissanalyse* und *AHP* kommen aufgrund der großen Anzahl an Alternativen nicht in Frage. Bei der anschließenden *Kompensatorischen Aggregation* sind die *Additiven Methoden* am geeignetsten, da sie standardisierte Werte verwenden und mit anpassbaren Kriteriengewichten arbeiten. Weil die Eingangsdaten aus skalierbaren Daten bestehen und auch der Index im Endergebnis eine numerische Skala ist, ist kein Bedarf an *unscharfen* Kriteriengrenzen vorhanden und es reicht aus, eine *gewichtete Überlagerung (WLC)* durchzuführen. WLC ist eine risikoneutrale Methode, wodurch sie sich in diesem Fall gut zu einer ersten Einschätzung der Thematik eignet.

Der Workflow für die Analyse kann also wie folgt dargestellt werden:

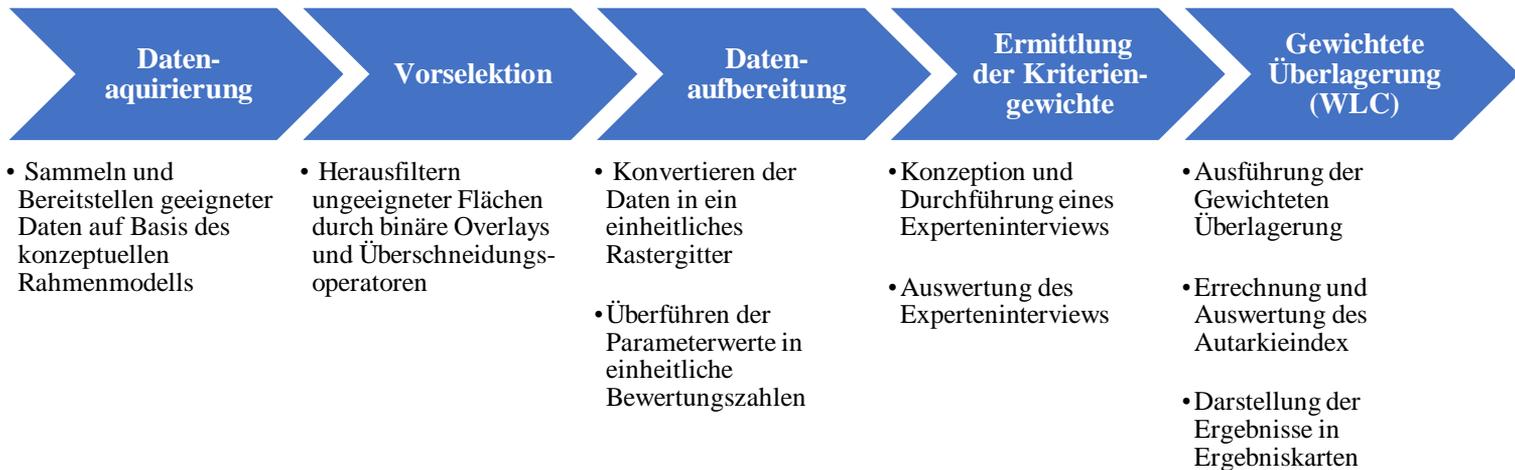


Abbildung 7: Workflow für die Durchführung der Analyse

Im ersten Schritt des Workflows in Abbildung 7 geht es darum, nach dem in Kapitel 2 beschriebenen konzeptuellen Rahmenmodell geeignete Daten zu sammeln und für die Analyse verfügbar zu machen. Im zweiten Schritt wird eine Vorselektion durchgeführt, in der grundsätzlich ungeeignete Flächen bereits im Vorfeld von der Analyse ausgeschlossen werden. Dies wird mit Hilfe von binären Overlays und Überschneidungsoperatoren

umgesetzt. Die so gefilterten Daten werden nun vereinheitlicht, zum einen werden sie in Rasterdatensätze mit einem einheitlichen Rastergitter überführt, zum anderen werden die Parameterwerte in einem Bewertungsschema von 1 bis 10 neu klassifiziert. Zur Ermittlung der Kriteriengewichte wird in Schritt vier ein Experteninterview erstellt, durchgeführt und ausgewertet. Im letzten Schritt werden alle bewerteten Faktoren anhand der jeweiligen Kriteriengewichte in der gewichteten Überlagerung miteinander kombiniert. Dies produziert im Ergebnis den Autarkieindex.

3.3 Gewichtete Überlagerung

Von ESRI wird das Tool *Gewichtete Überlagerung* des *Spatial Analyst* wie folgt beschrieben:

Das Werkzeug "Gewichtete Überlagerung" wendet einen der meistverwendeten Ansätze für die Überlagerungsanalyse an, um Probleme mit mehreren Kriterien, z. B. Standortauswahl und Eignungsmodelle, zu lösen. In einer gewichteten Überlagerungsanalyse wird jeder der allgemeinen Überlagerungsanalyseschritte befolgt. Wie bei allen Überlagerungsanalysen müssen Sie bei der gewichteten Überlagerungsanalyse das Problem definieren, das Modell in untergeordnete Modelle aufgliedern, und die Eingabe-Layer identifizieren. Da die Eingabekriterien-Layer in anderen Nummerierungssystemen mit anderen Bereichen sind, muss für eine einzelne Analyse jede Zelle für jedes Kriterium in einen allgemeinen Präferenzmaßstab, z. B. 1 zu 10, reklassifiziert werden, wobei 10 zu bevorzugen ist. Eine zugewiesene Präferenz auf dem allgemeinen Maßstab überträgt die Präferenz für das Kriterium. Die Präferenzwerte werden auf einem relativen Maßstab definiert. Das heißt, ein Präferenzwert von 10 ist zweimal so präferiert wie ein Präferenzwert von 5. Die Präferenzwerte sollten nicht nur relativ zueinander innerhalb des Layers zugewiesen werden, sondern die gleichen Werte zwischen den Layern haben. Wenn einer Position zu einem Kriterium z. B. eine Präferenz von 5 zugewiesen wird, hat es den gleichen Einfluss auf das Phänomen wie 5 in einem zweiten Kriterium. (...) Jedes der Kriterien in der gewichteten Überlagerungsanalyse hat möglicherweise eine unterschiedliche Wertigkeit. Wichtige Kriterien können stärker als anderen Kriterien gewichtet werden. (...) Die Eingabekriterien werden mit den Gewichtungen multipliziert und anschließend addiert.

Mit dem Werkzeug können nur ganzzahlige Raster als Eingabe verwendet werden, z. B. ein Raster von Landnutzung oder Bodenarten.

Kontinuierliche (Gleitkomma-) Raster müssen zu ganzzahligen Rastern reklassifiziert werden, bevor sie verwendet werden können.

Im Allgemeinen werden die Werte kontinuierlicher Raster in Bereiche, z. B. für Neigung, oder Euklidische Entfernungsausgaben gruppiert. Jedem Bereich muss ein einzelner Wert zugewiesen werden, bevor er im Werkzeug "Gewichtete Überlagerung" verwendet werden kann. Mit dem Werkzeug Reklassifizieren können solche Raster reklassifiziert werden. Sie können entweder den Wert jedem Bereich zugeordnet lassen (beachten Sie den Wertebereich, dem der neue Wert entspricht) und vergeben Gewichtungen an die Zellenwerte in "Gewichtete Überlagerung", oder Sie vergeben die Gewichtung während der Reklassifizierung. Wählen Sie den korrekten Auswertungsmaßstab und fügen Sie das Raster "Gewichtete Überlagerung" einfach hinzu. Die Zellen im Raster sind bereits nach Eignung oder Präferenz, Risiko oder einem ähnlichen universellen Maßstab eingestellt. Die Ausgabe-Raster können gewichtet und addiert werden, um ein Ausgabe-Raster zu erzeugen.

Wenn das Werkzeug "Gewichtete Überlagerung" für Eignungsmodellierung (um geeignete Flächen zu suchen) verwendet wird, deuten höhere Werte auf eine bessere Eignung hin (ESRI o.J.-c).

3.4 Expertenumfrage

Das Experteninterview soll dazu dienen, Expertenmeinungen einzuholen, um den Kriterienwerten eine möglichst realitätsgetreue Gewichtung in der Analyse zu geben.

Der Expertenumfrage, beziehungsweise dem Experteninterview kommt in den Naturwissenschaften eine Sonderstellung zu, wenn es um das *Erfassen spezieller Wissensbestände* geht. Das Experteninterview zählt dabei zu den *qualitativen Methoden der Datenerhebung*, da es sich um persönliche Befragungen handelt, in der die Befragten ihre subjektiven Ansichten, Interessen und Präferenzen einbringen können (MIEG, BRUNNER 2001).

Im Gegensatz zu quantitativen Umfragen geht es bei einem Experteninterview nicht darum, generalisierbare Ergebnisse zu generieren. Aus diesem Grund ist eine repräsentative Stichprobenzahl nicht erforderlich (KAISER 2014).

In dieser Analyse können die Experten als Entscheidungsträger betrachtet werden, da sie anteilig über die Gewichtungen der Parameter entscheiden und so ihre subjektive Perspektive mit einbringen. Oftmals stehen die Sozialwissenschaften vor dem Problem, dass qualitative Umfrageergebnisse nicht objektiv sind. In diesem Fall ist die Subjektivität der

Befragten jedoch ausdrücklich erwünscht, um möglichst viele verschiedene Interessen abzubilden und in den Entscheidungsprozess miteinzubeziehen.

Es ist nicht einheitlich definiert, wer als Experte gilt und was diesen auszeichnet. Oftmals werden Begriffe wie Experte, Berater oder Gutachter synonym verwendet. In der Soziologie wird der Experte über seinen speziellen *Status* definiert, über *Experten-Funktionen* oder auch über *Rollenzuweisungen*. Damit wird ausgedrückt, dass es sich um ein soziales Konstrukt aus Erwartungen und Zuschreibungen an den designierten Experten handelt. In der Psychologie hingegen wird die Frage der Kompetenz als primäres Merkmal angesehen. Es wird in diesem Zusammenhang von *Expertise* gesprochen, was der betreffenden Person besonderes Wissen und angeeignete Fertigkeiten zu einem bestimmten Sachverhalt zuschreibt. Aus dem Forschungsbereich der Kognitionspsychologie lassen sich Forschungserkenntnisse durch die Aussage zusammenfassen, dass Experten aufgrund von *Training* und *langjähriger Erfahrung* ihre Wahrnehmungs- und Handlungsfähigkeiten einem bestimmten Problembereich angepasst haben. Ein Experteninterview bedeutet demnach, jemanden zu seinem/ihrem spezifischen Expertenwissen zu interviewen (MIEG, BRUNNER 2001).

In einer Internetrecherche wurde demnach spezifisch nach Experten für Autarkie recherchiert. Diese sollten aus möglichst diversen Fachrichtungen und Hintergründen kommen, um eine Vielzahl an Ansichten zu berücksichtigen und einen Durchschnitt aus diesen verschiedenen subjektiven Standpunkten bilden zu können. In Frage kamen dabei alle Fachleute, die entweder wegen ihrer Fachrichtung und beruflichen Expertise in einem der in Kapitel 2 beschriebenen Feldern, oder aber aufgrund praktischer Erfahrungen (weil sie beispielsweise selbst ganz oder teilweise autark leben) als Experten gelten. Der Durchschnitt der Werte aus den eingegangenen Umfragen bildet die Grundlage für die Gewichtung der Parameter. Alle Experten werden dabei als gleich „wichtig“ betrachtet, das heißt jeder der Befragten hat einen gleich großen Einfluss auf die Gewichtung.

Die Expertenumfragen wurden an 15 ausgewählte Experten im deutschsprachigen Raum gesendet. Die Experten wurden dazu aufgefordert, jedes der verwendeten Kriterien mit Prozentpunkten anteilig zu gewichten, sodass am Ende die Summe der Kriteriengewichte 100% ergibt (Diese wurde automatisch im Dokument berechnet).

Die Umfrage besteht aus zwei Teilen. Der erste Teil befasst sich mit der Gewichtung der einzelnen Standortparameter, der zweite Teil dient dazu, eine maximale Entfernung von der nächsten befahrbaren Straße zu ermitteln und soll die Indexobergrenze dieses Parameters festlegen. Die Originalvorlage für die Umfrage ist im Anhang einzusehen, die Auswertung der Umfrageergebnisse erfolgt in 4.3.

4 Umsetzung des Modells

In diesem Kapitel werden die verwendeten Daten, deren Aufbereitung sowie die Umsetzung des Modells beschrieben.

4.1 Datengrundlage

Zu folgenden, in 2.6 erwähnten Parametern konnten keine geeigneten Daten ermittelt werden:

- Grundwasserspiegel
- Grundwasserqualität

In folgender Tabelle 4 ist eine Übersicht über die verwendeten Eingangsdaten zusammengestellt. Bezeichnet werden dabei der Datentyp, die Auflösung, der Erfassungszeitraum und die Herkunft der Daten:

Tabelle 4: Übersicht über die verwendeten Daten

Parameter	Datentyp	Auflösung	Zeitraum	Datenquelle
Digitales Geländemodell	Rasterdaten (GeoTIFF)	10 m	2018	Open Data Österreich
Landbedeckung: Corine Land Cover	Vektordaten (Shapefile)	500 m (nominal)	2018	Open Data Österreich
Lufttemperaturen	Rasterdatensatz (GeoTIFF)	1000 m	1994-2018 (gemittelt)	Global Solar Atlas
Sonnenenergiepotenzial: GTI	Rasterdaten (GeoTIFF)	250 m	1994-2018 (gemittelt)	Global Solar Atlas
Mittlere Windgeschwindigkeiten	Rasterdaten (GeoTIFF)	100 m	1981-1990, 1999 (gemittelt)	Austrian Wind Potential Analysis
Niederschlagsmengen	Rasterdaten (GeoTIFF)	1000 m	1961-1990 (gemittelt)	INSPIRE Geodatenportal
Bodenqualität: Digitale Bodenkarte	Vektordaten (Shapefile)	1000 m	1979-2020	Bundesforschungszentrum für Wald (BFW)
Entfernung zu Verkehrsnetz: Open Street Map	Vektordaten (Shapefile)	keine Angabe möglich	2020	Geofabrik Download Server

Es ist ersichtlich, dass die meisten dieser Daten eine weitaus geringere Auflösung haben als die in 2.6 definierte ideale Auflösungsqualität. Das DGM ist der am höchsten aufgelöste Datensatz und soll deshalb die Vorlage für das Rastergitternetz der Analyse bilden. Da allen Layern für das Tool der *gewichteten Überlagerung* das gleiche Rastergitter zu Grunde legen muss, sollen die anderen Layer in das Gitternetz des DGM konvertiert werden. So können die Polygone der CLC und deren Rastergrenzen trotz der Rasterdarstellung vergleichsweise genau abgebildet werden. Die Änderungen von Niederschlagsmengen, Lufttemperaturen und Bodenbeschaffenheit sind in aller Regel großräumige Phänomene, die Veränderungen in nahe gelegenen Gebieten sind folglich meist sehr gering, mit Ausnahmen von steilen Gebirgsanstiegen, tektonischen Grenzen oder ähnlichem. Aus diesem Grund ist bei diesen Parametern eine hohe Auflösung für die Analyse nicht zwingend erforderlich. Bei der Konvertierung in eingangs erwähntes Rastergitter steigt zwar die benötigte Datenmenge erheblich, ohne dass die Informationsdichte oder Datenqualität zunimmt, dennoch sind diese Schritte aufgrund der Funktionsweise des MCDA-Tools der *gewichteten Überlagerung* notwendig. Für die Entfernung zum Straßennetz soll mit *Buffern* gearbeitet werden, weshalb dieser Layer nicht in ein Rasterformat konvertiert werden muss.

4.2 Erstellung des Modells

In der nachfolgenden Abbildung 8 ist das konzeptuelle Modell für die Analyse abgebildet. Dieses wurde mittels *ArcGIS Pro Model Builder* erstellt und stellt den gesamten Workflow dar. Die ovalen Formen stellen dabei jeweils die Variablen/Parameter dar. In dunkelblau werden die Inputparameter dargestellt, sprich die eingangs beschriebenen Grundlagendaten. In grün werden die Outputparameter dargestellt, welche aus den Daten erzeugt werden. Hellblau hinterlegte Parameter sind Attributtabelle, die zusätzlich zu statistischen Zwecken mit erzeugt werden. Die grau hinterlegten Outputparameter sind optionale Parameter, welche in diesem Modell aber nicht erzeugt wurden. Die gelben, rechteckigen Formen bezeichnen die jeweils verwendeten Tools. Die Pfeile zeigen durch ihre Richtung an, welche Variablen ein Tool als Input und als Output verwendet. Wegen der hohen Komplexität des Modells soll diese Ansicht als Überblick über das Analysemodell geben. Eine genauere Beschreibung der Daten, deren Aufbereitung und auch der verwendeten Tools erfolgt in den nachfolgenden Unterkapiteln. Nach der Durchführung der Analyse erfolgt die Auswertung der Ergebnisse in Kapitel 5.

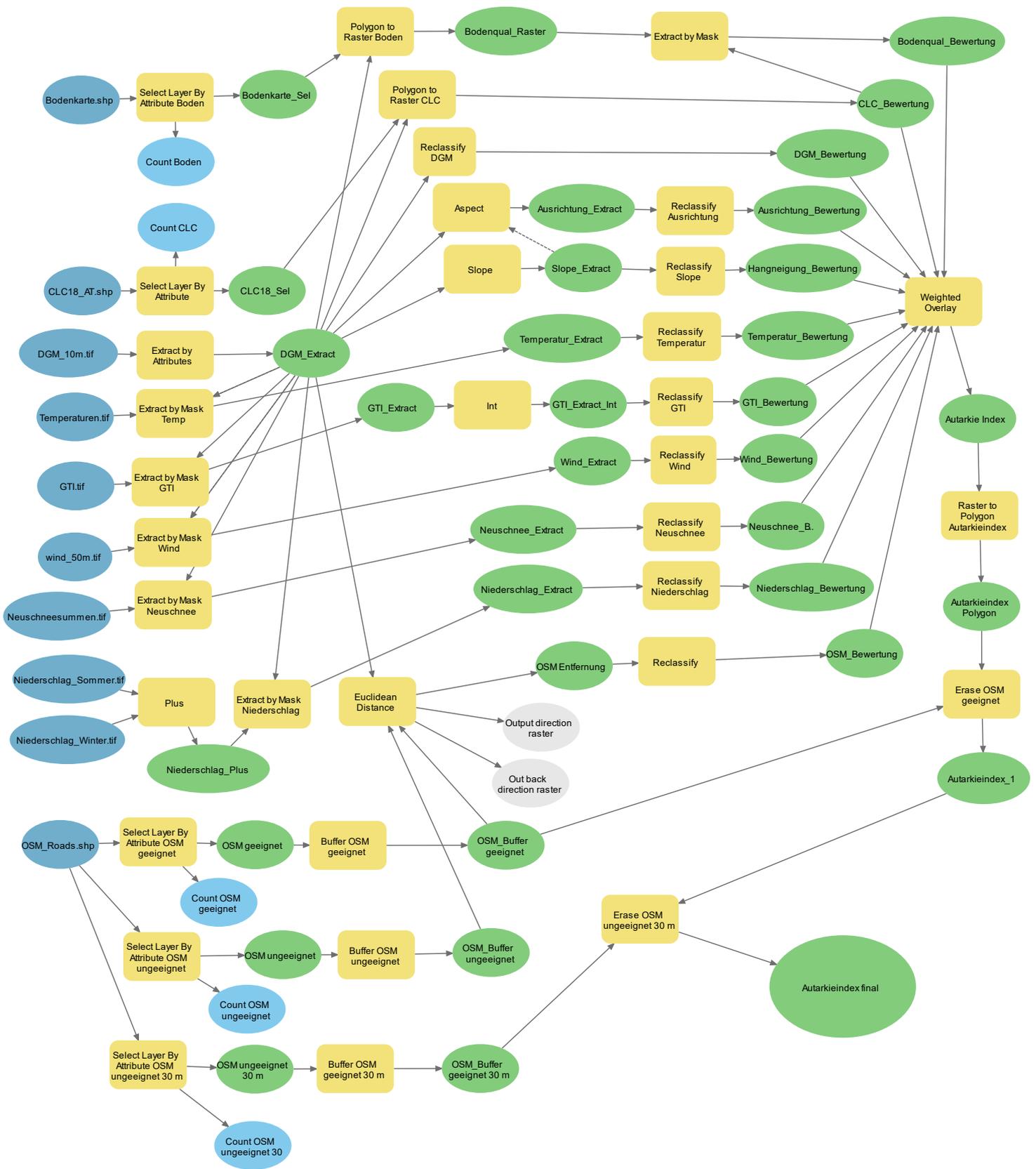


Abbildung 8: Übersicht des Analysemodells (ArcGIS Pro Model Builder)

4.3 Auswertung der Expertenumfrage

Von den 15 Experten, an welche diese Umfrage ausgesendet wurde, hat eine Person teilgenommen. Dessen Bezug zur Autarkie ist zum einen die berufliche Expertise als Umweltingenieur im Bereich des Wasserbaus, zum anderen Erfahrung im Agrarbereich und das persönliche Interesse an der Thematik. In Tabelle 5 dargestellt wurden folgende Gewichtungen abgegeben:

Tabelle 5: Auswertung Frage 1- Gewichtung der Parameter

Parameter	Gewichtung [%]
Höhenlage (m über dem Meeresspiegel)	1
Hangneigung	4
Hangausrichtung	15
Land-/Bodenbedeckung	18
Lufttemperaturen (Jahresmittel)	13
Sonnenenergiepotenzial (Jahresmittel)	20
Mittlere Windgeschwindigkeiten	5
Niederschlagsmengen	5
Neuschneesummen	2
Boden-/Ackerqualität	14
Entfernung zu Verkehrsnetz	3
Summe	100

Die Zusatzfrage nach der maximal tragbaren Entfernung von der nächsten befahrbaren Straße wurde mit *1000 m* beantwortet.

4.4 Digitales Geländemodell

Ein digitales Geländemodell (DGM) von 2018 aus Airborne Laserscan Daten liegt für Österreich als GeoTIFF mit einer Auflösung von 10m x 10m vor und wurde über den Open Data Katalog der Bundesregierung bezogen.

Zunächst geht es auch hier darum, ungeeignete Rasterzellen aus dem Datensatz aus dem Datensatz zu entfernen. Für praktisch umsetzbare Bauvorhaben müssen die jeweiligen

Höhenlagen und Vegetationsstufen der Alpen beachtet werden. Grundsätzlich ist Obst- und Getreideanbau bis zur montanen Stufe möglich, deren Obergrenze bei ca. 1500m in den Randalpen und bei etwa 2000m in den Zentralalpen liegt (DAV o.J.). In größeren Höhenlagen der subalpinen, alpinen und nivalen Stufen ist eine Selbstversorgung durch Nahrungsmittel nur noch sehr eingeschränkt bis gar nicht möglich. Je höher die Lage, desto höher ist in der Regel auch der logistische und monetäre Aufwand eines Bauvorhabens, weshalb bei einer reinen Betrachtung der Höhe über dem Meeresspiegel niedrigere Lagen bevorzugt werden. Somit können im ersten Schritt Rasterzellen mit einem Wert von über 2000m aus dem Datensatz gelöscht werden. Dies wird mit dem Tool *Extract by Attributes* bewerkstelligt, bei dem aus allen Werten kleiner oder gleich 2000 mittels einer SQL-Klausel ein neuer Rasterdatensatz erzeugt wird. Der niedrigste Punkt im Datensatz liegt bei 111 m, die Werte haben damit eine Spannweite von 1889 m. Diese verbleibenden Höhenwerte in werden in dem Tool *Reclassify* in eine kontinuierliche Skala von 1-10 eingeteilt, was einer Klassengröße von gerundet 189 m entspricht (Tabelle 6):

Tabelle 6: Bewertung der Höhenbereiche aus dem DGM

Höhenbereich [m]	Bewertung
111 – 300	10
300 – 489	9
489 – 678	8
678 – 867	7
867 – 1056	6
1056 – 1245	5
1245 – 1434	4
1434 – 1623	3
1623 – 1812	2
1812 - 2000	1

In Abbildung 9 wird der Ergebnisdatensatz in einer Referenzkarte in ArcGIS Pro visualisiert:

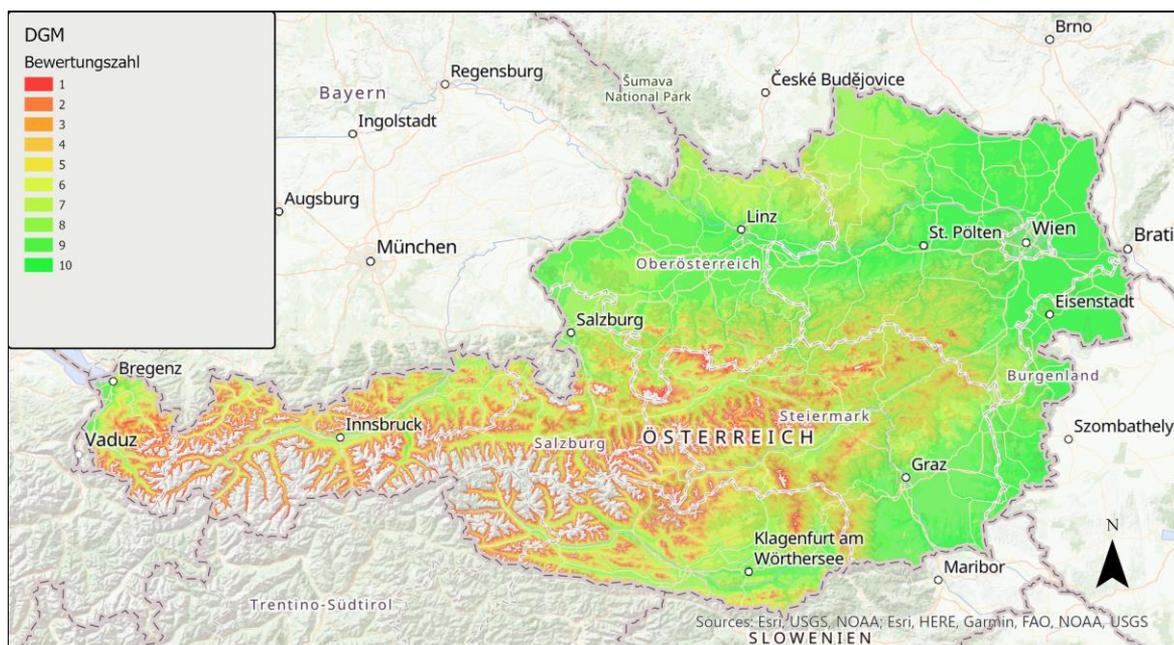


Abbildung 9: Ergebniskarte der Bewertung des digitalen Geländemodells (ArcGIS Pro)

Hier lässt sich die Prägung Österreichs durch die Alpen, sowie der Übergang in die pannonische Tiefebene gut erkennen. Dementsprechend sind bezüglich der Höhenlage weite Gebiete im Norden, Osten und Südosten Österreichs, sowie im westlichen Vorarlberg am besten geeignet. Die Übergangsphase des Voralpenlands und die böhmische Masse im Norden Österreichs mit ihren mittleren Höhen, sowie viele Alpentäler weisen mittlere Bewertungszahlen auf. Zu den Gipfelbereichen hin sinkt die Eignung zur Bebauung, und damit auch die Bewertungszahlen. Flächen, welche ausgegraut sind, weisen Höhen von über 2000 m auf und wurden aus dem Datensatz entfernt. Wie auf der Karte zu erkennen, liegen große Gebiete der Zentralalpen im Südwesten Österreichs über dieser Grenze und sind entsprechend nicht geeignet.

4.5 Hangneigung

Ein weiterer ausschlaggebender Punkt für eine Bebauung ist die Hangneigung. Sie beschreibt den Neigungswinkel zwischen einer Hangfläche und dem Geoid und wird üblicherweise in Grad (°) oder Prozent (%) angegeben. (LEXIKON DER KARTOGRAPHIE UND GEOMATIK 2001)

Häuser, die auf abschüssigem Gelände gebaut werden, müssen in besonderem Maße gegen Abrutschen und eindringendes Wasser geschützt werden. Dies ist, je nach Untergrund, bei steigender Hangneigung auch mit steigendem Aufwand verbunden. Im Allgemeinen sind bezüglich des kosten- und bautechnischen Aufwands flachere Bereiche geeigneten Flächen

vorzuziehen. Prinzipiell raten Experten bei einer Hangneigung ab 15% von einer Bebauung ab, weil dann eine Bebauung so kompliziert wird, dass massive Mehrkosten entstehen. (MUSTERHAUS 2020)

Angewandt auf das DGM bedeutet dies, dass alle Rasterzellen mit einer Hangneigung von mehr als 15% aus dem Datensatz entfernt werden. Dazu wird zunächst aus dem bereits vorhandenen DGM der Werte unter 2000 m mit dem Tool *Slope* ein Rasterdatensatz mit der Hangneigung produziert. Auf diesem Datensatz wird nun ebenfalls das Tool *Extract by Attributes* angewendet, um einen neuen Rasterdatensatz mit allen Werten zu erzeugen, die unter 15% Hangneigung liegen. Im letzten Schritt werden die Hangneigungen wieder in die einheitliche Bewertungsskala von 1-10 überführt. Mit dem Tool *Reclassify* wird nachfolgender Bewertungsschlüssel umgesetzt (Tabelle 7):

Tabelle 7: Bewertung der Hangneigung aus dem DGM

Hangneigung [%]	Bewertungszahl
0 – 1,5	10
1,5 – 3	9
3 – 4,5	8
4,5 – 6	7
6 – 7,5	6
7,5 – 9	5
9 – 10,5	4
10,5 – 12	3
12 – 13,5	2
13,5 – 15	1

In Abbildung 10 wird der Ergebnisdatsatz in einer Referenzkarte in ArcGIS Pro visualisiert:

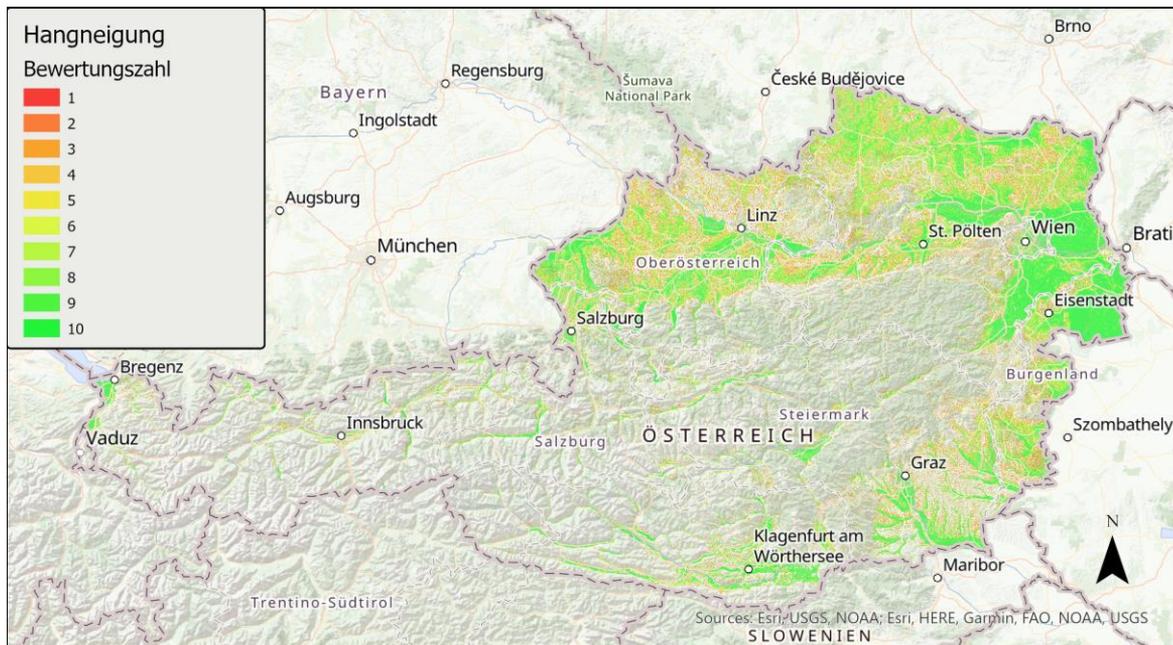


Abbildung 10: Ergebniskarte der Bewertung der Hangneigung (ArcGIS Pro)

Auf der Ergebniskarte sind im gesamtösterreichischen Maßstab nur jene Gebiete gut zu erkennen, welche über weite Gebiete sehr flach sind. Hauptsächlich sind dies Gebiete im Nordwesten und Norden Österreichs, sowie kleinere Gebiete im Süden, Osten und größere Alpentäler. Im Bereich der Alpen gibt es sehr viele Flächen, die eine geeignete Hangneigung aufweisen, allerdings sind diese aufgrund der hügeligen/gebirgigen Struktur der Alpen vergleichsweise klein und erst bei größeren Maßstäben ersichtlich (vergleiche Abbildung 11)

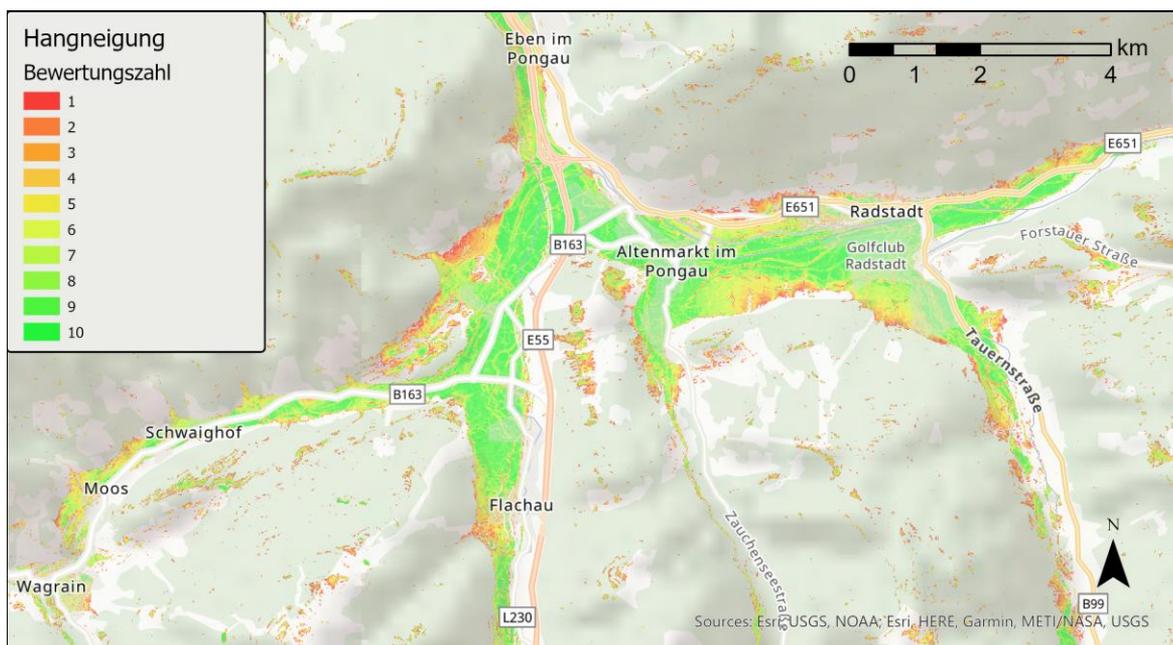


Abbildung 11: Ergebniskarte der Bewertung der Hangneigung am Beispiel Altenmarkt im Pongau (ArcGIS Pro)

In Abbildung 11 ist am Beispiel von Altenmarkt im Pongau und Umgebung ein typisches Alpental und die Bewertung der Hangneigung abgebildet. Das Tal selbst ist größtenteils flach und weist damit hohe Bewertungszahlen auf. Bei den Übergängen in die Hanglagen der angrenzenden Gebirge steigen auch die Hangneigungen, was auf der Karte anhand der Bewertungszahlen zu erkennen ist. Trotzdem gibt es auf den Hügeln und Bergen immer wieder vereinzelte kleinere flache Gebiete, die als Standort theoretisch möglich sind.

4.6 Hangausrichtung

Eine weitere wichtige Kenngröße bei der Planung autarker Nutzung ist die Hangausrichtung, das heißt welcher Himmelsrichtung eine Fläche zugeneigt ist. Bei der Berechnung des Sonnenenergiepotenzials wird zwar die Abschattung durch die topographischen Gegebenheiten und auch weitere Umwelteinflüsse berücksichtigt, nicht jedoch die Auswirkung der Hangausrichtung (SOLARGIS 2021). In der nördlichen Hemisphäre erhalten nach Süden ausgerichtete Hänge deutlich mehr direkte Sonneneinstrahlung pro Flächeneinheit, als dies bei horizontal ausgerichteten Flächen oder Nordhängen der Fall ist (MAMASSIS et al. 2012). Dies spielt eine wichtige Rolle in der landwirtschaftlichen Nutzung von Flächen, insbesondere für Pflanzen, die viel Sonnenlicht brauchen. Südhänge sind demnach West- und Osthängen vorzuziehen. West- und Ostausrichtungen wiederum sind Nordhängen vorzuziehen. Für diese Analyse sollen ebene Flächen trotz der im Vergleich zu Südhängen geringeren direkten Sonneneinstrahlung pro Flächeneinheit, diesen gleichgestellt bewertet werden. Die Bewirtschaftung ebener Flächen erfordert weniger mechanischen Aufwand und ist aus hydrologischer Sicht günstiger, da die Bodenhorizonte im Normalfall Wasser besser versickern und speichern können (ESTLER, PFAHLER 1985). Je höher die Hangneigung bei Südhängen (der optimale Neigungswinkel in Bezug auf die maximale Sonneneinstrahlung variiert in Österreich zwischen 33° und 45°), desto mehr Sonnenenergie trifft auf die Fläche (SOLARGIS 2021). Damit liegt ein Kompromisskriterium vor, und es soll sowohl für horizontale Flächen als auch für Südhänge (bis zum zuvor definierten Schwellenwert von 15% Hangneigung) die Bewertungszahl 10 vergeben werden. Je weiter sich die Ausrichtung des Hangs von Süden weg nach Osten oder Westen, beziehungsweise Norden entfernt, desto geringer die Bewertungszahl. Die geringste Bewertungszahl von 1 wird für Nordhänge vergeben.

Die Neigungsrichtung des Gefälles wird in ArcGIS Pro mit dem Tool *Aspect* berechnet. Die Werte der einzelnen Zellen im Ausgabe-Raster geben die Kompassrichtung an, der die Oberfläche an dieser Position zugewandt ist. Sie wird im Uhrzeigersinn in Grad von 0 (genau Norden) bis 360 (wieder genau Norden) im Vollkreis gemessen. Flache Bereiche ohne Neigungsrichtung erhalten den Wert -1. (ESRI o.J.-b)

Die Ausrichtungsrichtungen werden in Abbildung 12 dargestellt:

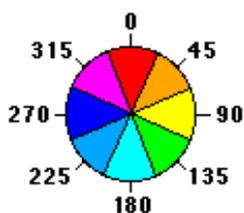


Abbildung 12: Ausrichtungsrichtungen des Tools "Aspect" (ESRI o.J.-b)

Um die anderweitig definierten limitierenden Faktoren des Geländes aus der Hangrichtungsberechnung auszuschließen, wird das bereits extrahierte Höhenmodell mit den Werten unter 2000 m als Eingaberaster verwendet und der ebenfalls bereits erstellte Layer mit den Hangneigungen unter 15% als *Mask Layer* angegeben. So wird die Hangausrichtung nur für Zellen berechnet, die sowohl unterhalb von 2000 m liegen als auch eine Hangneigung von weniger als 15% aufweisen.

Übersetzt in die Bewertungsskala ergibt sich folgende Klassifizierung, wie in Tabelle 8 dargestellt:

Tabelle 8: Bewertung der Hangausrichtung

Gradwert der Hangausrichtung [°]	Bewertungszahl
-1	10
0 – 10	1
10 – 30	2
30 – 50	3
50 – 70	4
70 – 90	5
90 – 110	6
110 – 130	7
130 – 150	8
150 – 170	9
170 – 190	10
190 – 210	9
210 – 230	8
230 – 250	7
250 – 270	6

270 – 290	5
290 - 310	4
310 – 330	3
330 – 350	2
350 – 360	1

Angelehnt an die Kreisformdarstellung aus vorangegangener Abbildung 12 können auch die Bewertungszahlen nach den Gradzahlen der Tabelle 8 und den Himmelsrichtungen in einem Vollkreis dargestellt werden (Abbildung 13).

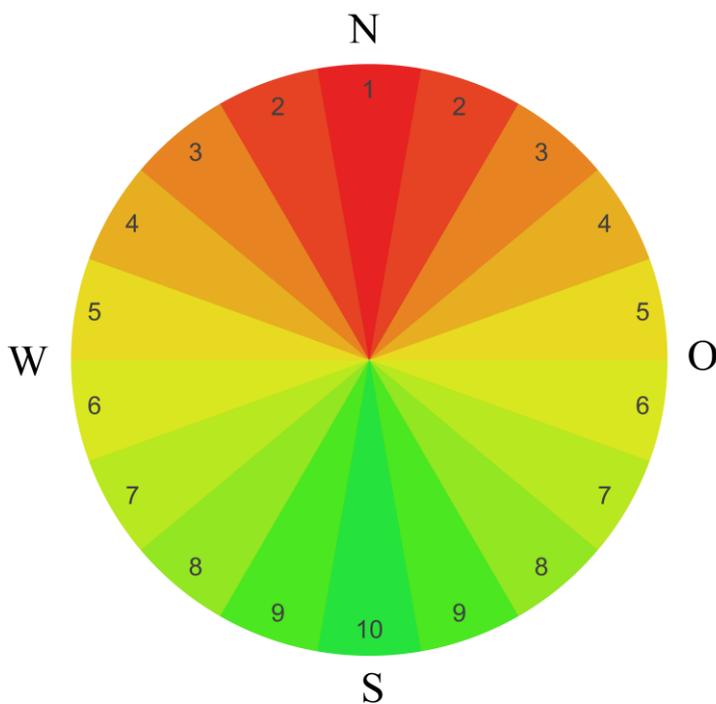


Abbildung 13: Bewertung der Hangausrichtung in Kreisdarstellung (eigene Darstellung)

Auf dem Kreisdiagramm sind die Haupthimmelsrichtungen Norden, Süden, Osten und Westen angegeben sowie die einzelnen Unterteilungen der Himmelsrichtungsabschnitte in die jeweiligen Bewertungszahlen von 1 (rot hinterlegt) bis 10 (grün hinterlegt).

Mit dem Tool *Reclassify* wird diese Klassifizierung auf den Datensatz angewandt.

4.7 Landbedeckung: Corine Land Cover 2018 (CLC)

CORINE ist ein EU-weites Programm zur einheitlichen Erfassung von Landbedeckung aus Satellitendaten zum Zwecke von Umweltmonitoring (UMWELTBUNDESAMT 2021). Die minimale Größe einer Fläche, damit diese in der CLC erfasst wird, beträgt 25 Hektar (entspricht einer nominalen Auflösung von 500 m x 500 m) und wird als *Minimal Mapping Unit (MMU)* bezeichnet. Die CLC liegt als Vektordatensatz im Shapefile-Format vor und wird vom Umweltbundesamt über das Open Data Portal Österreichs zur Verfügung gestellt.

Nachfolgende Tabelle 9 zeigt die Übersicht über die Nomenklatur (verändert nach NATIONALPARK HOHE TAUERN TIROL 2014). Dabei wurden jene Landbedeckungsarten ausgegraut, welche in Österreich nicht vorkommen (von 44 erfassten Landbedeckungsarten sind in Österreich 28 vertreten). Weiters wurde eine Unterscheidung in *generell geeignet (grün)*, *bedingt geeignet (gelb)* und *ungeeignet (rot)* vorgenommen. *Generell geeignet* bedeutet hierbei, dass diese Flächen prinzipiell gut für eine Bebauung geeignet sind, solange keine anderen Einschränkungen vorhanden sind. *Bedingt geeignet* bedeutet, dass die Flächen zwar theoretisch geeignet wären, jedoch überwiegend anderweitig genutzt werden. Mit *ungeeignet* sind alle Flächen gemeint, die für eine naturnahe Bebauung aufgrund ihrer Beschaffenheit nicht in Frage kommen. Für die Beurteilung dieser Einteilung wurden die im Anhang weiter ausgeführten Begriffsbestimmungen der CLC Klassifikation herangezogen, welche diese Landbedeckungsarten näher beschreiben.

Tabelle 9: Corine Land Cover Nomenklatur und Eignung als Autarkie-Baufläche (verändert nach NATIONALPARK HOHE TAUERN TIROL 2014)

1. Bebaute Fläche	1.1. Städtisch geprägte Flächen	1.1.1. durchgängig städtische Prägung 1.1.2. nicht durchgängig städtische Prägung
	1.2. Industrie-, Gewerbe- und Verkehrsflächen	1.2.1. Industrie/Gewerbeflächen 1.2.2. Straßen/Eisenbahnnetze, funktionell zugeordnete Flächen 1.2.3. Hafengebiete 1.2.4. Flughäfen
	1.3. Abbauflächen, Deponien, Baustellen	1.3.1. Abbauflächen 1.3.2. Deponien, Abraumhalden 1.3.3. Baustellen
	1.4. Künstlich angelegte nicht landwirtschaftlich genutzte Flächen	1.4.1. Städtische Grünflächen 1.4.2. Sport/Freizeitanlagen
2. Landwirtschaft	2.1. Ackerflächen	2.1.1. Nicht bewässertes Ackerland
		2.1.2. Regelmäßig bewässertes Ackerland

		2.1.3. Reisfelder
	2.2. Dauerkulturen	2.2.1. Weinbauflächen 2.2.2. Obst/Beerenobstbestände 2.2.3. Olivenhaine
	2.3. Grünland	2.3.1. Wiesen und Weiden
	2.4. Heterogene landwirtschaftliche Flächen	2.4.1. Einjähr. Kulturen in Verbindung mit Dauerkulturen 2.4.2. Komplexe Parzellenstruktur 2.4.3. Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher Vegetation von signifikanter Größe 2.4.4. Land/Forstwirtschaftliche Flächen
3. Wälder und naturnahe Flächen	3.1. Wälder	3.1.1. Laubwälder 3.1.2. Nadelwälder 3.1.3. Mischwälder
	3.2. Kraut/Strauchvegetation	3.2.1. Natürliches Grünland 3.2.2. Heiden und Moorheiden 3.2.3. Hartlaubbewuchs 3.2.4. Wald/Strauch Übergangsstadien
	3.3. Offene Flächen ohne oder mit geringer Vegetation	3.3.1. Strände, Dünen, Sandflächen 3.3.2. Felsflächen ohne Vegetation 3.3.3. Flächen mit spärlicher Vegetation 3.3.4. Brandflächen 3.3.5. Gletscher/Dauerschneegebiet
4. Feuchtflächen	4.1. Feuchtflächen im Landesinneren	4.1.1. Sümpfe 4.1.2. Torfmoore
	4.2. Feuchtflächen an der Küste	4.2.1. Salzwiesen 4.2.2. Salinen 4.2.3. In der Gezeitenzone liegende Flächen

5. Wasserflächen	5.1. Wasserflächen im Landesinneren	5.1.1. Gewässerläufe 5.1.2. Wasserflächen
	5.2. Meeresgewässer	5.2.1. Lagunen 5.2.2. Mündungsgebiete 5.2.3. Meer und Ozean

Zur Bereitstellung der Daten entsprechend den Vorgaben müssen diese zunächst gefiltert werden. Es soll daher im ersten Schritt darum gehen, ungeeignete Klassen vom Datensatz zu entfernen. Felsen ohne oder mit spärlicher Vegetation sowie Gletscher und Dauerschneegebiete befinden sich meist in höheren Lagen und Gebirgen. Sie sind in den wenigsten Fällen für eine Bebauung geeignet und werden deshalb nicht in die Analyse mit einbezogen. Ebenso wenig geeignet sind jegliche Form von Industrie-, Gewerbe- und Verkehrsflächen. Abbauf Flächen, Deponien, Baustellen sowie Feucht- und Wasserflächen. Dazu werden in ArcGIS Pro die ungeeigneten Klassen mittels einer *SQL Query* selektiert und anschließend aus dem Datensatz gelöscht.

Nun müssen die geeigneten Landbedeckungsarten bezüglich des Grades ihrer Eignung in eine Rangordnung gebracht und eine Bewertungszahl vergeben werden. In der Praxis muss in jedem Fall die Situation vor Ort betrachtet werden, doch im Allgemeinen sind Landbedeckungsarten unterschiedlich für die Bebauung geeignet und damit auch bewertbar. Es werden Bewertungszahlen von 1 bis 10 vergeben, wobei 1 weniger oder bedingt geeignet bedeutet, und 10 prinzipiell sehr gut geeignet. Grundsätzlich sind Landwirtschaftliche Nutzflächen auch für autarke Bauvorhaben geeignet, solange die Bodenflächen unversiegelt, nicht verschattet und von guter Bodenqualität sind. Sie nehmen daher in dieser Rangfolge wegen der meist fruchtbaren Böden die höchsten Bewertungen ein. Bei Flächen, die nicht durchgehend städtisch geprägt sind und genügend unversiegelte Grünflächen vorhanden sind, ist auch eine Bebauung möglich. Gleiches gilt theoretisch auch für künstlich angelegte städtische Grünflächen und Freizeitanlagen wie Campingplätze, wobei sich dort eine Umsetzung in den meisten Fällen als schwierig erweisen dürfte. Darauf folgen die naturnahen Flächen wie etwa Wälder und Kraut/Strauchvegetation, wo eine Bebauung zwar möglich ist, aber aufgrund der Bodenqualität oder -bedeckung mit einigen, bis hin zu erheblichen Einschränkungen zu rechnen ist. Bei Wäldern ist zum Beispiel zu berücksichtigen, dass möglicherweise Flächen gerodet werden müssen, was nicht der Prämisse der Ressourcenschonung entspricht. Weiters kann es zu einer Abschattung kommen, was die Menge an potentiell verfügbarer Solarenergie mindern kann. Weiters muss unterschieden werden, dass Laubwälder gegenüber Nadelwäldern einen Vorteil haben, da sie im Winter ihre Blätter abwerfen, wodurch die Sonneneinstrahlung in dieser Jahreszeit höher ausfällt. So werden in Tabelle 10 folgende Bewertungszahlen vergeben und als neue Spalte im Datensatz entsprechend den Codes angelegt:

Tabelle 10: Bewertung der Landbedeckung

Code	Landbedeckungsart	Bewertungszahl
112	nicht durchgängig städtische Prägung	2
141	Städtische Grünflächen	1
142	Sport/Freizeitanlagen	2
211	Nicht bewässertes Ackerland	10
221	Weinbauflächen	9
222	Obst- und Beerenobstbestände	7
231	Wiesen und Weiden	10
242	Komplexe Parzellenstruktur	8
243	Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher Vegetation von signifikanter Größe	7
311	Laubwälder	4
312	Nadelwälder	2
313	Mischwälder	3
321	Natürliches Grünland	6
322	Heiden und Moorheiden	5
324	Wald/Strauch Übergangsstadien	5

Da bei der gewichteten Überlagerung nur Rasterdatensätze als Inputs verwendet werden können und die CLC Klassifizierung als Polygondatensatz vorliegen, muss der reklassifizierte Layer in einen Rasterdatensatz konvertiert werden. Dies wird mit dem Tool *Polygon to Raster* in Abbildung 14 umgesetzt. Dabei wird das Feld mit der *Bewertung* als *Value field* im Zielrasterdatensatz zugewiesen. Der *Cell Assignment Type* wird auf *Maximum area* gesetzt. Dies bedeutet, dass die entstehende Rasterzelle den Wert jenes Polygons annimmt, welches innerhalb der Rasterzelle im Gitter anteilig die Größte Fläche einnimmt. Als Zellgröße wird die gleiche Auflösung wie bei den weiteren Analysen

zugrunde liegenden bereits aufbereitetem *Digitalen Geländemodells (DGM) unter 2000 m* angegeben. Diese entspricht einer räumlichen Auflösung von 10 x 10m pro Rasterzelle.

Zusätzlich wird das selektierte DGM als *Snap Raster* angegeben, sodass Flächen, die über 2000 m Höhe liegen, auch aus dem CLC Layer ausgeschnitten werden.

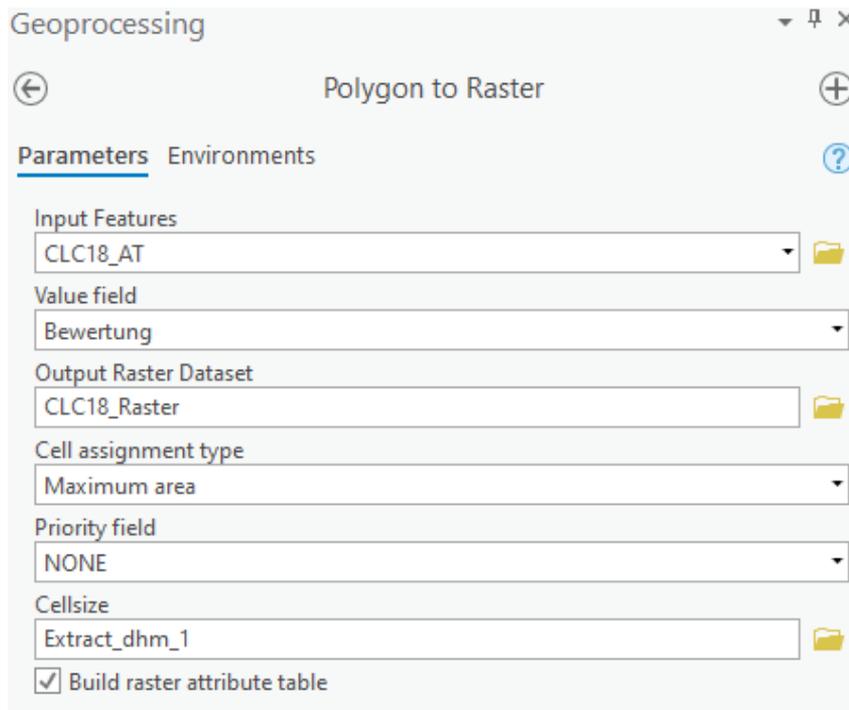


Abbildung 14: Konvertierung der CLC mit dem Polygon to Raster Tool (ArcGIS Pro)

In Abbildung 15 wird der Ergebnisdatensatz in einer Referenzkarte in ArcGIS Pro visualisiert:

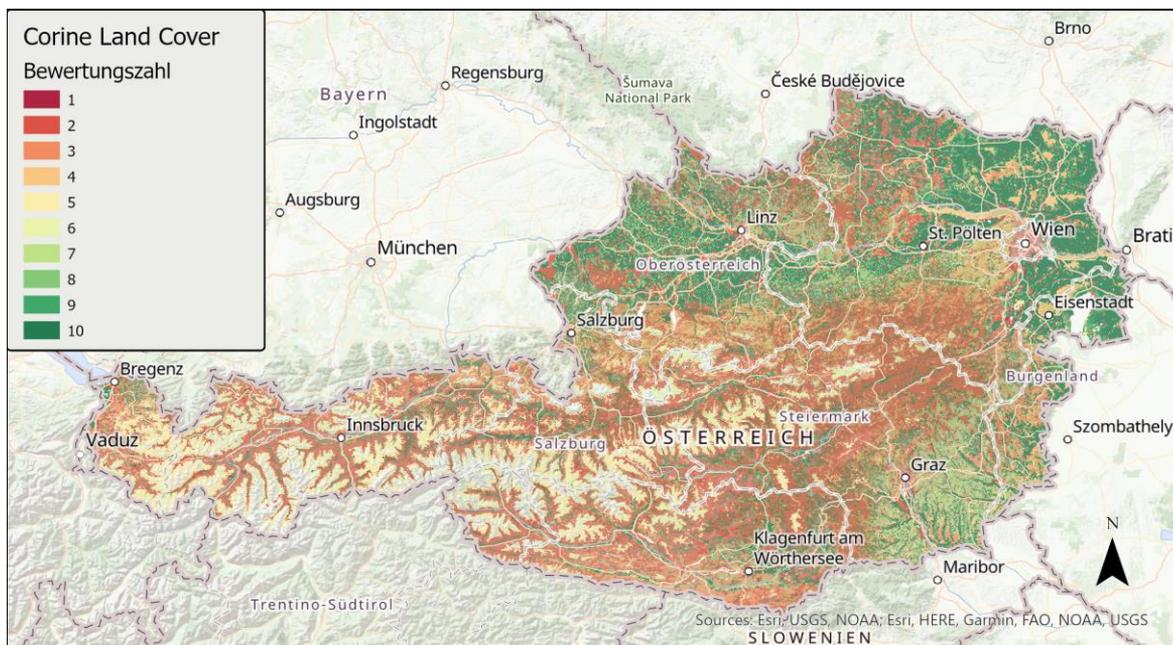


Abbildung 15: Ergebniskarte der Bewertung der Corine Land Cover (ArcGIS Pro)

Auf der Karte ist zu sehen, dass auch hier die Daten sehr inhomogen verteilt sind, und es eine Vielzahl kleiner Flächen gibt, die in diesem Maßstab nicht erfasst werden können. Als allgemeinen Trend kann man jedoch festhalten, dass auch bei der Landbedeckung die tiefer gelegenen Gebiete im Burgenland, im Norden und Osten Niederösterreichs, Oberösterreich und mit Einschränkungen in der Steiermark am besten geeignet scheinen.

4.8 Lufttemperaturen

In diesem Modell wird die jährliche Durchschnittstemperatur einer Langzeitbetrachtung in der Periode 1994 – 2018 herangezogen. Die Daten stammen vom Global Solar Atlas 2.0 und liegen als GeoTIFF in einer nominalen räumlichen Auflösung von 1 km vor. Die Temperaturen reichen von jährlichen Durchschnittswerten von $-9,3^{\circ}\text{C}$ bis $11,6^{\circ}\text{C}$.

Um die Hochgebirgslagen herauszufiltern, wird das Tool *Extract by Mask* angewendet. Der Temperaturrasterdatensatz ist der Input und das DGM <2000 m wird als *Mask Data* definiert und die Zellgröße des Layers übernommen. Außerdem wird das Zielkoordinatensystem von *WGS 1984* nach *MGI Austria Lambert* transformiert. Dies hat den Hintergrund, dass das *MGI Austria Lambert* Koordinatensystem für Österreich eine bessere Darstellung auf Karten ermöglicht und die bisherigen Datensätze bereits in diesem Koordinatensystem vorliegen. Nach der Extraktion liegen Temperaturwerte im Bereich von $-3,5^{\circ}\text{C}$ bis $11,5^{\circ}\text{C}$ vor, was eine einfache Einteilung in die universale Bewertungsskala in Schritten von $1,5^{\circ}\text{C}$ ermöglicht (Tabelle 11):

Tabelle 11: Bewertung der Jahresdurchschnittstemperaturen 1994 - 2018

Temperaturbereich [°C]	Bewertungszahl
-3,5 bis -2	1
-2 bis -0,5	2
-0,5 bis 1	3
1 bis 2,5	4
2,5 bis 4	5
4 bis 5,5	6
5,5 bis 7	7
7 bis 8,5	8
8,5 bis 10	9
10 bis 11,5	10

Mit dem Tool *Reclassify* wird der Datensatz nach dieser Bewertungsskala neu klassifiziert.

In Abbildung 16 wird der Ergebnisdatsatz in einer Referenzkarte in ArcGIS Pro visualisiert:

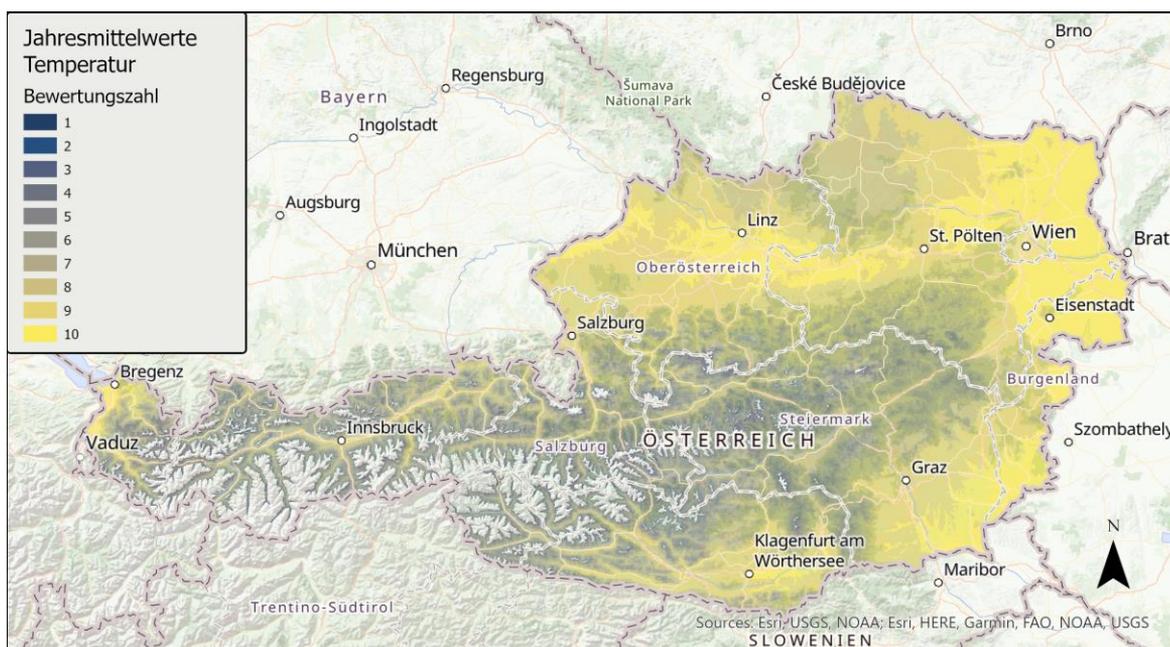


Abbildung 16: Ergebniskarte der Bewertung der Jahresdurchschnittstemperaturen (ArcGIS Pro)

Hier verhalten sich die Jahresmittelwerte ähnlich proportional zu den Höhenlagen. Die tieferen Gebiete im Osten, Norden, und an der Westgrenze Österreichs weisen entsprechend

niedrigere Temperaturen auf als höher gelegene Gebiete in den Alpen, und sind damit als Wohnraum auch besser geeignet.

4.9 Sonnenenergiepotenzial

Die Solardaten stammen ebenfalls aus dem Global Solar Atlas. Verwendet wird hier der Langzeit-Jahresdurchschnitt der Globalstrahlung bei optimalem Neigungswinkel, auch genannt *global irradiation at optimum tilt (GTI)*. Der optimale Neigungswinkel für PV-Anlagen variiert in Österreich zwischen 33° und 45°. Dieser Umstand wurde in die GTI mit einberechnet, und gibt so die maximal mögliche Energiemenge pro Fläche an, wenn diese im optimalen Winkel für den jeweiligen Standort ausgerichtet ist. Die GTI ist die Summe aus reflektierter, direkter und diffuser Strahlung, die auf die Fläche trifft und eine wichtige Referenz für PV-Anwendungen aller Art. (SOLARGIS 2021).

Für die Solarmodellierung kommt dabei ein Algorithmus zum Einsatz, welcher verschiedene Parameter berücksichtigt (SOLARGIS 2021):

- Atmosphärische Parameter
 - Wasserdampf
 - Optische Tiefe von Aerosolen
 - Aerosolarten
 - Ozon
- Umwelteinflüsse
 - Höhenlage
 - Abschattung
 - Lufttemperaturen
- Solargeometrie
 - Zenithwinkel
 - Azimuthwinkel
 - Weltraumstrahlung
- Satellitendaten
 - Wolkenabdeckung
 - Sichtbare Kanäle
 - Infrarotkanäle

Der Datensatz liegt als GeoTIFF in einer nominalen räumlichen Auflösung von 250 m vor, Die GHI wird dabei in kWh/m² angegeben und bewegt sich in Österreich in den vergangenen 25 Jahren im Jahresdurchschnitt in einem Bereich zwischen 310 und 1778 kWh/m². Aufgrund der geringen Auflösung des Modells wird eine regionale Unsicherheit der Daten zwischen 3% und 10% angegeben (SOLARGIS 2021). Auch hier kommt das Tool *Extract by Mask* zum Einsatz, es werden die gleichen Parameter verwendet wie auch bei dem Temperaturdatensatz. Da im Rasterdatensatz die Werte mit 6 Nachkommastellen angegeben sind, werden diese im nächsten Schritt mit den Tool *Int* auf die jeweils nächste ganze Zahl

gerundet. Der Datensatz weist nun Werte zwischen 365 und 1662 kWh/m² auf, was einer Differenz von 900 kWh/m² entspricht. Bei einer kontinuierlichen Bewertungsskala von 1-10 ergibt sich daraus eine Klassengröße von gerundet 130 kWh/m² (Tabelle 12):

Tabelle 12: Bewertung der Globalstrahlung bei optimalem Neigungswinkel (GTI)

GTI-Wert [kWh/m ²]	Bewertungszahl
365 – 495	1
495 – 625	2
625 – 755	3
755 – 885	4
885 – 1015	5
1015 – 1145	6
1145 – 1275	7
1275 – 1405	8
1405 – 1535	9
1535 - 1662	10

Mit dem Tool *Reclassify* wird der Datensatz nach dieser Bewertungsskala neu klassifiziert.

In Abbildung 17 wird der Ergebnisdatsatz in einer Referenzkarte in ArcGIS Pro visualisiert:

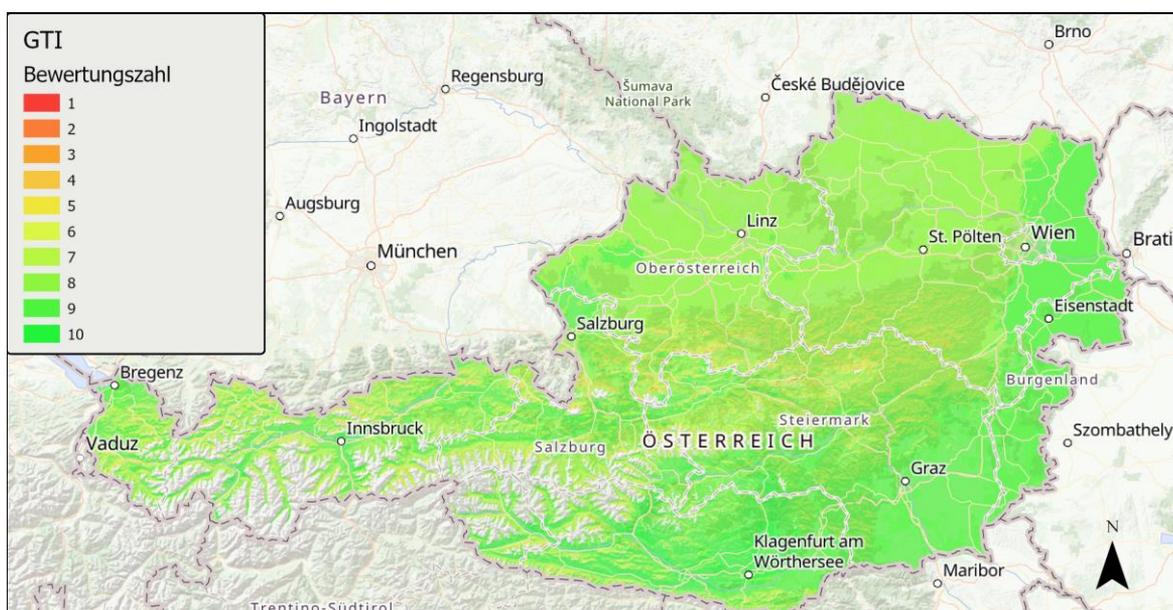


Abbildung 17: Ergebniskarte der Bewertung des Sonnenenergiepotenzials (ArcGIS Pro)

Es ist auf der Karte ersichtlich, dass das Solarpotenzial in Österreich fast durchgehend mittlere hohe Bewertungszahlen erreicht. Am besten geeignet sind hier der Osten und Süden Österreichs, wo das kontinentale und teils mediterrane Klima Einfluss nimmt. Die Bereiche, in denen mittlere Bewertungszahlen vorherrschen, sind primär jene Gebiete mit hohen Niederschlagswerten (vergleiche Abschnitt 4.10), was mit höherer Wolkenbedeckung einhergeht. Schlecht geeignete Flächen befinden sich fast ausschließlich an steilen Nordhängen von Gebirgen.

4.10 Windgeschwindigkeiten

Die Daten für die mittleren Windgeschwindigkeiten stammen von dem Projekt der *Austrian Wind Potential Analysis*, einem Windatlasprojekt und Windpotenzialstudie aus dem Jahr 2011. Die Daten wurden freundlicherweise von Markus Biberacher (Research Studio iSPACE, Salzburg), einem der Autoren der Windpotenzialstudie, für diese Arbeit zur Verfügung gestellt.

In dem Modell wurden unter anderem die mittleren Windgeschwindigkeiten für verschiedene, windkraftrelevante Höhen berechnet. Die Berechnung erfolgte durch eine Verschränkung einer neuen Form der dynamischen Modellierung mit einem geostatistischen Interpolationsverfahren, wobei die Qualität der Ergebnisse durch die Einbindung einer möglichst hohen Anzahl von realen Windmessdaten und der Energieerträge von bestehenden Windkraftanlagen verbessert wurde. Die Daten für das Modell stammen dabei aus einer klimarelevanten 10-Jahresperiode im Zeitraum 1981 bis 1990 sowie dem Jahr 1999. Es wurden außerdem Messdaten im Zeitraum von 1995 bis 2007 verwendet, um das Modell zu trainieren (KRENN et al. 2011).

Der zur Verfügung gestellte Rasterdatensatz ist als GeoTIFF vorhanden und weist eine horizontale Auflösung von 100 x 100 m auf. Die Windgeschwindigkeiten beziehen sich dabei auf eine Höhe von 50 m über dem Boden. Dies ist zwar nicht ideal, da private Windkraftanlagen in aller Regel unter 30 m Höhe liegen, für eine vergleichende Bewertung der Windgeschwindigkeiten reicht dies jedoch aus. Der Datensatz ist ein Integer-Gitter, bei dem die mittleren Jahreswindgeschwindigkeiten in m/s mit dem Faktor 1000 multipliziert wurden.

Im ersten Schritt geht es nun erneut darum, Höhenlagen über 2000 m auszuschließen und den Datensatz in das Rastergitter des vorliegenden Modells zu konvertieren. Hierzu wird das Tool *Extract by Mask* eingesetzt und die Parameter wie bei den vorherigen Kriterien eingestellt. Nach der Extraktion reichen die Werte von 1500 bis 9182, was mittleren Windgeschwindigkeiten von 1,5 bis 9,182 m/s entspricht. Der Wertebereich umfasst eine Differenz von 7682, was einer Klassengröße von gerundet 768 entspricht. Dementsprechend wird der Datensatz nach folgendem, in Tabelle 13 dargestelltem Bewertungsschema klassifiziert:

Tabelle 13: Bewertung der mittleren Windgeschwindigkeiten

Mittlere Windgeschwindigkeiten [m/s*1000]	Bewertungszahl
1500 - 2268	1
2268 - 3036	2
3036 – 3804	3
3804 – 4572	4
4572 – 5340	5
5340 – 6108	6
6108 – 6876	7
6876 – 7644	8
7644 – 8412	9
8412 - 9182	10

Der Datensatz wird mit dem Tool *Reclassify* nach diesem Schema neu klassifiziert.

In Abbildung 18 wird der Ergebnisdatsatz in einer Referenzkarte in ArcGIS Pro visualisiert:

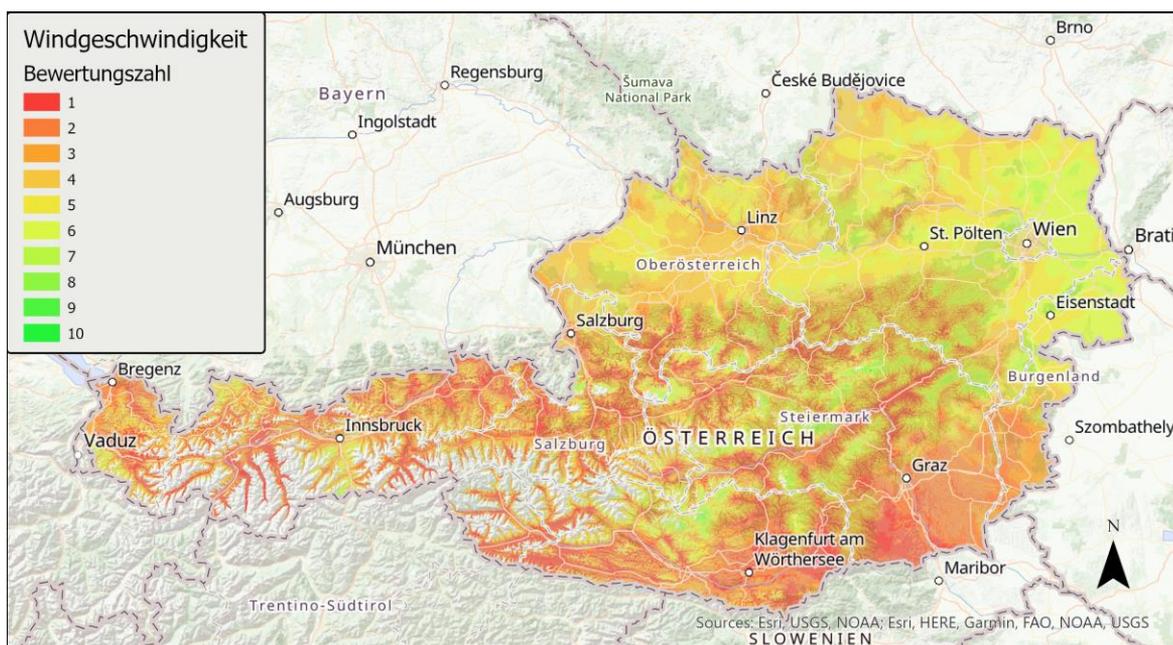


Abbildung 18: Ergebniskarte der Bewertung der mittleren Windgeschwindigkeiten (ArcGIS Pro)

In der Ergebniskarte ist zu erkennen, dass im pannonischen Becken im Norden und Nordosten Flächen mit mittleren und hohen Bewertungszahlen vorherrschen, im Süden und

Südosten hingegen tendenziell geringe Windgeschwindigkeiten und niedrige Bewertungszahlen. Hohe Bewertungszahlen werden an den westlichen und nördlichen Rändern erreicht, sowie oftmals mit steigender Höhe an Berghängen von weitläufigen Alpentälern im ganzen Bundesgebiet.

4.11 Niederschlagsmengen

Das Niederschlagswasser wird zum einen als Brauchwasser im Haushalt benötigt, zum anderen für landwirtschaftliche Zwecke. Wenn kein geeignetes (Flies-)Gewässer oder Grundwasserquelle mit ausreichenden Vorräten vorhanden ist, bestimmt die Niederschlagsmenge zu einem großen Teil, wie viel Brauchwasser an einem Standort zur Verfügung steht. Allgemeine Aussagen in Bezug auf gewünschte Niederschlagsmengen zu treffen ist schwierig, da es eine Vielfalt von potenziellen Nutzpflanzen gibt und diese oftmals sehr unterschiedliche klimatische Standortbedingungen für optimales Wachstum benötigen. Die Auswahl der Nutzpflanzen muss deshalb immer dem Standort angepasst werden. Wird der Faktor Niederschlag isoliert betrachtet, lassen sich jedoch folgende pauschalen Aussagen treffen:

- Je höher der Niederschlag, desto mehr Brauchwasser für Haushalt und landwirtschaftliche Nutzung steht an an einem Standort zur Verfügung
- Je höher der Niederschlag, desto größer ist das allgemein betrachtet das Potenzial für Artenvielfalt und Pflanzenwachstum

Es wird demnach für diese Analyse festgelegt, dass die höchsten Niederschlagsmengen auch die höchsten Bewertungszahlen erhalten, und geringe Niederschlagsmengen die niedrigsten Bewertungszahlen.

Eine Ausnahme bildet dabei Niederschlag in Form von Schnee, da dieser eine negative Auswirkung auf die landwirtschaftliche Nutzbarkeit haben kann. Eine hohe Schneedecke ist eine physikalische Belastung für Ackerflächen, Kulturpflanzen, Dächer und tragende Wände, und kann zudem beispielsweise Solarzellen verdecken, sodass diese keinen Strom produzieren können.

Die Niederschlagsmengen liegen im GeoTIFF-Format als interpolierte 30-jährige mittlere Klimadaten aus der Klimaperiode der Jahre 1961 bis 1990 in einer räumlichen Auflösung von 1 km vor und werden über das europäische INSPIRE Geodatenportal bezogen. Sie werden dort als mittlere Niederschlagssummen als zweigeteilte Datensätze angeboten, zum einen die Summe im Sommer (April bis September), zum anderen die Summe im Winter (Oktober bis März).

Weil in dieser Analyse der gesamte Jahresniederschlag betrachtet werden soll, müssen zunächst die beiden Rasterdatensätze zusammengeführt werden. Dies wird mit dem Tool *Plus* umgesetzt, bei dem die Werte von zwei Rastern auf Zellenbasis addiert werden. Das Schema der Funktionsweise des Tools ist in Abbildung 19 abgebildet. Die Werte der Zellen der Inputraster (InRas1 und InRas2), die übereinander liegen, werden addiert und in einem Outputraster (OutRas) zusammengefasst:

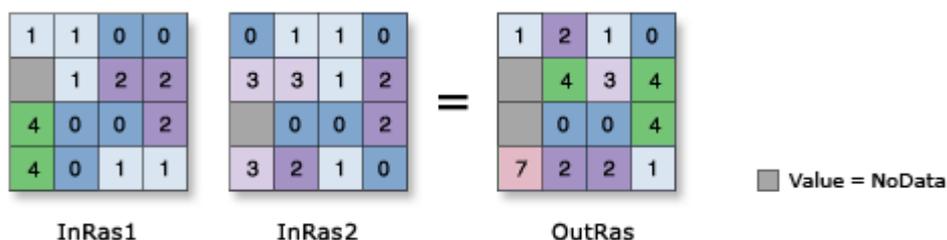


Abbildung 19: Funktionsweise des Spatial Analyst Tools Plus (ESRI o.J.-d)

Um Niederschläge aus den Flächen über 2000 m Höhe auszuschließen, kommt erneut das Tool *Extract by Mask* zum Einsatz. Es werden die gleichen Parameter verwendet wie bei den vorherigen Datensätzen. Der so produzierte Datensatz weist jährliche Niederschlagsmengen im Bereich von 550 mm bis 3031 mm auf, was einer Differenz 2481 mm entspricht. Damit liegt die Klassengröße für die kontinuierliche Bewertungsskala bei gerundet 248 mm. In nachfolgender Tabelle 14 ist die Bewertungsskala abgebildet:

Tabelle 14: Bewertung der Niederschlagsmengen

Niederschlagsmengen [mm]	Bewertungszahl
550 - 798	1
798 – 1046	2
1046 – 1294	3
1294 – 1542	4
1542 – 1790	5
1790 – 2038	6
2038 – 2286	7
2286 – 2534	8
2534 – 2782	9
2782 - 3031	10

Mit dem Tool *Reclassify* wird der Datensatz nach dieser Bewertungsskala neu klassifiziert.

In Abbildung 20 wird der Ergebnisdatensatz in einer Referenzkarte in ArcGIS Pro visualisiert:

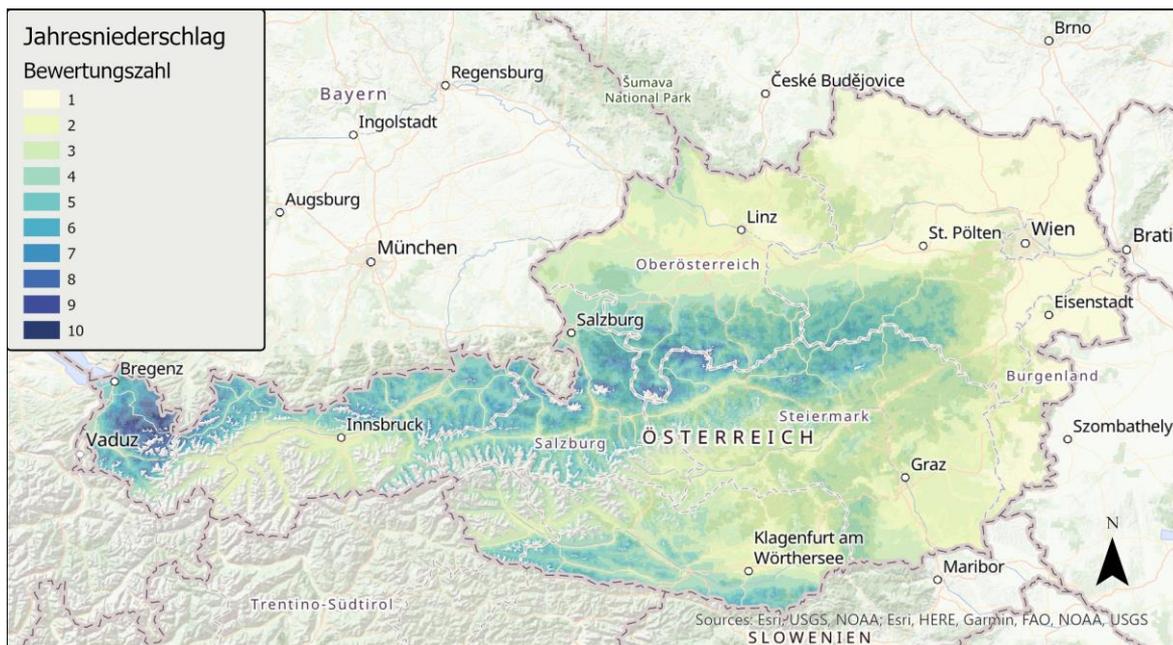


Abbildung 20: Ergebniskarte der Bewertung der mittleren Jahresniederschlagsmengen (ArcGIS Pro)

Auf der Karte ist die Wirkung der Alpen als Klimascheide zu erkennen. Die West- und Nordwestlagen, die gesamten nördlichen Kalkalpen sowie die Südlagen der Alpen sind im Jahresverlauf häufig die Luvseiten der heranströmenden Luftmassen aus dem Westen, Norden und Süden. Dies führt auf beiden Seiten zu großen Mengen an Stauniederschlägen. Im Osten Österreichs setzt sich hingegen das pannonisch-kontinentale Klima durch, mit eher trockenen, heißen Sommern sowie ebenso niederschlagsarmen, kalten Wintern. Die Verfügbarkeit von Regenwasser zur Nutzung und Aufbereitung ist deshalb in besagten Luv-Lagen an der Nord-, West- und Südseite der Alpen am größten. Die größten Niederschlagsmengen in Österreich fallen in den Zentralalpen, diese werden jedoch aufgrund ihrer Höhenlagen von meist über 2000 m nicht auf der Karte dargestellt.

4.12 Neuschneesummen

Zusätzlich zu Regenniederschlägen müssen wegen der zu erwartenden negativen Wirkungen jene Niederschläge, die als Schnee niedergehen, in einer gegenläufigen Skala mit einbezogen werden. Dazu wird ein über das Open Data Geodatenportal Österreich ein von der ZAMG zur Verfügung gestellter Rasterdatensatz herangezogen, der die interpolierten und gemittelten jährlichen Neuschneesummen der Jahre 1961 bis 1990 enthält. Dieser Datensatz liegt als GeoTIFF in einer räumlichen Auflösung von 1 km vor. Wie bereits bei den Niederschlagsmengen, werden mit dem Tool *Extract by Mask* alle Höhenlagen über 2000 m ausgeschlossen. Der so entstandene Datensatz weist Neuschneesummen von 35 mm bis 1734 mm auf, also eine Differenz von 699 mm. Somit kann der Datensatz mit einer gerundeten Klassengröße von 170 mm mit dem Tool *Reclassify* in die neue Bewertungsskala in Tabelle 15 überführt werden.

Tabelle 15: Bewertung der Neuschneesummen

Neuschneesummen [mm]	Bewertungszahl
35 – 205	10
205 – 375	9
375 – 545	8
545 – 715	7
715 – 885	6
885 – 1055	5
1055 – 1225	4
1225 – 1395	3
1395 – 1565	2
1565 - 1734	1

In Abbildung 21 wird der Ergebnisdatensatz in einer Referenzkarte in ArcGIS Pro visualisiert:

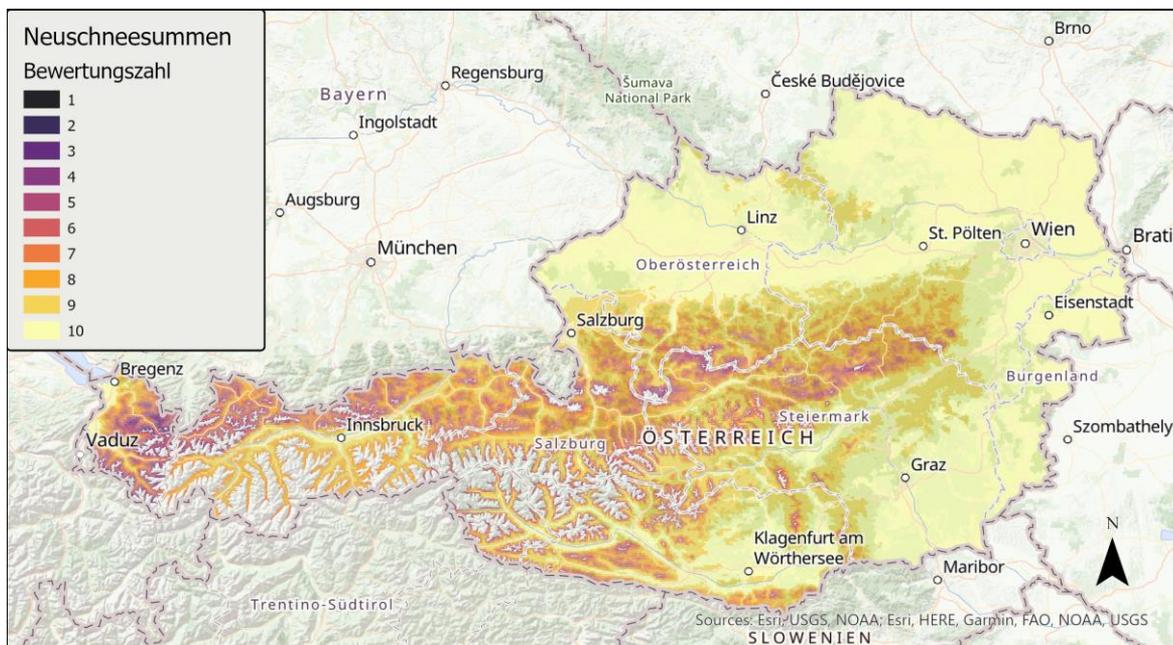


Abbildung 21: Ergebniskarte der Bewertung der mittleren Neuschneesummen (ArcGIS Pro)

Auch hier ist wie bei den Niederschlagsmengen die Luvlage der West-, Nord- und Südseite der Alpen zu erkennen. Die Neuschneemengen nehmen mit steigender Höhe stark zu, die Eignung zur Bebauung nimmt dementsprechend ab. Der meiste Neuschnee fällt in den hochalpinen Lagen, diese Niederschläge werden jedoch in vorliegender Karte nicht dargestellt.

4.13 Bodenqualität

Zur Beurteilung der Bodenqualität wird die österreichische digitale Bodenkarte herangezogen. Diese liegt als ESRI-Shapefile in einem 1 km-Raster vor. Erfasst sind darin alle Flächen, die in der Landwirtschaft als Nutzflächen von Bedeutung sind, wodurch weitaus weniger Flächen berücksichtigt werden als in den anderen Datensätzen. In der Bodenkarte sind über hundert verschiedene Nutzungsarten verzeichnet, jedoch können alle Flächen über die Spalte der naturbedingten Kulturart in folgende Nutzungseignungen unterschieden werden. In Abhängigkeit vom *Klima*, von der *Gründigkeit*, dem *Grobanteil*, der *Hangneigung* und den *Wasserverhältnissen* wird beurteilt, welche Kulturart für die einzelnen Bodenformen naturbedingt ist. Die naturbedingte Kulturart einer Bodenform wird wie folgt zugeordnet: (BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD; NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT o.J.-a):

- naturbedingtes Ackerland
- für Ackerland und für Grünland geeignet

- naturbedingtes Grünland

In dem Datensatz wird eine empirische Einschätzung der *Wertigkeit* der Grün- und Ackerflächen anhand einer Skala von 1 bis 5 angegeben. Der Dokumentation zur Bodenkarte ist hierzu folgendes zu entnehmen:

Die Beurteilung des natürlichen Bodenwertes erfolgt durch Einstufung in ein einfaches dreigliedriges Schema und leitet sich aus den vorliegenden Bodeneigenschaften sowie aus den wichtigsten Standortseigenschaften, nämlich den ökologischen Wasserverhältnissen, der Oberflächenform, dem Neigungsgrad, der Neigungsrichtung und den Klimaverhältnissen ab. Betriebswirtschaftliche Faktoren sind in diese einfache Beurteilung nicht einbezogen. Der Natürliche Bodenwert wird vom Standpunkt der vorliegenden Naturbedingten Kulturart beurteilt, d.h. bei Bodenformen, die für Ackerland und für Grünland geeignet sind, erfolgen zwei Angaben. Die Beurteilung erfolgt anhand einer dreistufigen Skala (BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD; NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT o.J.-a):

- hochwertiges Ackerland bzw. Grünland
- mittelwertiges Ackerland bzw. Grünland
- geringwertiges Ackerland bzw. Grünland

Hochwertig sind jene Bodenformen, die auf Grund ihrer besonders günstigen Boden-, Wasser-, Klima- und Oberflächenverhältnisse auf jeden Fall für die landwirtschaftliche Nutzung erhalten werden müssen.

Geringwertig sind Flächen, deren Ertragsverhältnisse bei normaler Bewirtschaftung an der Grenze der Rentabilität liegen oder die einen überhöhten Aufwand verlangen, um Ernten in genügender Höhe zu liefern. Zwischen diesen relativ extrem definierten Stufen liegt der Begriff mittelwertig, welcher in Relation zu der engen Fassung der beiden übrigen Wertigkeitsstufen einen breiten Spielraum einnimmt.

Natürlich sollen auch mittelwertige Flächen, soweit dies möglich ist, für die landwirtschaftliche Nutzung erhalten werden. Die Beurteilung des natürlichen Bodenwertes ist aufgrund der Abhängigkeit von einer Vielzahl schwer fassbarer Faktoren und der Schwierigkeit der technischen Durchführung problematisch, weshalb auf jede Subtilität verzichtet wurde (BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD; NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT o.J.-a).

In Bezug auf die Vollständigkeit der Kartierungsdaten muss beachtet werden, dass das Stadtgebiet von Wien noch nicht kartiert wurde, und in der Gemeinde Mank die Feldkartierung aktuell noch im Gange ist, wodurch in diesem Bereich noch keine Daten verfügbar sind (BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD; NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT o.J.-b).

Im Allgemeinen sind Ackerflächen für autarken Wohnraum besser geeignet, weil sie einen optimaleren Nährboden für den Anbau von pflanzlichen Nahrungsmitteln bieten als Grünland. Es liegt aber durchaus im Bereich des Möglichen, auch auf traditionellen

Grünflächen oder anderen Flächen, welche in der Bodenkarte für landwirtschaftliche Nutzflächen nicht erfasst sind, für den Eigenverzehr Lebensmittel anzubauen. Dies soll auch in der Bewertung für die Bodenqualität mit einfließen, indem die Ackerflächen besser bewertet werden als Grünflächen. Bei Flächen, die sowohl für Ackerland als auch für Grünland geeignet sind, wird nur der Bodenwert für Ackerland berücksichtigt. Außerdem soll der Datensatz auf jene Flächen der anderen Layer ausgeweitet werden. Diese erweiterten Rasterzellen, die demnach in der Digitalen Bodenkarte keinen Bodenwert erhalten haben, da sie nicht von kommerziellem landwirtschaftlichem Interesse sind, erhalten die niedrigste Bewertungszahl 1, was einer vorsichtigen Einschätzung entspricht. Für die Bewertung der Bodenqualität wird somit folgende Skala umgesetzt (Tabelle 16):

Tabelle 16: Bewertung der Bodenqualität

Ackerqualität	Ackerwert	Bewertungszahl
Hochwertig	5	10
Mittelwertig bis hochwertig	4	9
Mittelwertig	3	8
Geringwertig bis mittelwertig	2	7
Geringwertig	1	6
Grünlandqualität	Grünlandwert	Bewertungszahl
Hochwertig	5	6
Mittelwertig bis hochwertig	4	5
Mittelwertig	3	4
Geringwertig bis mittelwertig	2	3
Geringwertig	1	2
Nicht erfasste Flächen	Keine Daten	1

Dazu wird in der Attributtabelle eine neue Spalte für die Bewertung angelegt. Im nächsten Schritt werden die Flächen zuerst mittels *SQL Query* nach dem jeweiligen Grünlandwert ausgewählt und dann in der Bewertungsspalte die entsprechende Bewertungszahl vergeben. Im Anschluss daran wird das gleiche Prinzip auf den Ackerwert angewandt. Dass zuerst die Grünlandwerte verarbeitet werden, hat den Hintergrund, dass so bei Flächen, welche sowohl für Grünland als auch für Ackerland geeignet sind, lediglich der priorisierte Ackerwert in der Bewertungszahl eine Rolle spielt. Flächen, bei denen der Grünlandwert in die Bewertungszahl konvertiert wurde, werden so vom Ackerwert ersetzt, wenn dieser vorhanden ist.

Nun wird das Tool *Polygon to Raster* eingesetzt, um aus dem Shapefile einen Rasterdatensatz mit den Werten aus dem neu erstellten Feld *Bewertung* zu erzeugen. Die Zellgröße wird erneut auf die der bisherigen Raster gesetzt, sodass die Rasterzellen übereinander liegen.

Um den so erzeugten Datensatz um die nicht erfassten Flächen zu erweitern, kommt das Tool *Reclassify* zum Einsatz. Dort wird der bereits erstellte *CLC Raster* als *Mask* angegeben. Durch diese Maske wird der Datensatz der Bodenbewertung um die Flächen des CLC Rasters erweitert. Den Raster der Landbedeckung als *Mask Layer* zu verwenden, ist aufgrund der thematischen Verbundenheit die naheliegende Wahl. Da diese erweiterten Zellen keine Daten enthalten (*No Data*), wird in der Reklassifizierungstabelle angegeben, dass Zellen ohne Dateninhalt den Wert 1 erhalten sollen, was der in obenstehender Tabelle angegebener Bewertungszahl 1 entspricht. Somit sind alle Flächen, sowohl die noch nicht vollständig kartierten als auch Flächen, die in der Landbedeckungsbewertung als möglicherweise geeignet definiert sind, auch in der Bodenbewertung erfasst. Die pauschal niedrigste mögliche Bewertungszahl von 1 ist dabei eine maximal vorsichtige (pessimistische) Einschätzung.

In Abbildung 22 wird der Ergebnisdatsatz in einer Referenzkarte in ArcGIS Pro visualisiert:

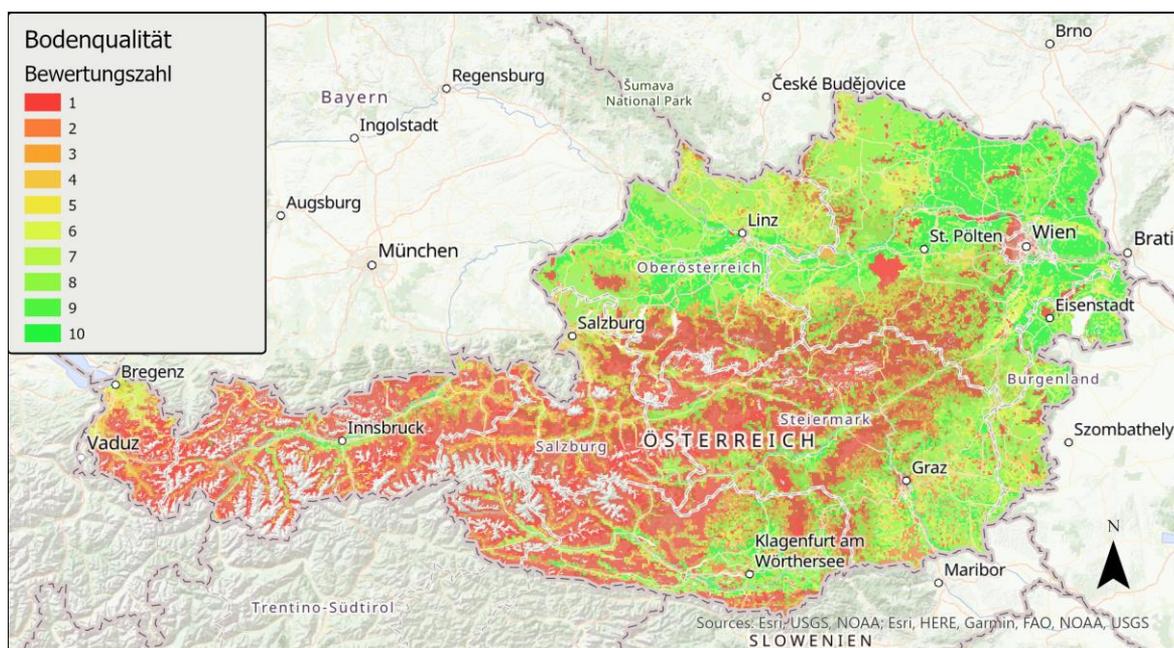


Abbildung 22: Ergebniskarte der Bewertung der Bodenqualität (ArcGIS Pro)

Die beste Bodenqualität ist demnach primär im Norden und Osten Österreichs, in weiten Teilen Oberösterreichs und im Südosten zu finden. Auch in vielen Alpentälern ist eine gute Bodenqualität vorhanden. An den Alpenrändern und höher gelegenen Gebieten, sowie im Westen Österreichs lässt sich eine mittlere Bodenqualität feststellen. Auch ist anhand der rot eingefärbten Flächen (Bewertungszahl 1) ersichtlich, welche Flächen im ursprünglichen Datensatz nicht bewertet wurden, da sie für die kommerzielle Landwirtschaft irrelevant sind.

4.14 Entfernung zu Verkehrsnetz

Für die Aufbereitung des Verkehrsnetzes wird ein aktueller Open Street Map Datensatz verwendet, welcher ganz Österreich abdeckt. Die Daten werden über den Geofabrik Download Server bezogen und liegen als ESRI Shapefile vor. Das Straßennetz ist dort als Liniendatensatz vorhanden, und die Straßen und Wege in verschiedene Klassen unterteilt.

Die Entfernung zum Verkehrsnetz, genauer gesagt zu Straßen, die für PKWs geeignet sind, ist ein relevanter Standortparameter. Liegt ein Grundstück zu weit von bereits vorhandenen Straßen entfernt, kann es für private Bauunternehmen schnell unwirtschaftlich werden, lange Zufahrtsstraßen zu erschließen. Auch ist es im Sinne der Vermeidung zusätzlicher Umweltbelastungen erstrebenswert, Zufahrtswege kurz zu halten und etwaige Bodenversiegelung auf ein Minimum zu reduzieren. Damit gilt, je näher eine Fläche einer befahrbaren Straße ist, desto besser ist diese Fläche zur Bebauung geeignet. Eine Ausnahme stellen dabei Autobahnen dar, weil diese stets fixe Auf- und Abfahrten besitzen. Weiter kann nicht direkt an Straßen angrenzend gebaut werden, weshalb eine Pufferzone um diese herum eingehalten werden soll. Die maximal tragbare Entfernung zur nächstgelegenen Straße wird durch Frage 2 des vorangegangenen Experteninterviews ermittelt.

Folgende Rahmenbedingungen müssen demnach eingehalten werden:

- Straßen sind im Datensatz als Linien ohne reelle Breite hinterlegt, weshalb die Darstellung nicht der Wirklichkeit entspricht. Um zu vermeiden, dass für Flächen auf oder direkt an Straßen hohe Bewertungszahlen vergeben werden, wird um die Linien als Sicherheit eine Pufferzone von 5 m festgelegt, welche in der Analyse nicht berücksichtigt wird. Dies erzeugt eine Streifenbreite von 10 m, wodurch ein Großteil der Straßenbreiten abgedeckt ist.
- Für größere Bundesstraßen und Autobahnen muss ein größerer Puffer von 30 m erstellt werden, da diese Straßen vielerorts mehrspurig sind und länderspezifisch gesetzliche Mindestabstände zum Straßenrand für Bebauungen gelten. (BUNDESREGIERUNG 2021) In der Steiermark muss beispielsweise bei baulichen Veränderungen in der Nähe von Landesstraßen ein Mindestabstand von 15 m zum Außenrand des Straßengrabens eingehalten werden. (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG 2021)
- Die maximal zulässige Entfernung zu der nächsten befahrbaren Straße wird ausgehend von der Auswerten der Expertenumfrage auf 1000 m bis zur Grenze der Pufferzone festgelegt.
- Die 1000 m in dieser Zone werden der Entfernung nach in 100 m – Schritten zur Bewertung klassifiziert.

Die Aufschlüsselung der Bewertung ist Tabelle 17 zu entnehmen.

Tabelle 17: Bewertung der Entfernung zum Verkehrsnetz

Entfernung zur Straßenpufferzone [m]	Bewertungszahl
0 – 100	10
100 – 200	9
200 – 300	8
300 – 400	7
400 – 500	6
500 – 600	5
600 – 700	4
700 – 800	3
800 – 900	2
900 - 1000	1

Zunächst müssen jene Straßentypen aus dem Datensatz entfernt werden, welche nicht mit PKWs befahrbar sind.

Die Klassifizierung des OSM-Datensatzes ist in folgender Tabelle 18 ersichtlich (nach RAMM 2019). Dabei sind jene *Feature Classes*, welche in der Analyse berücksichtigt werden sollen, grün hinterlegt. Dazu zählen alle Straßentypen, die mit dem PKW befahrbar sind, und von denen theoretisch eine Grundstückszufahrt ausgehen kann. Die nicht zu berücksichtigenden Klassen sind rot hinterlegt. Dazu zählen Schnellstraßen und Autobahnen, da sie in jedem Fall festgelegte und exklusive Zufahrts- und Abfahrtspunkte haben. Auch die Auf- und Abfahrten selbst werden aus diesem Grund von der Analyse ausgeschlossen. Ebenfalls ungeeignet sind reine Fußgängerstraßen, auf denen keine Autos fahren dürfen. Nicht geeignet für PKW sind des Weiteren alle Straßentypen, die in der Tabelle explizit als solche deklariert werden. Aufgrund der Ungewissheit bezüglich der Befahrbarkeit in der Kategorie *Unbekannt*, wird auch dieser Straßentyp nicht berücksichtigt.

Tabelle 18: Straßenklassifizierung im OSM-Datensatz

Code	Feature Class	Beschreibung
511x	Hauptverkehrswege	
5111	motorway	Schnellstraßen/Autobahnen
5112	trunk	Wichtige Straßen, meist geteilte Fahrbahnen
5113	primary	Hauptstraßen/Bundesstraßen, meist national
5114	secondary	Sekundärstraßen/Landstraßen, meist regional

5115	tertiary	Tertiärstraßen, meist lokal
512x	Nebenstraßen	
5121	unclassified	Kleinere lokale Straßen
5122	residential	Straßen in Wohngebieten
5123	living_street	Verkehrsberuhigte Straßen, Fußgänger haben Priorität
5124	pedestrian	Fußgängerstraßen
513x	Verbindungsstraßen (Auffahrten/Abfahrten/Rampen)	
5131	motorway_link	Straßen, die eine Verbindung von einer Straße zu einer anderen Straße einer niedrigeren Kategorie herstellen
5132	trunk_link	
5133	primary_link	
5134	secondary_link	
514x	Sehr kleine Straßen/Wege	
5141	service	Servicestraßen für den Zugang zu Gebäuden, Parkplätzen etc.
5142	track	Wege meist für landwirtschaftliche Nutzung, Forststraßen etc. Oftmals Schotterstraßen
5143	track_grade1	Den Wegen können verschiedene <i>Wegtypen</i> von 1 (<i>Asphaltiert oder stark verdichtet</i>) bis 5 (<i>kaum sichtbar</i>) zugewiesen werden
5144	track_grade2	
5145	track_grade3	
5146	track_grade4	
5147	track_grade5	
515x	Pfade ungeeignet für PKW	
5151	bridleway	Reitwege
5152	cycleway	Radwege
5153	footway	Fußwege
5154	path	Unspezifischer Pfad
5155	steps	Treppen auf Fußwegen

Unbekannt		
5199	unknown	Unbekannter Typ Straße oder Weg/Pfad

Die Pufferzonen für die Liniensegmente müssen auch für solche Straßen und Wege gelten, die mit dem PKW nicht befahrbar sind, da auf diesen Flächen ebenfalls nicht gebaut werden kann. Die Vorselektion findet mittels SQL-Query statt, indem alle in Tabelle 18 rot hinterlegten Codes selektiert werden. Aus dieser Selektion wird dann im ersten Schritt ein eigener Layer erstellt, anschließend werden die Felder aus dem ursprünglichen Datensatz gelöscht. Somit ist nun ein Layer mit geeigneten Wegen, und ein Layer mit ungeeigneten Wegen vorhanden.

Als nächstes wird unter Einsatz des Tools *Buffer* aus beiden Layern jeweils ein weiterer Layer in Form von Pufferpolygonen mit einem festgelegten Abstand von 5 m ausgehend von den einzelnen Liniensegmenten erstellt (ESRI o.J.-e). Der entstandene Puffer-Polygonlayer mit der Pufferzone für die geeigneten Straßen und Wege dient als Input für die Berechnung der Distanzen, der Polygonlayer mit den ungeeigneten Wegen dient im darauffolgenden Schritt als Clip Feature.

Nun wird ein Rasterdatensatz erstellt, in welchem die Entfernungen zu besagtem Puffer-Polygonlayer der geeigneten Straßen und Wege berechnet werden. Dazu wird das Tool *Euclidean Distance* verwendet. Dieses Tool berechnet für jede Zelle die euklidische Entfernung zur nächstgelegenen Quelle. Bei dem Puffer-Polygonlayer handelt es sich um eine *Feature Datensatz*. Wenn die Eingabequelldaten eine Feature-Class sind, werden die Quellenpositionen intern in ein Raster konvertiert, bevor die Analyse ausgeführt wird. Die Auflösung des Rasters kann mithilfe des Parameters Ausgabe-Zellengröße oder der Zellengröße-Umgebung gesteuert werden (ESRI o.J.-a) und wird hier wieder auf die eingangs festgelegte Zellgröße von 10 m gesetzt. Die *maximale Entfernung* wird auf 1000 m gesetzt. Als *Maske* wird erneut das extrahierte Höhenmodell unter 2000 m verwendet, um alpine Flächen auszuschließen. Zusätzlich wird der Puffer-Polygonlayer der ungeeigneten Straßen und Wege als *feature barrier data* angegeben. Das hat den Effekt, dass die Pufferzonen um die ungeeigneten Straßensegmente als *nicht zulässige Barriereflächen* angesehen werden und nicht in mit einberechnet werden. Der Ausgabedatensatz enthält damit alle Rasterzellen unter einer Höhe von 2000 m, die weniger als 1000 m Luftlinie zum nächstgelegenen Pufferpolygon geeigneter Straßen und Wege liegen und deren Entfernungswerte, sofern diese nicht innerhalb eines Pufferpolygons ungeeigneter Wege liegen.

Dieser Rasterdatensatz wird schließlich mit dem Tool *Reclassify* in die durch Tabelle 17 festgelegte Bewertungsskala überführt.

4.15 Umsetzung der Gewichteten Überlagerung und Finalisierung des Modells

Nachdem die einzelnen Parameter alle aufbereitet und reklassifiziert wurden, müssen diese nun mit dem Tool der *gewichteten Überlagerung* in einem Ausgabe-Rasterdatensatz gewichtet und überlagert werden. In dem Tool werden die erzeugten Einzelparameter und deren Kriteriengewichte nach Tabelle 5 eingegeben. Der Ausgaberraster ist dabei eine Schnittmenge der Eingaberaster, das heißt der Autarkieindex wird nur für jene Flächen berechnet und ausgegeben, bei denen jedes der Parameter im vordefinierten Eignungsbereich liegt.

Als letzte Schritte im Analysemodell müssen von dem erzeugten Autarkieindex-Raster noch die Pufferpolygonflächen der geeigneten Straßen ausgeschnitten werden, da sonst Flächen als geeignet klassifiziert sind, welche auf oder direkt an geeigneten Straßen liegen. Dazu muss der Rasterdatensatz in einen Polygonlayer konvertiert werden, was mit dem Tool *Raster to Polygon* umgesetzt wird. Dieser wandelt die 10 x 10 m Rasterzellen in Polygone um. Dabei wird zwar die ursprüngliche Rasterzellenstruktur berücksichtigt, doch nebeneinander liegende Flächen der gleichen Bewertungszahlen zu einzelnen Polygonen zusammengefasst. Dadurch wird auch die Darstellung vereinfacht, und größere zusammenhängende Eignungsflächen sind besser zu erkennen. Auf diesen Polygonlayer wird nun abschließend das Tool *Erase* angewandt.

In Abbildung 23 wird die Funktionsweise des Tools schematisch dargestellt.

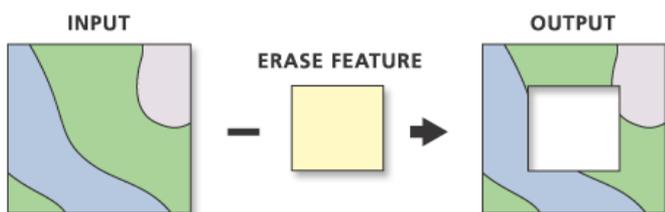


Abbildung 23: Funktionsweise des Tools Erase (ESRI o.J.-f)

Dieses Werkzeug erstellt eine Feature-Class durch Überlagerung der Eingabe-Features mit den Erase-Features. Nur die Bereiche der Eingabe-Features, die außerhalb der Erase-Features liegen, werden in die Ausgabe-Feature-Class kopiert. (ESRI o.J.-f)

Um die benötigten größeren Buffer für Autobahnen und Landstraßen ebenfalls zu berücksichtigen, werden mittels *SQL-Query* aus dem Ursprungsdatensatz alle Autobahnen, Bundes- und Landstraßen und deren Auf- und Abfahrten gemäß Tabelle 18 selektiert, und aus dieser Selektion ein neuer Datensatz erstellt. Auf diesen wird dann erneut das Tool *Buffer* mit der Vorgabe von 30 m angewandt. Im nächsten Schritt kommt der erzeugte 30 m Buffer nochmals im Tool *Erase* als Erase Feature zum Einsatz, als Input dient dabei der im vorherigen Arbeitsschritt beschnittene Polygonlayer des Autarkieindex.

Damit ist die Erstellung des Autarkieindex abgeschlossen und die Ergebnisse können analysiert werden.

5 Auswertung der Ergebnisse

In diesem Kapitel erfolgt die Auswertung der Ergebnisse aus der Analyse, und welche Erkenntnisse daraus gewonnen werden können. Der Autarkieindex wurde in Form von Ergebniskarten in einer Kartenserie visualisiert. Diese befinden sich im Anhang der Arbeit ersichtlich.

5.1 Statistik

Nach der Durchführung der gewichteten Überlagerung sind im Ergebnisdatensatz Autarkieindex-Werte zwischen 3 und 9 vorhanden. Das bedeutet, dass es in der Schnittmenge der geeigneten Parameter keine Flächen gibt, die die schlechtesten Bewertungszahlen von 1 und 2 erhalten haben, ebenso wenig wie perfekt geeignete Flächen mit einer Bewertungszahl von 10. In nachfolgender Abbildung 24 sind die aufsummierten Anteile der Flächen nach Bewertungszahlen dargestellt.

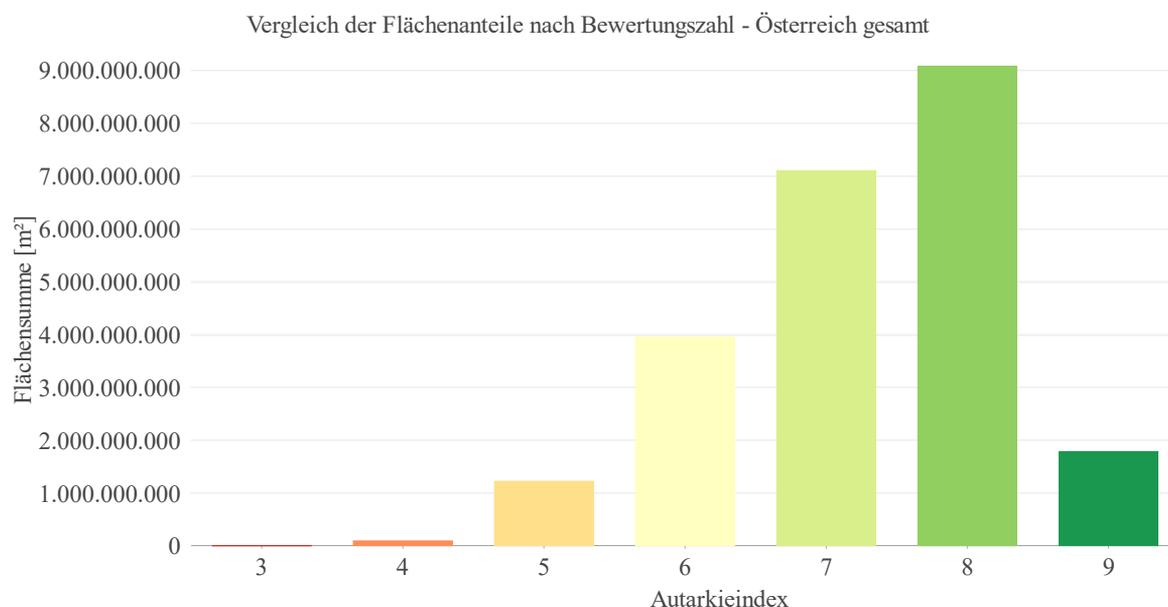


Abbildung 24: Vergleich der Flächenanteile nach Bewertungszahl – Österreich gesamt

Insgesamt wurden 23 229,15 km² als grundsätzlich geeignete Flächen identifiziert. Bei einer Bundesfläche von 83 871 km² (STATISTA 2021) entspricht dies etwa 27,7% der Gesamtfläche. Es ist zu erkennen, dass die Bewertungszahl 3 mit insgesamt 0,46 km² statistisch vernachlässigbar ist und auch die Bewertungszahl 4 mit in Summe 90 km² kaum vertreten ist. Flächen mit Bewertungszahl 5 sind mit 1219 km² gering vertreten. Die Bewertungszahl 6 hat nimmt eine Fläche von insgesamt 3954 km² ein. Am stärksten vertreten sind die Bewertungszahlen 7 mit 7103 km² und 8 mit 9080 km². Die in der Analyse am besten bewerteten Flächen mit der Bewertungszahl 9 nimmt wiederum einen geringeren Anteil von 1780 km² ein.

In Tabelle 19 sind die Statistiken zu den einzelnen Bundesländern aufgeführt.

Tabelle 19: Statistische Auswertung der Autarkieindexflächen nach Bundesländern

Bundesland	Fläche [km²]	Anteil an Gesamtfläche [%]	Autarkie Eignungsfläche gesamt [km²]	Anteil Eignungsflächen an Bundeslandfläche [%]	Durchschnittliche Bewertungszahl pro Flächeneinheit
Burgenland	3965	4,7	2484	62,7	7,60
Kärnten	9537	11,4	1323	13,9	7,10
Nieder- österreich	19179	22,9	9939	51,8	7,38
Ober- österreich	11983	14,3	4947	41,3	7,22
Salzburg	7155	8,5	767	10,7	6,78
Steiermark	16399	19,5	2701	16,5	7,05
Tirol	12648	15,1	630	5,0	6,48
Vorarlberg	2602	3,1	264	10,1	6,74
Wien	415	0,5	170	41,0	6,80

In der Tabelle sind die absoluten und relativen Flächenanteile zu den einzelnen Bundesländern pro Zeile dargestellt. Die zweite Spalte gibt die Gesamtfläche des Bundeslandes an, in Spalte drei ist der prozentuale Anteil des jeweiligen Bundeslandes an der Gesamtfläche Österreichs angegeben. Die nebenstehenden Spalten vier und fünf zeigen die Summen der Flächen, welche durch die gewichtete Überlagerung als grundsätzlich geeignet definiert wurden, sowie den Anteil dieser Flächen an der Gesamtfläche des jeweiligen Bundeslandes. Die letzte Spalte gibt die durchschnittliche Bewertungszahl pro Flächeneinheit an. Dabei wurden die unterschiedlichen Größen der Flächen berücksichtigt, indem die Flächenanteile nach den einzelnen Bewertungszahlen pro Bundesland berechnet und diese Anteile dann mit den entsprechenden Berechnungszahlen multipliziert wurden. Die Ergebnisdigramme dieser Berechnungen werden in den nachfolgenden in Form von Balkendiagrammen dargestellt. Auf der x-Achse erfolgt die Unterteilung nach den einzelnen Bewertungszahlen, die y-Achse gibt die aufsummierten Flächen in m² an (1 000 000 m² entspricht 1 km²). Es ist zu erkennen, dass die unterschiedlichen Ausdehnungen der Bundesländer auch Auswirkungen auf die absoluten Flächen haben, welche für autarken Wohnraum in Frage kommen. Der Anteil der in Frage kommenden Flächen eines Bundeslandes im Vergleich zur Gesamtfläche schwankt ebenfalls stark, zwischen 5% in

Tirol und 62,7% im Burgenland. Dies ist auf den Einfluss der Alpen zurückzuführen, insbesondere in Tirol werden durch die hoch gelegenen alpinen Gebiete der Zentralalpen weite Teile des Landesgebiets aus der Analyse ausgeschlossen. Tirol erhält mit 6,48 dadurch im Schnitt auch die geringste Bewertungszahl pro Flächeneinheit. Das Burgenland hingegen bietet durch seine flache Beschaffenheit, hohen Temperaturen, vielen Sonnenstunden, Windpotenzial und meist fruchtbaren Böden eine überwiegend gute Grundlage. Es ist das einzige Bundesland, in dem keine Flächen mit der Bewertungszahl 3 vorkommen, und auch Flächen mit Bewertungszahl 4 sind statistisch nicht relevant. Das Burgenland hat mit knapp 2/3 den höchsten Anteil an geeigneten Flächen, und erhält mit einer durchschnittlichen Bewertungszahl von 7,60 pro Flächeneinheit insgesamt betrachtet die beste Bewertung für autarken Wohnraum.

Ähnliches gilt für weite Teile Niederösterreichs (51,8%) und Oberösterreichs (41,3%), die in absoluten Zahlen gemessen am meisten geeignete Fläche bieten und im Bewertungsschnitt Platz 2 und 3 belegen. Auch Wien als Bundesland hat mit 41% einen vergleichsweise hohen Anteil an theoretisch geeigneten Flächen. Dies kann dadurch erklärt werden, dass eine durchgängig städtische Bebauung primär im Stadtzentrum der Stadt Wien selbst vorliegt, der Rest des Landesgebiets jedoch nicht durchgehend städtisch geprägt ist und damit grundsätzlich geeignet ist. Die städtische Prägung wirkt sich im Schnitt negativ auf die Bewertungszahlen aus, wenngleich die physikalischen Standortbedingungen meist sehr gut sind.

In den Bundesländern Kärnten, Salzburg, Steiermark und Vorarlberg macht sich die Prägung durch die Alpen an den geringeren Anteilen der Eignungsflächen bemerkbar, und die durchschnittlichen Bewertungszahlen bewegen sich dabei im Mittelfeld. Auffällig ist jedoch, dass insgesamt die Streuung von 1,12 bei den durchschnittlichen Bewertungszahlen zwischen 6,48 und 7,60 als gering zu bezeichnen ist. Die Verteilung der Werte ist, wie in den nachfolgenden Diagrammen zu erkennen, bei allen Bundesländern ähnlich ausgeprägt. Die meisten Flächen erhalten Werte von 7 und 8, und es sind lediglich leichte Tendenzen zu besseren, beziehungsweise schlechteren Eignungen zu erkennen.

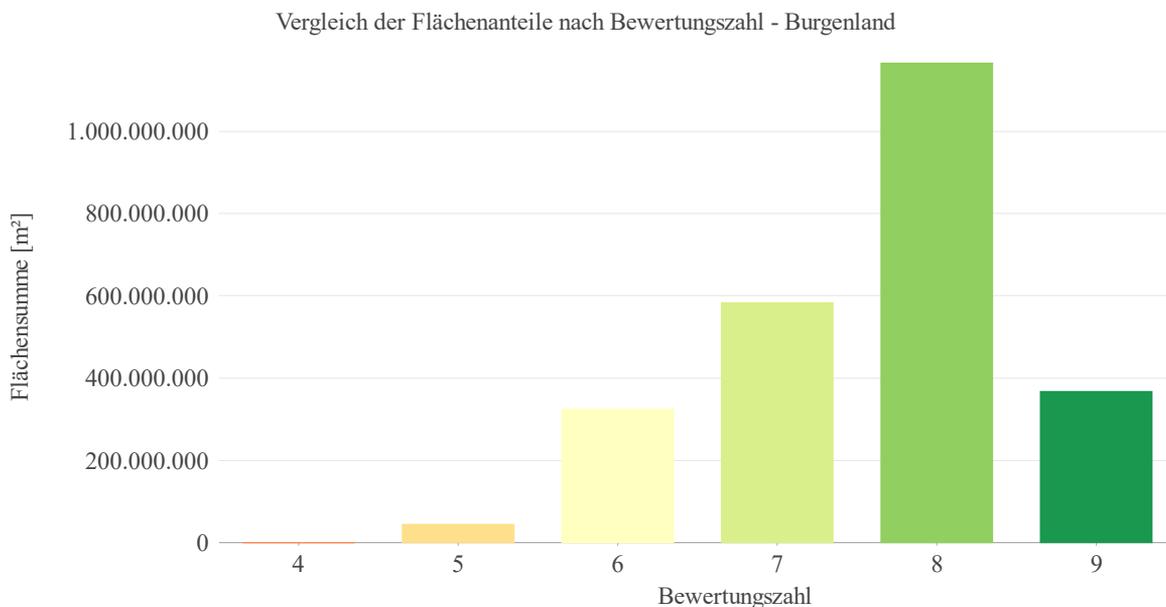


Abbildung 25: Vergleich der Flächenanteile nach Bewertungszahl - Burgenland

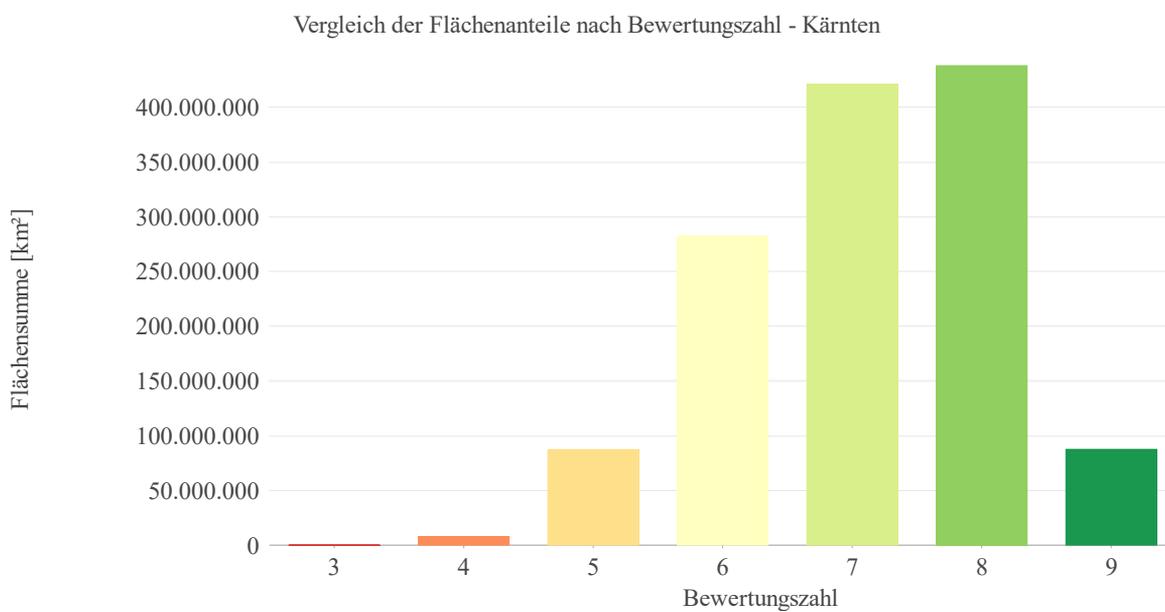


Abbildung 26: Vergleich der Flächenanteile nach Bewertungszahl - Kärnten

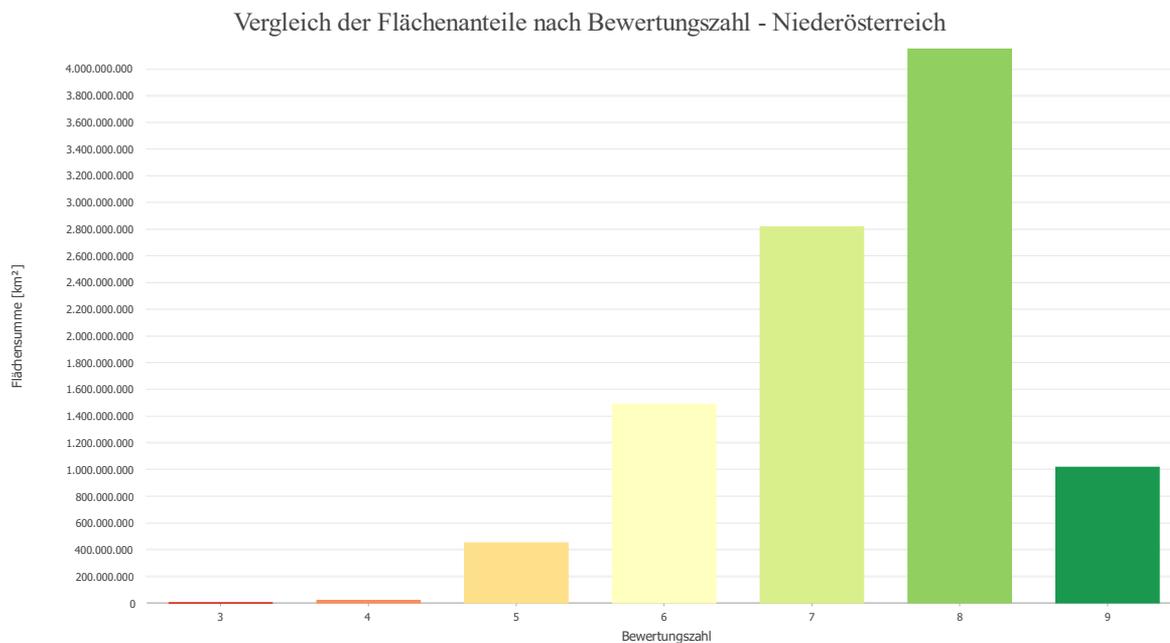


Abbildung 27: Vergleich der Flächenanteile nach Bewertungszahl - Niederösterreich

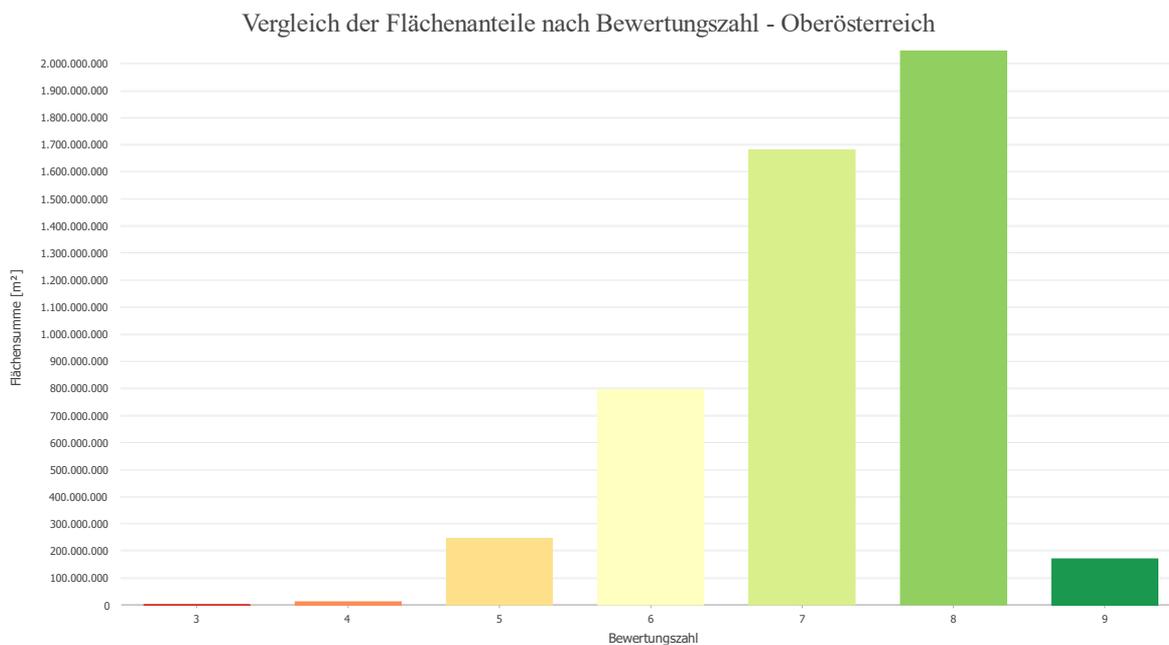


Abbildung 28: Vergleich der Flächenanteile nach Bewertungszahl - Oberösterreich

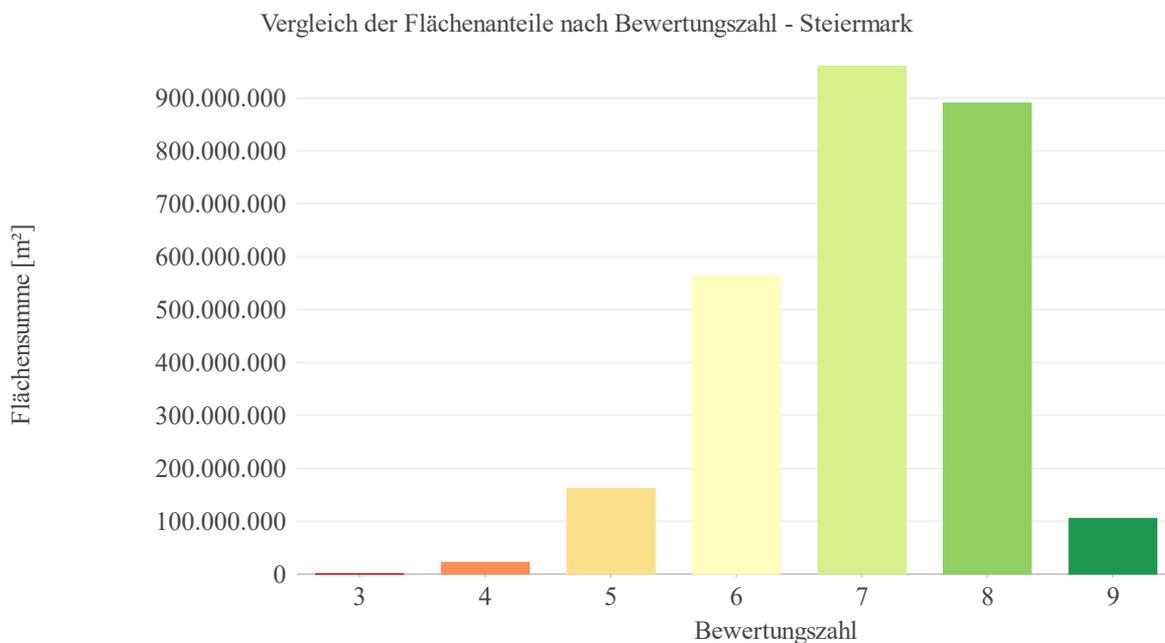


Abbildung 29: Vergleich der Flächenanteile nach Bewertungszahl - Steiermark

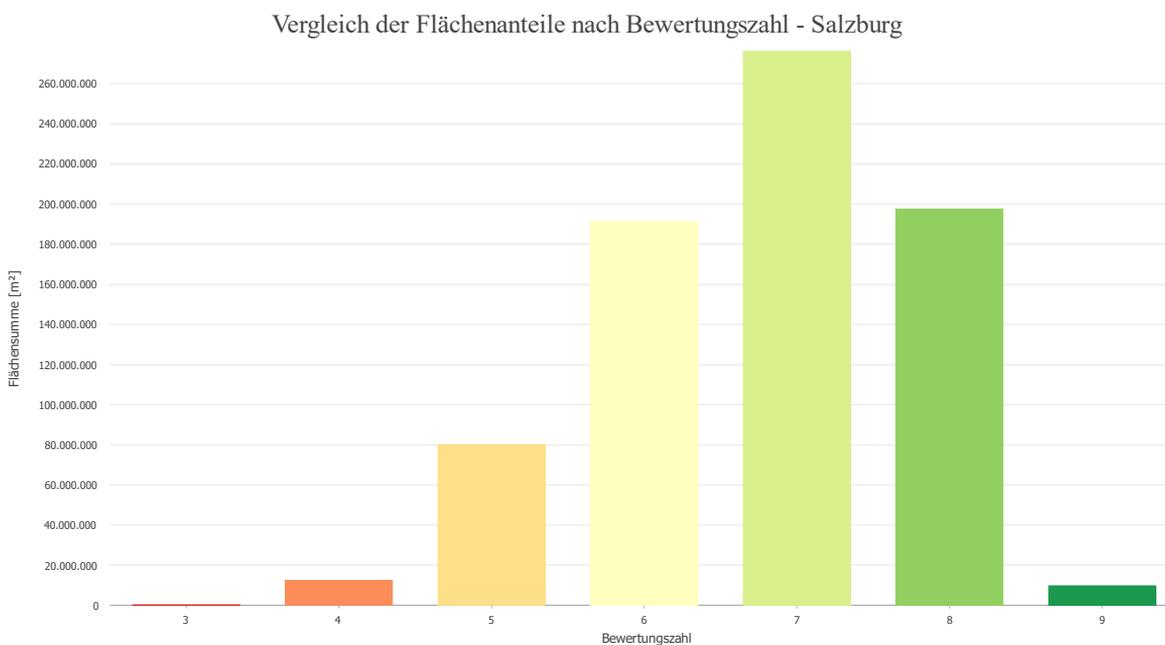


Abbildung 30: Vergleich der Flächenanteile nach Bewertungszahl - Salzburg

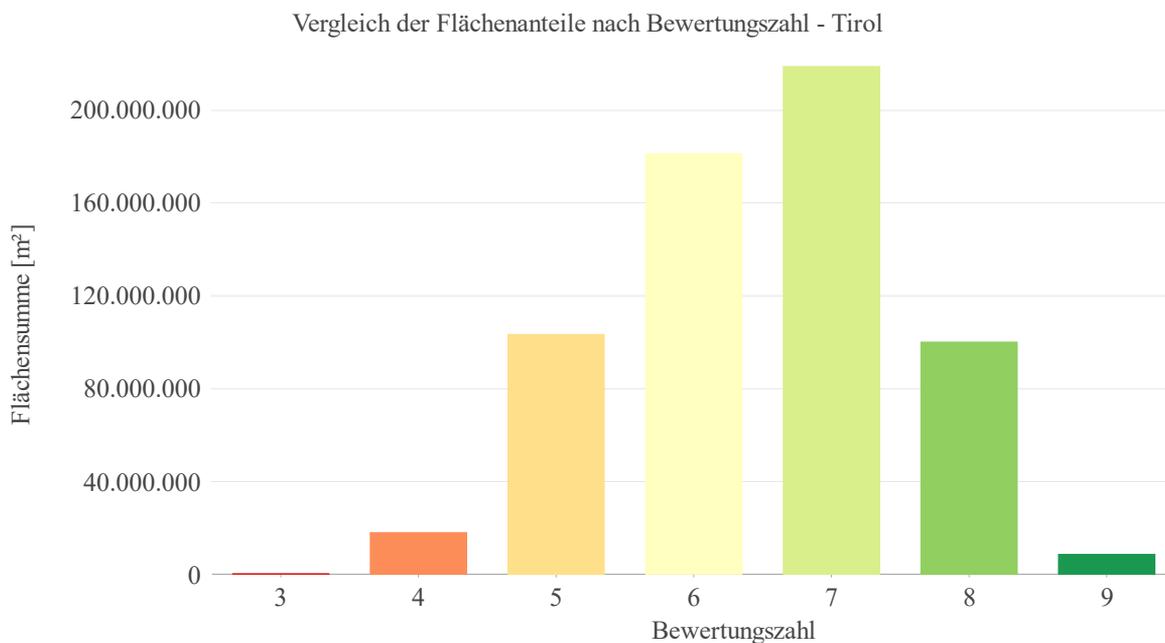


Abbildung 31: Vergleich der Flächenanteile nach Bewertungszahl - Tirol

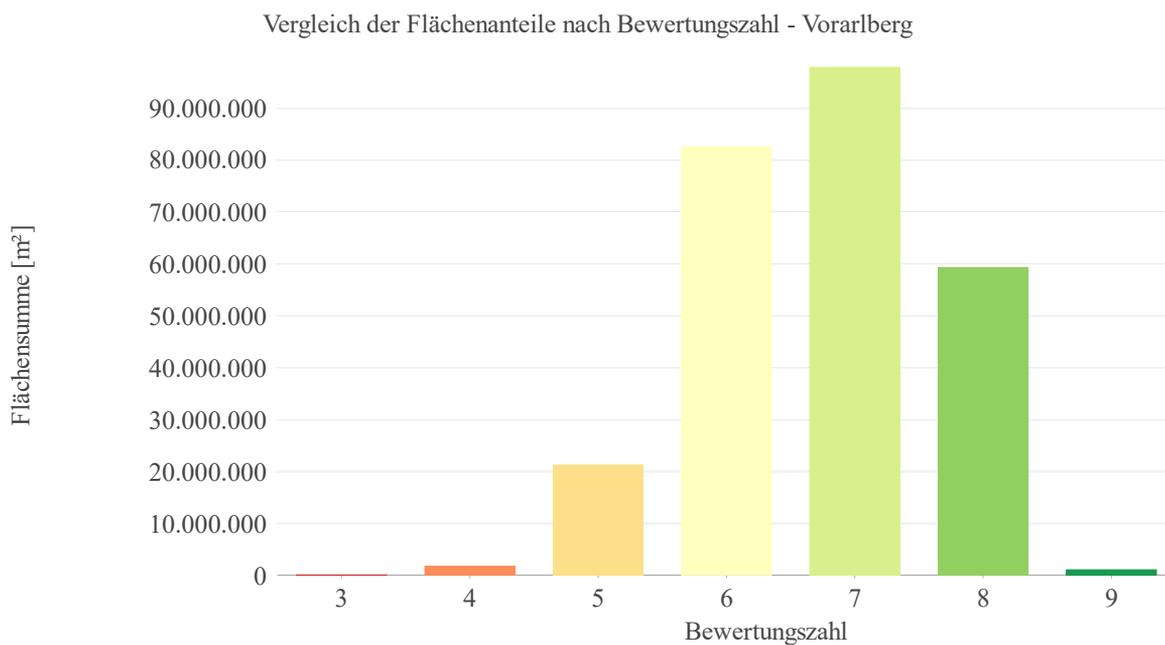


Abbildung 32: Vergleich der Flächenanteile nach Bewertungszahl - Vorarlberg

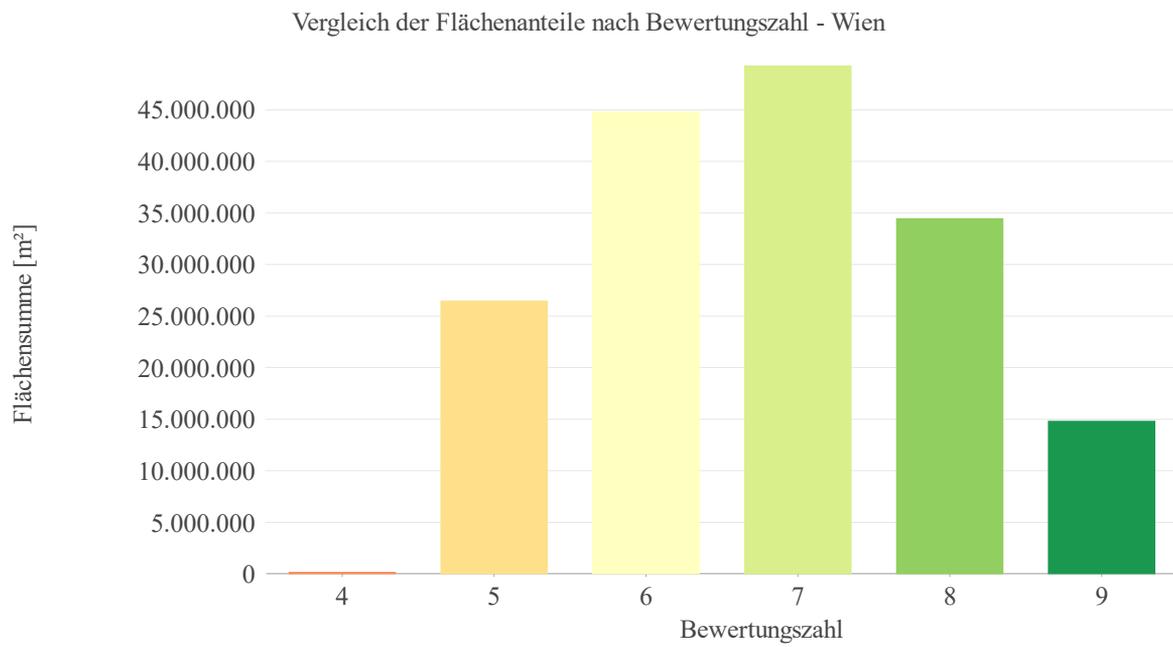


Abbildung 33: Vergleich der Flächenanteile nach Bewertungszahl – Wien

5.2 Ergebnisvisualisierung

In Abbildung 34 ist der Autarkieindex in einer Übersichtskarte visualisiert.

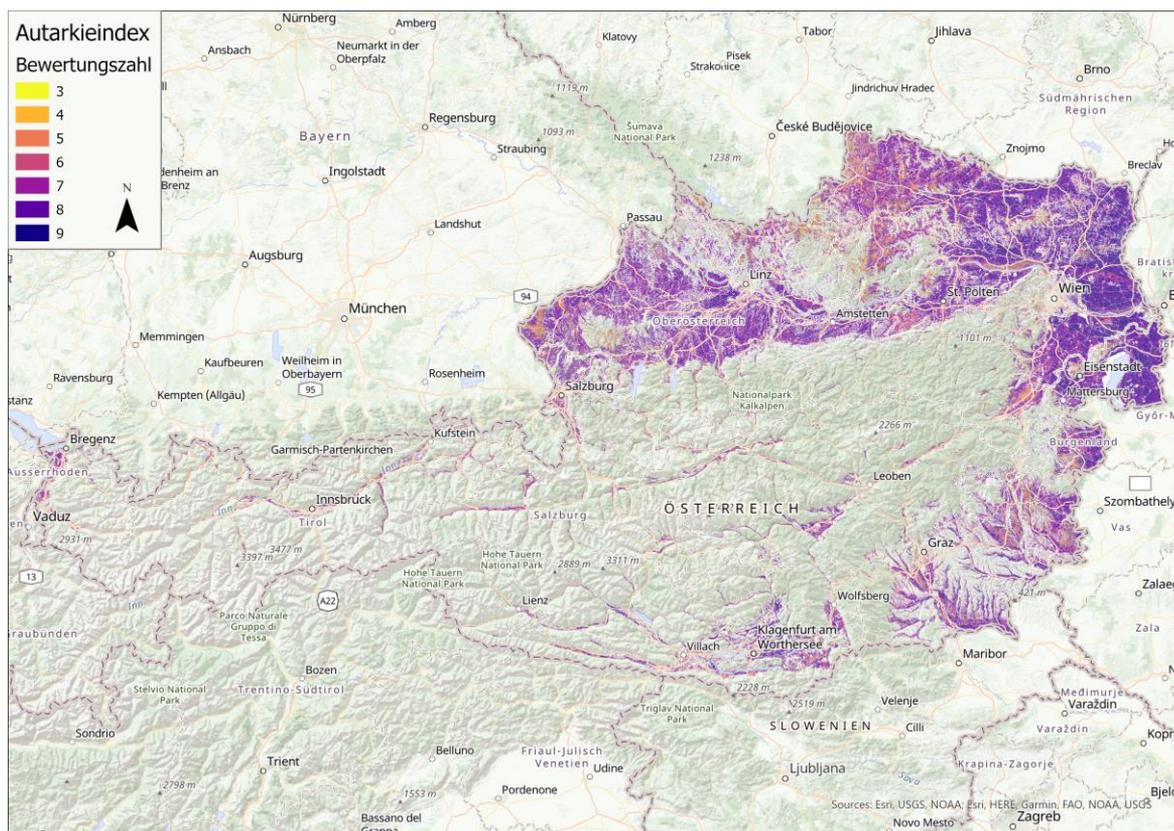


Abbildung 34: Ergebniskarte des Autarkieindex (ArcGIS Pro)

Es ist zu erkennen, dass sich vor allem im Osten und Norden des Landes größere, zusammenhängende Gebiete mit hohen Bewertungszahlen befinden, außerdem gibt es im Süden und Südwesten des Landes einige gut geeignete flächige Gebiete. Auch einige Alpentäler erreichen hohe Bewertungszahlen. In den restlichen Teilen der Alpen reicht jedoch ein österreichweiter Maßstab nicht aus, um potenzielle Flächen darzustellen. Wie in der vorangegangenen statistischen Auswertung ersichtlich, sind auch in den durch Gebirgszüge geprägten Bundesländern sehr viele geeignete Flächen vorhanden. Diese sind lediglich nicht zusammenhängend und können aufgrund ihrer geringen Größe auf der Karte nicht dargestellt werden. Aus diesem Grund wurde mittels ArcGIS Pro eine Kartenserie erzeugt, die das Land in mehrere Kacheln in einem Rastergitter unterteilt. So können die Ergebnisse in einem größeren Maßstab dargestellt werden. Um die Ergebnisse vor allem im Alpenraum gut darstellen zu können, müsste jedoch ein noch größerer Maßstab umgesetzt werden, was den gewünschten Umfang dieser Arbeit bei weitem übersteigen würde. Es wurde daher versucht, ein Kompromiss zwischen Maßstab und Umfang zu finden. So wurde eine Kartenserie mit insgesamt 26 Kartenblättern erstellt, die jeweils einen Bereich von 75 x 75 Kilometern zeigen und damit ganz Österreich abdecken. Diese Ergebniskarten befinden sich im Anhang.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In vorliegender Arbeit wurde die Fragestellung untersucht, ob mit Hilfe eines GIS ein Modell entwickelt werden kann, um österreichweit Standorte aufgrund verschiedener Kriterien für die Eignung zur Errichtung autarker Wohnbauten zu bewerten.

Dazu wurden in Kapitel 2 zunächst die konzeptuellen Rahmenbedingungen erfasst, um zu ermitteln, was geeignete Standorte auszeichnet. Außerdem wurde die Prämisse festgelegt, dass das Modell den Grundsätzen der *Effizienz*, *Schonung von Ressourcen* und *guter Umsetzbarkeit* folgen soll. Es wurden erneuerbare Energien, deren Technologien und Einsatzmöglichkeiten erörtert. Hier liegt aktuell das größte Potenzial in der Verwendung von *Photovoltaik- und Solarthermieanlagen* in Kombination mit entsprechenden *Speichermedien* für elektrische und Wärmeenergie, sowie einer eventuellen Ergänzung durch *Windräder*. *Dachbegrünungen* bieten weiters eine Reihe von Eigenschaften, die sich positiv auf die Umweltbilanz und Effizienz von Wohnbauten und Solaranlagen auswirken. Eine besondere Bedeutung in Bezug auf umweltverträgliches Bauen und Leben kommt den *Wasser- und Nährstoffkreisläufen* zu. Derzeit herrscht in Österreich, wie auch in den anderen untersuchten Ländern, eine Abwasserbehandlung in Form der Schwemmkanalisation mit zentralen Kläranlagen vor. Dieses System geht mit diversen ökologischen Nachteilen wie Nährstoffverlusten in Böden, Vermischung von Stoffkreisläufen und Belastung der Gewässer einher. Eine Möglichkeit, diesen Effekten entgegenzuwirken, ist eine *dezentrale Abwasserbehandlung und -Aufbereitung* direkt am Entstehungsort. Dies kann durch eine *Trennung der Stoffkreisläufe* und *lokale Wasseraufbereitung in Pflanzenkläranlagen*, kombiniert mit *technischen Filtern*, erreicht werden. Für die Bereitstellung von Trinkwasser können je nach Verfügbarkeit *Hausbrunnen/-quellen* genutzt werden, sowie gesammeltes Regenwasser oder vorgereinigtes Wasser aus dem Haushalt wieder zu Trinkwasserqualität aufbereitet werden.

Ausgehend von diesem Wohnraummodell wurden die *Anforderungen* an die Basisdaten und deren *Datenqualität* erörtert, welche Parameter in der Analyse mit einbezogen werden sollen und welche Inhalte aus den Basisdaten *abgeleitet* werden können. Außerdem wurde festgelegt, was bewertet und welche Datenbereiche ausgeschlossen werden sollen.

Die multikriterielle Eignungsanalyse ist in der Geoinformatik ein etabliertes Werkzeug, um eine Reihe alternativer Lösungswege in eine Rangfolge zu bringen. Es stehen eine Vielzahl an MCE-Methoden zur Verfügung, und in Kapitel 3 wurde ein Überblick über diese gegeben. Anschließend wurde ausgehend von den Bedingungen der vorliegenden Arbeit mit Hilfe eines *Decision Tree* eine geeignete Methodik für die Autarkieanalyse entwickelt. Es wurde die *zweistufige Methodik* bestehend aus einer *Vorselektion* mittels *nicht-kompensatorischen Methoden* von *binären Overlays* und *Überschneidungsoperatoren*, gefolgt von einer *kompensatorischen Methode* der *gewichteten Überlagerung* implementiert. Diese eignet sich aufgrund ihrer risikoneutralen Natur am besten für eine erste Einschätzung des Gebiets.

Der Workflow der Analyse konnte demnach wie folgt definiert werden:

1. Datenaquirierung
2. Vorselektion
3. Datenaufbereitung
4. Ermittlung der Kriteriengewichte
5. Gewichtete Überlagerung

Die zur Verfügung stehenden Daten wichen, mit Ausnahme von dem Digitalen Geländemodell Österreichs mit einer *Auflösung von 10 m*, stark von den ursprünglich definierten Anforderungen an die Datenqualität ab. Da es sich bei den meisten dieser Parameter jedoch um großräumliche, klimatische oder geologische Phänomene wie Niederschlagsmengen oder Bodenbeschaffenheiten handelt, konnten diese Daten trotzdem verwendet werden. Dies geschah unter dem *Vorbehalt*, dass diese nicht absolut akkurate Ergebnisse liefern werden. In Kapitel 4 wurde mittels ArcGIS Pro Model Builder ein *Modell* erstellt, welches alle Arbeitsschritte der Analyse umfasst. Die Daten wurden demnach inhaltlich verfügbar gemacht, entsprechend den Vorgaben aufbereitet, selektiert und in das *gleiche Rastergitter* konvertiert. Hierzu wurde das Rastergitter aus dem DGM verwendet, alle verwendeten Daten sind entweder aus dem Datensatz abgeleitet oder wurden in dessen Rastergitter überführt.

Um den einzelnen Kriterien sinnvolle Gewichtungen zuzuweisen, wurde nach der Definition des Expertenbegriffs und des Experteninterviews eine *qualitative Expertenbefragung* erstellt. Diese wurde nach einer Internetrecherche an designierte *Autarkieexperten* im deutschsprachigen ausgesendet und die Antworten entsprechend ausgewertet.

Im letzten Schritt des Modells wurde die *gewichtete Überlagerung* mit den ermittelten *Kriteriengewichten* durchgeführt. Die Analyse hat gezeigt, dass *mehr als ein Viertel* der Fläche Österreichs grundsätzlich für autarken Wohnraum geeignet sind. Im Ergebnisdatensatz waren nur Bewertungszahlen zwischen 3 und 9 vergeben, was bedeutet, dass von den geeigneten Fläche keine Fläche in allen Kriterien schlecht abschnitt, aber auch, dass es keine Flächen gibt, die in allen Kriterien ideal sind. Weiters waren die Bewertungszahlen 3 und 4 kaum vertreten, der überwiegende Teil der geeigneten Flächen bewegt sich in allen Bundesländern zwischen 5 und 9. Die durchschnittliche Bewertungszahl pro Flächeneinheit schwankt zwischen 6,48 (Tirol) und 7,60 (Burgenland). Mit ca. 63 % besitzt das Burgenland den größten Anteil an geeigneter Fläche im Verhältnis zur Landesfläche, den geringsten Anteil erreicht hingegen Tirol mit 5% der Gesamtfläche. Niederösterreich hat in absoluten Zahlen die meiste Autarkieeignungsfläche, das Land Wien am wenigsten.

Es kann aus den Ergebnissen gefolgert werden, dass die *tiefer gelegenen, flacheren Gebiete* des pannonischen Beckens im *Osten* und *Norden* Österreichs mit ihrem mildem Klima, sowie viel Wind und Sonneneinstrahlung, für autarke Wohnräume in Österreich in Relation zur vorhandenen Fläche *am meisten Potenzial* bieten. Doch auch in allen anderen Bundesländer sind *vergleichbar gut geeignete Flächen* vorhanden, diese sind aufgrund des Einflusses der gebirgigen Struktur der Alpen lediglich *kleinräumiger ausgeprägt*, sie kommen *verstreut* und vor allem in *Tallagen* verdichtet vor.

Zur Ergebnisvisualisierung wurden *Diagramme* zu den Statistiken erstellt, sowie eine Kartenserie mit *Ergebniskarten*, welche den Autarkieindex in Österreich anhand von 26 *Kartenblättern* zu je 75 x 75 km darstellt.

Zusammenfassend kann die *Forschungsfrage*, ob es möglich ist, mit Hilfe eines GIS ein Modell zur Eignungsbewertung von autarkem Wohnraum in Österreich zu entwickeln, mit *Ja* beantwortet werden. Die hier vorliegende Analyse sollte jedoch nur als Werkzeug zur *Entscheidungsunterstützung* betrachtet werden, und diene in erster Linie dazu sich einen *Überblick über die Situation in Österreich* zu verschaffen. Für konkretere Projekte und Bauvorhaben *reicht die Datenqualität und räumliche Auflösung der verwendeten Daten nicht aus*.

Anknüpfend an diese Arbeit wäre eine Überprüfung des Modells interessant, etwa indem funktionierende autarke Wohnbauten ausfindig gemacht werden und verglichen wird, welche Bewertungszahlen die Standorte in dem Modell erhalten haben. Außerdem könnten weitere relevante Parameter, wie etwa demographische und wirtschaftliche Kennzahlen, Entfernungen zu Versorgungseinrichtungen oder Grundwasserspiegel und -qualität in die Analyse mit einbezogen werden. Um aussagekräftige und genaue Bewertungen zu generieren, muss das Untersuchungsgebiet außerdem stark eingegrenzt werden, beispielsweise auf die Fläche einer ausgewählten Gemeinde. Für dieses Gemeindegebiet sollten dann möglichst genaue Daten gesammelt und in dem Modell verarbeitet werden. So ermittelte Eignungsflächen könnten dann in der Praxis durch eigene Feldmessungen überprüft werden, um das Modell zu verifizieren.

Nachfolgende Arbeiten zu dieser Thematik könnten sich also spezifischen Projekten und Problemgebieten widmen, wie etwa ländlichen Regionen, wo eine Netzversorgung nur unter hohem Aufwand verwirklicht werden kann, und wo diese neuartigen Autarkiekonzepte echte Alternativen sein können.

Literatur

- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2021): Ausnahmegenehmigung Bauverbot neben der Landesstraße - Antrag [Online]. Webadresse [URL]: <https://www.verwaltung.steiermark.at/cms/beitrag/12676037/127384147/> [Abfragedatum: 20.04. 2021].
- AMT FÜR WASSER UND ABFALL (2014): Die Kanalisationsanschlussverfügung aus Sicht der Gemeinde.
- AMT FÜR WASSER UND ABFALL (2020): Allgemeine Auflagen für die Grundstücksentwässerung. Bern, Bau- und Verkehrsdirektion; Amt für Wasser und Abfall.
- ANSEL, Wolfgang (o.J.): Finanzielle Zuschüsse für die Dachbegrünung [Online]. Webadresse [URL]: <https://www.oekologisch-bauen.info/baustoffe/dach/foerderung-dachbegrueung.html> [Abfragedatum: 24.11. 2020].
- ARABI-NOWDEH, Saber; NASRI, Shohreh; SAFTJANI, Parvin Barat; NADERIPOUR, Amirreza; ABDUL-MALEK, Zulkurnain; KAMYAB, Hesam und JAFAR-NOWDEH, Ali (2021): Multi-criteria optimal design of hybrid clean energy system with battery storage considering off- and on-grid application. *Journal of Cleaner Production* 290.
- BALLY, Andreas und BITTNER, Kerstin (2009): Pflanzenkläranlagen: Die ökologische Alternative zur technischen Kleinkläranlage. *Ingenieurbiologie/Genie Biologique* 4, S. 80-85.
- BAUER, Johanna (2020): Förderungen für Kleinkläranlagen [Online]. Hausjournal. Webadresse [URL]: <https://www.hausjournal.net/kleinklaeranlage-foerderung> [Abfragedatum: 02.12. 2020].
- BERGER, Wolfgang (2015): Kompost-Toiletten für Garten und Freizeit. Staufen bei Freiburg, Ökobuch Verlag.
- BIERMAYR, Peter; DIßAUER, Christa; EBER, Monika; ENIGL, Monika; FECHNER, Hubert; FISCHER, Lukas; FÜRNSINN, Peter; LEONHARTSBERGER, Kurt; MOIDL, Stefan; SCHMIDL, Christoph; STRASSER, Christoph; WEISS, Werner; WONISCH, Patrik und WOPIENKA, Elisabeth (2018): Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2018: Biomasse, Photovoltaik, Solarthermie, Wärmepumpen und Windkraft. Nachhaltig wirtschaften. Wien, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- BOSSHARD, Andreas; MAYER, Phillip und MOSIMANN, Anna (o.J.): Leitfaden für naturgemäße Begrünungen in der Schweiz. Oberwil-Lieli, Ö+L Ökologie und Landschaft GmbH.
- BR FERNSEHEN (2021): Strafe fürs Wassersparen - Gebührenerhöhung für Zisternenbesitzer [Online]. Bayerischer Rundfunk. Webadresse [URL]: <https://www.br.de/mediathek/video/strafe-fuers-wassersparen-gebuehrenerhoehung-fuer-zisternenbesitzer-av:604a886e894e8a001a676cf5> [Abfragedatum: 02.05. 2021].
- BUNDESAMT FÜR ENERGIE (2019): Förderung der Photovoltaik: Faktenblatt. Ittigen, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation.
- BUNDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2018): Bewilligung über das Inverkehrbringen eines Düngers (Aurin).
- BUNDESAMT FÜR RAUMENTWICKLUNG (2020): Konzept Windenergie: Basis zur Berücksichtigung der Bundesinteressen bei der Planung von Windenergieanlagen. Bern, Bundesamt für Raumentwicklung ARE.
- BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD; NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT (o.J.-a): Einführung in die bodenkundlichen Grundlagen. Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft.
- BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD; NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT (o.J.-b): Kartierungsbereichsübersicht und Stand der digitalen Bodenkarte [Online]. Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft. Webadresse [URL]:

- <https://geo.bfw.ac.at/boden/downloads/kartierungsbereiche.jpg> [Abfragedatum: 06.02.2021].
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2017a): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV) [Online]. Webadresse [URL]: https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/D%C3%BCV.pdf [Abfragedatum: 27.10.2020].
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2017b): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung - BioAbfV) [Online]. Webadresse [URL]: <https://www.gesetze-im-internet.de/bioabfv/BioAbfV.pdf> [Abfragedatum: 27.10.2020].
- BUNDESREGIERUNG (2021): Baurecht und Bauordnungen [Online]. Webadresse [URL]: https://www.oesterreich.gv.at/themen/bauen_wohnen_und_umwelt/bauen/Seite.2260200.html [Abfragedatum: 20.04.2021].
- BUNDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG (o. J.): Dossier: Düngereinsatz [Online]. Bundeszentrale für politische Bildung. Webadresse [URL]: <https://www.bpb.de/gesellschaft/umwelt/anthropozan/256762/duengereinsatz> [Abfragedatum: 02.05.2021].
- CAI, Wei; LI, Xing; MALEKI, Akbar; POURFAYAZ, Fathollah; ROSEN, Marc A.; ALHUYI NAZARI, Mohammad und BUI, Dieu Tien (2020): Optimal sizing and location based on economic parameters for an off-grid application of a hybrid system with photovoltaic, battery and diesel technology. Energy 201.
- CHARABI, Yassine und GASTLI, Adel (2011): PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation. Renewable Energy 36.
- DACHBEGRÜNUNG-RATGEBER (2020): Gründach-Glossar von A bis Z [Online]. Webadresse [URL]: <https://www.dachbegruenung-ratgeber.de/glossar-dachbegruenung> [Abfragedatum: 28.11.2020].
- DAIBAU (2020): Kleinkläranlagen Preise [Online]. DAIBAU GmbH. Webadresse [URL]: <https://www.daibau.at/baukostenrechner/kleinklaeranlagen> [Abfragedatum: 30.11.2020].
- DAS UMWELT-LEXIKON (2020): "Klärschlamm" [Online]. Umweltdatenbank. Webadresse [URL]: <https://www.umweltdatenbank.de/cms/lexikon/37-lexikon-k/702-klaerschlamm.html> [Abfragedatum: 18.11.2020].
- DAV (o.J.): Höhenstufen der Alpen [Online]. Deutscher Alpenverein. Webadresse [URL]: https://www.alpenverein.de/natur/naturschutzverband/die-alpen/hoehenstufen-pflanzen-vegetation-alpen-klima_aid_27614.html [Abfragedatum: 16.01.2021].
- DE LANGE, Norbert (2020): Geoinformatik in Theorie und Praxis: Grundlagen von Geoinformationssystemen, Fernerkundung und digitaler Bildverarbeitung. Springer.
- DENSHAM, Paul J. (1991): Spatial Decision Support Systems. In: David J. Maguire, Michael Goodchild und David W. Rhind (Hrsg.): Geographical Information Systems: Principles and Applications. London, Longman.
- DEUTSCHE BUNDESREGIERUNG (2011): Erfahrungsbericht 2011 zum Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG-Erfahrungsbericht) [Online]. Webadresse [URL]: https://web.archive.org/web/20140408131629/http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eeg_erfahrungsbericht_2011_bf.pdf [Abfragedatum: 15.11.2020].
- DEUTSCHER WETTERDIENST (o. J.): Wasseräquivalent der Schneedecke [Online]. Deutscher Wetterdienst. Webadresse [URL]: https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/begriffe/W/Wasseraequivalent_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=4 [Abfragedatum: 21.03.2021].
- DUDEN (2016): "Autarkie". In: Duden (Hrsg.): Wirtschaft von A bis Z: Grundlagenwissen für Schule und Studium, Beruf und Alltag. 6. Auflage. Mannheim, Bundeszentrale für politische Bildung.

- DWA (2008): Themenband: Neuartige Sanitärsysteme. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- DWA (2010): Brauchen wir in Deutschland neuartige Sanitärsysteme?
- E-GENIUS (2018a): Grundlagen der Photovoltaik [Online]. Wien, e-genius - Initiative offene Bildung in Technik und Naturwissenschaften. Webadresse [URL]: https://www.e-genius.at/fileadmin/user_upload/photovoltaik_grundlagen/photovoltaik_grundlagen.pdf [Abfragedatum: 05.10. 2020].
- E-GENIUS (2018b): Grundlagen Solarthermie und Solare Kühlung [Online]. Wien, e-genius - Initiative offene Bildung in Technik und Naturwissenschaften. Webadresse [URL]: https://www.e-genius.at/fileadmin/user_upload/solarthermie/solarthermie.pdf [Abfragedatum: 25.10. 2020].
- ECOVIA (o.J.): Verwertung der anfallenden Ausscheidungen bei der Benützung von Komposttoiletten. Ecovia: Angewandte Ökologie.
- ERLACH, Norbert (2012): Dachgrün: Studie im Auftrag der MA 22. Wien, Wiener Umweltschutzabteilung (MA 22).
- ESRI (o.J.-a): Euklidische Entfernung [Online]. Webadresse [URL]: <https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/euclidean-distance.htm> [Abfragedatum: 11.04. 2021].
- ESRI (o.J.-b): Funktionsweise von "Ausrichtung" [Online]. Webadresse [URL]: <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-aspect-works.htm> [Abfragedatum: 19.03. 2021].
- ESRI (o.J.-c): Funktionsweise von "Gewichtete Überlagerung" [Online]. Webadresse [URL]: <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-weighted-overlay-works.htm> [Abfragedatum: 04.01. 2021].
- ESRI (o.J.-d): Plus (Spatial Analyst) [Online]. Webadresse [URL]: <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/plus.htm> [Abfragedatum: 12.02. 2021].
- ESRI (o.J.-e): Puffer [Online]. Webadresse [URL]: <https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/tools/analysis-toolbox/buffer.htm> [Abfragedatum: 11.04. 2021].
- ESRI (o.J.-f): Radieren (Analysis) [Online]. Webadresse [URL]: <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/latest/tool-reference/analysis/erase.htm> [Abfragedatum: 17.04. 2021].
- ESTLER, Manfred und PFAHLER, Karl (1985): Einfluß der Hangneigung auf den Wert landwirtschaftlicher Grundstücke. München, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- FAKTOR TECHNIK (o.J.): Genehmigungen und Vorschriften [Online]. faktor technik GmbH & Co KG. Webadresse [URL]: <https://www.regenwasseranlage.de/genehmigungen-und-vorschriften> [Abfragedatum: 30.11. 2020].
- FECHNER, Hubert; ROSNER, Maximilian; TECHNIKUM WIEN; MAYR, Christoph; RENNHOFFER, Marcus; SCHNEIDER, Astrid; AIT-AUSTRIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY; PEHARZ, Gerhard und JOHANNEUM RESEARCH FORSCHUNGSGESELLSCHAFT (2018): Photovoltaik Technologie-Roadmap Teil 2: Potenziale und Technologie - Entwicklungsbedarf für Photovoltaik in den Sektoren Gewerbe/Industrie; Mobilität; Landwirtschaft; Gebäude/Städte. Berichte aus Energie- und Umweltforschung. Wien, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- GITTA (2013): Weighting by ranking [Online]. Geographic Information Technology Training Alliance. Webadresse [URL]: http://www.gitta.info/Suitability/en/html/Normalisatio_learningObject1.html [Abfragedatum: 27.12. 2020].
- GRASEL, Sara (2020): Ab 2021 werden in Österreich Energiegemeinschaften gefördert [Online]. Tech & Nature. Webadresse [URL]: <https://www.techandnature.com/ab-2021-können-in-österreich-energiegemeinschaften-gegründet-werden/> [Abfragedatum: 14.11. 2020].
- GREENE, Randal; DEVILLERS, Rodolphe; LUTHER, Joan E. und EDDY, Brian G. (2011): GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis. Geography compass 5.

- GRÜNSTATTGRAU (2020): Vorgaben und Förderungen [Online]. Wien, GRÜNSTATTGRAU Forschungs- und Innovations GmbH. Webadresse [URL]: <https://gruenstattgrau.at/urban-greening/foerderungen/> [Abfragedatum: 28.11. 2020].
- HAMBURG WASSER (2021): Hamburg Water Cycle [Online]. Webadresse [URL]: <https://www.hamburgwatercycle.de/navigation/meta-navigation/impresum-datenschutz> [Abfragedatum: 21.03. 2021].
- HARLOW, Emma (2019): Rechtliche Rahmenbedingungen für die Verwendung von Ausgangssubstraten menschlichen Ursprungs in der Düngung: Eine Literaturrecherche und ein Vergleich der Länder Deutschland, Österreich und Schweiz. Berlin, Humboldt-Universität.
- HOLZAPFEL +KONSORTEN (2019): Kreisläufe schliessen: Pflanzenkläranlagen zur Grauwasserreinigung - PkaGW. Weimar, Holzapfel +Konsorten GmbH & Co. KG.
- HULAC, Benjamin (2015): Tesla's Elon Musk Unveils Solar Batteries for Homes and Small Businesses [Online]. Scientific American. Webadresse [URL]: <https://www.scientificamerican.com/article/tesla-s-elon-musk-unveils-solar-batteries-for-homes-and-small-businesses/> [Abfragedatum: 02.05. 2021].
- IG RESSOURCE WASSER (2020a): Die häufigsten Fragen zur Regenwasser-Nutzung und ihre Antworten [Online]. Interessengemeinschaft Ressource Wasser. Webadresse [URL]: <http://www.igrw.at/index.php/faq> [Abfragedatum: 30.11. 2020].
- IG RESSOURCE WASSER (2020b): Förderungsrichtlinien-Links [Online]. Interessengemeinschaft Ressource Wasser. Webadresse [URL]: <http://www.igrw.at/index.php/foerderungen> [Abfragedatum: 30.11. 2020].
- ILLETSCHKO, Peter (2019): Warum Überdüngung ein Problem für die Umwelt ist [Online]. Der Standard. Webadresse [URL]: <https://www.derstandard.at/story/2000105855621/warum-ueberduengung-ein-problem-fuer-die-umwelt-ist> [Abfragedatum: 02.05. 2021].
- INTERESSENGEMEINSCHAFT WINDKRAFT ÖSTERREICH (o.J.): 9 Bundesländer [Online]. Interessengemeinschaft Windkraft Österreich. Webadresse [URL]: https://www.kleinwindkraft.at/?xmlval_ID_KEY%5B0%5D=1284 [Abfragedatum: 15.11. 2020].
- IPCC (2014): Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). Genf, IPCC.
- IPX 1031 (2021): Survey Reveals America's Ideal Tiny Home and Tiny Office [Online]. Investment Property Exchange Services. Webadresse [URL]: <https://www.ipx1031.com/america-ideal-tiny-home-tiny-office/> [Abfragedatum: 01.05. 2021].
- JAMAL, Taskin; URMEE, Tania und SHAFIULLAH, G. M. (2020): Planning of off-grid power supply systems in remote areas using multi-criteria decision analysis. Energy 201.
- JÜTTEMANN, Patrick (2013): Kleines Windrad als Ergänzung zur PV-Anlage: Die Lage ist entscheidend [Online]. Solarthemen Media GmbH. Webadresse [URL]: <https://www.solarserver.de/2013/10/29/kleines-windrad-als-ergaenzung-zur-pv-anlage-die-lage-ist-entscheidend/> [Abfragedatum: 06.10. 2020].
- JÜTTEMANN, Patrick (o.J.-a): Genehmigung und Recht für kleine Windkraftanlagen [Online]. Solarthemen Media GmbH. Webadresse [URL]: <https://www.kleinwindkraftanlagen.com/basisinfo/genuehmigung-rechtliche-grundlagen/> [Abfragedatum: 15.11. 2020].
- JÜTTEMANN, Patrick (o.J.-b): Staatliche Förderung für kleine Windkraftanlagen [Online]. Solarthemen Media GmbH. Webadresse [URL]: <https://www.kleinwindkraftanlagen.com/basisinfo/staatliche-foerderung-klein-windkraft/> [Abfragedatum: 15.11. 2020].
- KAISER, Robert (2014): Qualitative Experteninterviews: Konzeptionelle Grundlagen und praktische Durchführung. Springer-Verlag.

- KAPELLER, Lukas (2018): Wohntrend: Mikrohäuser mit 30 Quadratmetern [Online]. Kurier. Webadresse [URL]: <https://kurier.at/wirtschaft/wohntrend-mikrohaeuser-mit-30-quadratmetern/307.311.948> [Abfragedatum: 02.10. 2020].
- KEENAN, Peadar (1997): Using a GIS as a DSS Generator. University College Dublin, Department of Management Information Systems.
- KLIMA- UND ENERGIEFONDS (2020a): Leitfaden: Photovoltaik-Anlagen - Jahresprogramm 2020. Wien, Klima- und Energiefonds.
- KLIMA- UND ENERGIEFONDS (2020b): Leitfaden: Solaranlagen - Jahresprogramm 2020. Wien, Klima- und Energiefonds.
- KLÖTZLI, Frank (1980): Unsere Umwelt und wir. Bern, Hallwag Verlag.
- KRENN, Andreas; WINKELMEIER, Johann; TIEFGRABER, Christoph; CATTIN, René; MÜLLER, Stefan; TRUHETZ, Heimo; BIBERACHER, Markus und GADOCHA, Sabine (2011): Endbericht Windatlas und Windpotentialstudie Österreich. Klima-und Energiefonds des Bundes.
- KROISS, Fritz und WAITZ-VETTER VON DER LILIE, Waltraud (2011): Regenwassermanagement: Rechtliche Grundlagen. Wien, Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung (MA 22).
- LANGE, Jörg und OTTERPOHL, Ralf (1997): Abwasser: Handbuch zu einer zukunftsfähigen Abwasserwirtschaft. Mallbeton-Verlag.
- LEXIKON DER GEOGRAPHIE (2001a): Ackerland [Online]. Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag. Webadresse [URL]: <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/ackerland/96> [Abfragedatum: 07.02. 2021].
- LEXIKON DER GEOGRAPHIE (2001b): Grünland [Online]. Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag. Webadresse [URL]: <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/gruenland/3262> [Abfragedatum: 07.02. 2021].
- LEXIKON DER KARTOGRAPHIE UND GEOMATIK (2001): Hangneigung [Online]. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Webadresse [URL]: <https://www.spektrum.de/lexikon/kartographie-geomatik/hangneigung/2109> [Abfragedatum: 23.01. 2021].
- LOSTER, Matthias (2006a): Total Primary Energy Supply - From Sunlight [Online]. Webadresse [URL]: https://www.ez2c.de/ml/solar_land_area/solar_land_area.png [Abfragedatum: 05.10. 2020].
- LOSTER, Matthias (2006b): Total Primary Energy Supply - From Sunlight [Abbildung] [Online]. Webadresse [URL]: https://www.ez2c.de/ml/solar_land_area/solar_land_area.png [Abfragedatum: 05.10. 2020].
- LÜTZELER, Carla (2018): Ratgeber Photovoltaik. Ulm, Anondi GmbH, Andreas Madel.
- LÜTZELER, Carla und SCHOMAKER, Judith (2018): Ratgeber Solarthermie. Ulm, Anondi GmbH, Andreas Madel.
- MALCZEWSKI, Jacek (1999): GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons.
- MALCZEWSKI, Jacek (2004): GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. Progress in Planning 62.
- MALCZEWSKI, Jacek (2006): GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International journal of geographical information science 20.
- MAMASSIS, Nikos; EFSTRATIADIS, Andreas und APOSTOLIDOU, Ilektra-Georgia (2012): Topography-adjusted solar radiation indices and their importance in hydrology. Hydrological Sciences Journal 57.
- MÄRTEL, Christian (2020): Entwicklung der gesetzlichen Grundlagen für Photovoltaik [Online]. Solaranlagenportal. Webadresse [URL]: <https://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/gesetzeslage> [Abfragedatum: 15.11. 2020].
- MEIXNER, Christian (2020): Gesetzliche Bestimmungen [Online]. wald-und-wiesen-design; Nachhaltiges Umweltdesign und Umweltberatung. Webadresse [URL]: <http://www.komposttoilette.com/gesetzliche-bestimmungen/> [Abfragedatum: 15.11. 2020].
- MIEG, Harald und BRUNNER, Beat (2001): Experteninterviews: Eine Einführung und Anleitung. Working Paper/MUB, Professur für Mensch-Umwelt-Beziehungen 6.

- MUSTERHAUS (2020): Herausforderungen sowie Vor- und Nachteile der Hanglage im Überblick [Online]. Musterhaus.net GmbH. Webadresse [URL]: <https://www.musterhaus.net/ratgeber/bauen-am-hang#> [Abfragedatum: 23.01. 2021].
- NATIONALPARK HOHE TAUERN TIROL (2014): Corine Nomenklatur. Nationalpark Hohe Tauern Tirol, Umweltbundesamt.
- NITSCH, Gerry (2017): Flachdachidylle [Online]. Energie Schweiz. Webadresse [URL]: <https://www.energieschweiz.ch/page/de-ch/flachdachidylle-wie-man-mit-pflanzen-dem-klimawandel-begegnet> [Abfragedatum: 26.10. 2020].
- OEMAG (2020a): Tarifförderung Photovoltaik [Online]. Abwicklungsstelle für Ökostrom AG. Webadresse [URL]: <https://www.oem-ag.at/de/foerderung/photovoltaik/tarifforderung/> [Abfragedatum: 15.11. 2020].
- OEMAG (2020b): Wind [Online]. Abwicklungsstelle für Ökostrom AG. Webadresse [URL]: <https://www.oem-ag.at/de/foerderung/wind/> [Abfragedatum: 15.11. 2020].
- OLDENBURG, Martin und OTTERPOHL, Ralf (2001): Umsetzung neuer Entwässerungskonzepte am Beispiel der ökologischen Wohnsiedlung Flintenbreite in Lübeck und der Lambertsmühle bei Burscheid. Beitrag zum Seminar Neue Wege in der Siedlungsentwässerung. Karlsruhe.
- ÖSTERREICHISCHE BUNDESREGIERUNG (2020): Kanalanschluss [Online]. Wien, Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort. Webadresse [URL]: https://www.oesterreich.gv.at/themen/bauen_wohnen_und_umwelt/bauen/2/Seite.2260520.html [Abfragedatum: 22.11. 2020].
- ÖSTERREICHISCHE WASSERWERKE (2020a): Private Hausbrunnen [Online]. Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach (ÖVGW). Webadresse [URL]: <http://www.wasserwerk.at/home/wasserqualitaet/privatehausbrunnen> [Abfragedatum: 07.12. 2020].
- ÖSTERREICHISCHE WASSERWERKE (2020b): Trinkwasserverwendung [Online]. Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach (ÖVGW). Webadresse [URL]: <http://www.wasserwerk.at/home/alles-ueber-wasser/verbrauch> [Abfragedatum: 27.10. 2020].
- PHOTOVOLTAIC AUSTRIA (2020): Rechtlicher Rahmen [Online]. Wien, Bundesverband Photovoltaic Austria. Webadresse [URL]: <https://www.pvaustria.at/rechtlicher-rahmen/> [Abfragedatum: 12.11. 2020].
- PRUCHNIEWSKI, Jo Ann (2020): Esri wird von unabhängiger Marktforschungsfirma in Bericht über Location-Intelligence-Plattformen als Marktführer bezeichnet [Online]. Business Wire. Webadresse [URL]: <https://www.businesswire.com/news/home/20200623005939/de/> [Abfragedatum: 30.12. 2020].
- PULIDO, Diego Fernando Quintero (2019): Energy storage technologies for off-grid houses.
- QGIS (2020): QGIS Python Plugins Repository [Online]. Webadresse [URL]: <https://plugins.qgis.org/plugins/> [Abfragedatum: 30.12. 2020].
- RAMM, Frederik (2019): OpenStreetMap Data in Layered GIS Format. Geofabrik.
- RENOVERO (o.J.): Tipps zum Brunnen bauen. [Online]. Renovero. Webadresse [URL]: <https://www.renovero.ch/de/tipps/garten-terrasse-balkon/brunnen-bohren#genehmigungen-165599> [Abfragedatum: 08.12. 2020].
- RINNER, Claus (2007): Geovisualisierung zur räumlichen Entscheidungsunterstützung. Kartographische Nachrichten - Journal of Cartography and Geographic Information 57.
- SAATY, Thomas L. (1980): The Analytic Hierarchy Process. New York, McGraw-Hill.
- SCHRAMM, Engelbert (2008): Düngerrückgewinnung aus Abwasser: Technologien für die Zukunft. ISOE-Diskussionspapiere 32.
- SCHWEIZERISCHE FACHVEREINIGUNG GEBÄUDEBEGRÜNUNG (2020): Richtlinie (Ausgabe 2016) [Online]. Schweizerischen Fachvereinigung Gebäudebegrünung (SFG). Webadresse [URL]: <https://www.sfg-gruen.ch/de/Publikationen/Richtlinie> [Abfragedatum: 29.11. 2020].

- SOLARANLAGE INFOPORTAL FÜR SONNENENERGIE (2020): "Netzparallelbetrieb" [Online]. Solaranlage.de Lexikon. Webadresse [URL]: <https://www.solaranlage.de/lexikon/netzparallelbetrieb> [Abfragedatum: 13.11. 2020].
- SOLARGIS (2021): Methodology - Solar radiation modeling [Online]. Webadresse [URL]: <https://solargis.com/docs/methodology/solar-radiation-modeling> [Abfragedatum: 24.01. 2021].
- STABEN, Nadine (2008): Technische Möglichkeiten der alternativen Gestaltung städtischer Wasser- und Abwasserinfrastruktur. Eine Technikrecherche im Rahmen des Projekts "Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft". Berlin, Deutsches Institut für Urbanistik.
- STARKL, Markus; BINNER, Erwin; FÜRHACKER, Maria; HOLUBAR, Peter; KOECK, Stefan; LENZ, Katharina; MASCHER, Franz; ORNETZEDER, Michael; POLLAK, Michael und HABERL, Raimund (2005): Nachhaltige Strategien der Abwasserentsorgung im ländlichen Raum. Wien, Bundesministerium für Land-und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- STATISTA (2021): Daten und Fakten zur Geographie in Österreich [Online]. Statista Research Department. Webadresse [URL]: <https://de.statista.com/themen/7485/geographie-oesterreichs/> [Abfragedatum: 26.04. 2021].
- STATISTIK AUSTRIA (2021): Wohnungsgröße von Hauptwohnsitzwohnungen nach Bundesland (Zeitreihe) [Online]. Bundesanstalt Statistik Österreich. Webadresse [URL]: https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/wohnen/wohnsituation/079260.html [Abfragedatum: 28.03. 2021].
- STOLLHOFF, Katrin Planung eines ökologischen Abwasserkonzeptes am Beispiel des Ökologischen Kulturzentrums Kesselberg e.V., Institut für Ökologie.
- SUISSE EOLE (2020a): kostenorientiertes Einspeisevergütungssystem (KEV) mit Direktvermarktung [Online]. Liestal, Suisse Eole – Vereinigung zur Förderung der Windenergie in der Schweiz. Webadresse [URL]: <https://www.suisse-eole.ch/de/windenergie/planung-und-bewilligung/kev/> [Abfragedatum: 23.11. 2020].
- SUISSE EOLE (2020b): Planung und Bewilligung [Online]. Liestal, Suisse Eole – Vereinigung zur Förderung der Windenergie in der Schweiz. Webadresse [URL]: <https://www.suisse-eole.ch/de/windenergie/planung-und-bewilligung/> [Abfragedatum: 23.11. 2020].
- SUISSE EOLE (2020c): Richtplanung [Online]. Liestal, Suisse Eole – Vereinigung zur Förderung der Windenergie in der Schweiz. Webadresse [URL]: <https://www.suisse-eole.ch/de/windenergie/planung-und-bewilligung/richtplanung/> [Abfragedatum: 23.11. 2020].
- SWISSOLAR (2015a): Förderung [Online]. Schweizerischer Fachverband für Sonnenenergie. Webadresse [URL]: <https://www.swissolar.ch/fuer-bauherren/foerderung/> [Abfragedatum: 22.11. 2020].
- SWISSOLAR (2015b): Leitfaden Solaranlagen gemäss Art. 18a des Raumplanungsgesetzes. Schweizerischer Fachverband für Sonnenenergie.
- SWISSOLAR (o.J.): Steuervergünstigungen für erneuerbare Energien. Schweizerischer Fachverband für Sonnenenergie.
- TAHRI, Meryem; HAKDAOUI, Mustapha und MAANAN, Mohamed (2015): The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco. Renewable and Sustainable Energy Reviews 51.
- TANKSALVALA, Sarah (o.J.): Finding peace and purpose off the grid [Online]. Forbes. Webadresse [URL]: <https://www.forbes.com/hsbcpersonaleconomy/finding-peace-and-purpose.html> [Abfragedatum: 02.10. 2020].
- UMWELTBUNDESAMT (2013): Gesundes Trinkwasser aus eigenen Brunnen und Quellen: Empfehlungen für Betrieb und Nutzung. Bonn, Umweltbundesamt.
- UMWELTBUNDESAMT (2021): CORINE Land Cover [Online]. Wien, Umweltbundesamt GmbH. Webadresse [URL]: <https://www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/boden/rp-projekte/rp-corine> [Abfragedatum: 07.01. 2021].

- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (2020): 2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi.
- VON GUNTEN, Urs (2009): Neue Verfahren zur Trinkwasseraufbereitung. Wasserversorgung 2025.
- WILDERER, Peter und PARIS, Stefania (2001): Integrierte Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Gebiete. Garching, Technische Universität München; Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wassergüte- und Abfallwirtschaft.
- WILKINSON, Alec (2011): Let's Get Small: The rise of the tiny-house movement [Online]. The New Yorker. Webadresse [URL]: <https://www.newyorker.com/magazine/2011/07/25/lets-get-small> [Abfragedatum: 02.10. 2020].
- WINKELMEIER, Hans; KRENN, Andreas und ZIMMER, Florian (2014): Das realisierbare Windpotential Österreichs für 2020 und 2030: Follow-Up Studie zum Projekt „Windatlas und Windpotentialstudie Österreich“. FFG - Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH. Friedburg, Energiewerkstatt - Verein und Technisches Büro zur Förderung erneuerbarer Energie.
- WOHNWAGON (2020): Wohnwagon Minihaus: Das unabhängige Zuhause [Online]. Webadresse [URL]: <https://www.wohnwagon.at/planung-beratung/wohnwagon-minihaus/> [Abfragedatum: 02.10. 2020].
- ZAUSSINGER, Christoph (2019): Rechtliches über Hausbrunnen und Hausquellen [Online]. Landwirtschaftskammer Oberösterreich. Webadresse [URL]: <https://ooe.lko.at/rechtliches-%C3%BCber-hausbrunnen-und-hausquellen+2500+2941021> [Abfragedatum: 07.12. 2020].
- ZEHNSDORF, Andreas; STOCK, Norman; RICHTER, Juliane; BLUMBERG, Michael und MÜLLER, Roland (2016): Grauwasserreinigung mit einer Sumpfpflanzenmatte unter Praxisbedingungen (Gray-water purification with a wetland plant mat under practical conditions). Chemie Ingenieur Technik 88.

Ich versichere:

- dass ich die Masterarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- dass alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Publikationen entnommen sind, als solche kenntlich gemacht sind.
- dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/ einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

06.06.2021

Datum



Unterschrift

Anhang

Fragebogen der Expertenumfrage



Christopher Grindl
Institut für Geographie und Regionalforschung
E-Mail: chrisgrindl@msn.com
Mobil: +4367762724037

Im Rahmen der Masterarbeit: GIS-basierte, multikriterielle Eignungsanalyse für autarken Wohnraum in Österreich:

EXPERTENUMFRAGE ZU AUTARKEM WOHNRAUM IN ÖSTERREICH

Sehr geehrte(r) Experte/Expertin für autarken Wohnraum!

In meiner Masterarbeit im Fachbereich Kartographie und Geoinformation untersuche ich die Eignung Österreichs für autarken Wohnraum. Autark meint in diesem Fall unabhängig von Strom-, Wasser- und Kanalanschluss. In dieser Arbeit führe ich eine multikriterielle Eignungsanalyse durch, in der verschiedene autarkierelevante Standortparameter bewertet, gewichtet und zu einem flächendeckenden Index zusammengefasst werden. Dabei werden diverse Kriterien für Flächen in Österreich in einer einheitlichen Skala bewertet. Die so standardisierten Einzelkriterien werden daraufhin durch eine gewichtete Überlagerung zu besagtem Autarkieindex zusammengefasst. Dieser Index gibt dann die allgemeine Eignung eines jeden in Frage kommenden Standorts für autarke Wohnbauten an.

Um zu ermitteln, wie die einzelnen Kriterien in der Analyse am besten gewichtet werden können, damit ein möglichst realitätsnahes Ergebnis erreicht wird, wurde vorliegende Expertenumfrage erstellt. Diese wird an verschiedene Fachleute versendet, die aufgrund ihrer beruflichen Expertise, Fachrichtung oder praktischen Erfahrung als Experten für Autarkie gelten. Der Durchschnitt der Werte aus den eingegangenen Umfragen bildet die Grundlage für die Gewichtung der Parameter.

Die Umfrage besteht aus zwei Teilen. Der erste Teil befasst sich mit der Gewichtung der einzelnen Standortparameter. Dies dient dazu, Kriteriengewichte zuzuordnen, die den relativen Einfluss der einzelnen Kriterien in der Standortanalyse bestimmen. Im zweiten Teil finden Sie eine Zusatzfrage, welche für die Eingrenzung von Gebieten relevant ist. Im Anhang befinden sich zum einen die Erläuterungen zu den einzelnen Parametern, zum anderen ist ein Feld für eventuelle Kommentare Ihrerseits vorhanden.

Bitte tragen Sie hier Ihren Namen/Titel, Ihr Berufsfeld sowie Ihren Bezug zum Thema Autarkie ein:

Name; Titel: →

Berufliche Tätigkeit: →

Bezug zu Autarkie: →

Ich stimme zu, dass meine Daten im Rahmen o.g. Masterarbeit verarbeitet werden (Ja/Nein):

→

Datenschutzrechtliche Hinweise: Die Erhebung und Speicherung Ihrer personenbezogenen Daten erfolgt ausschließlich zur Angabe im Anhang eingangs genannter Masterarbeit. Die Angaben in der Umfrage werden anonymisiert behandelt. Ihre Angaben werden nicht an Dritte weitergegeben und auch sonst nicht anderweitig verarbeitet als hier angegeben. Mit dem Ausfüllen dieser Umfrage stimmen Sie dem zu. Auch bei einer Umfrage haben Sie gemäß Datenschutz gegenüber dem Informationsträger das Recht auf Auskunft sowie Löschung Ihrer personenbezogenen Daten. Sie können diese Einwilligungserklärung jederzeit widerrufen. Nach erfolgtem Widerruf werden Ihre Daten gelöscht und unzugänglich aufbewahrt.

Teil 1: Gewichtung der Parameter

Bitte bewerten Sie folgende, für Autarkie relevante Standortfaktoren gemäß ihrer Wichtigkeit bei der Umsetzung autarker Wohnbauten. Eine Erläuterung zu den verwendeten Parametern finden Sie im Anhang.

Für fast alle Parameter gibt es Ausschlusskriterien, bei denen eine autarke Nutzung grundsätzlich nicht möglich ist (z.B. Wasserflächen, Steilhänge, Hochgebirge etc.). Standorte, die eines oder mehrere dieser Ausschlusskriterien aufweisen, werden in der Analyse nicht weiter berücksichtigt. Jene verbleibenden Flächen, die sich theoretisch für eine Bebauung eignen, werden pro Kriterium in eine einheitliche, linear klassifizierte Bewertungsskala übersetzt. Diese besteht aus ganzen Zahlen mit Werten zwischen 1 (kaum geeignet) und 10 (sehr gut geeignet), die einzelnen Parameterindizes haben also alle 10 Klassen mit linear abgegrenzten Wertebereichen.

Einige der Parameter korrelieren aufgrund der physikalischen Umstände (wie etwa Höhenlage/Lufttemperaturen oder Niederschlagsmengen und Neuschneesummen). Dennoch ist es für die Gewichtung erforderlich, die Parameter und ihre Wichtigkeit für autarken Wohnraum soweit es geht separat zu betrachten.

Eine, aus Ihrer Sicht sinnvolle Gewichtung tragen Sie bitte in untenstehender Tabelle in Form von Prozentangaben [%] ein. Die Summe der Prozentpunkte der einzelnen Faktoren in der untersten Zeile muss dabei 100% ergeben (*Wird automatisch berechnet, bitte überprüfen*).

Doppelklicken Sie auf die Tabelle, um die Excel-Arbeitsmappe zu öffnen. Tragen Sie die Gewichtungen dort ein und klicken Sie dann auf ‚speichern/schließen‘:

Standortparameter	Gewichtung [%]
Höhenlage (m über dem Meeresspiegel)	
Hangneigung	
Hangausrichtung	
Land-/Bodenbedeckung	
Lufttemperaturen (Jahresmittel)	
Mittlere Windgeschwindigkeiten (Jahresmittel)	
Sonnenenergiepotenzial (Jahresmittel)	
Niederschlagsmengen	
Neuschneesummen	
Boden-/Ackerqualität	
Entfernung zu Verkehrsnetz (befahrbare Straßen)	
Summe:	0,00%

Teil 2: Zusatzfrage

Bei der Entfernung zum Verkehrsnetz soll die Verhältnismäßigkeit der Kosten zur Erschließung des Grundstücks mittels einer befahrbaren Straße/Wegs berücksichtigt werden. Die Zufahrtsstraße muss dabei nicht asphaltiert sein, aber zumindest so befestigt, dass sie mit PKWs befahrbar ist. Je länger eine solche Zufahrtsstraße ist, desto höher sind die Kosten für den Ausbau. Aus diesem Grund soll für die Analyse eine Obergrenze festgelegt werden, wie weit ein Standort von der nächsten befahrbaren Straße oder Weg entfernt sein darf. Was ist Ihrer Ansicht nach für Wohnbauten die maximal tragbare Entfernung als Indexobergrenze von der nächsten Straße (Angabe in Metern)?

→

[m]

Anhang: Beschreibung der Parameter

Höhenlage: Die Bewertung erfolgt aus einem digitalen Geländemodell. Grundsätzlich wird der Zugang zu Flächen und ihre Bebauung mit zunehmender Höhe erschwert. Alpine Höhenlagen über 2000 m Höhe werden deshalb von der Analyse ausgeschlossen. Die Werte reichen demnach von 111 m am tiefsten Punkt (*Bewertungszahl 10*) bis zu der Obergrenze von 2000 m (*Bewertungszahl 1*). Die Höhenlage korreliert im Allgemeinen stark mit der Lufttemperatur, ebenso mit den Neuschneesummen.

Hangneigung: Häuser, die auf abschüssigem Gelände gebaut werden, müssen in besonderem Maße gegen Abrutschen und eindringendes Wasser geschützt werden. Dies ist, je nach Untergrund, bei steigender Hangneigung auch mit steigendem Aufwand verbunden. Bezüglich des kosten- und bautechnischen Aufwands sind flachere Bereiche geneigten Flächen vorzuziehen. Prinzipiell raten Experten bei einer Hangneigung ab 15% von einer Bebauung ab, weil dann eine Bebauung so kompliziert wird, dass massive Mehrkosten entstehen. Darum werden alle Flächen, deren Hangneigung mehr als 15% beträgt, nicht berücksichtigt. Es ergeben sich daraus Hangneigungen zwischen 0% (*Bewertungszahl 10*) und 15% (*Bewertungszahl 1*).

Hangausrichtung: Diese gibt an, welcher Himmelsrichtung eine Fläche zugeneigt ist. Bei der Berechnung des Sonnenenergiepotenzials wird zwar die Abschattung durch die topographischen Gegebenheiten und auch weitere Umwelteinflüsse berücksichtigt, nicht jedoch die Auswirkung der Hangausrichtung. In der nördlichen Hemisphäre erhalten nach Süden ausgerichtete Hänge deutlich mehr direkte Sonneneinstrahlung pro Flächeneinheit, als dies bei horizontal ausgerichteten Flächen oder Nordhängen der Fall ist. Dies spielt eine wichtige Rolle in der landwirtschaftlichen Nutzung von Flächen, insbesondere für Pflanzen, die viel Sonnenlicht brauchen. Südhänge sind demnach West- und Osthängen vorzuziehen. West- und Ostausrichtungen wiederum sind Nordhängen vorzuziehen. Für diese Analyse sollen ebene Flächen trotz der im Vergleich zu Südhängen geringeren direkten Sonneneinstrahlung pro Flächeneinheit, diesen gleichgestellt bewertet werden. Die Bewirtschaftung ebener Flächen erfordert weniger mechanischen Aufwand und ist aus hydrologischer Sicht günstiger, da die Bodenhorizonte im Normalfall Wasser besser versickern und speichern können. Je höher die Hangneigung bei Südhängen (der optimale Neigungswinkel in Bezug auf die maximale Sonneneinstrahlung variiert in Österreich zwischen 33° und 45°), desto mehr Sonnenenergie trifft auf die Fläche. Damit liegt ein Kompromisskriterium vor, und es soll sowohl für horizontale Flächen als auch für Südhänge (bis zum zuvor definierten Schwellenwert von 15% Hangneigung) die *Bewertungszahl 10* vergeben werden. Je weiter sich die Ausrichtung des Hangs von Süden weg nach Osten oder Westen bzw. Norden entfernt, desto geringer die Bewertungszahl. Die geringste *Bewertungszahl 1* wird für Nordhänge vergeben.

Landbedeckung: Bewertet wird hier lediglich die Oberfläche, bzw. welche Landbedeckung vorherrscht. Je nach Bedeckungsart sind Flächen besser (z.B. *Bewertungszahl 10* für die Landbedeckungsarten ‚nicht bewässertes Ackerland‘ sowie ‚Wiesen und Weiden‘) oder schlechter (z.B. *Bewertungszahl 1* für ‚städtische Grünflächen‘) für eine Bebauung geeignet.

Lufttemperaturen: Betrachtet werden die gemittelten Jahresdurchschnittswerte der Periode 1994 bis 2018. In dem Datensatz werden ebenso alle Flächen, welche über 2000 m Höhe liegen, aus der Analyse ausgeschlossen. Je höher die mittleren Jahrestemperaturen, desto weniger müssen Wohnbauten geheizt werden; desto ertragreicher ist die Produktion von Lebensmitteln; desto höher ist der Wirkungsgrad autarkierelevanter Technik wie Photovoltaik- und Solarthermieanlagen und deren Energiespeicher. Die Temperaturwerte

unterhalb von 2000 m reichen von $-3,5^{\circ}\text{C}$ (*Bewertungszahl 1*) bis hin zu $11,5^{\circ}\text{C}$ (*Bewertungszahl 10*).

Mittlere Windgeschwindigkeiten: Verwendet werden hier die Daten aus dem Projekt der Austrian Wind Potential Analysis. Die Daten im Modell stammen aus einer langjährigen Betrachtung der Jahresmittel von 1981 bis 1990, sowie dem Jahr 1999. Die Berechnung erfolgte durch eine Verschränkung einer neuen Form der dynamischen Modellierung mit einem geo-statistischen Interpolationsverfahren, wobei die Qualität der Ergebnisse durch die Einbindung einer möglichst hohen Anzahl von realen Windmessdaten und der Energieerträge von bestehenden Windkraftanlagen verbessert wurde. Je höher die Windgeschwindigkeit im Jahresmittel, desto mehr Energie kann theoretisch an einem Standort durch Windkraftanlagen erzeugt werden. Die Werte der mittleren Windgeschwindigkeiten im Untersuchungsgebiet reichen von 1,5 m/s (*Bewertungszahl 1*) bis hin zu 9,2 m/s (*Bewertungszahl 10*).

Sonnenenergiepotenzial: Verwendet wird hier der Langzeit-Jahresdurchschnitt der horizontalen Globalstrahlung, auch genannt *global horizontal irradiation (GHI)*. Die GHI ist die Summe aus reflektierter, direkter und diffuser Strahlung, die auf eine horizontale Fläche trifft. Je höher das Sonnenenergiepotenzial, desto mehr Energie steht bei der Verwendung von Photovoltaikanlagen für einen Standort pro Fläche zur Verfügung. Höhenlagen über 2000 m wurden dabei nicht berücksichtigt, somit reichen die Strahlungswerte von 439 kWh/m^2 (*Bewertungszahl 1*) bis hin zu 1339 kWh/m^2 (*Bewertungszahl 10*).

Niederschlagsmengen: Der Niederschlag, der auf ein Gebiet fällt, bestimmt zu einem großen Teil, wie viel Wasser zur Entnahme für landwirtschaftliche Zwecke und als Nutzwasser zur Verfügung steht. Weiterhin haben die Niederschlagsmengen unter anderem Einfluss darauf, welche Lebensmittel angebaut werden können, und auch in welchem Ausmaß. Allgemeine Aussagen in Bezug auf gewünschte Niederschlagsmengen zu treffen ist schwierig, da erfolgreiche Autarkie von einer Vielzahl an Faktoren abhängt. Im Normalfall sind die Möglichkeiten an einem Standort besser, je mehr Wasser für die Landwirtschaft und als Nutzwasser zur Verfügung steht. Es werden nur Niederschläge untersucht, deren Flächen unter 2000 m Höhe liegen. Diese reichen von 550 mm (*Bewertungszahl 1*) bis hin zu 2286 mm (*Bewertungszahl 10*).

Neuschneesummen: Eine Ausnahme bildet Niederschlag in Form von Schnee, denn dieser kann negative Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Nutzbarkeit haben. Eine hohe Schneedecke ist eine physische Belastung für Ackerflächen, Kulturpflanzen, Dächer und tragende Wände, und kann zudem beispielsweise Solarzellen verdecken, sodass diese keinen Strom produzieren können. Es wurden nur Neuschneemengen untersucht, welche auf unter 2000 m Seehöhe fielen. Dort reichten die Neuschneesummen von 35 mm Wasser-Äquivalent WE (*Bewertungszahl 10*) bis hin zu 1734 mm WE (*Bewertungszahl 1*).

Bodenqualität: Je höher die Boden- bzw. Ackerqualität und der Nährstoffgehalt eines Bodens, desto besser eignet sich ein Boden normalerweise für den Anbau von Nutzpflanzen und Erzeugung von Nahrung. Zur Beurteilung der Bodenqualität wird die österreichische digitale Bodenkarte herangezogen. Erfasst sind darin alle Flächen, die in der Landwirtschaft als Nutzflächen von Bedeutung sind. Es wird dabei zwischen einer Eignung für Grün- oder, bzw. und Ackerland unterschieden, beiden liegt jeweils eine Bewertungsskala von 1 bis 5 zugrunde. Grundsätzlich sind Flächen, die sich für Ackerland eignen, besser zum Anbau von Nutzpflanzen geeignet, als dies bei reinem Grünland der Fall ist. Deshalb sind hier die Ackerflächen den Grünflächen vorzuziehen. Der Datensatz wurde auf die anderen potenziellen Flächen, welche durch die *Landbedeckung* identifiziert wurden, ausgeweitet. Da die Bodenqualität dort nicht erfasst ist, erhalten diese Flächen die *Bewertungszahl 1*, was einer vorsichtigen Einschätzung entspricht. Die weitere Bewertungsskala reicht von ‚geringwertigem Grünland‘ (*Bewertungszahl 2*) bis hin zu ‚hochwertigem Ackerland‘ (*Bewertungszahl 10*). ‚Hochwertiges Grünland‘ und ‚geringwertiges Ackerland‘ haben beide die *Bewertungszahl 6*.

Entfernung zu Verkehrsnetz: Je abgelegener ein Standort ist, d.h. je größer seine Entfernung zur nächstgelegenen Straße, desto schwieriger wird eine bauliche Erschließung. Die Entfernungsobergrenze wird durch die vorliegende Umfrage ermittelt. Die Skala reicht von ‚in unmittelbarer Nähe‘ (*Bewertungszahl 10*) bis hin zu ‚weit entfernt‘ (*Bewertungszahl 1*).

Kommentare

Alle sonstigen Kommentare, Erläuterungen, Anregungen etc. können Sie in diesem Feld hinterlassen:

Vielen Dank, dass Sie dieser Umfrage teilgenommen haben!

Begriffsbestimmungen der Corine Land Cover Klassifikation

1. Bebaute Fläche

1.1 Städtisch geprägte Flächen

1.1.1 Durchgängig städtische Prägung

Flächen mit Bebauungsstruktur. Gebäude, Hauptverkehrsstraßen und Flächen mit künstlicher Bodenbedeckung nehmen den größten Teil der Fläche ein. Grünflächen nichtlinearer Struktur und offenen Flächen sind die Ausnahme.

1.1.2 Nicht durchgängig städtische Prägung

Flächen mit Bebauungsstruktur. Neben Gebäuden, Hauptverkehrsstraßen und Flächen mit künstlicher Bodenbedeckung treten inselhaft Grünflächen und offene Flächen von signifikanter Größe auf.

1.2 Industrie-, Gewerbe- und Verkehrsflächen

1.2.1 Industrie- oder Gewerbeflächen

Flächen mit künstlicher Bodenbedeckung (zementiert, geteert, asphaltiert oder verfestigt) ohne Vegetation machen den größten Teil der betreffenden Fläche aus, die auch Gebäude und Grünflächen umfasst.

1.2.2. Straßen- und Eisenbahnnetze, funktionell zugeordnete Flächen

Straßen, Eisenbahnlinien mit dazugehörigen Anlagen (Bahnhöfe, Schuppen, Bahndämme). Mindestbreite: 100m

1.2.3 Hafengebiete

Infrastruktur von Hafengebieten, Kaianlagen, Werften und Jachthäfen.

1.2.4 Flughäfen

Infrastruktur von Flughäfen: Start- und Landebahnen, Gebäude und funktionell zugeordnete Flächen.

1.3 Abbauflächen, Deponien, Baustellen

1.3.1 Abbauflächen

Tagebauflächen zur Gewinnung von Kies, Steinen (Kiesgruben, Steinbrüche) und anderen Rohstoffen. Dazu gehören auch mit Wasser gefüllte Kiesgruben jedoch nicht Flächen von Gewässerläufen, die zur Kiesgewinnung genutzt werden.

1.3.2 Deponien, Abraumhalden

Deponien für Siedlungs- und Industriemüll sowie Abraumhalden.

1.3.3 Baustellen

Flächen, auf denen gebaut, Boden abgetragen und Erdarbeiten vorgenommen werden.

1.4 Künstlich angelegte, nicht landwirtschaftlich genutzte Grünflächen

1.4.1 Städtische Grünflächen

Grünflächen innerhalb der städtisch geprägten Flächen. Dazu gehören Parkanlagen und Friedhöfe mit Vegetation.

1.4.2 Sport- und Freizeitanlagen

Campingplätze, Sportplätze, Freizeitparks, Golfplätze, Pferderennbahnen, usw. Dazu gehören auch Parkanlagen außerhalb der städtisch geprägten Flächen.

2. Landwirtschaftliche Flächen

2.1 Ackerflächen

Regelmäßig gepflügte, meist im Fruchtwechsel bewirtschaftete Flächen.

2.1.1 Nicht bewässertes Ackerland

Flächen zum Anbau von Getreide, Gemüse, Futterpflanzen, Industriepflanzen und Hackfrüchten sowie brachliegende Flächen, einschließlich Blumen-, Baum- (Baumschulen) und Gemüsekulturen (einschließlich Erwerbsgartenbau) im Freilandbau, unter Glas oder Folie. Flächen zum Anbau von Arznei-, Aroma- und Gewürzpflanzen. Nicht dazu gehören Wiesen- und Weideflächen.

2.1.2 regelmäßig bewässertes Ackerland

Ständig oder regelmäßig bewässerte Kulturen unter Verwendung einer vorhandenen Infrastruktur (Bewässerungskanäle, Entwässerungsnetze). Die meisten dieser Kulturen könnten ohne künstliche Bewässerung nicht angebaut werden. Nicht dazu gehören Flächen mit gelegentlicher Bewässerung.

2.1.3 Reisfelder

Für den Reisbau angelegte Flächen, die mit Bewässerungskanälen durchzogen sind. Die Oberfläche ist in der Regel mit Wasser bedeckt.

2.2 Dauerkulturen

Kulturen, die in bestimmten Zeitintervallen abgeerntet werden und die Flächen über einen verhältnismäßig langen Zeitraum beanspruchen, bevor sie neu angelegt werden: vor allem Kulturen mit Gehölz. Weiden, Wiesen oder Wälder gehören nicht dazu.

2.2.1 Weinbauflächen

Mit Weinreben bestockte Flächen.

2.2.2 Obst- und Beerenobstbestände

Parzellen mit Obstbäumen und -sträuchern: Anbau einzelner oder mehrerer Obstsorten, Obstbäume in Verbindung mit Wiesenflächen. Hierzu gehören auch Kastanien- und Walnussbäume.

2.2.3 Olivenhaine

Flächen mit Olivenbäumen

2.3. *Grünland*

2.3.1 Wiesen und Weiden

Dichter Grasbewuchs durchsetzt mit Blumen, überwiegend Gräser, nicht im Fruchtwechsel. Hauptsächlich Weidenflächen, aber auch Flächen, auf denen das Futtergras mechanisch geerntet wird. Dazu gehören Dauer- und Wechselweiden sowie künstlich angelegte Weiden einschließlich Bereichen mit Hecken.

2.4. *Landwirtschaftliche Flächen heterogener Struktur*

2.4.1 Einjährige Kulturen in Verbindung mit Dauerkulturen

Wechselkulturen (Acker- oder Grünland) in Verbindung mit Dauerkulturen auf ein und derselben Fläche.

2.4.2 Komplexe Parzellenstrukturen

Ein Nebeneinander kleiner Parzellen unterschiedlicher Prägung: verschiedene einjährige Kulturen, Weideland und Dauerkulturen.

2.4.3 Überwiegend landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher Vegetation von signifikanter Größe

Überwiegend von der Landwirtschaft genutzte Fläche, unterbrochen von Flächen natürlicher Vegetation.

2.4.4 Land- und forstwirtschaftliche Flächen

Einjährige Kulturen oder Weideland unter forstwirtschaftlich genutztem Baumbestand.

3. Wälder Und Naturnahe Flächen

3.1 Wälder

3.1.1 Laubwälder

Flächen mit überwiegendem Baumbewuchs, die aber auch mit Büschen und Sträuchern durchsetzt sein können; Laubbaumarten überwiegen.

3.1.2 Nadelwälder

Flächen mit überwiegendem Baumbewuchs, die aber auch mit Büschen und Sträuchern durchsetzt sein können; Nadelbaumarten überwiegen.

3.1.3 Mischwald

Flächen mit überwiegendem Baumbewuchs, die aber auch mit Büschen und Sträuchern durchsetzt sein können; weder Laub- noch Nadelbaumarten überwiegen.

3.2 Strauch- Und Krautvegetation

3.2.1 Natürliche Grünflächen

Ertragsarmes Grünland. Oft in hügeligem Gelände. Häufig mit Gestrüpp, Fels- und Heideflächen durchsetzt.

3.2.2 Heiden und Moorheiden

Niedrige und dichte Vegetation. Überwiegend Büsche, Sträucher und Kräuter (Heidekraut, Dornestrüpp, Besenginster, Stechginster, Goldregen usw.)

3.2.3 Hartlaubbewuchs

Buschiger Hartlaubbewuchs. Dazu gehören Macchia und Garrigue. Macchia: dichte Vegetation, zusammengesetzt aus zahlreichen kleinen Bäumen und Sträuchern, die auf sauren Silikatböden im Mittelmeerraum auftritt. Garrigue: lückenhafte buschige Vegetation auf Kalkplateaus im Mittelmeerraum. Dazu gehören häufig Kermeseichen, Wacholder, Erdbeerbaum, Lavendel, Thymian, weiße Zistrose usw. Einzelstehende Bäume können auftreten.

3.2.4 Wald-Strauch-Übergangsstadien

Busch- oder Krautvegetation mit einzelnen Bäumen. Die Flächen sind entweder aus Waldflächen durch allmähliche Degenerierung oder durch Wiederpflanzung (Aufforstung) bzw. durch natürliche Verjüngung des Waldes entstanden.

3.3 Offene Flächen Ohne Oder Mit Geringer Vegetation

3.3.1 Strände, Dünen, Sandflächen

Strände, Dünen sowie Küsten- oder Festlandflächen mit Sand oder Geröll.

3.3.2 Felsflächen ohne Vegetation

Geröllhalden, Klippen, Felsen, anstehendes Gestein

3.3.3 Flächen mit spärlicher Vegetation

Steppen, Tundra und Ödland.

3.3.4 Brandflächen

Flächen, auf denen es kürzlich gebrannt hat und die zum größten Teil noch schwarz sind.

3.3.5 Gletscher und Dauerschneegebiete

Von Gletschern und Dauerschnee bedeckte Flächen.

4. Feuchtflächen

4.1 Feuchtflächen Im Landesinnern

Nicht bewaldete Flächen, die teilweise, vorübergehend oder ständig feucht sind. Ursache hierfür kann fließendes oder stehendes Wasser sein.

4.1.1 Sümpfe

Tief liegende Flächen, die normalerweise im Winter überflutet und das ganze Jahr mehr oder weniger feucht sind.

4.1.2 Torfmoore

Nassfeuchte Flächen, deren Boden vorwiegend aus Torfmoos und unvollständig abgebauten pflanzlichen Stoffen besteht. Torfmoore werden abgebaut oder nicht abgebaut.

4.2 Feuchtflächen An Der Küste

Nicht bewaldete Flächen, die teilweise, vorübergehend oder ständig mit Brack- oder Salzwasser vernässt sind.

4.2.1 Salzwiesen

Unmittelbar über der Linie des mittleren Hochwassers liegende Flächen, die regelmäßig von Salzwasser überspült werden. Sie sind häufig einem Sedimentationsprozess unterworfen; allmähliches Vordringen von Halophyten.

4.2.2 Salinen

Noch betriebene oder stillgelegte Flächen zur Salzgewinnung. Bereiche der Marschküste, auf denen durch Verdunstung Salz gewonnen wird. Diese Bereiche sind durch ihre Einteilung und ihre Dammanlage eindeutig von den übrigen Marschgebieten zu unterscheiden.

4.2.3 In der Gezeitenzone liegende Flächen

Flächen mit Schlamm, Sand und Felsen, die sich zwischen den Niveaus der mittleren Hoch- und mittleren Niedrigwasserstands befinden und somit bei Ebbe trocken fallen; in der Regel ohne Vegetation.

5. Wasserflächen

5.1 Wasserflächen im Landesinneren

5.1.1 Gewässerläufe

Natürliche oder künstlich angelegte Gewässerläufe, die dem Wasserabfluss dienen. Dazu gehören auch Kanäle. Mindestbreite: 100 m

5.1.2 Wasserflächen

Natürliche oder künstliche Wasserflächen

5.2 Meeresgewässer

5.2.1 Lagunen

Salz- oder Brackwasserzonen im Küstenbereich, die vom Meer durch eine Landzunge oder ähnliche topographische Formen getrennt sind. Diese Wasserflächen können mit dem Meer an wenigen Stellen in Verbindung stehen. Diese Verbindung kann entweder ständig oder nur periodisch zu bestimmten Zeiten im Jahr bestehen.

5.2.2 Mündungsgebiete

Teil der Flussmündung (Trichtermündung), der dem Einfluss des Meeres ausgesetzt ist.

5.2.3 Meere und Ozeane

Der an den mittleren Niedrigwasserstand angrenzende Bereich des offenen Meeres (Nationalpark Hohe Tauern Tirol 2014).

Ergebniskarten

Für die Ergebniskarten wurde mittels ArcGIS Pro eine Kartenserie erstellt. Diese folgt einem Indexgitter mit einer Gittergröße von 75 km x 75 km zur Referenzierung. Die Kartenindizes im Indexgitter sind in untenstehender Abbildung 35 dargestellt:

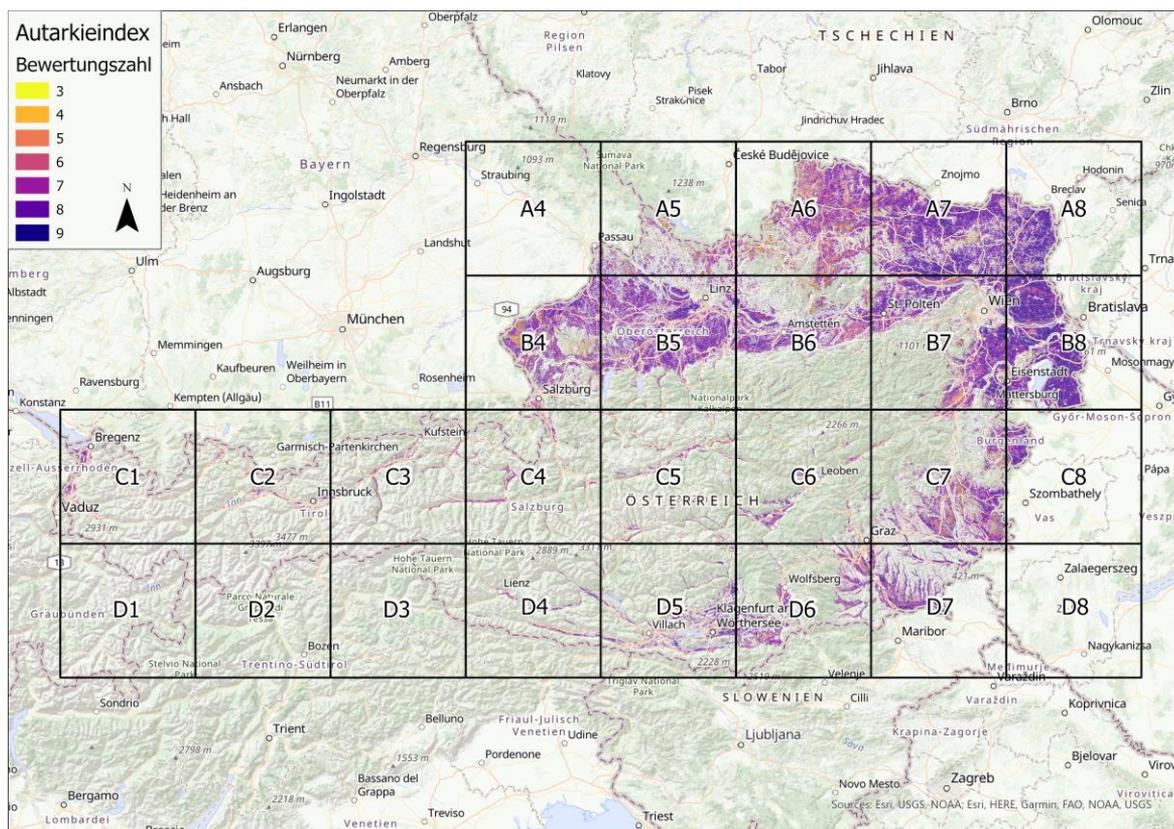


Abbildung 35: Kartenserie Indexübersicht (ArcGIS Pro)

Auf den nachfolgenden Seiten werden die insgesamt 26 einzelnen Kartenblätter des Index dargestellt, beginnend bei A4 bis hin zu D8.

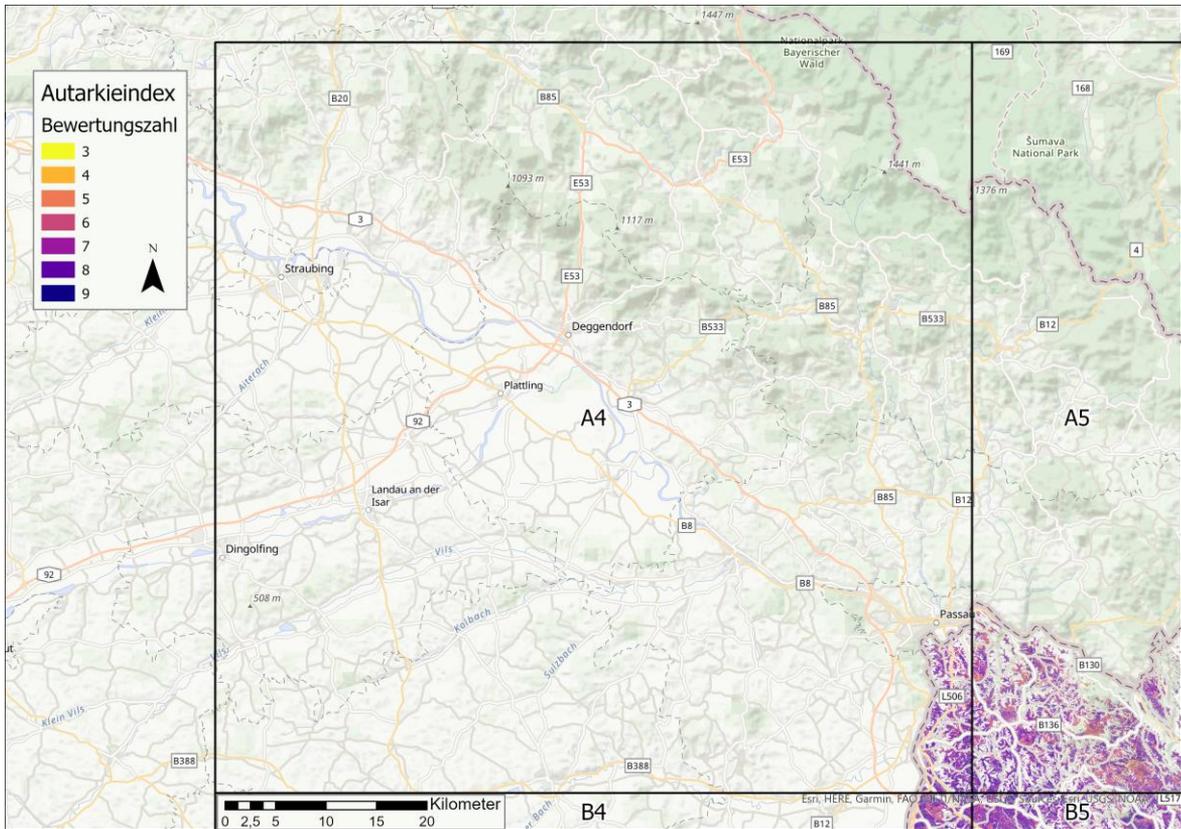


Abbildung 36: Kartenblatt A4 (ArcGIS Pro)

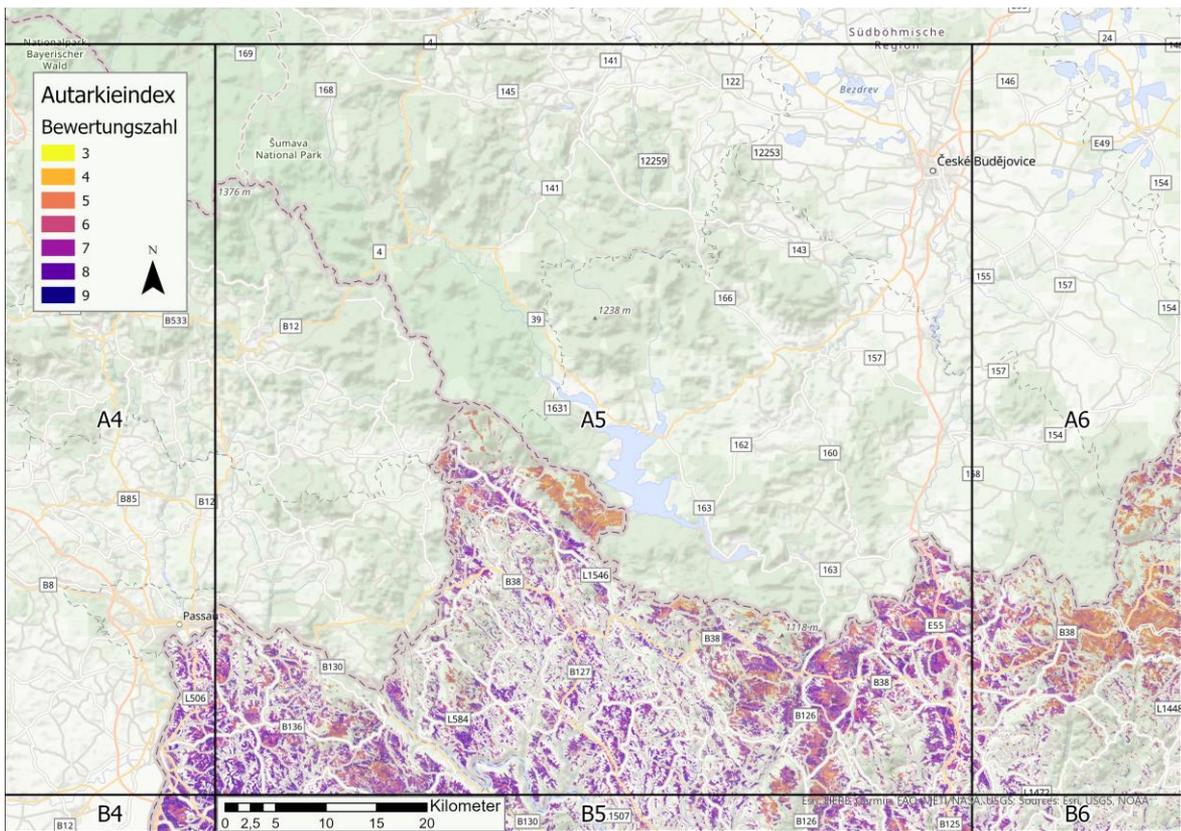


Abbildung 37: Kartenblatt A5 (ArcGIS Pro)

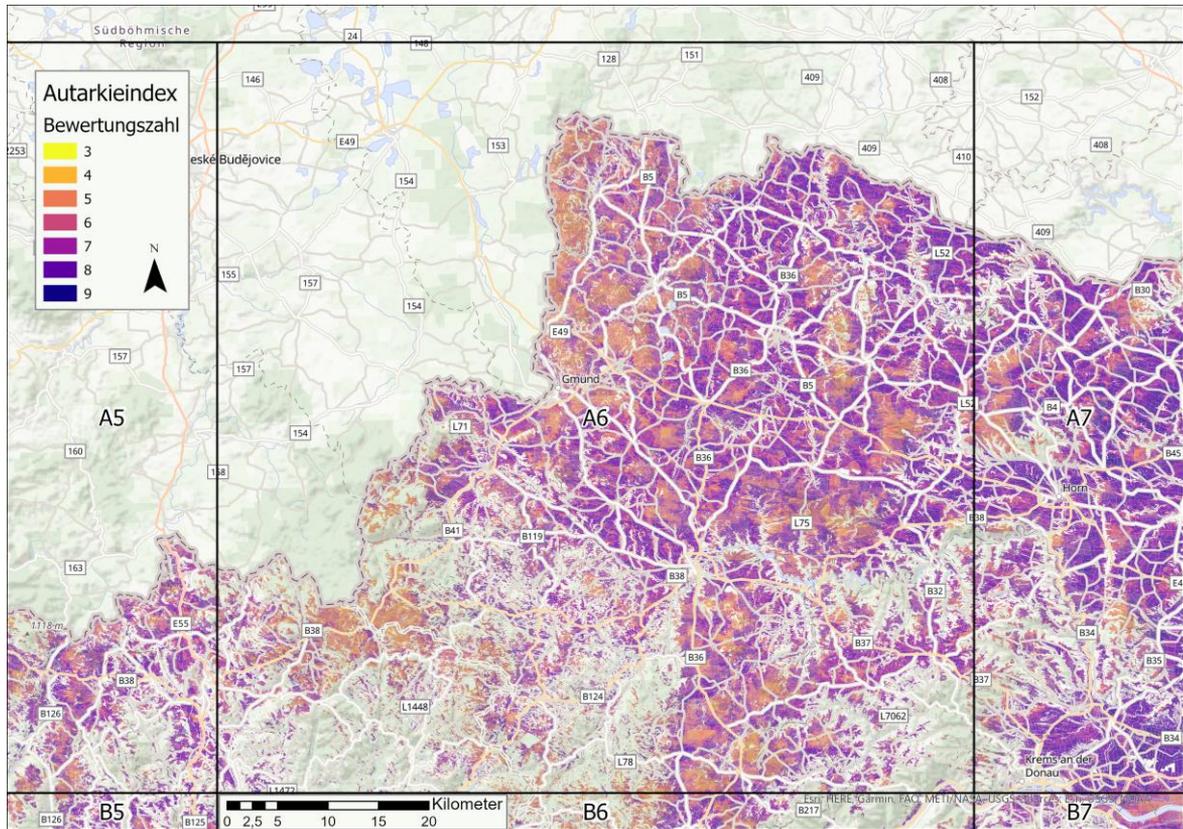


Abbildung 38: Kartenblatt A6 (ArcGIS Pro)

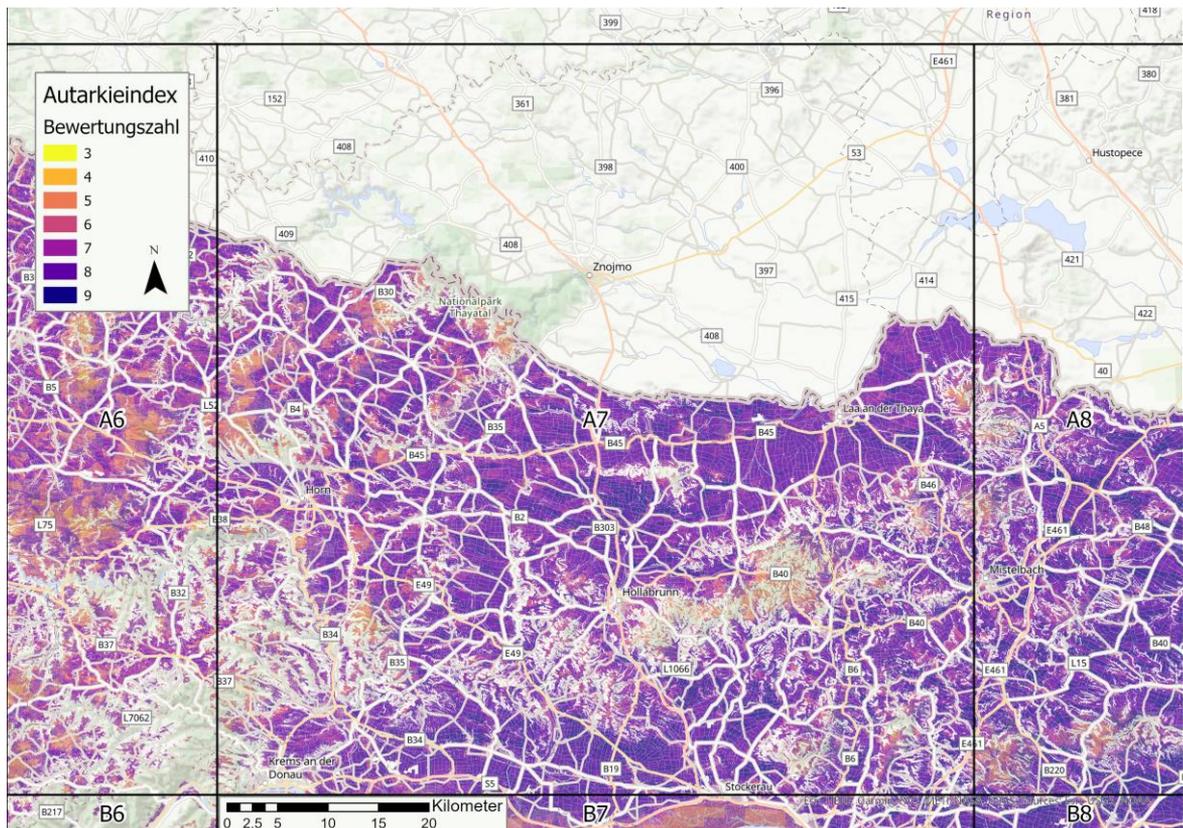


Abbildung 39: Kartenblatt A7 (ArcGIS Pro)

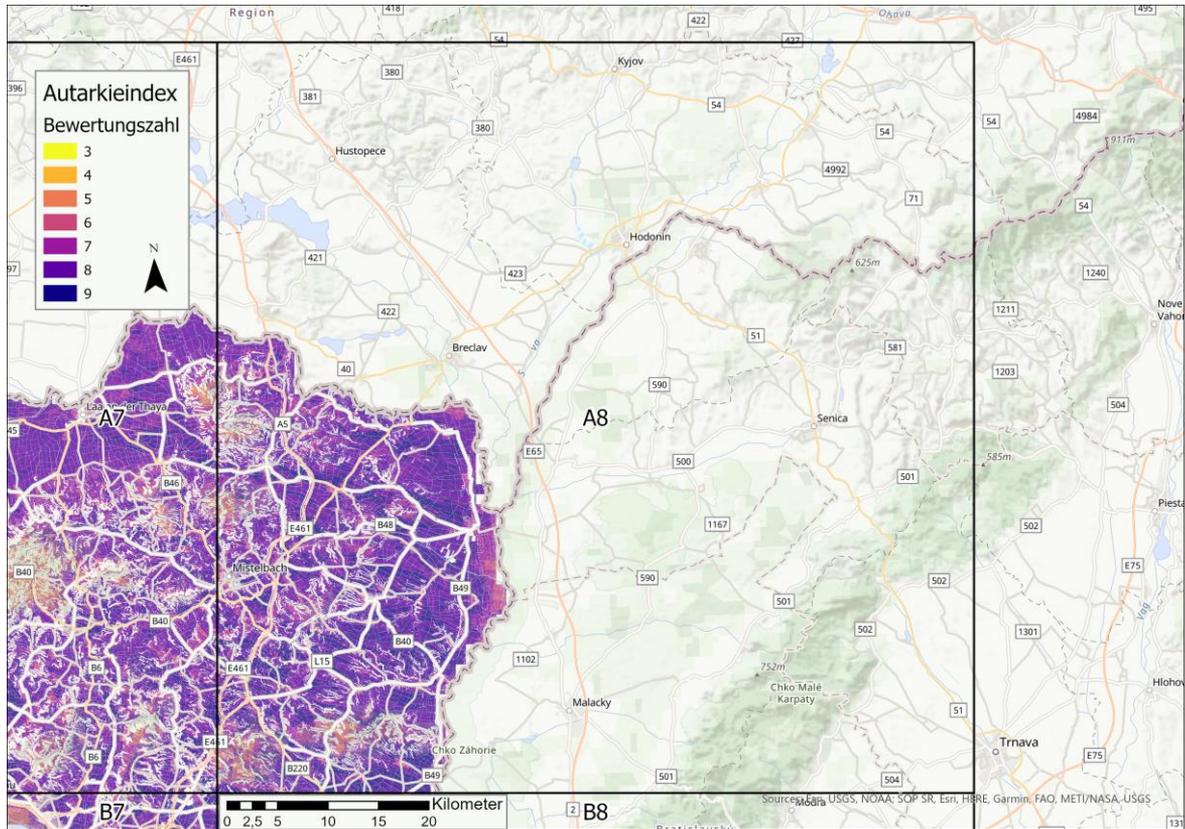


Abbildung 40: Kartenblatt A8 (ArcGIS Pro)

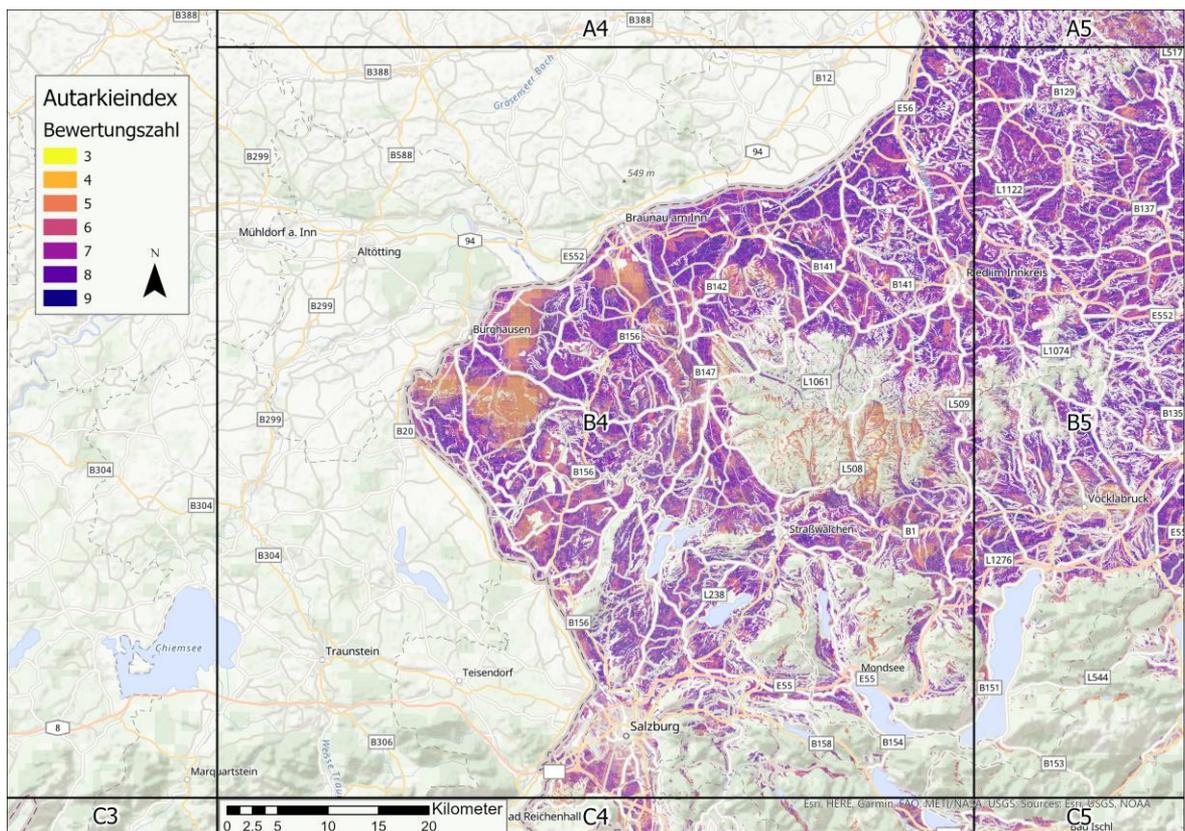


Abbildung 41: Kartenblatt B4 (ArcGIS Pro)

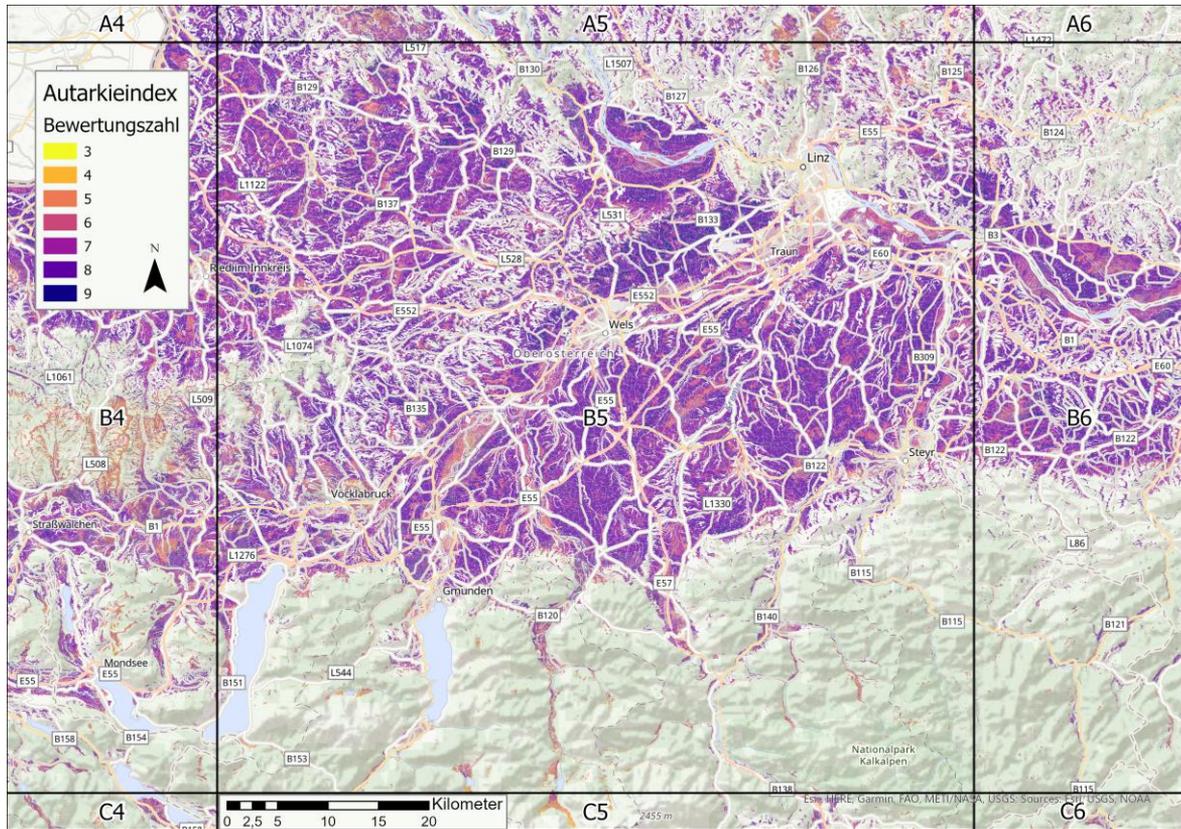


Abbildung 42: Kartenblatt B5 (ArcGIS Pro)

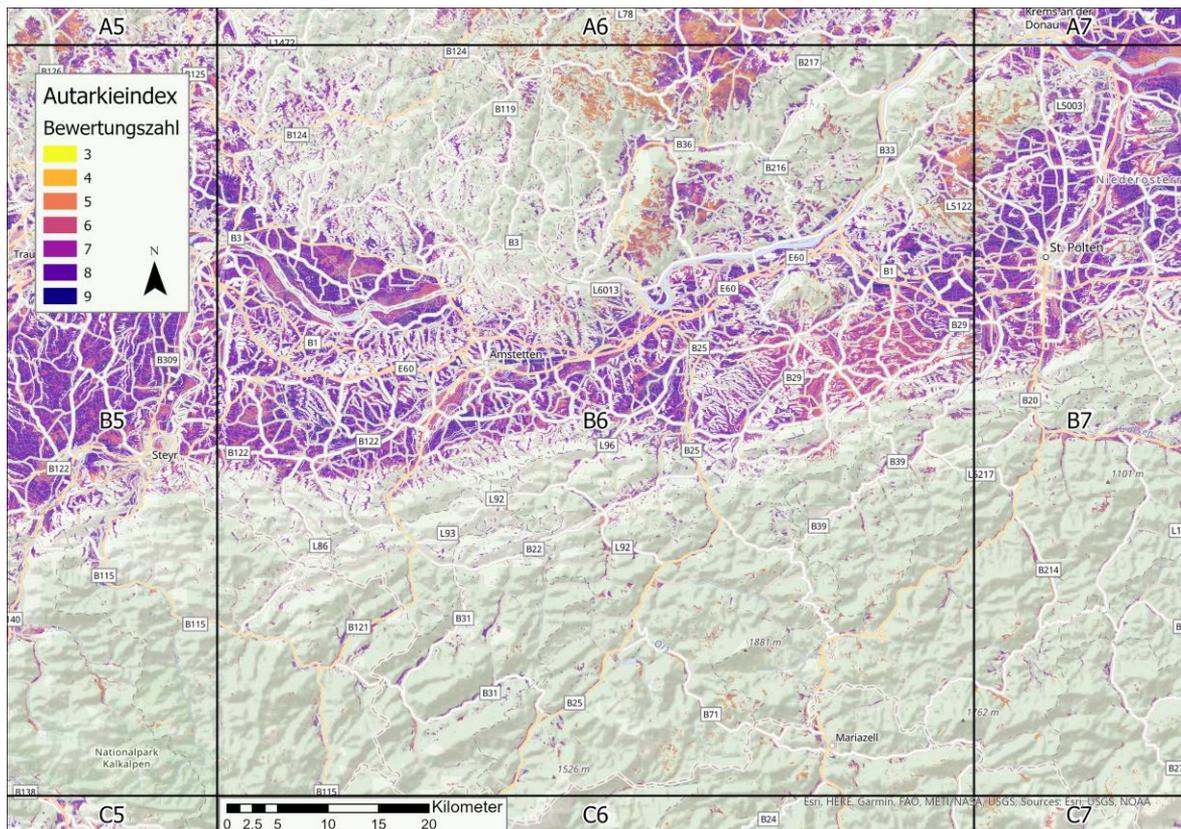


Abbildung 43: Kartenblatt B6 (ArcGIS Pro)

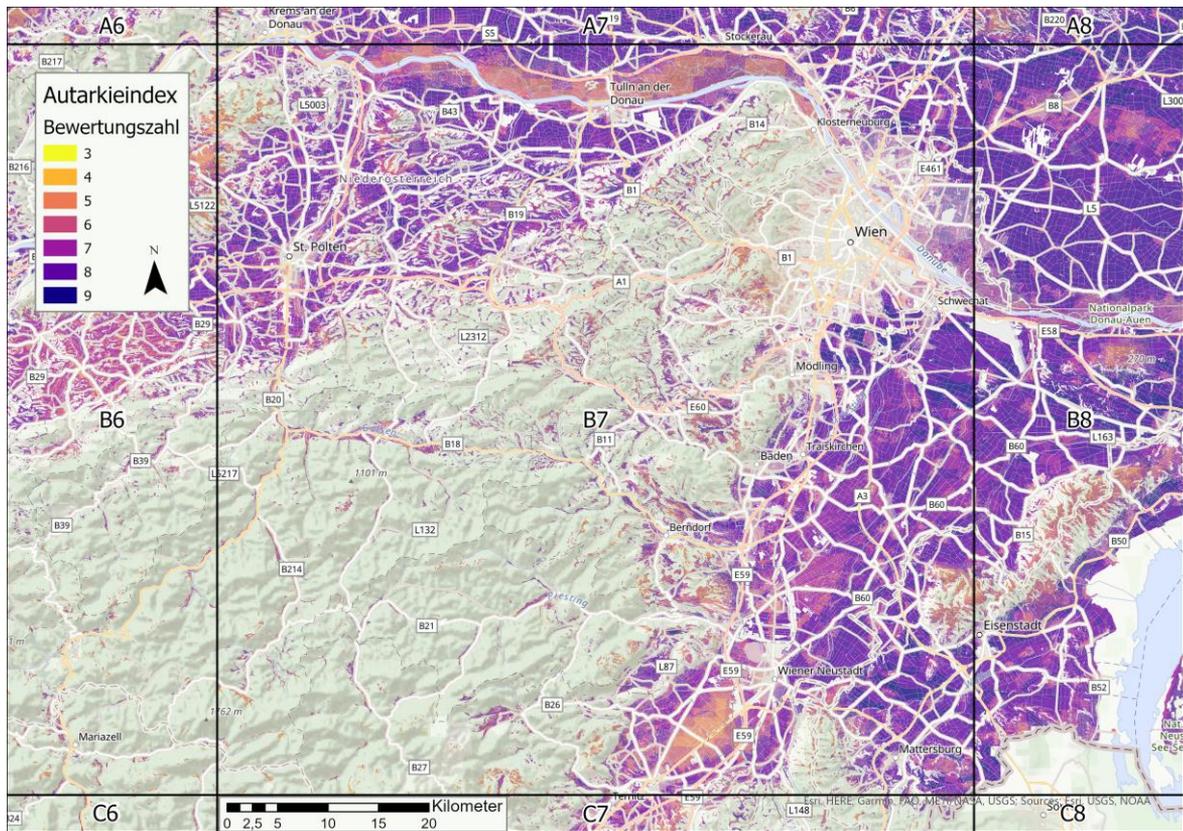


Abbildung 44: Kartenblatt B7 (ArcGIS Pro)

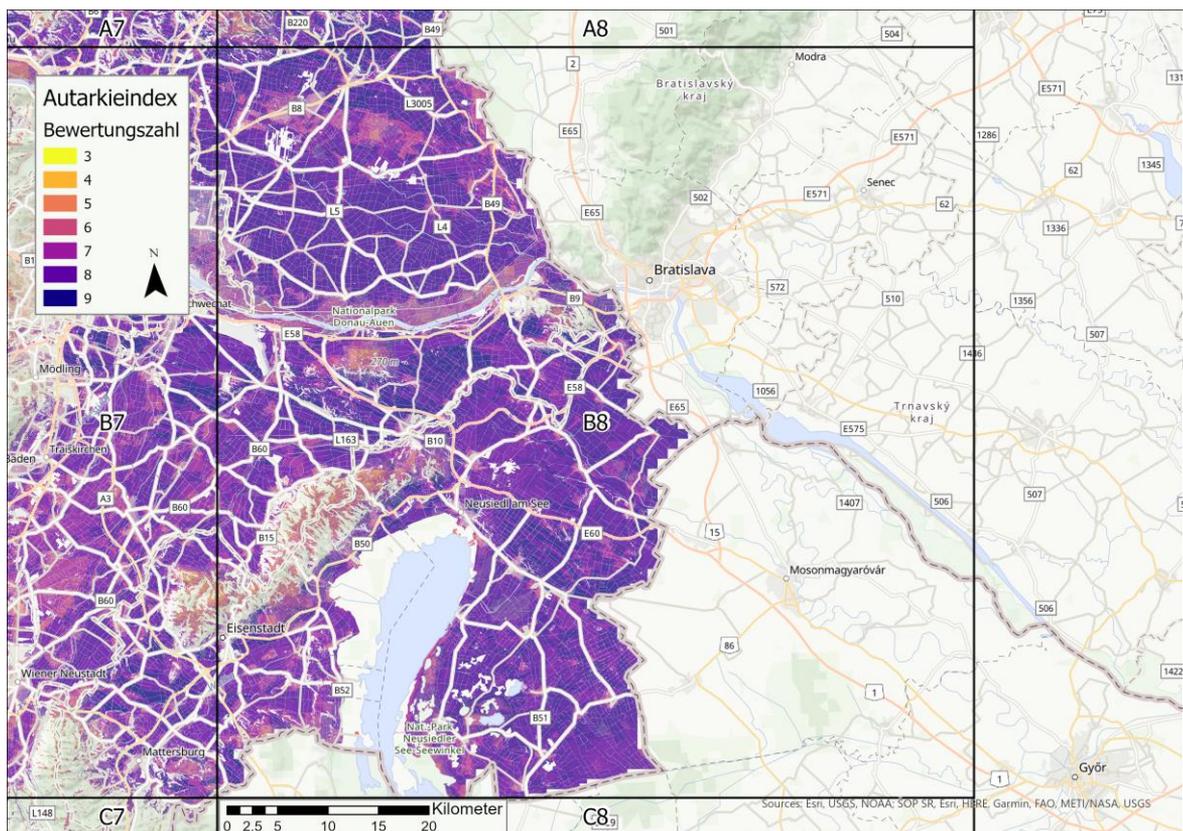


Abbildung 45: Kartenblatt B8 (ArcGIS Pro)

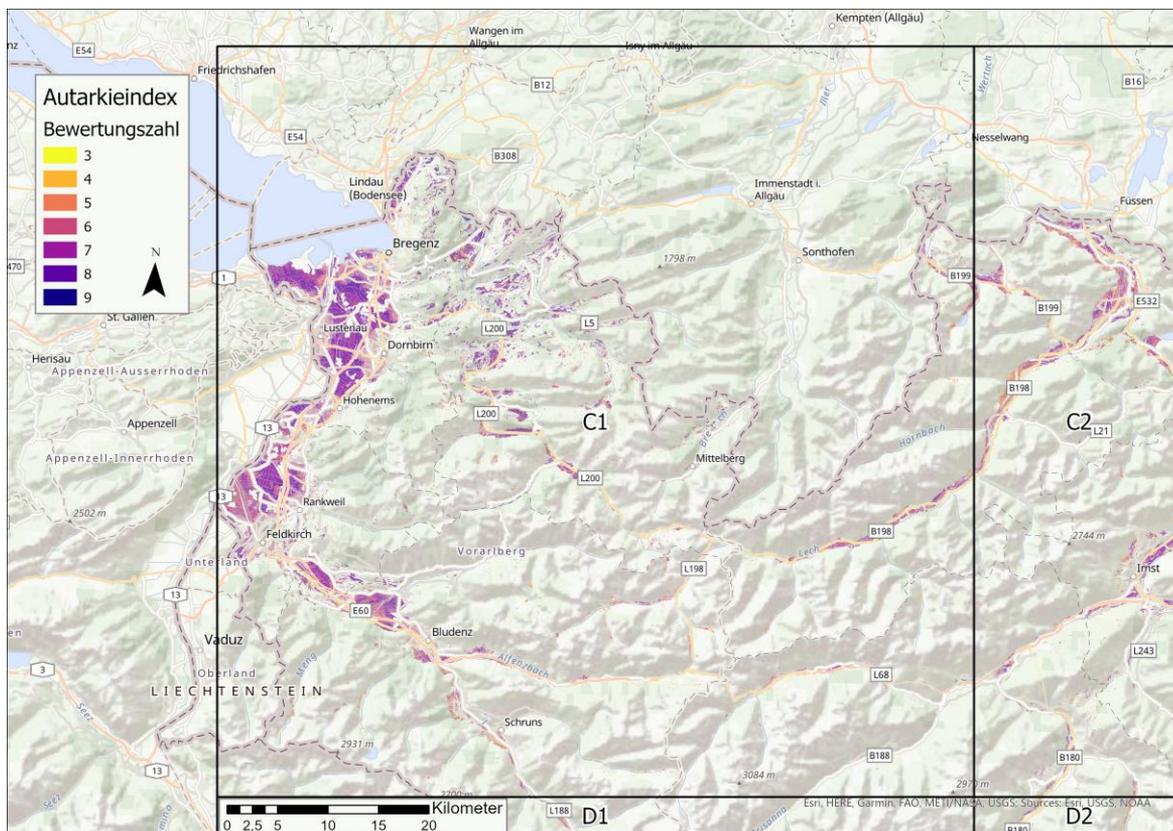


Abbildung 46: Kartenblatt C1 (ArcGIS Pro)

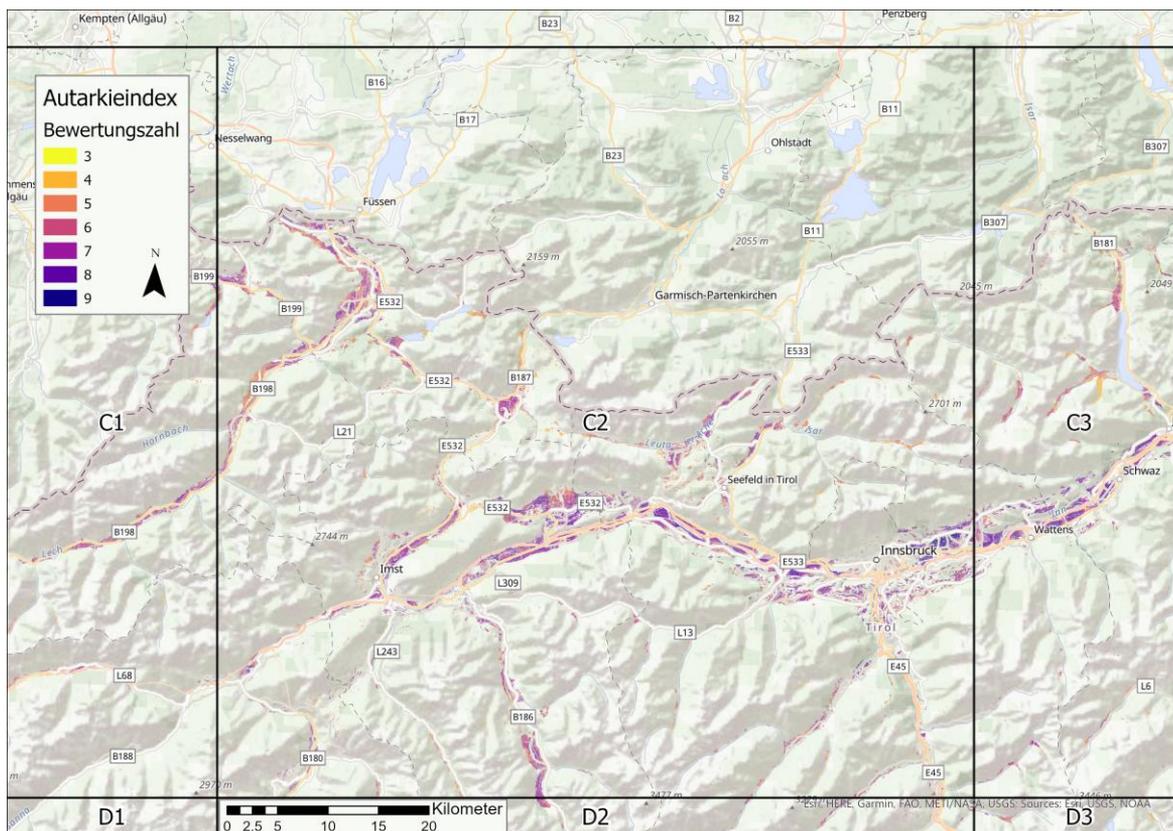


Abbildung 47: Kartenblatt C2 (ArcGIS Pro)

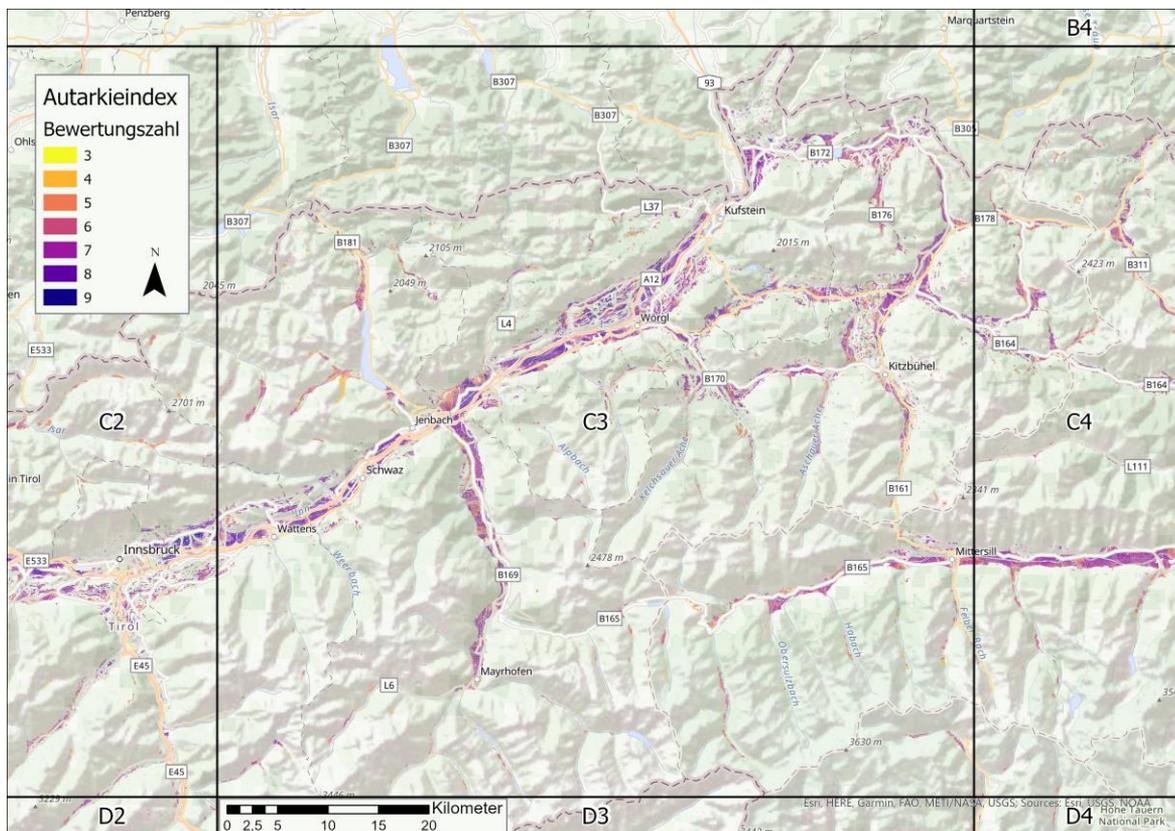


Abbildung 48: Kartenblatt C3 (ArcGIS Pro)

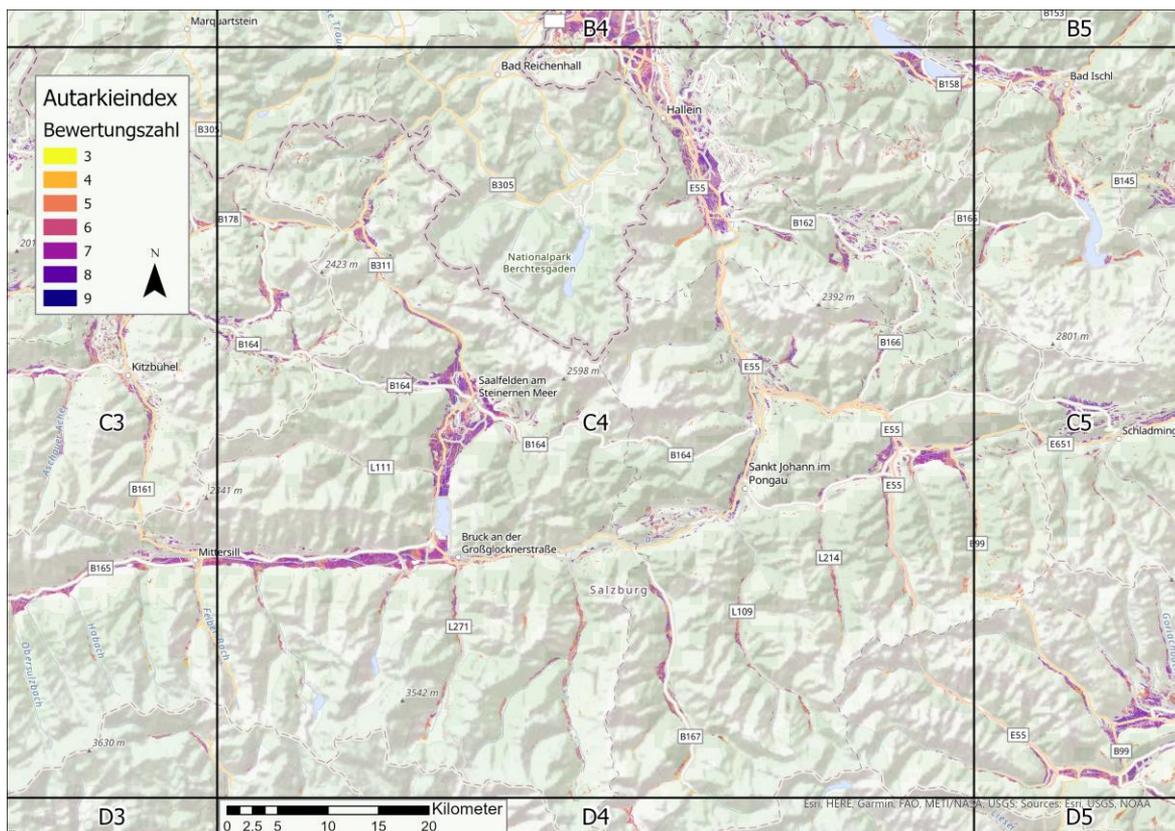


Abbildung 49: Kartenblatt C4 (ArcGIS Pro)

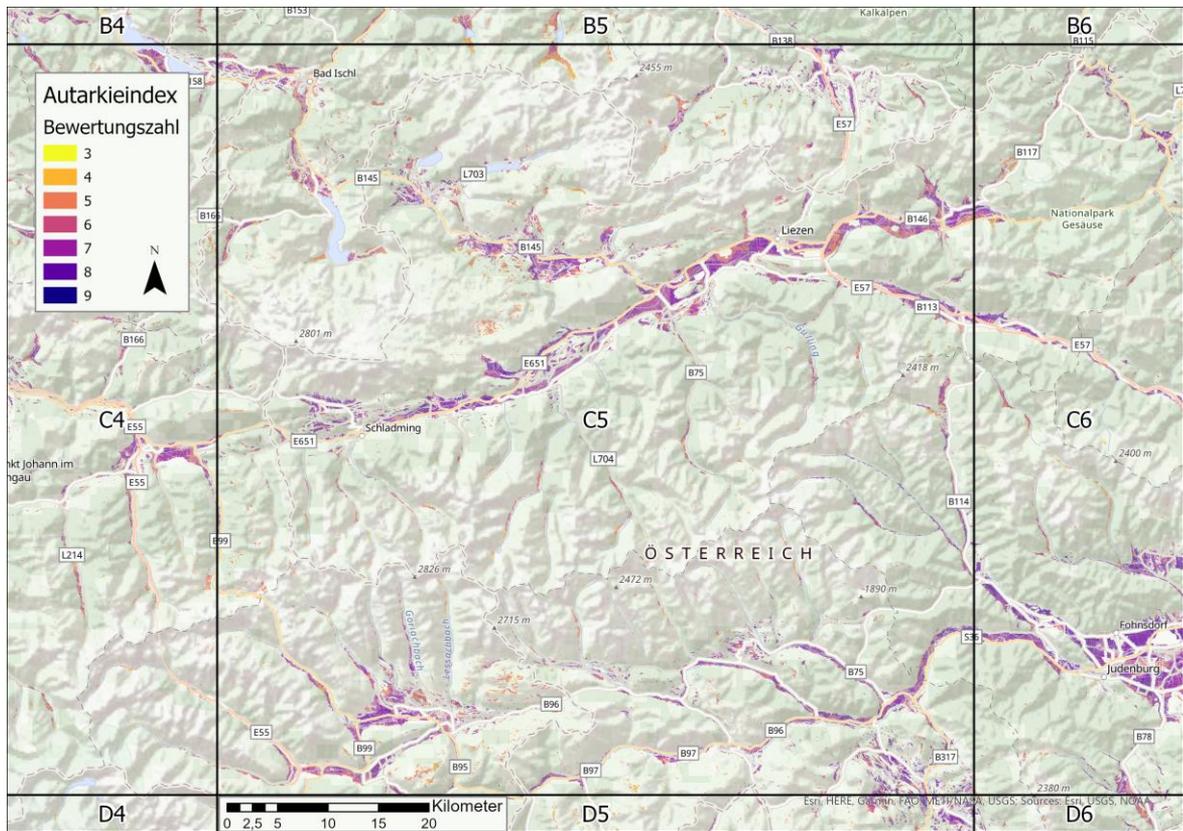


Abbildung 50: Kartenblatt C5 (ArcGIS Pro)

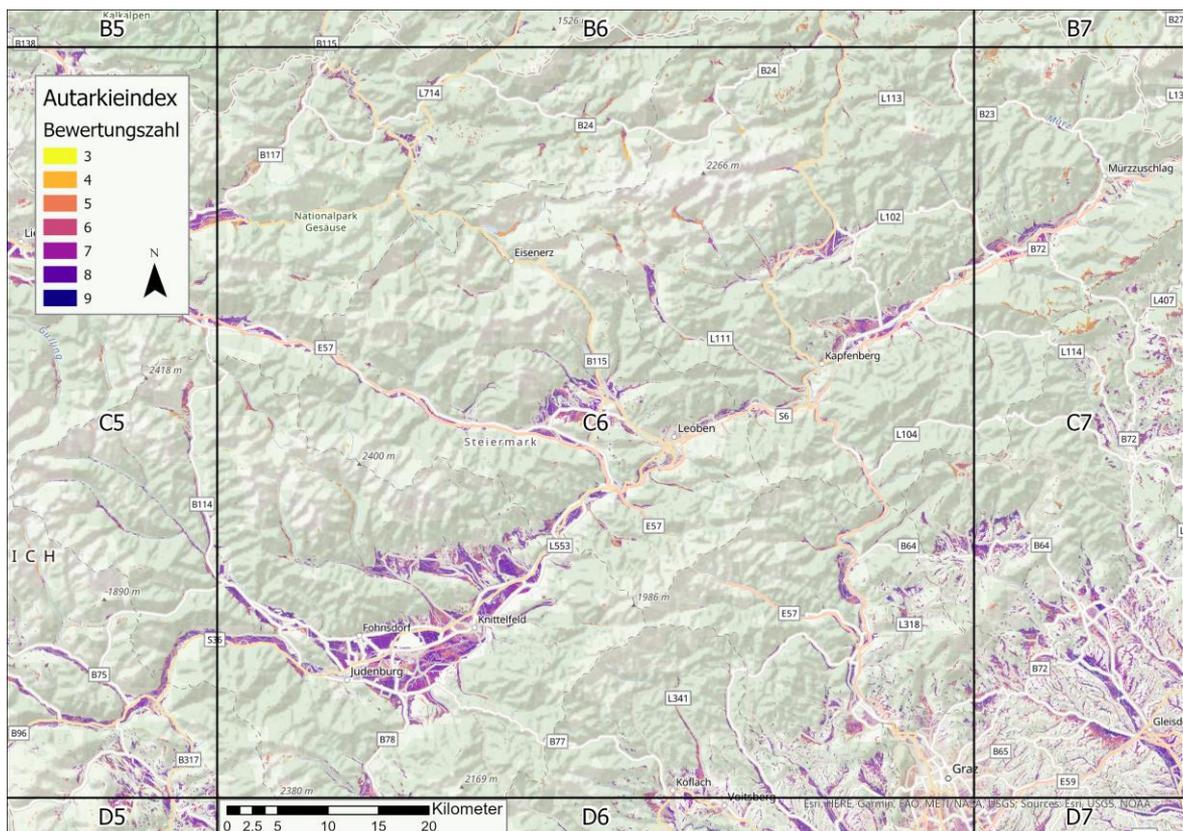


Abbildung 51: Kartenblatt C6 (ArcGIS Pro)

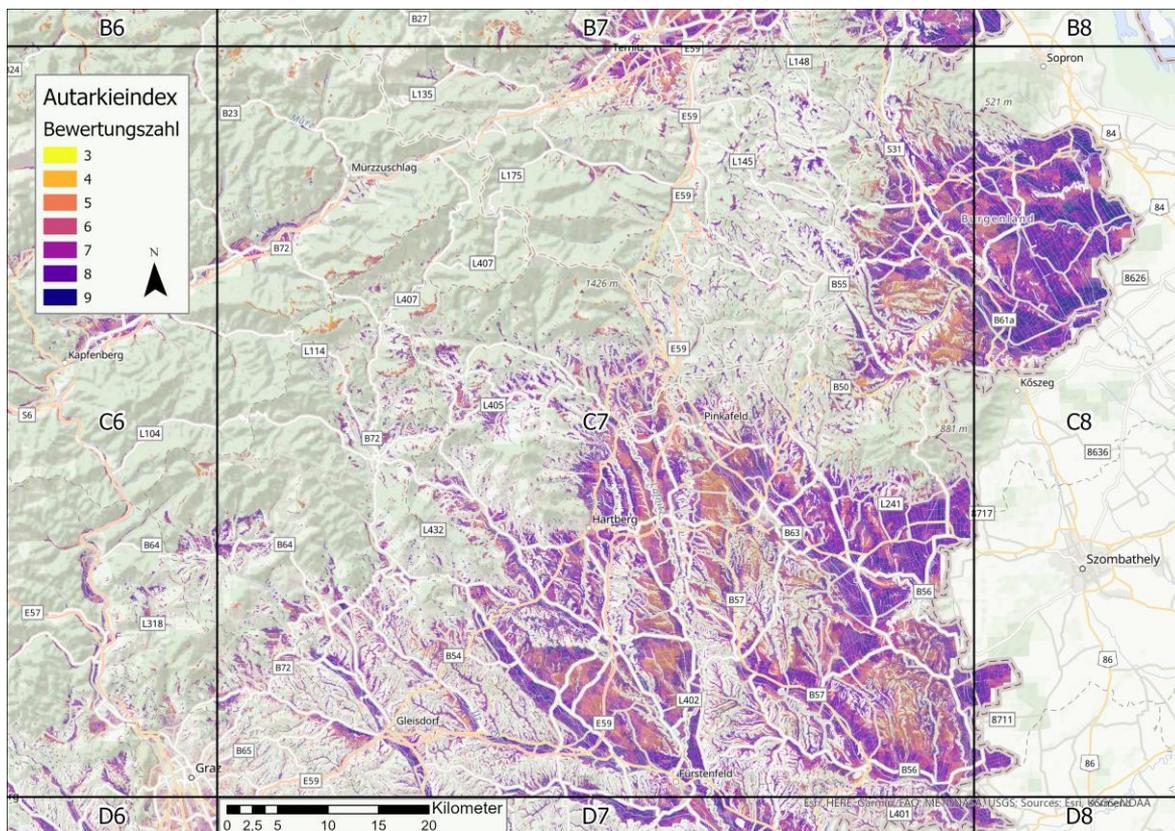


Abbildung 52: Kartenblatt C7 (ArcGIS Pro)

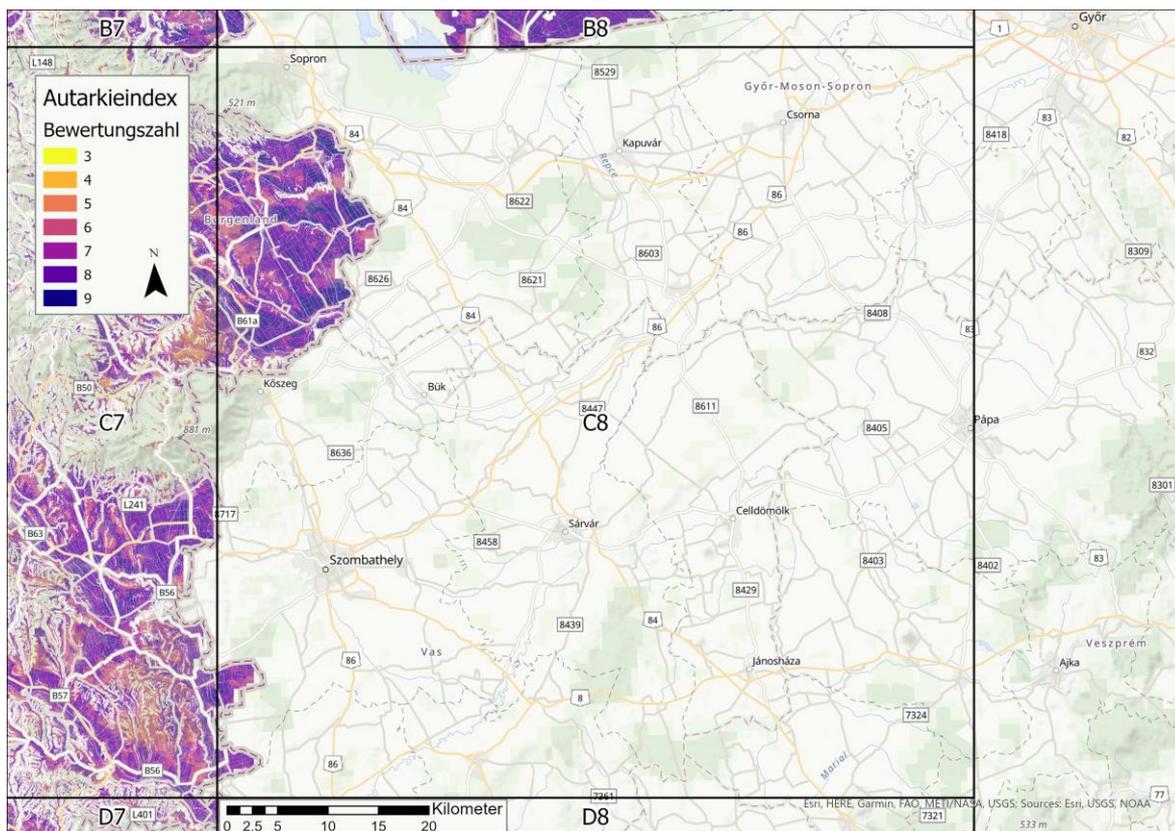


Abbildung 53: Kartenblatt C8 (ArcGIS Pro)

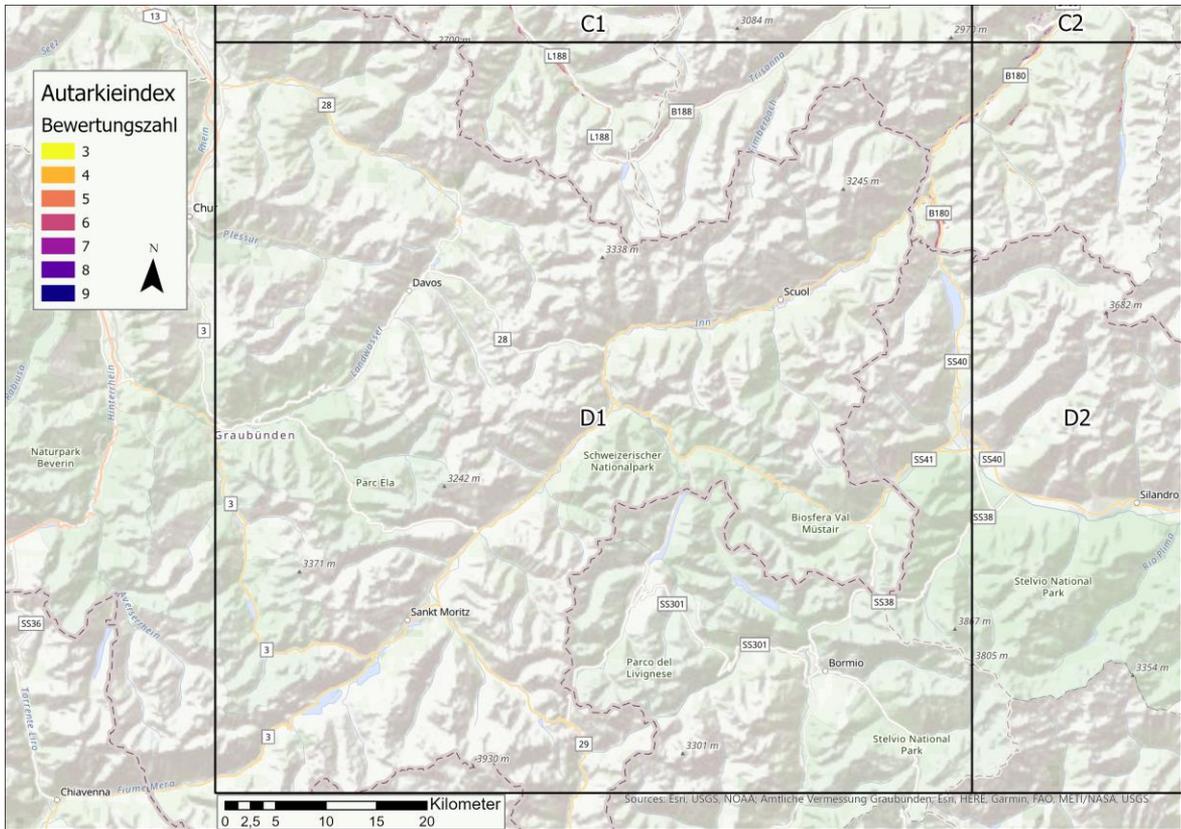


Abbildung 54: Kartenblatt D1 (ArcGIS Pro)

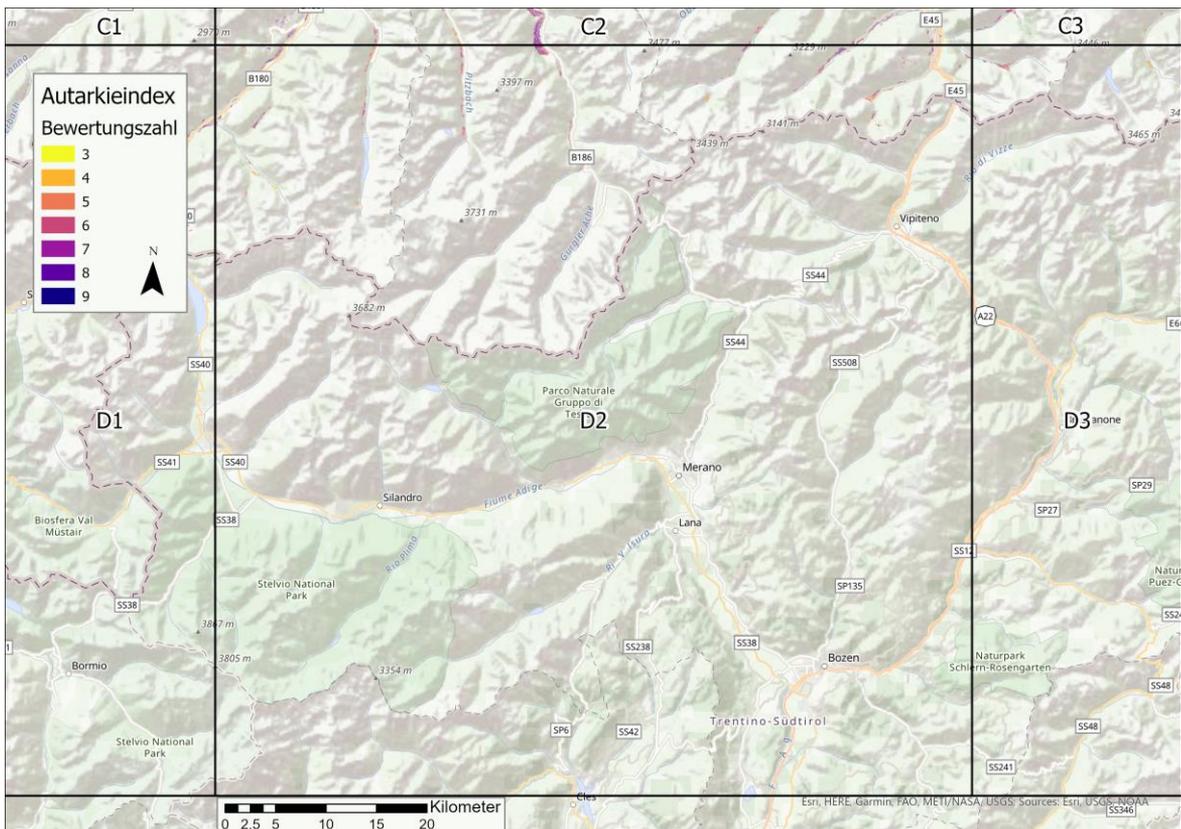


Abbildung 55: Kartenblatt D2 (ArcGIS Pro)

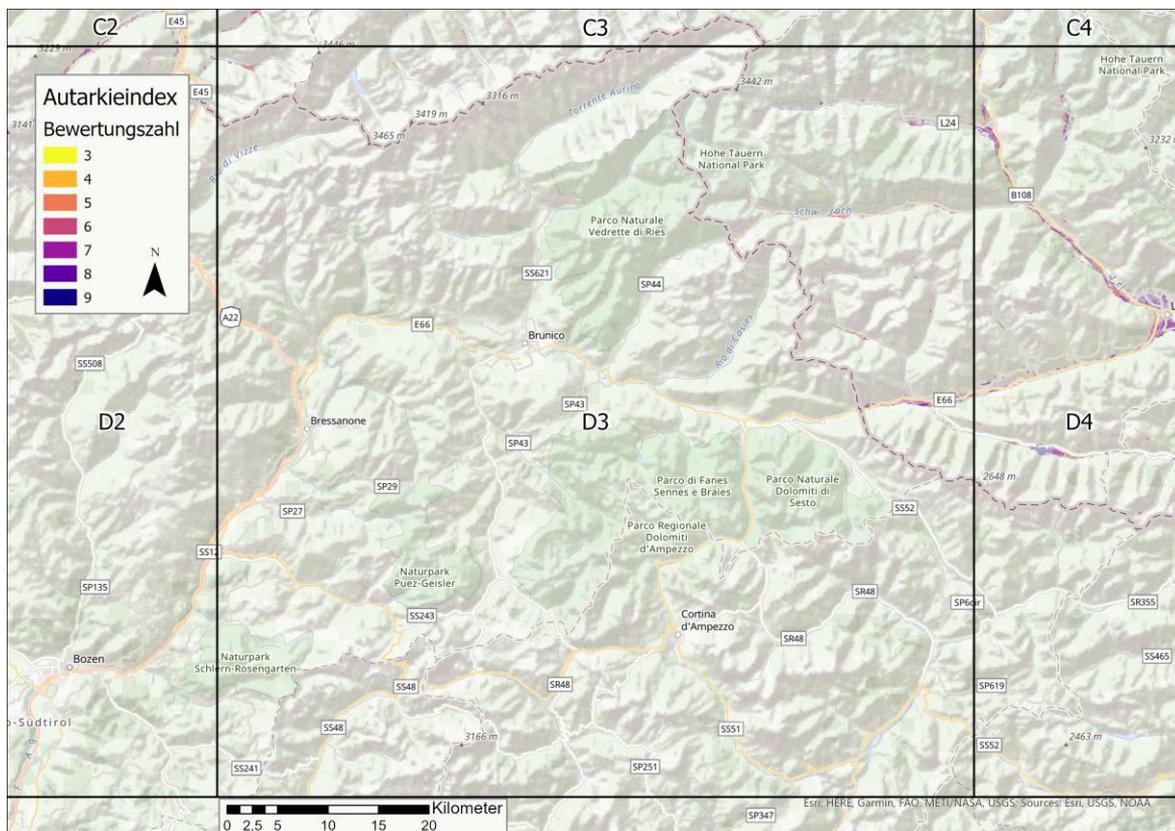


Abbildung 56: Kartenblatt D3 (ArcGIS Pro)

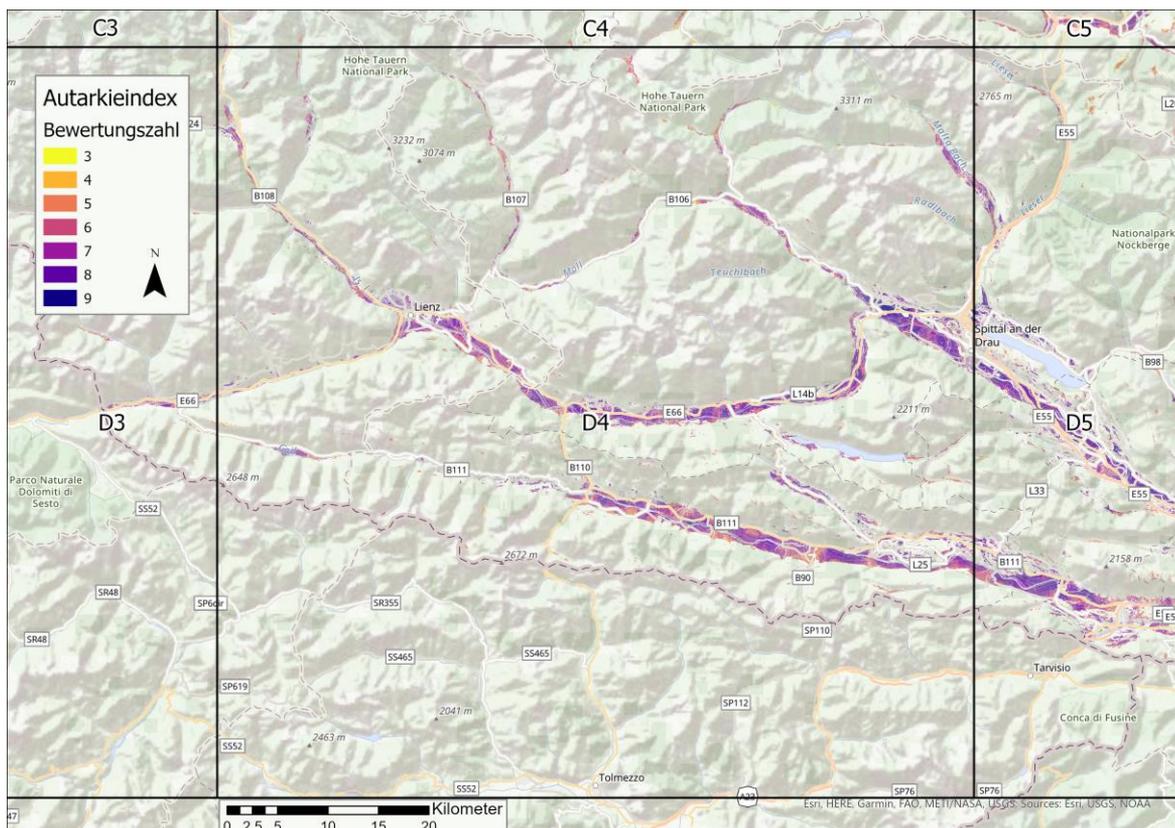


Abbildung 57: Kartenblatt D4 (ArcGIS Pro)

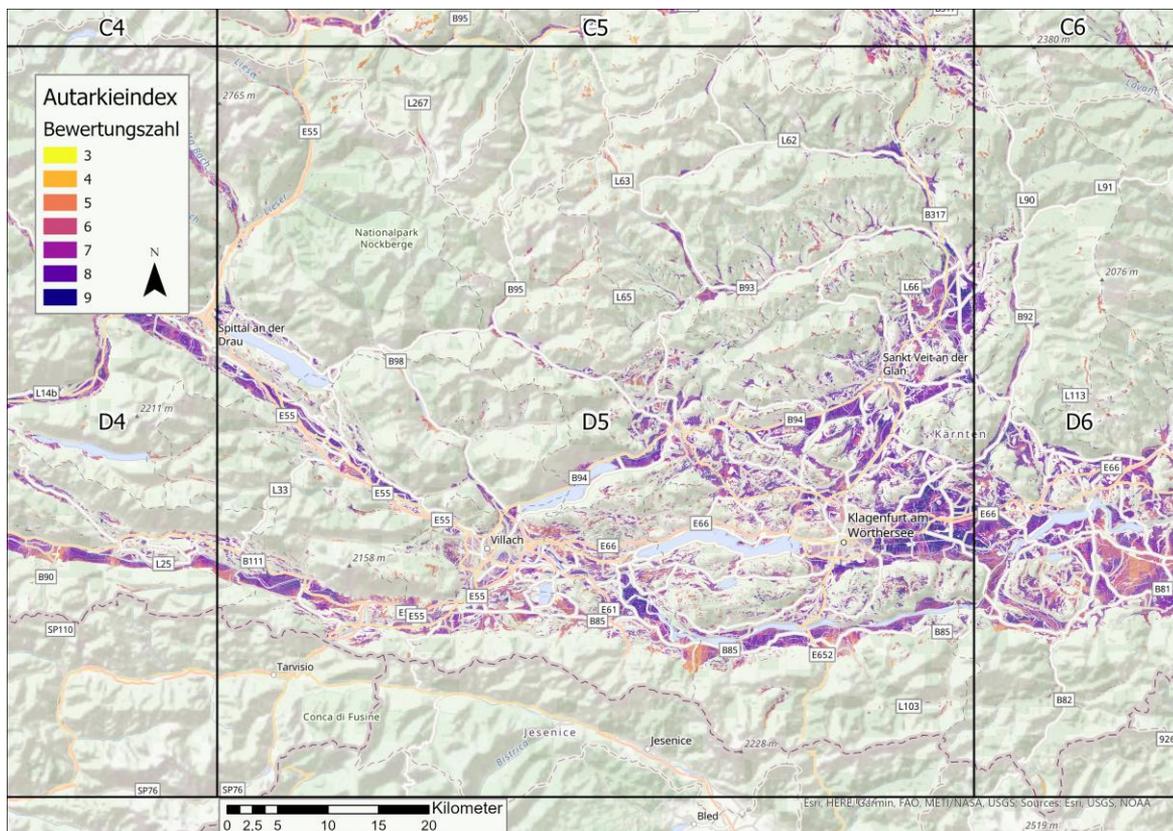


Abbildung 58: Kartenblatt D5 (ArcGIS Pro)

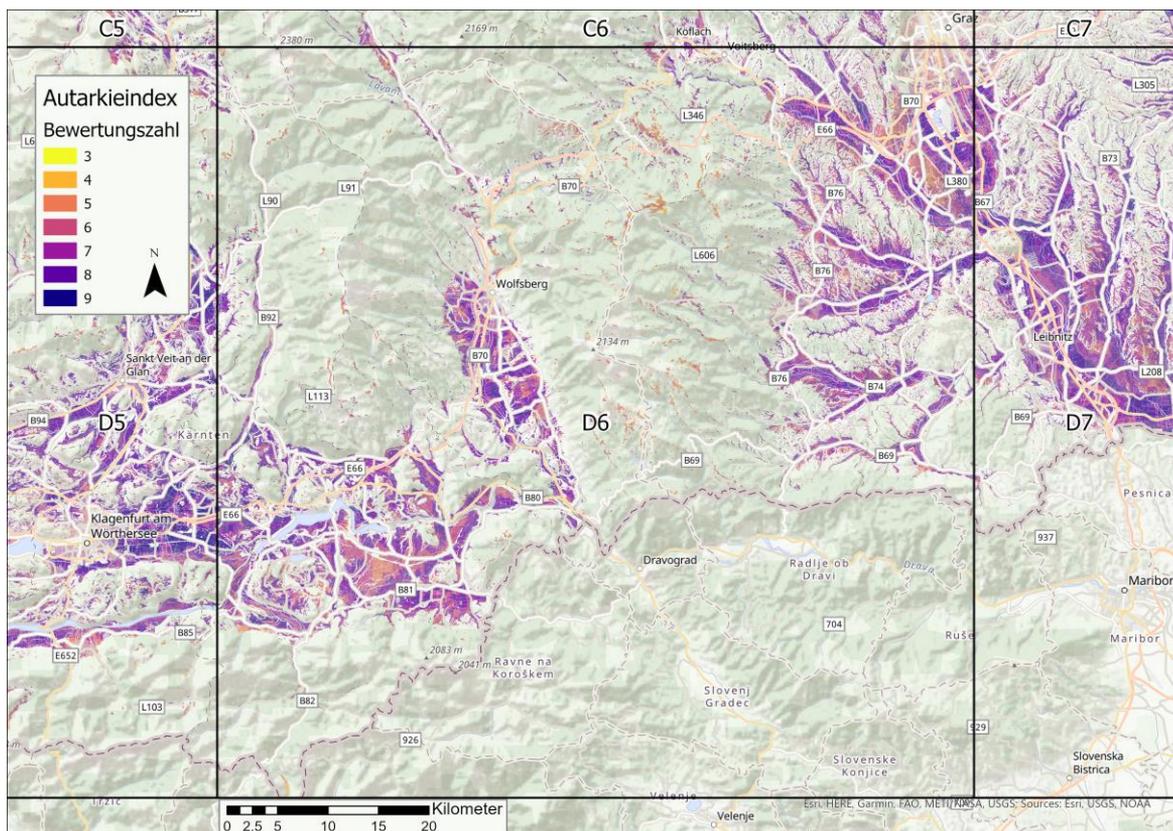


Abbildung 59: Kartenblatt D6 (ArcGIS Pro)

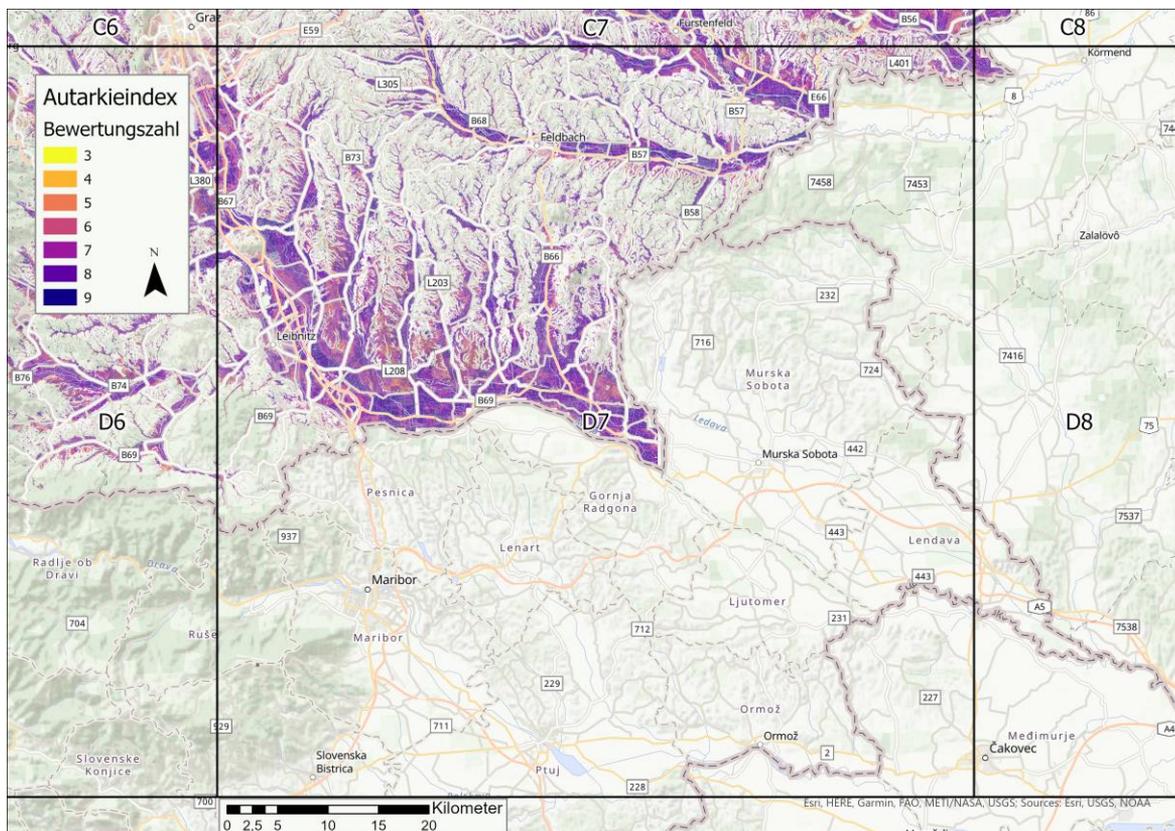


Abbildung 60: Kartenblatt D7 (ArcGIS Pro)

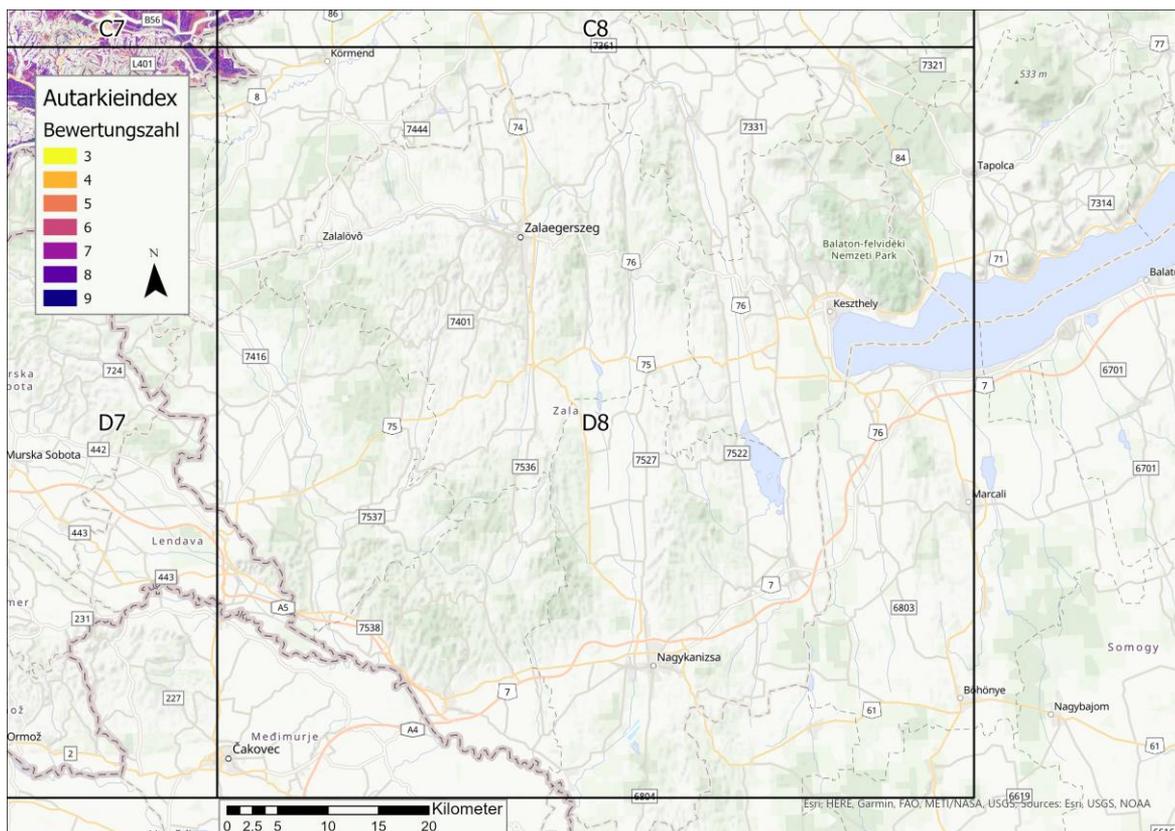


Abbildung 61: Kartenblatt D8 (ArcGIS Pro)