



SCHUTZ- UND NUTZUNGSKONZEPT FÜR DIE STROMPRODUKTION MIT ERNEUERBAREN ENERGIEN IM KANTON NIDWALDEN

IMPRESSUM

Projektleitung

Luca Pirovino, Amt für Umwelt und Energie, Leiter Energiefachstelle

Begleitgruppe

Fabian Bieri, Amt für Justiz, Abteilungsleiter Jagd und Fischerei

Thomas Furrer, Amt für Raumentwicklung, Vorsteher (bis November 2023)

Fidel Hendry, Amt für Umwelt und Energie, Vorsteher

Franz Landolt, Elektrizitätswerk Nidwalden, Leiter Produktion

Martin Niederhauser, Elektrizitätswerk Nidwalden, Energieberater

Felix Omlin, Amt für Raumentwicklung, Leiter Fachstelle Natur- und Landschaftsschutz (bis August 2022)

Eva Schager, Amt für Umwelt und Energie, Sachbearbeiterin Oberflächengewässer

Viktor Schmidiger, Amt für Gefahrenmanagement, Vorsteher (bis August 2022)

Moritz Wernli, Amt für Raumentwicklung, Leiter Fachstelle Natur- und Landschaftsschutz (ab September 2022)

Bearbeitung

Sarah Barber, Fachhochschule Ost

Jan Baumgartner, Grimsel Hydro

Benjamin Berger, Grimsel Hydro

Florian Hammer, Fachhochschule Ost

Lukas Meyer, Meteotest

Basil Wagner, Grimsel Hydro

Kevin Wyss, Grimsel Hydro

Steffen Schweizer, Grimsel Hydro

Inhalt

1	ZUSAMMENFASSUNG	6
	Wasserkraft	6
	Windkraft	7
	Photovoltaik	7
2	EINLEITUNG	8
2.1	Ausgangslage	8
2.1.1	Energiepolitik und Energieleitbild	8
2.1.2	Leitbild Nidwalden 2035	8
2.1.3	Richtplan	9
2.2	Projektorganisation	9
2.3	Projekttablauf	9
2.4	Vorgehen und Methodik	10
3	WASSERKRAFT	11
3.1	Gewässerauswahl	11
	Kleine Gewässer mit geringem Nutzungspotenzial	16
	Kombinationsprojekte	16
	Quellen	18
3.2	Nutzung	21
	Jahresproduktion	22
	Winterproduktion	22
	Flexibilität	23
	Bestehende Nutzung	23
	Bewertung Nutzung	23
3.3	Schutz	27
	Wertvoller Lebensraum – Potentialgebiet für eine natürliche Entwicklung von Flora und Fauna	27
	Biotopschutz	28
	Gewässermorphologie	28
	Bedeutung landschaftliche Aspekte und Naherholung	28
	Bewertung Schutz	29
3.4	Gesamtbewertung	33
3.5	Sensitivitätsanalyse	37
3.6	Veränderungen in der Zukunft	39
3.6.1	Klimaveränderung	39
	Beurteilung der Veränderungen	39
	Region 1: glazial geprägte Einzugsgebiete	40
	Region 2: nival geprägte Einzugsgebiete	40
	Region 3: pluvial geprägte Einzugsgebiete	40
	Engelbergeraai in Buochs	41
	Fazit	41
3.6.2	Revitalisierungsplanung	41
3.6.3	Sanierung Wasserkraft	42

4	WINDKRAFT	43
4.1	Auswahl möglicher Gebiete	43
4.2	Nutzung	45
	Jahresproduktion	45
	Winterproduktion	46
	Bewertung Nutzung	47
4.3	Schutz	48
	Biotopschutz	48
	Landschaftsschutz	49
	Betroffenheit von Personen	49
	Bewertung Schutz	50
4.4	Gesamtbewertung	50
5	PHOTOVOLTAIK	52
5.1	Freiflächenanlagen	52
5.1.1	Eingrenzung der bewerteten Gebiete	52
	Nicht bewertete Gebiete	52
	Ausschlussgebiete	53
5.1.2	Nutzung	54
	Jahressumme der Globalstrahlung	55
	Wintersumme der Globalstrahlung	56
	Bewertung Nutzung	57
5.1.3	Schutz	57
	Biotopschutz	58
	Landschaftsschutz	58
	Landwirtschaft und Alpwirtschaft	58
	Bewertung Schutz	59
5.1.4	Gesamtbewertung	60
5.1.5	Betrachtung auf Gemeindeebene	61
	Nutzbare Fläche	61
	Jahresproduktion und Winterproduktion	61
5.2	Anlagen auf Infrastrukturbauten	63
5.2.1	Potentiell mögliche Jahres- und Winterproduktion	65
6	FAZIT	66
	Wasserkraft	67
	Windkraft	67
	Photovoltaik	67
	Grundlage für die kantonale Energiepolitik	68
	Grundlage für den kantonalen Richtplan	68
	Empfehlungen für das weitere Vorgehen	68
7	ANHANG	69
7.1	Plausibilisierung der berechneten Zuflussdaten	69
	Vergleich der berechneten Abflüsse mit modellierten Abflüssen	69
	Vergleich von flächengewichteten Abflussspenden mit der gemessenen Abflussspende der Engelbergeraas	69
	Analyse der regimetypischen Abflussspenden	70
	Analyse des Höhengradientes der Abflussspende	71

Korrekturansatz für die Einzugsgebiete mit dem Regimetyp nivo-glaciaire.....	72
7.2 Sensitivitätsanalyse	74
Erklärung Box-Plot	74
Sensitivität der Nutzung	75
Sensitivität des Schutzes	76
Sensitivität der Gesamtbewertung	77
Fazit.....	79
7.3 Gebiete für die Windkraftnutzung.....	80
Ächerli (7)	80
Bitzistock (14)	80
Bürgenberg (1)	81
Gummen (8)	81
Klewenalp (5)	81
Mueterschwandenberg (2)	82
Plütschgen-/Haldigrat (9).....	82
7.4 Berechnung der Globalstrahlung	83
Berechnung der Einstrahlung auf die geneigte Fläche	83
Berechnung des natürlichen Horizontes	83
Aggregationszeiträume und Einheiten	83
Dateinamen	84

1 Zusammenfassung

Im Rahmen der nationalen Energiestrategie 2050 soll die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ausgebaut werden. Der Regierungsrat hat zu diesem Zweck basierend auf dem kantonalen Energiegesetz (kEnG; N641.1) am 9. April 2019 das Energieleitbild Nidwalden 2019 beschlossen und damit die Vision der kantonalen Energiepolitik verabschiedet. Ein Ziel des Energieleitbildes ist die Ausschöpfung der Stromproduktion aus einheimischen und erneuerbaren Energien.

Im neuen Leitbild 2035 hat der Regierungsrat auch für die Umwelt Entwicklungsziele festgelegt, die bis 2035 prioritär verfolgt werden sollen. Im Bereich "Klima und Energie" soll sich der Kanton für die Reduktion von klimaschädlichen Emissionen einsetzen und Massnahmen zur Anpassung an den Klimawandel treffen. Zudem soll er sich aktiv für eine Verbesserung der Energieeffizienz einsetzen. Dazu gehört neben Offenheit für neue Technologien eine nachhaltige, sichere, möglichst autarke und bezahlbare Energieversorgung, bei der die einheimischen Energiequellen bestmöglich genutzt werden. Zu diesem Zweck wurde das vorliegende Schutz- und Nutzungskonzept für die erneuerbaren Energien Wasser, Wind und Sonne erarbeitet, welches die Rahmenbedingungen für die Nutzung dieser Energieträger abbildet. Dessen Ergebnisse sollen gemäss den Bestimmungen von Artikel 10 des eidgenössischen Energiegesetzes (EnG; SR 730.0) im kantonalen Richtplan festgehalten werden.

Die Erarbeitung des Schutz- und Nutzungskonzepts erfolgte bis im August 2023 unter Leitung des Amts für Wald und Energie und mit dem Wechsel der Energiefachstelle hat im Anschluss das Amt für Umwelt und Energie die Projektleitung übernommen. Die Fachstelle Ökologie der Grimsel Hydro erarbeitete in enger Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber sowie der Begleitgruppe das Konzept.

Bei allen Energieträgern wurde dasselbe methodische Vorgehen gewählt und wie folgt umgesetzt:

- Eingrenzung des zu betrachtenden Perimeters aufgrund von Nutzungs- und Schutzinteressen.
- Bewertung aufgrund von Nutzungs- und Schutzkriterien (Gesamtbewertung entspricht Verhältnis von Nutzung zu Schutz).
- Klassifizierung in eine Nutzungsklasse, eine mittlere Klasse und eine Schutzklasse.

Die drei Klassen wurden wie folgt definiert:

- Nutzungsklasse (Gesamtbewertung grösser und gleich 1.2): Nutzung überwiegt Schutz deutlich, Nutzungsprojekte sind im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben möglich.
- Mittlere Klasse (Gesamtbewertung zwischen 0.8 und 1.2): Nutzung und Schutz liegen nahe beieinander, es ist eine individuelle projektbezogene Beurteilung notwendig.
- Schutzklasse (Gesamtbewertung kleiner und gleich 0.8): Schutz überwiegt Nutzung deutlich, es bestehen Nutzungsvorbehalte.

Mit dem vorliegenden Schutz- und Nutzungskonzept wird aufgezeigt, dass es für den Kanton Nidwalden bezüglich Jahresbilanz durchaus im Bereich des Möglichen liegt, in Zukunft den gesamten Strombedarf von aktuell rund 260 GWh mittels Eigenproduktion zu decken, wenn man die Photovoltaik stark ausbaut. Die Sicherstellung einer genügenden Winterproduktion stellt jedoch eine grosse Herausforderung dar, da mit den zur Verfügung stehenden Technologien eine Saisonspeicherung im benötigten Ausmass aktuell nicht möglich ist. Entsprechend ist der Kanton Nidwalden noch auf Technologien angewiesen, die konstant und witterungsunabhängig sogenannte Bandenergie erzeugen.

Die Resultate unterscheiden sich nach Energieträger.

Wasserkraft

Das verfügbare Potential der Wasserkraft wird im Kanton Nidwalden zu einem grossen Teil schon genutzt. Bisher werden jährlich gut 150 GWh Strom aus Wasserkraft produziert. Die noch nicht genutzten Gewässer der Nutzungsklasse und der mittleren Klasse weisen zusammen eine maximal mögliche Jahresproduktion von 44 GWh und eine Winterproduktion von 12 GWh auf. Die Abflüsse im Winterhalbjahr werden aufgrund der Klimaveränderung im Durchschnitt um bis zu 30 Prozent bis zum Jahr 2085 zunehmen. Dies allein wird jedoch nicht ausreichen, um in Zukunft im Winterhalbjahr auf einen Stromzukauf zu verzichten.

Windkraft

Die Windkraft wird im Kanton Nidwalden bisher nicht genutzt. Sie weist im Unterschied zur Wasserkraft und zur Photovoltaik das Produktionsmaximum im Winterhalbjahr auf und ist deshalb eine ideale Ergänzung zu den anderen erneuerbaren Energien. Für die Windkraft wurden sieben mögliche Gebiete ausgeschieden, die insgesamt eine maximal mögliche Jahresproduktion von 104 GWh und eine Winterproduktion von 67 GWh aufweisen.

Photovoltaik

Bei der Photovoltaik hat man sich auf Anlagen beschränkt, die nicht auf Gebäuden installiert sind. Es ist zu unterscheiden zwischen Freiflächenanlagen und Anlagen auf Infrastrukturbauten. Bei den Freiflächenanlagen wurden für das gesamte Kantonsgebiet Flächen ausgeschieden, die sich für die Installation von Photovoltaikanlagen eignen. Insgesamt ergeben sich für die Nutzungsklasse eine maximal mögliche Jahresproduktion von 1570 GWh und eine Winterproduktion von 730 GWh. Als Infrastrukturbauten wurden Lärmschutzwände, Autobahnüberdachungen, Kläranlagen und Parkplätze untersucht. Für diese Objekte betragen die maximal mögliche Jahresproduktion insgesamt 14 GWh und die Winterproduktion 3 GWh.

2 Einleitung

2.1 Ausgangslage

2.1.1 Energiepolitik und Energieleitbild

Im Rahmen der nationalen Energiestrategie 2050 soll die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ausgebaut werden. Der Kanton Nidwalden unterstützt die Energiestrategie 2050. Der Regierungsrat hat zu diesem Zweck basierend auf dem kantonalen Energiegesetz (kEnG; N641.1) am 9. April 2019 das Energieleitbild Nidwalden 2019 beschlossen und damit die Vision der kantonalen Energiepolitik verabschiedet. Gemäss der energiepolitischen Leitidee Li4 soll die Stromproduktion aus einheimischen, erneuerbaren Energien unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit möglichst ausgeschöpft und wo möglich neu erschlossen werden. Dazu sollen im Schutz- und Nutzungskonzept geeignete Rahmenbedingungen für Erhalt, Ausbau und Bau von Elektrizitätserzeugungsanlagen aus Wasser, Wind, Sonne und Geothermie geschaffen werden.

2.1.2 Leitbild Nidwalden 2035

Im neuen Leitbild 2035 hat der Regierungsrat auch für die Umwelt Entwicklungsziele festgelegt, die bis 2035 prioritär verfolgt werden sollen. Im Bereich "Klima und Energie" soll sich der Kanton für die Reduktion von klimaschädlichen Emissionen einsetzen und Massnahmen zur Anpassung an den Klimawandel treffen. Zudem soll er sich aktiv für eine Verbesserung der Energieeffizienz einsetzen. Dazu gehört neben Offenheit für neue Technologien eine nachhaltige, sichere, möglichst autarke und bezahlbare Energieversorgung, bei der die einheimischen Energiequellen bestmöglich genutzt werden. Im Zusammenhang mit der Stromproduktion sind folgende daraus abgeleitete Stossrichtungen relevant:

- S 5.2.2, Klimaanpassung: Wir reduzieren die Auswirkungen des Klimawandels auf Menschen, Natur und Infrastruktur, indem wir die unvermeidbaren Folgen durch gezielte Massnahmen abmildern.
- S 5.3.1, Klimaschutz: Wir reduzieren bis ins Jahr 2030 die direkten Treibhausgasemissionen im Kanton Nidwalden im Vergleich zur Referenzperiode 1990 um mindestens 50%.
- S 5.3.5, Geothermie: Wir vertiefen bis 2035 in Zusammenarbeit mit Bund, anderen Kantonen und Energiepartnern unsere Kenntnisse über den geologischen Untergrund und wissen, wie dessen Potential für die Gewinnung von Strom und Wärme ausgeschöpft werden kann.
- S 5.4.1, Biogas: Wir kennen das Potential und die mögliche Trägerschaft für die nachhaltige Verwertung von ungenutzten organischen Abfällen in einer Biogasanlage. Bis 2035 ist der Standort für mindestens eine Anlage abgeklärt und raumplanerisch gesichert.
- S 5.4.2, Energieproduktion: Die Eigenversorgung und Versorgungssicherheit werden verbessert, indem bis 2035 mindestens 60% der in Nidwalden verbrauchten Energie nachhaltig und regional produziert wird. Die Winterproduktion wird erhöht.

Im Bereich "Lebensräume für verschiedene Bedürfnisse" soll sich Nidwalden durch ein Gleichgewicht von Siedlungsgebiet, Kulturlandschaft und natürlichem Lebensraum auszeichnen. Dazu soll die Biodiversität in unserer Region geschützt, bestehende Naturräume erhalten bleiben und der Bevölkerung ein intakter Lebens- und Naherholungsraum zur Verfügung stehen. Im Zusammenhang mit der Stromproduktion können folgende daraus abgeleitete Stossrichtungen relevant sein:

- S 2.3.3, Ökologische Aufwertung und Vernetzung: Wir sichern unsere Lebensgrundlagen wie gesunde Böden und funktionierende Ökosysteme durch die qualitative Aufwertung unserer Schutzgebiete und ökologisch wertvollen Flächen und deren Vernetzung.
- S 5.2.3, Biodiversität: Wir stärken die natürlichen Lebensräume und die Artenvielfalt. Wir erkennen Risiken und setzen Schutzmassnahmen effektiv um (z.B. Schädlinge). Die wertvollen Lebensräume insbesondere

entlang von Fließgewässern und im Zusammenhang mit der Revitalisierung von Uferbereichen sollen für die Biodiversität erweitert werden.

- § 5.2.4, Attraktive Naherholungsräume: Wir erhalten und schaffen in Zusammenarbeit mit den Gemeinden attraktive, sichere und zugängliche Erholungs- und Freizeitmöglichkeiten für die Bevölkerung. Bis 2035 sollen mindestens drei neue Erholungsgebiete geschaffen oder bestehende umfangreich aufgewertet werden.

2.1.3 Richtplan

In Artikel 10 des eidgenössischen Energiegesetzes (EnG; SR 730.0) ist festgelegt, dass die Kantone insbesondere die für die Nutzung der Wasser- und Windkraft geeigneten Gebiete und Gewässerstrecken in ihren Richtplänen festzulegen haben. Sie schliessen dabei bereits genutzte Standorte mit ein und können auch Gebiete und Gewässerstrecken bezeichnen, die grundsätzlich freizuhalten sind.

Am 25. September 2019 wurde der kantonale Richtplan durch den Landrat verabschiedet. Die Koordinationsaufgabe E3-6 des Kapitels E3 "Energie" sieht die Erarbeitung eines Schutz- und Nutzungskonzepts für erneuerbare Energien hinsichtlich Stromproduktion (Wasser, Wind, Sonne und Geothermie) vor. Die Energieproduktion aus Geothermie wurde im Auftrag der Landwirtschafts- und Umweltdirektion in der Studie "Erdgas und Tiefengeothermie für die Kantone Nid- und Obwalden" untersucht und ist nicht Bestandteil des vorliegenden Konzepts. Auch für die potenzielle Energiequelle Biogas sollen gestützt auf das Leitbild 2035 separate Abklärungen getroffen werden.

2.2 Projektorganisation

Als Auftraggeber ist bis im August 2023 das Amt für Wald und Energie aufgetreten. Mit dem Wechsel der Energiefachstelle hat im Anschluss das Amt für Umwelt und Energie die Projektleitung übernommen. Die Fachstelle Ökologie der Grimsel Hydro erarbeitete in enger Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber sowie der Begleitgruppe das Schutz- und Nutzungskonzept. Da die Kernkompetenz von Grimsel Hydro im Bereich der Wasserkraft liegt, wurde bei der Windkraft die entsprechende Expertise der Ostschweizer Fachhochschule und bei der Photovoltaik die des Elektrizitätswerks Nidwalden hinzugezogen.

2.3 Projektablauf

Die Ersterarbeitung des Schutz- und Nutzungskonzepts erfolgte vom März 2021 bis im Juli 2022. Zuerst wurden die Grundlagen und Rahmenbedingungen zusammengetragen und definiert. Nach einer Vorauswahl der zu beurteilenden Gebiete und Gewässerabschnitte auf Basis der potenziellen Stromproduktion erfolgte für die ausgewählten Standorte die eigentliche Abwägung mittels Bewertung. In einem nächsten Schritt wurden die Ergebnisse der Interessenabwägung in einem Bericht und auf Karten dokumentiert.

In der darauffolgenden Phase wurde vom 18. Oktober 2022 bis zum 28. Februar 2023 eine externe Vernehmlassung durchgeführt. Das Konzept stiess auf hohes Interesse, insbesondere auch aufgrund der im Winter 2022/2023 befürchteten Strommangellage. Aufgrund der umfangreichen Rückmeldungen dauerte die Überarbeitung nach Vernehmlassung deutlich länger als beim Projektstart angenommen. Einerseits wurde die politische Diskussion zur Strommangellage abgewartet. Andererseits wurden die Rückmeldungen aus der Vernehmlassung im Detail geprüft und die daraus gewonnenen Erkenntnisse in das Konzept eingearbeitet. In diesem Zusammenhang wurden bei der Windkraft zusätzliche Gebiete bewertet. Bei der Photovoltaik wurde das Potential von solaren Freiflächenanlagen und die Nutzungseignung aufgrund neu berechneter Globaleinstrahlungskarten bewertet.

2.4 Vorgehen und Methodik

Mit dem vorliegenden Schutz- und Nutzungskonzept wird das heutige und zukünftige Potential für die Stromproduktion aus Wasserkraft-, Windkraft- und Photovoltaik aufgezeigt. Die Energieproduktion aus erneuerbaren Energien erfolgt im Kanton Nidwalden bisher zum überwiegenden Teil durch die Nutzung der Wasserkraft. Die Windkraft wird bisher nicht genutzt. Bei der Stromproduktion aus Photovoltaik wurde das Potential innerhalb und ausserhalb der Bauzone betrachtet. Das Potential von Photovoltaik auf Gebäuden wurde im Rahmen der Konzepterarbeitung nicht weiter berücksichtigt, weil bei diesen Projekten die Abwägung zwischen Schutz und Nutzung im Rahmen der Baugesetzgebung erfolgt.

Für die Erstellung des Schutz- und Nutzungskonzepts war eine möglichst objektive Interessenabwägung nötig. Die Interessenabwägung wurde mithilfe von bewertenden und gewichteten Abwägungskriterien hinsichtlich Nutzung und Schutz vorgenommen (im Folgenden werden dafür die Begriffe "Nutzungskriterien" und "Schutzkriterien" verwendet). Aus dem Verhältnis dieser Abwägungskriterien wurden die potenziellen Standorte und Gebiete beurteilt.

Bei allen Energieträgern wurde dasselbe methodische Vorgehen gewählt und wie folgt umgesetzt:

1. Eingrenzung des zu betrachtenden Perimeters aufgrund von Nutzungs- und Schutzinteressen.
2. Bewertung aufgrund von Nutzungs- und Schutzkriterien:
 - Die Bewertungen der einzelnen Kriterien wurden gewichtet und zu Bewertungen für Nutzung und Schutz zusammengefasst.
 - Die Gesamtbewertung entspricht Verhältnis von Nutzung zu Schutz.
3. Klassifizierung in eine Nutzungsklasse, eine mittlere Klasse und eine Schutzklasse.

Die drei Klassen wurden wie folgt definiert:

- Nutzungsklasse (Gesamtbewertung grösser und gleich 1.2): Nutzung überwiegt Schutz deutlich, Nutzungsprojekte sind im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben möglich.
- Mittlere Klasse (Gesamtbewertung zwischen 0.8 und 1.2): Nutzung und Schutz liegen nahe beieinander; es ist eine individuelle projektbezogene Beurteilung notwendig.
- Schutzklasse (Gesamtbewertung kleiner und gleich 0.8): Schutz überwiegt Nutzung deutlich, es bestehen Nutzungsvorbehalte.

Hinsichtlich der räumlichen Darstellung unterscheiden sich die drei Arten der Stromproduktion:

- Wasserkraft: Betrachtung der einzelnen Fliessgewässer
- Windkraft: Betrachtung von potenziellen Gebieten und möglichen Standorten der Windenergieanlagen
- Photovoltaik: Betrachtung von potenziellen Flächen

Die Resultate werden im Folgenden für die einzelnen Energieträger separat dargestellt. Die Ergebnisse der Wasserkraft wurden mittels Sensitivitätsanalyse plausibilisiert. Die möglichen Auswirkungen der Klimaveränderung auf die Nutzung der Wasserkraft wurden beurteilt und je Einzugsgebiet beschrieben. Abschliessend wurden die wichtigsten Ergebnisse und Auswirkungen in einem Gesamtfazit festgehalten.

3 Wasserkraft

3.1 Gewässerauswahl

In einem ersten Schritt wurden sämtliche Fließgewässer berücksichtigt. Bereits energetisch genutzte Gewässer wurden am Fassungsstandort in zwei Abschnitte aufgeteilt. Die Strecken unterhalb des Fassungsstandorts wurden nach der offiziellen Gewässerbezeichnung benannt und die Strecken oberhalb erhielten den Zusatz "oben". Folgende Gewässer wurden aufgeteilt:

- Arnibach
- Bannalpbach
- Buoholzbach
- Gerbibach
- Lielibach
- Melbach
- Rotihaltengraben
- Trüebenbach
- Trübseebach
- Wangbach

Die Engelbergeraa wurde aufgrund der bestehenden Mehrfachnutzung in mehrere Abschnitte aufgeteilt:

- Engelbergeraa 1: Vierwaldstädtersee - Ambauenwehr
- Engelbergeraa 2: Ambauenwehr - Hostettenwehr
- Engelbergeraa 3: Hostettenwehr - Wasserrückgabe Kraftwerk Dallenwil
- Engelbergeraa 4: Wasserrückgabe Kraftwerk Dallenwil - Fassung Obermatt¹
- Engelbergeraa 5: Fassung Obermatt – Eugenisee¹

Für jeden Gewässerabschnitt wurde die theoretische Jahresproduktion berechnet. Dafür wurde manuell für jeden Abschnitt jeweils am unteren Ende des Gewässers ein potentieller Kraftwerksstandort festgelegt. Für diesen Standort wurde basierend auf dem digitalen Terrainmodell (DHM25) von swisstopo (2005)² das Gesamteinzugsgebiet und das Hauptgerinne berechnet (basierend auf der Berechnung der Flow Accumulation³). Da das Terrainmodell nur topografische Wasserscheiden, jedoch nicht davon abweichende hydrogeologische Wasserscheiden berücksichtigen kann, kann insbesondere in Karstgebieten das modellierte vom tatsächlichen Einzugsgebiet abweichen. Dies wirkt sich gegebenenfalls auf das Ergebnis der nachfolgenden Berechnungen zur theoretischen und realistischen Produktion aus (s. Abbildung 1).

Anschliessend wurden automatisiert drei potenzielle Fassungsstandorte so festgelegt, dass jeweils ein Drittel, die Hälfte und zwei Drittel des Gesamteinzugsgebiets für eine Nutzung zur Verfügung stehen (s. Abbildung 1). Basierend auf dem Datensatz MQ-CH-CCHydro der Periode 1980-2009 (BAFU 2012) wurden für die Einzugsgebiete der Fassungsstandorte die mittleren monatlichen und jährlichen Zuflüsse berechnet⁴. Anschliessend erfolgte für die drei untersuchten Fassungsstandorte die Berechnung der theoretischen Jahresproduktion an-

¹ ausserkantonale Kraftwerke an der Wasserkraftnutzung beteiligt

² Das digitale Terrainmodell (DHM25) von swisstopo (2005) steht in einer räumlichen Auflösung von 25 x 25 m zur Verfügung. Dieses Modell bildet die Topografie in einer genügenden Genauigkeit für die Fragestellung ab und stellt dementsprechend eine gute Datengrundlage dar.

³ Flow Accumulation ist ein räumlicher Algorithmus, mit dem Wasserläufe und Einzugsgebiete basierend auf einem digitalen Höhenmodell berechnet werden können. Bei diesem Algorithmus werden alle Rasterzellen hinsichtlich ihrer Entwässerungsrichtung analysiert. Anschliessend wird im gesamten Höhenmodell aufsummiert, wie viele Zellen auf eine weiter untenliegende Rasterzelle entwässern. Als Resultat des Algorithmus entsteht ein Rasterdatensatz, auf dem jede Zelle den Wert der oberliegenden Einzugsgebietsfläche enthält. Basierend auf diesen Resultaten können unter anderem Gerinne und Einzugsgebietsflächen definiert werden.

⁴ Der Datensatz MQ-CH-CCHydro wurde im Rahmen des Projektes CCHydro (2012) im Auftrag des BAFU erstellt und bildet flächendeckend für die Schweiz die mittleren jährlichen und monatlichen Abflüsse ab. Die Abflüsse wurden flächendeckend mit dem hydrologischen Modell PREVAH (Viviroli et al. 2009) modelliert. Den Datensatz gibt es für die Gegenwart (1980-2009) und die nahe (2021-2050) und ferne (2070-2099) Zukunft. Für die vorliegende Analyse wurde die Periode 1980-2009 verwendet. Der Datensatz hat eine räumliche Auflösung von 500 x 500 m und enthält pro Rasterzelle den mittleren Abfluss. Durch den Datensatz steht eine einheitliche Datengrundlage für den ganzen Kanton Nidwalden zur Verfügung. Dadurch wird gewährleistet, dass die Abflüsse und das darauf basierende energetische Potential der relevanten Gewässer einheitlich beurteilt werden kann.

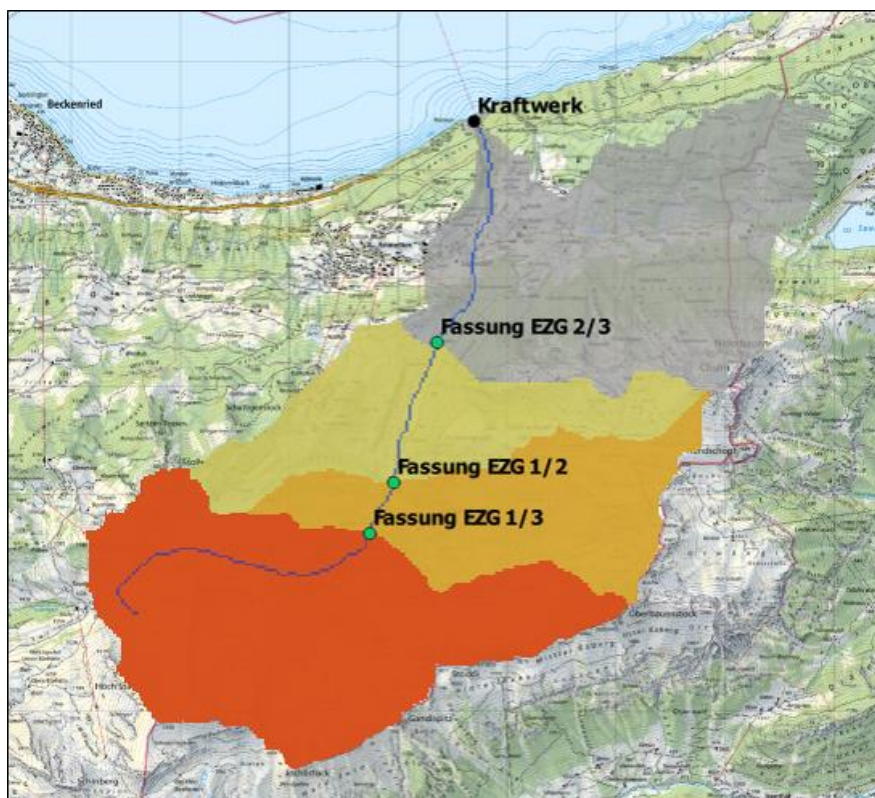
hand der nutzbaren Fallhöhe und dem zuvor berechneten Zufluss (unter Berücksichtigung des jeweiligen Teileinzugsgebiets). Die theoretische Jahresproduktion eines Gewässerabschnitts entspricht dem Mittelwert aus den drei Produktionswerten. Für die Berechnung der theoretischen Jahresproduktion wurden die Annahmen getroffen, dass der Wirkungsgrad der Turbine dauernd bei 100 Prozent liegt, der gesamte Zufluss gefasst und kein Restwasser abgegeben wird.

Die theoretische Jahresproduktion wurde wie folgt berechnet:

$$\text{Theoretische Jahresproduktion} = \rho \cdot g \cdot \Delta h \cdot t \cdot Q_{\text{EZG}}, \text{ in Ws}$$

- ρ Dichte des Wassers, 1000 kg/m³
- g Erdbeschleunigung, 9.81 m/s²
- Δh Höhenunterschied zwischen Fassung und Kraftwerksstandort, in m
- t Zeit, in s
- Q_{EZG} Abfluss des hydrologischen Einzugsgebiets, in m³/s

Abbildung 1: Bestimmung der Einzugsgebiete zur Berechnung der theoretischen Jahresproduktion anhand des Beispiels des Choltalbachs. Das mithilfe des topografischen Terrainmodells modellierte Einzugsgebiet entspricht in diesem Fall insbesondere im Gebiet Schellenberg - Dürrensee - Brennwald (Grossteil des grauen Bereiches) aufgrund abweichender karsthydrogeologischer Wasserscheiden nicht dem tatsächlichen Einzugsgebiet, was dazu führt, dass die berechnete theoretische Jahresproduktion zu gross ausfällt.



Die Ergebnisse sind in der Tabelle 2 aufgeführt und in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt. Die berechneten Zuflussdaten wurden gemäss Anhang 7.1 plausibilisiert.

Für die weitere Betrachtung wurden nur Gewässerabschnitte berücksichtigt, die heute bereits genutzt sind oder deren theoretische Jahresproduktion über 1 GWh liegt.

Tabelle 2: Die betrachteten Gewässerabschnitte mit berechneter theoretischer Jahresproduktion.

■ Gewässerabschnitt ohne bestehende Wasserkraftnutzung

■ Gewässerabschnitt mit bestehender Wasserkraftnutzung

Nr.	Gewässerabschnitt	Theoretische Jahresproduktion GWh
74	Aegertli	0.1
35	Archisrüttlibach	< 0.1
79	Arnibach 1	7.0
78	Arnibach 2	11.6
80	Arnibach oben	0.4
76	Arniwald	< 0.1
50	Bannalpbach	19.8
52	Bannalpbach oben	1.7
54	Bielmattligraben	0.2
73	Bluttengraben	< 0.1
70	Brächgraben	1.5
44	Brigggräben	< 0.1
37	Buoholzbach	17.3
38	Buoholzbach oben	6.8
22	Chellbach	< 0.1
25	Choltalbach	19.1
27	Dorfbach Buochs	0.1
13	Dürrentöbeli	< 0.1
63	Eltschenbach	1.1
29	Engelbergeraa 1	2.2
30	Engelbergeraa 2	5.4
33	Engelbergeraa 3	4.8
41	Engelbergeraa 4 ⁵	171.1
75	Engelbergeraa 5 ⁵	158.9
17	Fahrlibach	< 0.1
57	Fallenbach	6.9
5	Feldbach	0.1
51	Firnhüttbach	0.1
48	Fuhrbächli	0.1
62	Geissmattligraben	0.6
69	Gerbibach	1.1
71	Gerbibach oben	1.0
66	Gerlifluewald	< 0.1
10	Gieslibach	1.4
56	Gutzigraben	< 0.1
47	Haldibach	2.1
16	Herrenbach	< 0.1
21	Hinter Erlibach	< 0.1
43	Humligenbach	1.2
11	Kallenbach	0.1
2	Kastelenbach	0.7
58	Kernalpbach	5.6
61	Kleinfallenbach	0.1

⁵ Methodisch bedingt werden für die Berechnung der Jahresproduktion auch die hydrologischen Einzugsgebiete auf Obwaldner Kantonsgebiet mitberücksichtigt. Dies erklärt die relevanten Unterschiede zu den in den Kapiteln Zusammenfassung und Fazit ausgewiesenen Produktionswerten.

Nr.	Gewässerabschnitt	Theoretische Jahresproduktion GWh
40	Krätligbach	< 0.1
14	Lielibach	9.9
15	Lielibach oben	3.4
72	Luterseebach	8.2
67	Marchgraben	< 0.1
8	Melbach	2.2
7	Melbach oben	0.6
59	Mittler Fallenbach	0.1
23	Mocklisbach	< 0.1
18	Muehlebach Beckenried	0.4
3	Mühlebach Hergiswil	0.5
9	Mühlebach Stansstad	< 0.1
60	Münchmatt	< 0.1
53	Murgraben	< 0.1
55	Nechimatt	< 0.1
19	Ratzenbach	1.5
64	Rotihaltengraben	4.0
65	Rotihaltengraben oben	2.8
1	Rümlig ⁶	16.0
24	Rütenenbach	0.1
77	Schiessibach	1.7
6	Schluchenbach	< 0.1
28	Schüpfgraben	< 0.1
45	Secklisbach Restwasserstrecke	28.5
46	Secklisbach Schwall-Sunk Strecke	14.6
49	Singäubach	9.0
26	Spreitenbach	< 0.1
39	Steinibach Dallenwil	8.5
4	Steinibach Hergiswil	3.2
32	Teuftalbach	0.1
12	Träschlibach	2.7
84	Trüebenbach 1	8.3
83	Trüebenbach 2	10.4
85	Trüebenbach oben	3.7
86	Trübsee	19.0
87	Trübseebach	3.6
68	Vogelsanggraben	0.2
20	Vorder Erlibach	0.9
81	Wangbach	1.5
82	Wangbach oben	1.0
34	Wildibach	< 0.1
31	Willgasbach	< 0.1
42	Zelglibach	0.9
36	Zilibach	0.6

⁶ Aufgrund seines kurzen Verlaufs im Kanton Nidwalden wird der Rümlig trotz seiner insgesamt hohen theoretischen Jahresproduktion nicht weiterverfolgt.

Abbildung 2: Betrachtete Gewässerabschnitte dargestellt mit berechneter theoretischer Jahresproduktion (kleiner oder grösser als 1 GWh) und mit bestehenden Nutzungen. Eine detaillierte kartographische Darstellung befindet sich in Karte 1.

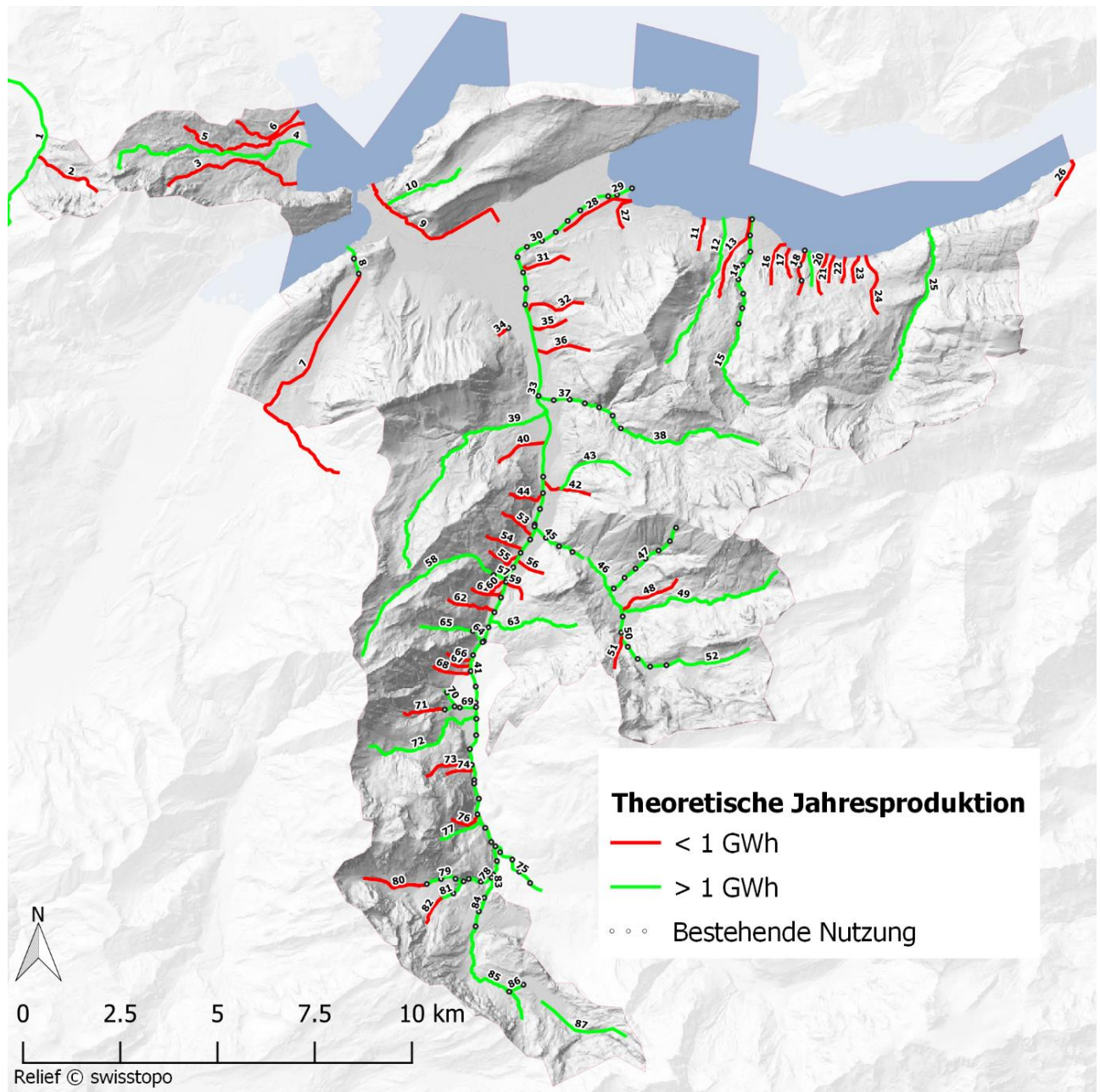
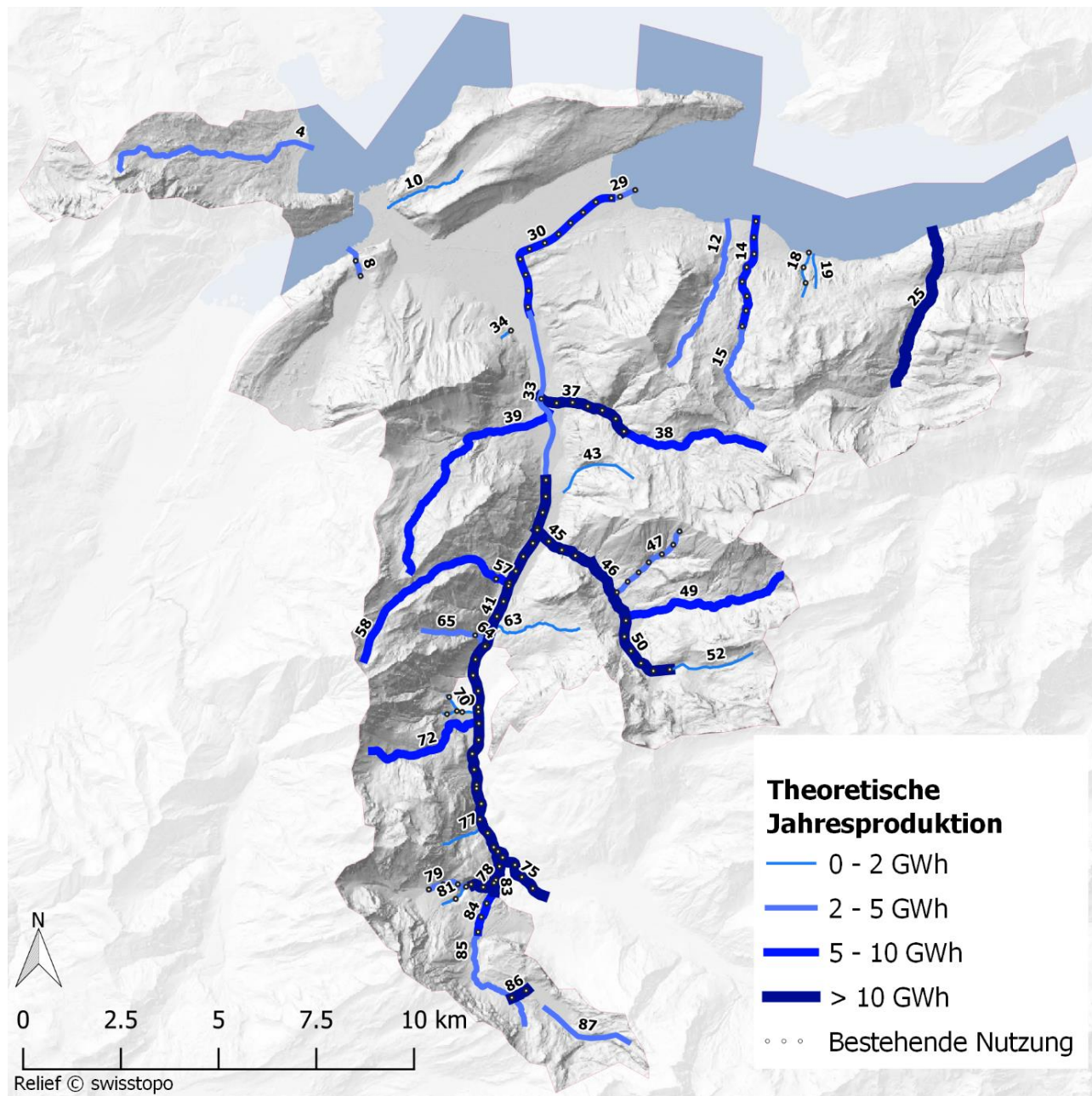


Abbildung 3: Bewertete Gewässerabschnitte, klassifiziert nach theoretischer Jahresproduktion. Eine detaillierte kartographische Darstellung befindet sich in Karte 2.



Kleine Gewässer mit geringem Nutzungspotenzial

Gewässer mit einer theoretischen Jahresproduktion kleiner 1 GWh können einerseits nur einen marginalen Anteil zur Abdeckung des Gesamtstrombedarfs beitragen, zumal die realistische Jahresproduktion gerade bei diesen Gewässern noch deutlich geringer ausfällt. Im Weiteren spielen auch diese Kleingewässer für die ökologische Vernetzung eine wichtige Rolle. Aufgrund dieser Ausgangslage sind diese bisher ungenutzten Kleingewässer zu erhalten. Folglich ist im Grundsatz von einer Nutzung dieser Gewässer abzusehen. Hingegen machen autarke Stromlösungen unter Umständen Sinn, wenn ein Netzanschluss nicht zumutbar ist und eine alternative Stromproduktion (Photovoltaik- oder Windkraftanlage) mit verhältnismässigen Mitteln nicht umsetzbar ist. Bei einer entsprechenden Realisierung müssen die geltenden gesetzlichen Vorgaben (Gewässer- und Umweltschutz, Fischerei, Natur- und Landschaftsschutz, etc.) eingehalten werden.

Kombinationsprojekte

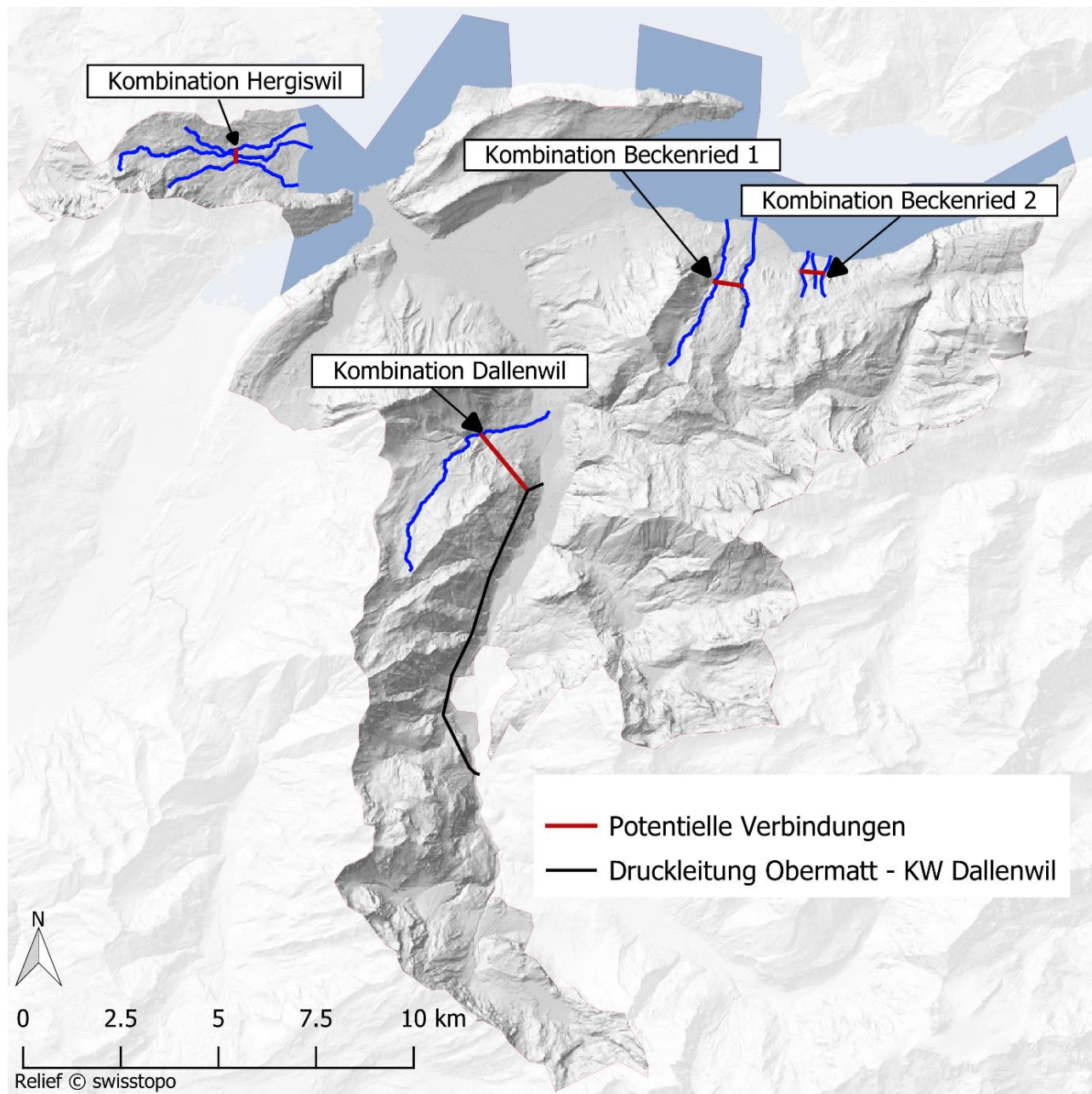
Aufgrund der topographischen Gegebenheiten besteht an mehreren Standorten die Möglichkeit, benachbarte Gewässer im Rahmen eines Kombinationsprojekts zusammen zu nutzen. Es konnten vier Standorte ermittelt werden, deren theoretische Jahresproduktion mindestens 1 GWh beträgt. Bei den meisten dieser Standorte

wird bereits heute mindestens ein Gewässer genutzt. Für die benachbarten Gewässer wurden die Fassungsstandorte für die Berechnung der theoretischen Jahresproduktion auf der gleichen Höhe festgelegt. Die Kombinationsprojekte sind in der Tabelle 3 aufgeführt und in der Abbildung 4 dargestellt.

Tabelle 3: Theoretische Jahresproduktion der Kombinationsprojekte.

Kombinationsprojekt	Gewässer	Theoretische Jahresproduktion GWh	Bemerkungen
Dallenwil	Steinibach Dallenwil	6.6	Anschluss an bestehende Druckleitung Obermatt - KW Dallenwil
Hergiswil	Feldbach	3.0	Positionshöhe der Fassungsstandorte wurde so gesetzt, dass eine maximale Nutzung erzielt werden kann
	Mühlebach Hergiswil		
	Steinibach Hergiswil		
Beckenried I	Lielibach	2.7	Positionshöhe der Fassungsstandorte wurde analog zur bereits bestehenden Fassung am Lielibach gesetzt
	Träschlibach		
Beckenried II	Mühlebach Beckenried	2.4	Positionshöhe der Fassungsstandorte wurde analog zur bereits bestehenden Fassung am Mühlebach (Beckenried) gesetzt
	Ratzenbach		
	Vorder Erlibach		

Abbildung 4: Die geographische Lage der Kombinationsprojekte. Eine detaillierte kartographische Darstellung befindet sich in Karte 3.



Quellen

Natürlich austretende Quellen sind nicht nur wichtige Trinkwasserressourcen, sondern häufig auch wertvolle natürliche Lebensräume für eine üppige und artenreiche Tier- und Pflanzenwelt. Das spezifische Artenvorkommen beschränkt sich meistens lokal auf den Quellbereich und unterscheidet sich häufig von demjenigen in den darunterliegenden Gewässerabschnitten.

Quellen können auch für die Stromproduktion interessant sein. Für die bedeutendsten Quellen wurde die theoretische Jahresproduktion ausgehend von den vorhandenen Schüttungsangaben und der nutzbaren Höhe (Höhendifferenz zwischen Quellstandort und Reservoir) abgeschätzt. Diese Quellen sind in der Tabelle 4 aufgeführt und in der Abbildung 5 dargestellt. Die meisten Quellen weisen ein geringes energetisches Potential auf, weshalb im Rahmen des vorliegenden Projekts auf eine weitere Bewertung bezüglich Schutz und Nutzung verzichtet wird. Die Bewertung muss im Rahmen einer Ergänzung des vorliegenden Konzepts erfolgen. In der Zwischenzeit hat die Interessenabwägung im Rahmen des Projekts zu erfolgen.

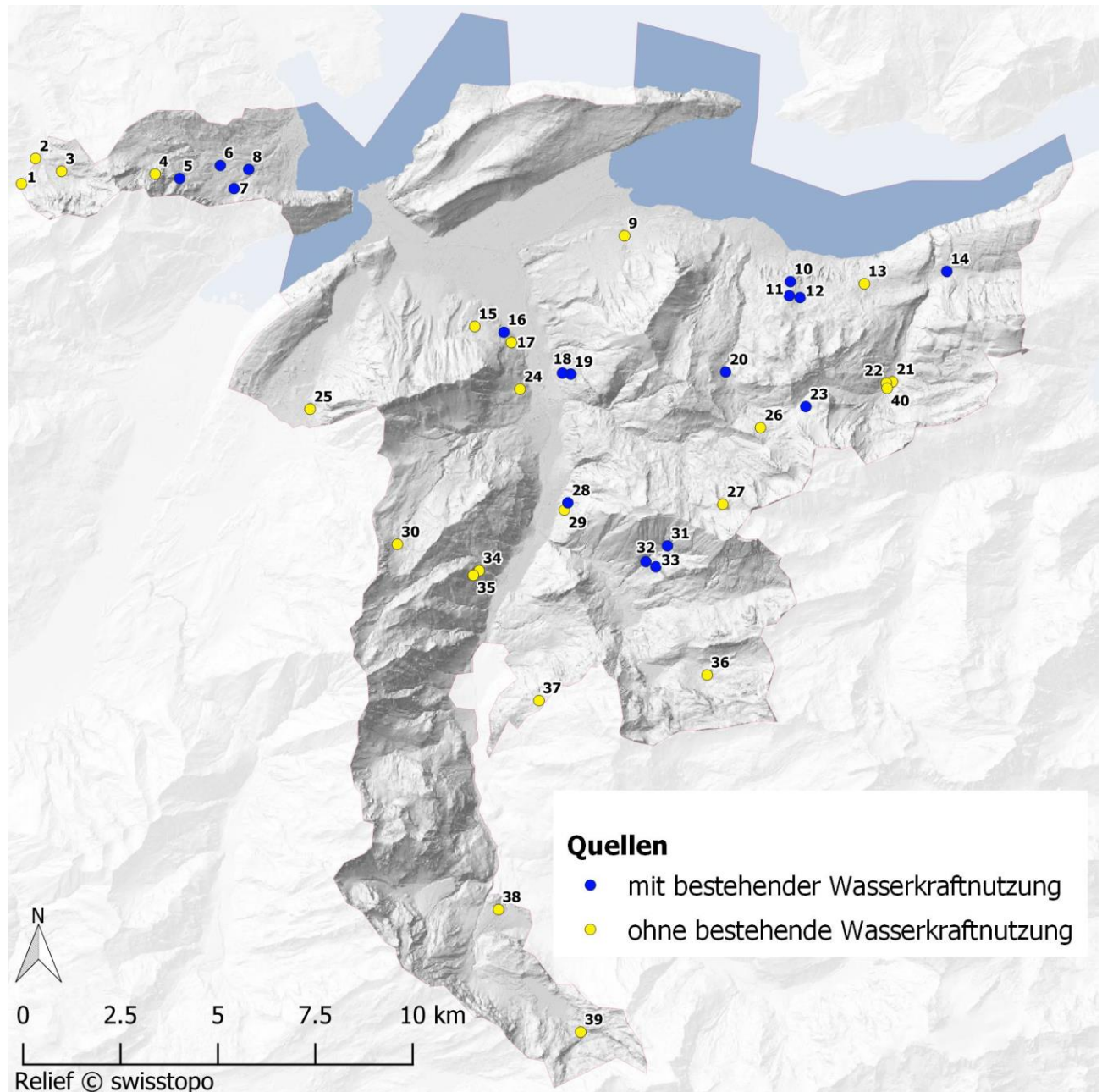
Tabelle 4: Bekannte Quellen mit aufgrund Schüttung und Fallhöhe abgeschätzter theoretischer Jahresproduktion.

■ Quelle ohne bestehende Wasserkraftnutzung

■ Quelle mit bestehender Wasserkraftnutzung

Nr.	Quelle	Theoretische Jahresproduktion GWh
10	Ambeissler	3.3 (inkl. Bärlix und Lanzig)
12	Bärlix	3.3 (inkl. Ambeissler und Lanzig)
24	Breitenacher	< 0.1
37	Brunniswaldalp	1.7
31	Brüscheegg	0.1
38	Buechbrünnen/Jungholz	0.5
21	Chohlrüti	0.9
30	Eggtrug	< 0.1
18	Frongadmen	0.1
36	Fulenwasser	0.3
40	Geissboden	0.1
5	Gineten	0.1
16	Gisibach, Quellen	< 0.1
32	Guber	Keine Schüttungsangaben
33	Guberdräck	Keine Schüttungsangaben
26	Haldifeld/Büel	0.2
1	Kaltenbrunnen	0.4
11	Lanzig	3.3 (inkl. Ambeissler und Bärlix)
3	Lauelenloch	1.2
28	Maienbachquelle	< 0.1
23	Matt	< 0.1
8	Müsli	0.1
22	Neublätz	0.5
25	Ober Hostatt	< 0.1
34	Ochsenweid	0.5
6	Renggeli/Brunni,/Nestel	0.3
7	Rossmoos	0.1
15	Schilt/Chälen	< 0.1
35	Schützenmatt	0.7
20	Schwändi	0.8
13	Schyn	< 0.1
14	Seelisbergtunnel, Karstquelle	0.6
17	Staldifeld	0.2
27	Steinalper Tribet	0.3
39	Sulzli	1.1
4	Treichen/Nauen	0.6
2	Unterlauelen	0.5
19	Ursprung	1.1
29	Vesperflue/Brünnen	0.2
9	Wissibach	< 0.1

Abbildung 5: Bekannte Quellen im Kanton Nidwalden, für die im Rahmen des vorliegenden Konzepts die theoretische Jahresproduktion abgeschätzt worden ist. Die Namen der Quellen sind in Tabelle 4 aufgeführt. Eine detaillierte kartographische Darstellung befindet sich in Karte 4.



3.2 Nutzung

Die Nutzung wurde anhand folgender Kriterien bewertet:

- Jahresproduktion (Gewichtung 30 %)
- Winterproduktion (Oktober bis März, Gewichtung 40 %)
- Flexibilität (Gewichtung 10 %)
- Bestehende Nutzung (Gewichtung 20 %)

Im Vergleich zur Vernehmlassungsversion wurden die Jahresproduktion und die Winterproduktion zulasten der bestehenden Nutzung stärker gewichtet.

Die Bewertung der Nutzung erfolgte anhand der realistischen Jahres- und Winterproduktion. Ausgehend von der theoretischen Produktion ergibt sich mit den Reduktionsfaktoren gemäss Tabelle 5 die realistische Produktion. Die Reduktionsfaktoren wurden aufgrund von Erfahrungswerten festgelegt. Nicht berücksichtigt wurden mögliche Versickerungen in den Einzugsgebieten.

Tabelle 5: Reduktionsfaktoren zur Berechnung der realistischen Jahres- und Winterproduktion

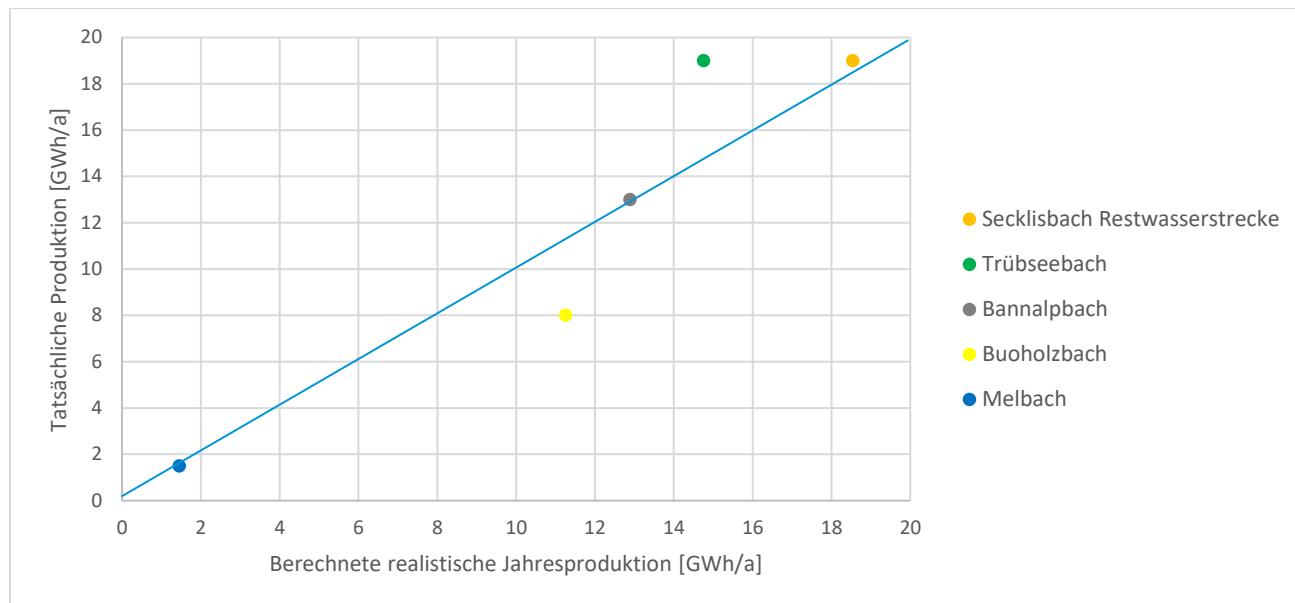
Reduktionsfaktor	Jahresproduktion	Winterproduktion
Wirkungsgrad der Turbine	0.85	0.85
Überfall	0.90	0.99
Restwasser	0.85	0.90
Reduktionsfaktor gesamt	0.65	0.75

Zur Plausibilisierung der Reduktionsfaktoren wurde für ausgewählte Gewässerabschnitte die realistische Jahresproduktion mit der tatsächlichen Jahresproduktion verglichen. Insgesamt konnte eine sehr gute Korrelation ausgewiesen werden (Abbildung 6). Der Vergleich erfolgte auf Basis der heutigen Produktionswerte.

Im Zusammenhang mit der realistischen Jahresproduktion sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Bei Nutzungen, bei denen konkrete Angaben zur Produktion vorliegen, z.B. im Rahmen eines konkreten Projektes basierend auf der heute geltenden Gesetzgebung, wurden für die Bewertung nicht die berechneten, sondern die konkret hergeleiteten Zahlen verwendet (z.B. Choltalbach).
- Die realistische Jahresproduktion ist aus der theoretischen Jahresproduktion abgeleitet. Allfällige Abweichungen zwischen dem topografisch modellierten und dem tatsächlichen hydrogeologischen Einzugsgebiet können sich entsprechend fortpflanzen (s. Kapitel 3.1) und sind im Rahmen der vertieften Projektierung zu berücksichtigen.

Abbildung 6: Gegenüberstellung der berechneten realistischen Jahresproduktion mit der tatsächlichen Jahresproduktion.



Jahresproduktion

Für eine energetische Betrachtung stellt die Jahresproduktion eine wichtige Kenngrösse dar. Aus Tabelle 6 können die Wertebereiche der Klassen 1 bis 5 entnommen werden.

Tabelle 6: Definition der Klassen für das Nutzungskriterium Jahresproduktion.

Klasse	Jahresproduktion GWh
1	< 0.5
2	0.5 -1
3	1 - 2
4	2 - 5
5	> 5

Winterproduktion

Seit über 20 Jahren importieren die Schweiz und der Kanton Nidwalden im Winterhalbjahr Strom. Dieser Importbedarf wird sich im Zuge der Energiewende noch weiter verstärken. Während mit dem geplanten Ausstieg aus der Atomkraft auf nationaler Ebene ein grosser Teil der heutigen winterlichen Stromproduktion wegfallen wird, ist von einem bedeutenden Anstieg des Strombedarfs infolge der vorgesehenen Elektrifizierung von Verkehr und Gebäuden (Wärmegewinnung mittels Wärmepumpen) auszugehen. In Tabelle 7 sind die Wertebereiche der Klassen für dieses Nutzungskriterium aufgeführt, wobei die Winterproduktion sich über den Zeitraum von Oktober bis März erstreckt. Sie entspricht der Summe der Produktionswerte der entsprechenden Monate.

Tabelle 7: Definition der Klassen für das Nutzungskriterium Winterproduktion.

Klasse	Winterproduktion GWh
1	< 0.3
2	0.3 – 0.5
3	0.5 - 1
4	1 - 3
5	> 3

Flexibilität

Die Stabilität des Stromnetzes wird dadurch erreicht, dass zu jeder Zeit so viel Strom produziert wird, wie im selben Moment verbraucht wird. Da sowohl die Stromproduktion wie auch der Stromkonsum permanent Schwankungen unterworfen sind, braucht es eine ständige Regulierung (Feinsteuerung) der Stromproduktion. Diese Regulierung erfolgt hauptsächlich durch Speicherwasserkraftwerke, welche innerhalb kurzer Zeit die Stromproduktion erhöhen oder verringern können. Je grösser der für die Stromproduktion zur Verfügung stehende Wasserspeicher, umso flexibler lässt sich ein Wasserkraftwerk betreiben und umso besser und länger kann regulierend eingegriffen werden. Entsprechend erfolgen die Klasseneinteilungen des Nutzungskriteriums Flexibilität gemäss Tabelle 8.

Tabelle 8: Definition der Klassen für das Nutzungskriterium Flexibilität.

Klasse	Flexibilität
1	Kein Speicher
2	Stundenspeicher
3	Tagesspeicher
4	Wochen- bis Monatsspeicher
5	Saisonal Speicher

Bestehende Nutzung

Die heutige Stromversorgung im Kanton basiert zu einem bedeutenden Teil auf den bestehenden Wasserkraftwerken. Die künftige Entwicklung der Stromproduktion aus diesen Anlagen hängt hauptsächlich von den Restwasserabgaben ab. Dies wird bei den Klasseneinteilungen entsprechend berücksichtigt (Tabelle 9). Ausserdem ist der Umstand zu berücksichtigen, dass bei diesen bereits bestehenden Nutzungen Eingriffe in die Landschaft und in die Gewässer bereits erfolgt sind und somit keine neuen Beeinträchtigungen zu erwarten sind.

Tabelle 9: Definition der Klassen für das Nutzungskriterium Bestehende Nutzung.

Klasse	Bestehende Nutzung
1	Keine bestehende Nutzung
2	-
3	Bestehende Nutzung, massgebliche Restwasseranpassungen in naher Zukunft zu erwarten
4	Bestehende Nutzung, keine massgeblichen Restwasseranpassungen bis 2035 zu erwarten
5	Bestehende Nutzung, keine massgeblichen Restwasseranpassungen bis 2050 zu erwarten

Bewertung Nutzung

In der Tabelle 10 und den Abbildungen 7 und 8 sind die Bewertungen der Nutzungskriterien je Gewässerabschnitt dargestellt.

Tabelle 10: Bewertung der Gewässerabschnitte hinsichtlich Nutzung.

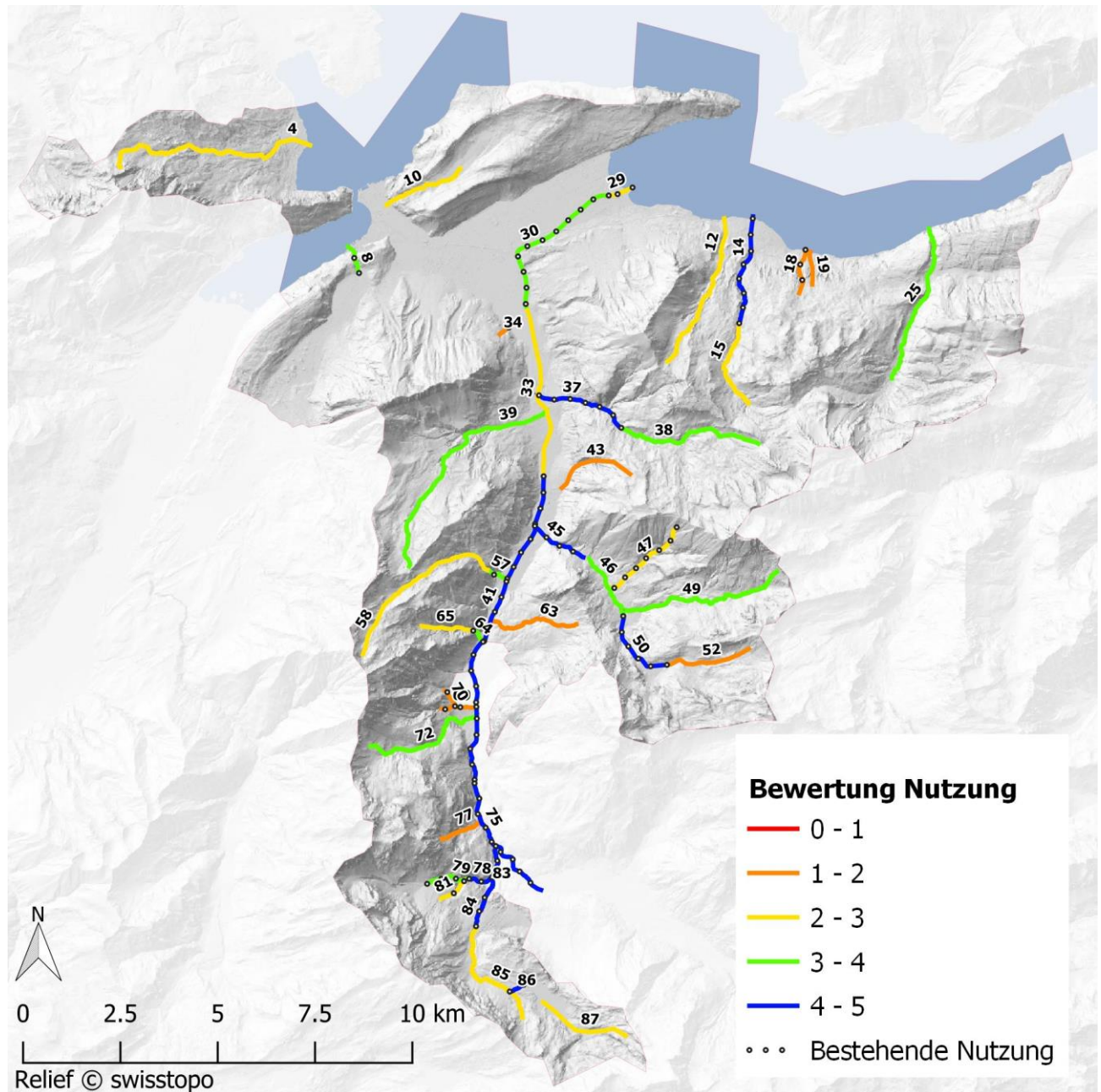
■ Gewässerabschnitt ohne bestehende Wasserkraftnutzung

■ Gewässerabschnitt mit bestehender Wasserkraftnutzung

Nr.	Gewässerabschnitt	Jahresproduktion	Winterproduktion	Flexibilität	Bestehende Nutzung	Bewertung Nutzung
79	Arnibach 1	4	3	3	4	3.50
78	Arnibach 2	5	4	3	4	4.20
50	Bannalpbach	5	5	5	3	4.60
52	Bannalpbach oben	3	1	1	1	1.60
70	Brächgraben	2	1	1	4	1.90
37	Buoholzbach	5	4	1	5	4.20
38	Buoholzbach oben	4	4	1	1	3.10

Nr.	Gewässerabschnitt	Jahres- produktion	Winter- produktion	Flexibilität	Bestehende Nutzung	Bewertung Nutzung
25	Choltalbach	5	4	1	1	3.40
63	Eltschenbach	2	2	1	1	1.70
29	Engelbergeraa 1	3	2	1	5	2.80
30	Engelbergeraa 2	4	3	1	3	3.10
33	Engelbergeraa 3	4	3	1	1	2.70
41	Engelbergeraa 4	5	5	3	4	4.60
75	Engelbergeraa 5	5	5	3	4	4.60
57	Fallenbach	4	4	1	4	3.70
69	Gerbibach	2	1	1	4	1.90
10	Gieslibach	2	3	1	1	2.10
47	Haldibach	3	2	1	5	2.80
43	Humligenbach	2	2	1	1	1.70
58	Kernalpbach	4	3	1	1	2.70
	Kombination Beckenried 1	5	4	1	1	3.40
	Kombination Beckenried 2	3	3	1	1	2.40
	Kombination Dallenwil	4	4	1	1	3.10
	Kombination Hergiswil	3	3	1	1	2.40
14	Lielibach	5	4	3	4	4.20
15	Lielibach oben	4	3	1	1	2.70
72	Luterseebach	5	4	1	1	3.40
8	Melbach	3	3	1	4	3.00
18	Mühlebach Beckenried	1	1	3	4	1.80
19	Ratzenbach	2	2	1	1	1.70
64	Rotihaltengraben	4	3	1	4	3.30
65	Rotihaltengraben oben	3	2	1	1	2.00
77	Schiessibach	3	1	1	1	1.60
45	Secklisbach Restwasserstrecke	5	5	3	3	4.40
46	Secklisbach Schwall-Sunk Strecke	5	4	1	1	3.40
49	Singäubach	5	4	1	1	3.40
39	Steinibach Dallenwil	5	4	1	1	3.40
4	Steinibach Hergiswil	4	3	1	1	2.70
12	Träschlibach	3	3	1	1	2.40
84	Trübenbach 1	5	4	3	4	4.20
83	Trübenbach 2	5	4	1	4	4.00
85	Trübenbach oben	4	3	1	1	2.70
86	Trübsee	5	4	5	4	4.40
87	Trübseebach	4	2	1	1	2.30
81	Wangbach	2	1	3	4	2.10
34	Wildibach	1	1	1	3	1.40

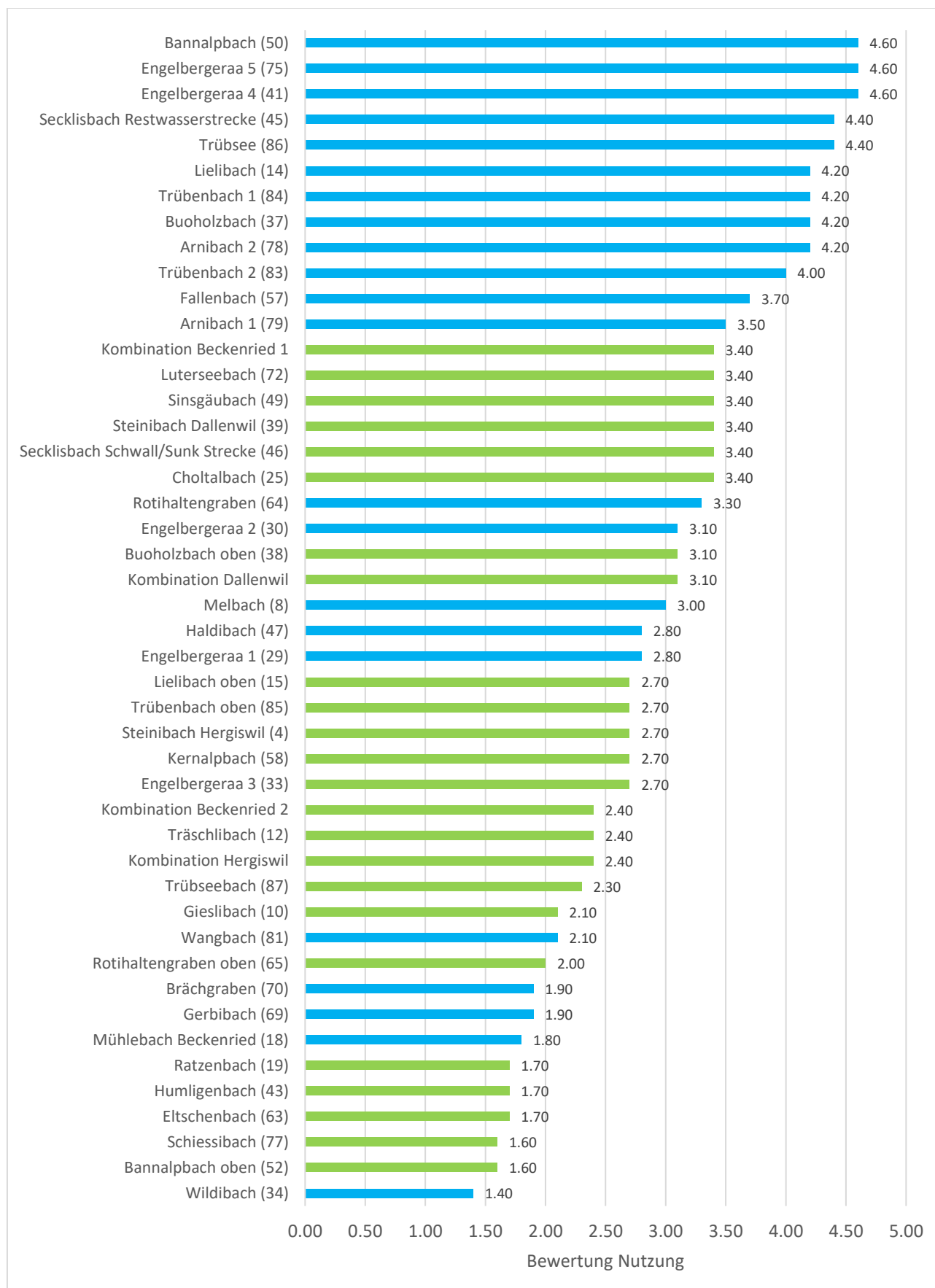
Abbildung 7: Kartographische Darstellung der Gewässerabschnitte gemäss ihrer Bewertung hinsichtlich Nutzung.⁷ Eine detaillierte Darstellung befindet sich in Karte 5.



⁷ Die Kombinationsprojekte sind zur Wahrung der Übersichtlichkeit zwar in Tabelle 10 bewertet, aber nicht dargestellt.

Abbildung 8: Darstellung der Gewässerabschnitte gemäss ihrer Bewertung hinsichtlich Nutzung.

- Gewässerabschnitt ohne bestehende Wasserkraftnutzung
- Gewässerabschnitt mit bestehender Wasserkraftnutzung



Aus energetischer Sicht spielen insbesondere die Nutzungen der Gewässerabschnitte Bannal- und Buoholzbach, Trübsee sowie die oberen Abschnitte der Engelbergeraa eine bestimmende Rolle. Die 12 aus Sicht der

Nutzung am besten bewerteten Gewässerabschnitte werden bereits heute genutzt, während fünf bereits heute genutzte Gewässerabschnitte mit einer unterdurchschnittlichen Nutzungsbewertung (< 2.5) klassifiziert wurden.

3.3 Schutz

Zu vielen Schutzaspekten liegen im Kanton Nidwalden nur wenige Daten zur Verfügung, die mehrheitlich im Rahmen der Planung baulicher Massnahmen erfasst wurden. Dies umfasst insbesondere:

- geschützte Arten
- Lebensräume
- Gewässerraumzonen

Diese Aspekte sollen auch in Zukunft erst im Rahmen von konkreten Projekten untersucht werden. Ebenfalls erst im Rahmen von konkreten Projekten berücksichtigt werden:

- kommunale Schutzzonen und Objekte
- Bundesinventar der historischen Verkehrswege der Schweiz (IVS)
- Wildruhe- und Jagdbanngelände
- Gefahrenzonen

Der Schutz wurde anhand folgender Kriterien bewertet:

- Wertvoller Lebensraum – Potentialgebiet für eine natürliche Entwicklung von Flora und Fauna (Gewichtung 25 %)
- Biotopschutz (Gewichtung 25 %)
- Gewässermorphologie (Gewichtung 25 %)
- Bedeutung Naherholung und landschaftliche Aspekte (Gewichtung 25 %)

Wertvoller Lebensraum – Potentialgebiet für eine natürliche Entwicklung von Flora und Fauna

Die Klassendefinitionen für dieses Schutzkriterium basieren auf einer Kombination der Aspekte Habitats- und Strukturvielfalt sowie der Vernetzung des Gewässerabschnitts (Tabelle 11).

Die Habitats- und Strukturvielfalt wurde in folgende Klassen unterteilt:

- klein: Im Gewässerabschnitt sind nur wenige Strukturen und kaum unterschiedliche Habitate vorhanden. Insgesamt ist der ökologische Wert an Lebensräumen tief.
- mittel: Der Gewässerabschnitt weist einige Strukturen und verschiedene Habitate auf. Insgesamt wird der ökologische Wert an Lebensräume als mittel beurteilt.
- gross: Im Gewässerabschnitt treten vielfältige Strukturen sowie ein Mosaik aus verschiedenen Habitaten auf. Insgesamt bieten die diversen Habitate einen Lebensraum für verschiedenste Arten und daher ist der ökologische Wert hoch.

Die Vernetzung des Gewässerabschnitts wurde in folgende Klassen unterteilt:

- klein: Der Gewässerabschnitt ist stark fragmentiert, d.h. in Längsrichtung für aquatische Organismen nicht durchgängig.
- mittel: Der Gewässerabschnitt ist isoliert (100 bis 300 Meter Länge) und leicht fragmentiert, d.h. in Längsrichtung für einen Teil der aquatischen Organismen durchgängig. Der Gewässerabschnitt ist als Lebensraum für einen Grossteil der aquatischen Organismen ausreichend gross.
- gross: Der Gewässerabschnitt ist gut vernetzt, d.h. entweder ein Talgewässer oder mit einem solchen oder mit dem Vierwaldstättersee direkt vernetzt.

Tabelle 11: Definition der Klassen für das Schutzkriterium Wertvoller Lebensraum – Potenzialgebiet für eine natürliche Entwicklung von Flora und Fauna.

		Habitats- und Strukturvielfalt		
		klein	mittel	gross
Vernetzung Gewässer- abschnitt	klein	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
	mittel	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4
	gross	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5

Biotopschutz

Mit dem Schutzkriterium Biotopschutz wird der gesetzliche Schutzstatus eines Gewässerabschnitts beschrieben (Tabelle 12).

Tabelle 12: Definition der Klassen für das Schutzkriterium Biotopschutz.

Klasse	Biotopschutz
1	kein Schutzgebiet
2	Schutzgebiet von lokaler Bedeutung
3	Schutzgebiet von regionaler Bedeutung
4	kantonales Schutzgebiet
5	nationales Schutzgebiet

Gewässermorphologie

Die Gewässermorphologie hat einen grossen Einfluss auf die Ausbildung von aquatischen Lebensräumen und ist daher aus ökologischer Sicht ein bedeutender Aspekt. Die Klassendefinitionen (Tabelle 13) basieren auf dem Modulstufenkonzept Ökomorphologie⁸.

Tabelle 13: Definition der Klassen für das Schutzkriterium Gewässermorphologie.

Klasse	Gewässermorphologie
1	eingedolt
2	naturfremd, künstlich
3	stark beeinträchtigt
4	wenig beeinträchtigt
5	natürlich, naturnah

Bedeutung landschaftliche Aspekte und Naherholung

Häufig prägen Gewässer die Landschaft und bieten attraktive Plätze für die Naherholung. Die Klassendefinitionen für dieses Schutzkriterium basieren auf einer Kombination dieser beiden Aspekte (Tabelle 14).

Die Bedeutung für die landschaftlichen Aspekte wurde in folgende Klassen unterteilt:

- klein: kein BLN-Gebiet, Gewässer mit geringem landschaftlichem Bezug (schlecht, nur punktuell einsehbar und aus landschaftlicher Sicht unbedeutend)
- mittel: kein BLN-Gebiet, Gewässer mit mittlerem landschaftlichem Bezug (nur bedingt, teilweise einsehbar und aus landschaftlicher Sicht kein wichtiges Landschaftselement)
- gross: BLN-Gebiet oder Gewässer mit hohem landschaftlichem Bezug (gut einsehbar und aus landschaftlicher Sicht ein wertvolles Landschaftselement)

⁸ Hütte, M. & Niederhauser, P. (1998): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz. Ökomorphologie Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug Nr. 27. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern. 49 S

Die Bedeutung für die Naherholung wurde in folgende Klassen unterteilt:

- klein: abseits von ÖV (30 Min), Strassen (15 Min) und Wanderwegen (15 Min) sowie kaum Personen anzutreffen
- mittel: mittlere Distanz zum ÖV (15-30 Min) oder Strassen (5-15 Min), Wanderweg in der Nähe sowie regelmässig Personen im Bereich des Gewässers anzutreffen
- gross: mit ÖV (< 15 Min) oder Strassen gut erreichbar (< 5 Min), Wanderweg direkt am Gewässer sowie häufig viele Personen am Gewässer anzutreffen

Tabelle 14: Definition der Klassen für das Schutzkriterium Bedeutung landschaftliche Aspekte und Naherholung.

		Bedeutung Landschaftliche Aspekte		
		klein	mittel	gross
Bedeutung Naherholung	klein	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
	mittel	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4
	gross	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5

Bewertung Schutz

In der Tabelle 15 und den Abbildungen 9 und 10 sind die Bewertungen der Schutzkriterien je Gewässerabschnitt dargestellt.

Tabelle 15: Bewertung der Gewässerabschnitte hinsichtlich Schutz.

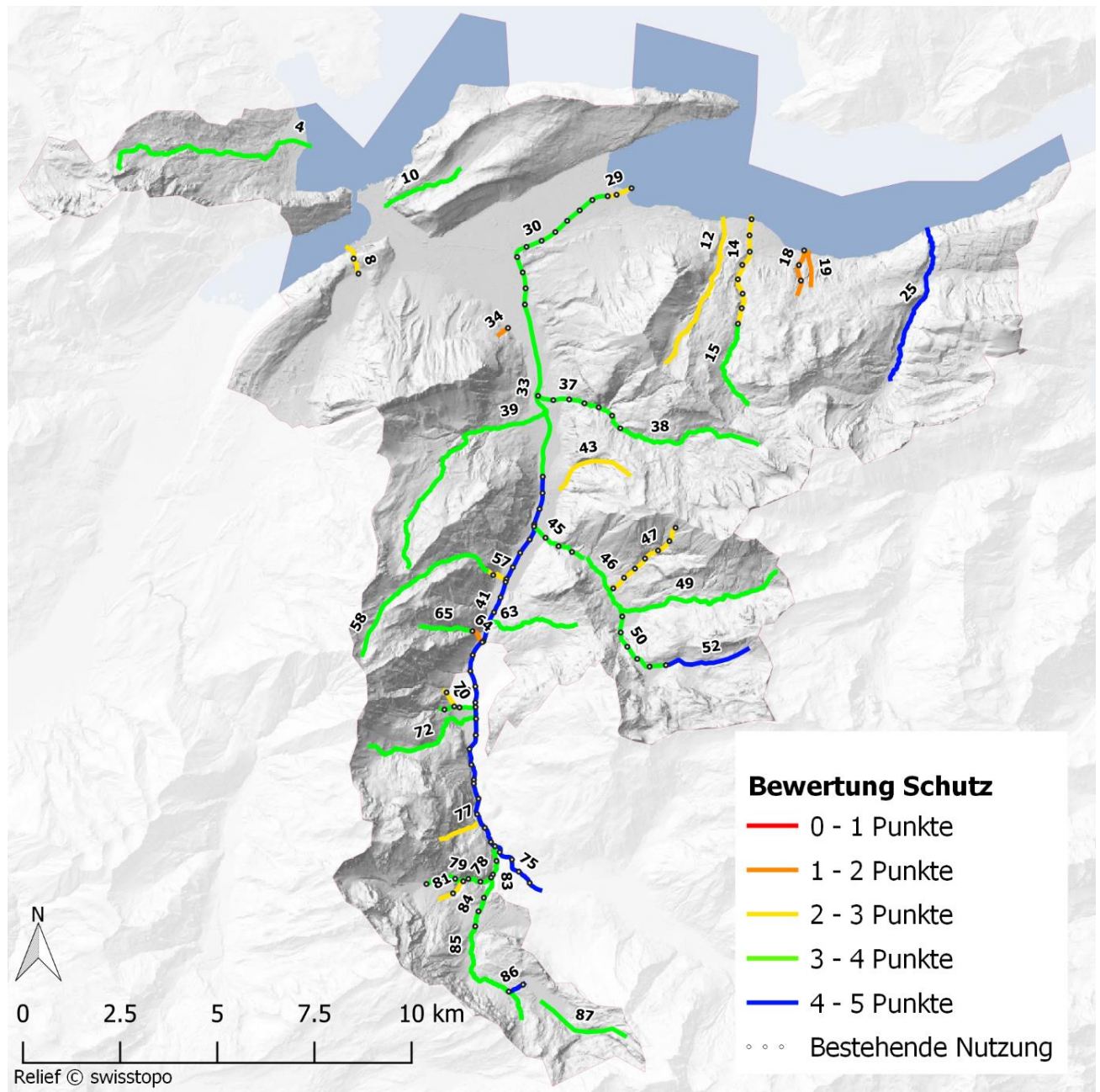
■ Gewässerabschnitt ohne bestehende Wasserkraftnutzung

■ Gewässerabschnitt mit bestehender Wasserkraftnutzung

Nr.	Gewässerabschnitt	Lebensraum	Biotopschutz	Gewässer- morphologie	Naherholung	Bewertung Schutz
79	Arnibach 1	4	1	5	4	3.50
78	Arnibach 2	4	1	5	4	3.50
50	Bannalpbach	3	1	5	3	3.00
52	Bannalpbach oben	5	5	5	5	5.00
70	Brächgraben	3	1	5	2	2.75
37	Buoholzbach	4	1	4	4	3.25
38	Buoholzbach oben	4	1	5	3	3.25
25	Choltalbach	5	4	5	5	4.75
63	Eltschenbach	3	5	4	3	3.75
29	Engelbergeraa 1	3	1	2	5	2.75
30	Engelbergeraa 2	4	1	2	5	3.00
33	Engelbergeraa 3	5	3	3	4	3.75
41	Engelbergeraa 4	5	3	5	5	4.50
75	Engelbergeraa 5	5	1	5	5	4.00
57	Fallenbach	3	1	4	3	2.75
69	Gerbibach	4	1	5	2	3.00
10	Gieslibach	3	3	4	4	3.50
47	Haldibach	3	1	3	2	2.25
43	Humligenbach	3	1	3	3	2.50
58	Kernalpbach	4	1	5	3	3.25
	Kombination Beckenried 1	4	1	3	3	2.75
	Kombination Beckenried 2	1	1	3	3	2.00
	Kombination Dallenwil	5	1	4	4	3.50
	Kombination Hergiswil	3	3	4	4	3.50
14	Lielibach	4	1	3	3	2.75

Nr.	Gewässerabschnitt	Lebensraum	Biotopschutz	Gewässer- morphologie	Naherholung	Bewertung Schutz
15	Lielibach oben	4	1	4	3	3.00
72	Luterseebach	4	1	4	3	3.00
8	Melbach	3	1	3	4	2.75
18	Mühlebach Beckenried	1	1	2	1	1.25
19	Ratzenbach	1	1	2	1	1.25
64	Rotihaltengraben	2	1	3	1	1.75
65	Rotihaltengraben oben	3	5	5	2	3.75
77	Schiessibach	2	1	5	2	2.50
45	Secklisbach Restwasserstrecke	4	1	4	3	3.00
46	Secklisbach Schwall-Sunk Strecke	3	3	4	4	3.50
49	Singsäubach	4	1	5	3	3.25
39	Steinibach Dallenwil	5	1	4	4	3.50
4	Steinibach Hergiswil	3	3	3	4	3.25
12	Träschlibach	3	1	3	3	2.50
84	Trübenbach 1	4	1	5	3	3.25
83	Trübenbach 2	4	1	5	3	3.25
85	Trübenbach oben	4	1	5	3	3.25
86	Trübsee	4	3	5	4	4.00
87	Trübseebach	3	4	3	4	3.50
81	Wangbach	3	1	5	2	2.75
34	Wildibach	2	1	2	1	1.50

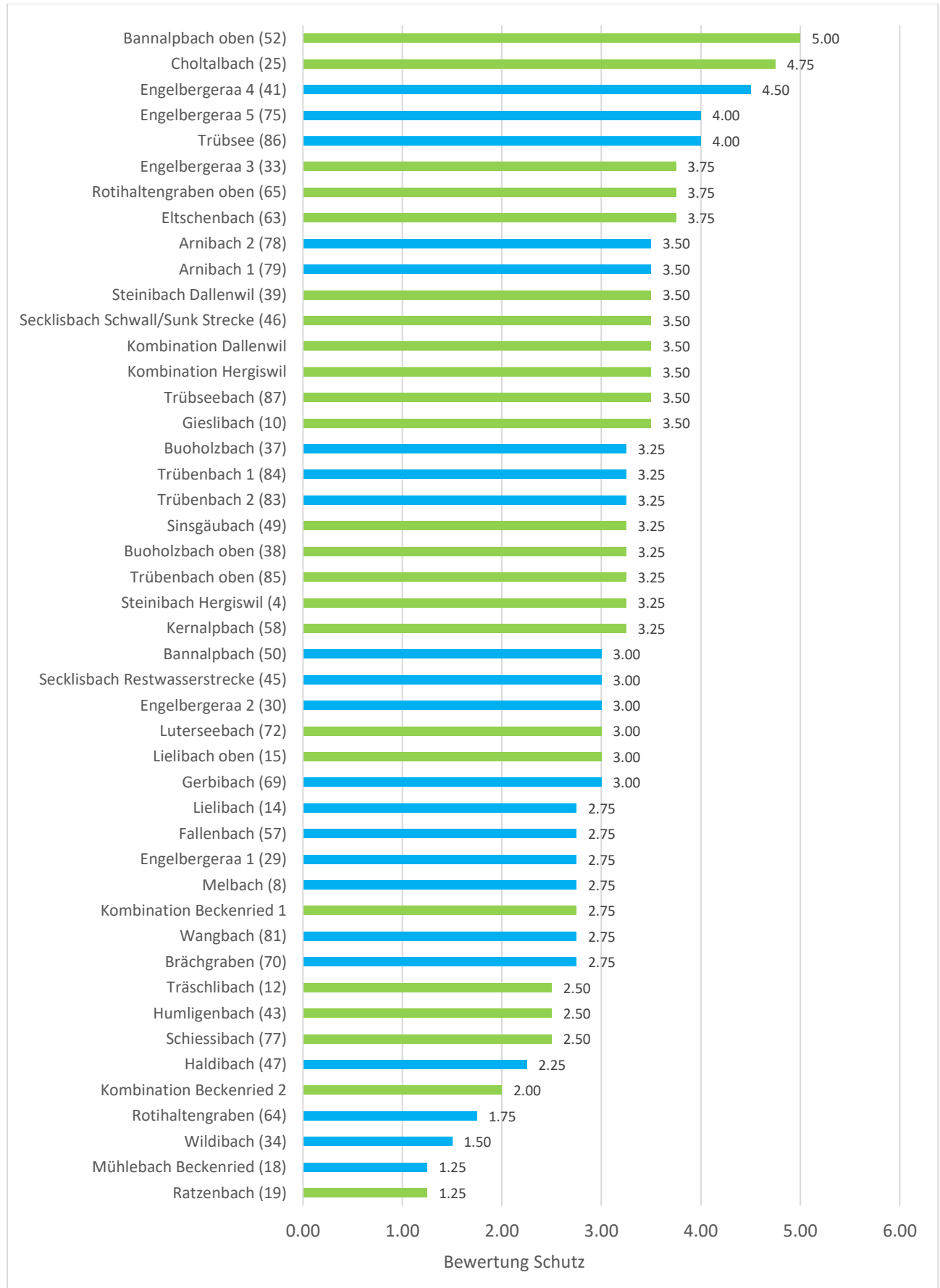
Abbildung 9: Kartographische Darstellung der Gewässerabschnitte gemäss ihrer Bewertung hinsichtlich Schutz⁹. Eine detaillierte Darstellung befindet sich in Karte 6.



⁹ Die Kombinationsprojekte sind zur Wahrung der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Abbildung 10: Darstellung der Gewässerabschnitte gemäss ihrer Bewertung hinsichtlich Schutz

- Gewässerabschnitt ohne bestehende Wasserkraftnutzung
- Gewässerabschnitt mit bestehender Wasserkraftnutzung



3.4 Gesamtbewertung

Die Gesamtbewertung erfolgt aus dem Verhältnis aus der Bewertung der Nutzung zur Bewertung des Schutzes. Bei Gewässerabschnitten, welche mit einem Verhältnis grösser und gleich 1.2 bewertet werden, überwiegen die Nutzungsaspekte deutlich und Wasserkraftprojekte sind im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben möglich. Bei Gewässerabschnitten mit einem Verhältnis kleiner und gleich 0.8 überwiegen hingegen die Schutzaspekte deutlich und gegenüber Wasserkraftprojekten bestehen auf diesen Gewässerabschnitten Nutzungsvorbehalte. Liegt das Verhältnis zwischen 0.8 und 1.2, liegen die Bewertungen der Schutz- und Nutzungsaspekte im Bereich der Unschärfe der Bewertungsmethode. Für eine Nutzung ist eine individuelle projektbezogene Beurteilung notwendig.

In der Tabelle 16 und den Abbildungen 11 und 12 sind die Gesamtbewertungen aller Gewässerabschnitte dargestellt. Insgesamt fallen 14 Gewässerabschnitte in die Nutzungsklasse (30 Prozent), 19 in die mittlere Klasse (41 Prozent) und 13 in die Schutzklasse (28 Prozent).

Drei bereits genutzte Gewässer mit einer Jahresproduktion von maximal je 1 GWh (Brächgraben, Gerbibach und Wangbach) fallen in die Schutzklasse. Dies muss nicht zwingend bedeuten, dass eine künftige Weiternutzung dieser Gewässer in der bestehenden Kombination (Kraftwerke Dallenwil und Arni) aufgegeben werden muss. Sie sind Teil von bestehenden Kraftwerken mit mehreren Wasserfassungen und sind im Rahmen der Neukonzessionierung als Gesamtprojekt zu beurteilen.

Tabelle 16: Gesamtbewertung der Gewässerabschnitte.

■ Gewässerabschnitt ohne bestehende Wasserkraftnutzung

■ Gewässerabschnitt mit bestehender Wasserkraftnutzung

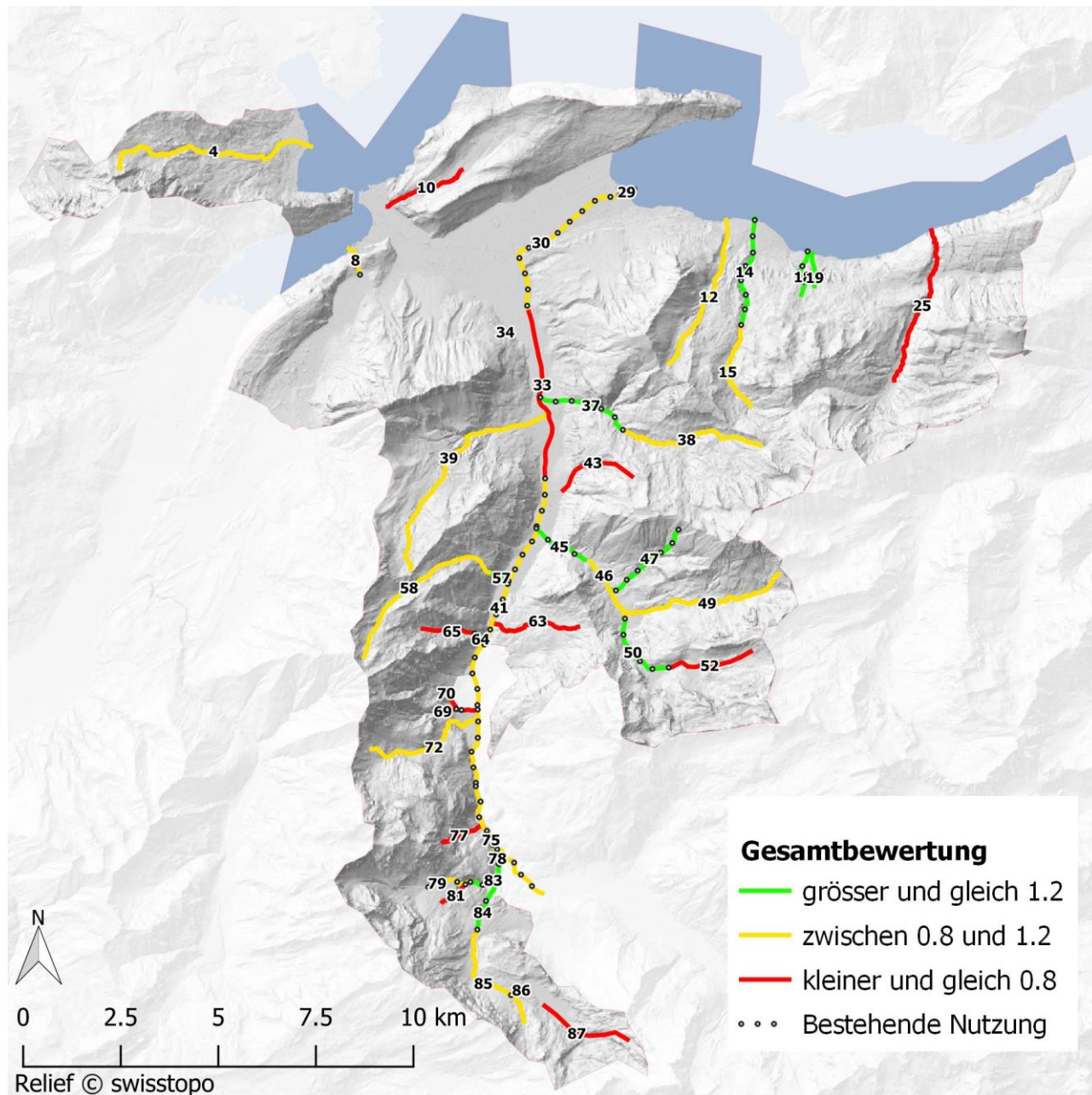
Nr.	Gewässerabschnitt	Realistische Jahresproduktion GWh	Realistische Winterproduktion GWh	Gesamtbewertung
79	Arnibach 1	3.2	0.7	1.00
78	Arnibach 2	7.5	1.9	1.20
50	Bannalpbach	12.9	2.2	1.53
52	Bannalpbach oben	1.1	0.2	0.32
70	Brächgraben	1.0	0.3	0.69
37	Buoholzbach	11.3	2.9	1.29
38	Buoholzbach oben	4.4	1.1	0.95
25	Choltalbach	8.4	2.5	0.72
63	Eltschenbach	0.7	0.3	0.45
29	Engelbergeraa 1	1.4	0.4	1.02
30	Engelbergeraa 2	3.5	1.0	1.03
33	Engelbergeraa 3	3.1	0.8	0.72
41	Engelbergeraa 4 ¹⁰	111.2	24.5	1.02
75	Engelbergeraa 5 ¹⁰	103.3	21.2	1.15
57	Fallenbach	4.5	1.0	1.35
69	Gerbibach	0.7	0.2	0.63
10	Gieslibach	0.9	0.5	0.60
47	Haldibach	1.4	0.3	1.24
43	Humligenbach	0.8	0.2	0.68
58	Kernalpbach	3.6	0.8	0.83
	Kombination Beckenried 1	5.9	2.6	1.24
	Kombination Beckenried 2	1.6	0.6	1.20

¹⁰ Methodisch bedingt werden für die Berechnung der Jahresproduktion auch die hydrologischen Einzugsgebiete auf Obwaldner Kantonsgebiet mitberücksichtigt. Dies erklärt die relevanten Unterschiede zu den in den Kapiteln Zusammenfassung und Fazit ausgewiesenen Produktionswerten.

Nr.	Gewässerabschnitt	Realistische Jahresproduktion GWh	Realistische Winterproduktion GWh	Gesamtbewertung
	Kombination Dallenwil	4.3	1.6	0.89
	Kombination Hergiswil	1.9	0.9	0.69
14	Lielibach	6.5	2.1	1.53
15	Lielibach oben	2.2	0.6	0.90
72	Luterseebach	5.3	1.3	1.13
8	Melbach	1.5	0.7	1.09
18	Mühlebach Beckenried	0.3	0.1	1.44
19	Ratzenbach	1.0	0.4	1.36
64	Rotihaltengraben	2.6	0.7	1.89
65	Rotihaltengraben oben	1.9	0.5	0.53
77	Schiessibach	1.1	0.3	0.64
45	Secklisbach Restwasserstrecke	18.5	3.8	1.47
46	Secklisbach Schwall-Sunk Strecke	9.5	1.8	0.97
49	Singäubach	5.9	1.3	1.05
39	Steinibach Dallenwil	5.5	2.1	0.97
4	Steinibach Hergiswil	2.1	0.8	0.83
12	Träschlibach	1.8	0.6	0.96
84	Trübenbach 1	6.4	1.5	1.29
83	Trübenbach 2	6.8	1.5	1.23
85	Trübenbach oben	2.9	0.7	0.83
86	Trübsee	14.8	2.1	1.10
87	Trübseebach	2.1	0.4	0.66
81	Wangbach	1.0	0.2	0.76
34	Wildibach	< 0.1	< 0.1	0.93

Abbildung 11: Kartographische Darstellung der Gewässerabschnitte gemäss ihrer Gesamtbewertung (Verhältnis Nutzung zu Schutz)¹¹. Eine detaillierte Darstellung befindet sich in Karte 7.

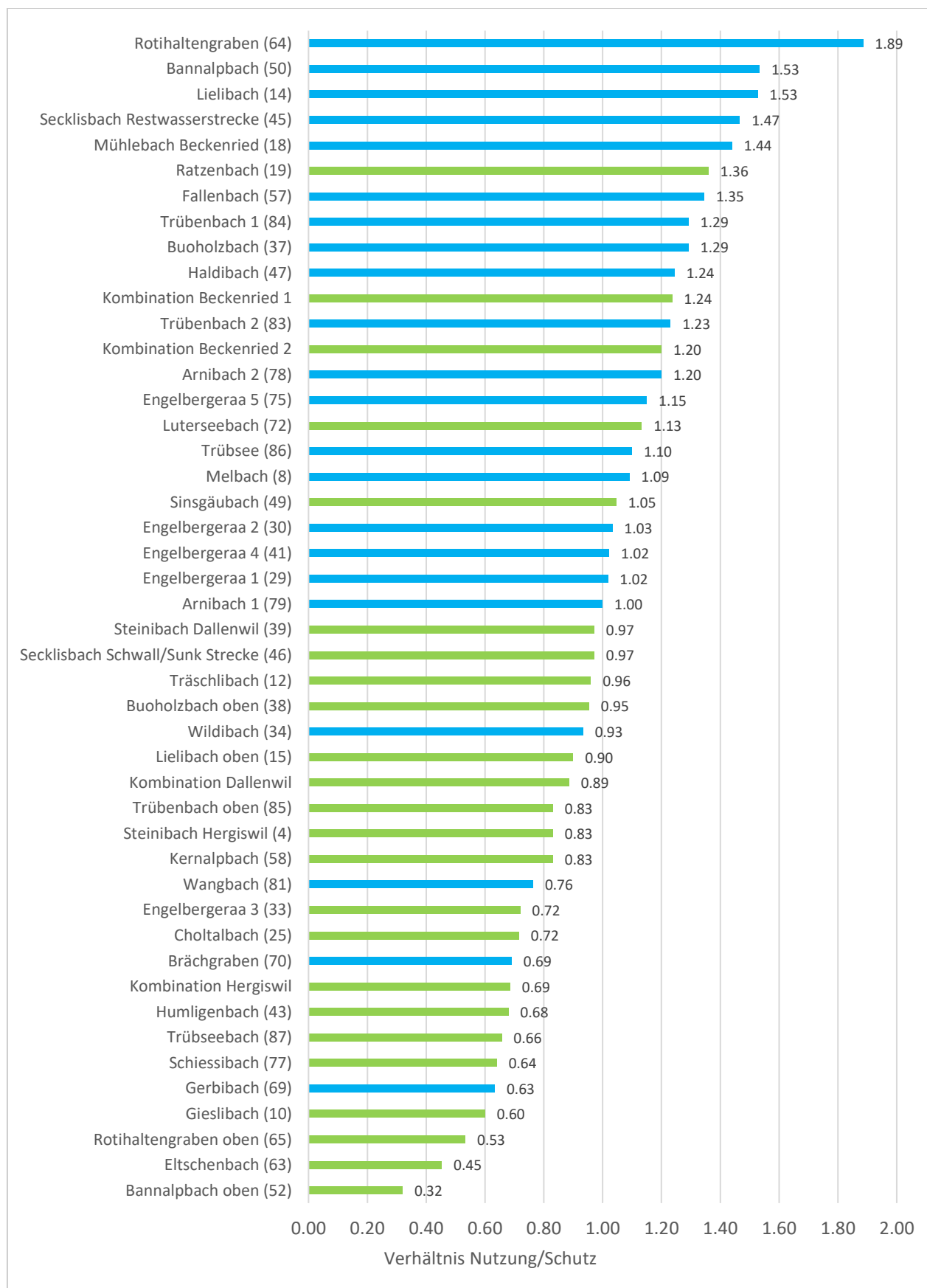
- Nutzung überwiegt Schutz deutlich, Wasserkraftprojekte im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben möglich (Gesamtbewertung grösser und gleich 1.2)
- Nutzung und Schutz liegen nahe beieinander, individuelle projektbezogene Beurteilung notwendig (Gesamtbewertung zwischen 0.8 und 1.2)
- Schutz überwiegt Nutzung deutlich, es bestehen Nutzungsvorbehalte (Gesamtbewertung kleiner und gleich 0.8)



¹¹ Die Kombinationsprojekte sind zur Wahrung der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Abbildung 12: Darstellung der Gewässerabschnitte gemäss ihrer Gesamtbewertung (Verhältnis Nutzung zu Schutz).

- Gewässerabschnitt ohne bestehende Wasserkraftnutzung
- Gewässerabschnitt mit bestehender Wasserkraftnutzung



3.5 Sensitivitätsanalyse

Um die Sensitivität der Bewertung des Teils Wasserkraft zu quantifizieren, wurde die vorgenommene Bewertung mit stark veränderten Gewichtungsfaktoren je Nutzungs- und Schutzkriterium wiederholt. Jeder Gewichtungsfaktor wurde einzeln auf 40 Prozent (moderate Szenarien) resp. 70 Prozent (extreme Szenarien) erhöht. Die anderen Gewichtungsfaktoren erhielten entsprechend Werte von jeweils 20 resp. 10 Prozent. Insgesamt wurden 16 unterschiedliche Szenarien untersucht (acht mit einer Variation der Gewichtungsfaktoren der Nutzungskriterien und acht mit einer Variation der Gewichtungsfaktoren der Schutzkriterien) und mit der Ausgangsbewertung (Szenario 0) verglichen. Abbildung 13 zeigt die Variabilität der Gesamtbewertung für alle 16 Szenarien.

Bei den ersten 14 Gewässerabschnitten überwiegt gemäss der Ausgangsbewertung die Nutzung. Für diese Gewässerabschnitte liegt die Mehrheit der Szenarien oberhalb 1.0, d.h. sofern die Gewichtungsfaktoren nicht extrem verändert werden, überwiegt nach wie vor die Nutzung. Allerdings kann es bei vereinzelt Szenarien zu einer Verschiebung in die mittlere Klasse kommen. Werte unter 0.8 und somit eine Überwiegung des Schutzes treten nur ganz vereinzelt auf (extreme Ausreisser).

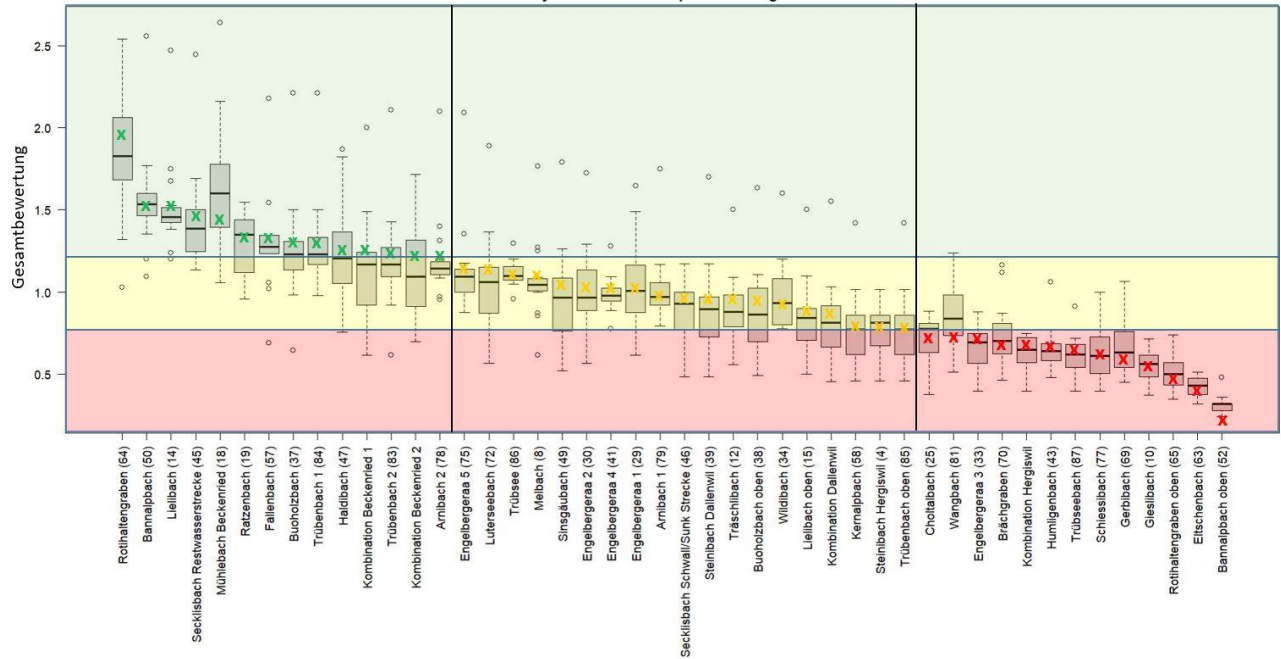
Die nächsten 19 Gewässerabschnitte wurden mit der mittleren Klasse bewertet (Gesamtbewertung zwischen 0.8 und 1.2). Hier liegt die Mehrheit der Szenarien nach wie vor im selben Bereich. Nur vereinzelt treten bei den untersuchten Szenarien Klassenwechsel in die beiden anderen Klassen auf.

Bei den restlichen 13 Gewässerabschnitten überwiegt gemäss der Ausgangsbewertung der Schutz. Für diese Gewässerabschnitte liegt die Mehrheit der Szenarien unterhalb von 1.0, d.h. der Schutz überwiegt nach wie vor. Bei einem Teil der Szenarien kann eine Verschiebung in die mittlere Klasse und bei wenigen Ausreissern gar eine Verschiebung in die Nutzungsklasse beobachtet werden.

Die Gewässerabschnitte der Nutzungsklasse und der mittleren Klasse zeigen für die verschiedenen Szenarien einen leichten Trend gegen unten (tiefere Bewertung). Bei den Gewässerabschnitten der Schutzklasse zeigt sich kein Trend, d.h. die Sensitivität der Bewertungen erfolgt etwa gleichmässig nach oben (höhere Bewertung) und nach unten (tiefere Bewertung).

Abbildung 13: Darstellung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse bei Veränderung der Gewichtungsfaktoren der Nutzungs- und Schutzkriterien. Die Kreuze stellen die Ausgangsbewertung dar (Szenario 0).

- Nutzung überwiegt Schutz deutlich, Wasserkraftprojekte im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben möglich (Gesamtbewertung über 1.2)
- Nutzung und Schutz liegen nahe beieinander, individuelle projektbezogene Beurteilung notwendig (Gesamtbewertung zwischen 0.8 und 1.2)
- Schutz überwiegt Nutzung deutlich, es bestehen Nutzungsvorbehalte (Gesamtbewertung unter 0.8)



Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zeigen insgesamt ein einheitliches und robustes Bild, obwohl die Gewichtungsfaktoren stark variiert wurden. Sie sind unempfindlich gegenüber kleineren bis mittleren Veränderungen und werden als eindeutig und plausibel betrachtet.

Detaillierte Angaben zur durchgeführten Sensitivitätsanalyse sind im Anhang 7.2 enthalten.

3.6 Veränderungen in der Zukunft

3.6.1 Klimaveränderung

Der Kanton Nidwalden und insbesondere das Einzugsgebiet der Engelbergeraas sind von der Klimaveränderung betroffen. Das Ausmass dieser Betroffenheit hängt im Wesentlichen davon ab, ob und in welchem Ausmass es der Weltbevölkerung gelingt, die Emissionen von Treibhausgasen zu reduzieren. Im Rahmen von Klimamodellen werden die Veränderungen der Klimaparameter in verschiedenen Emissionsszenarien modelliert und prognostiziert. Die folgenden Aussagen beziehen sich dabei auf ein mittleres Emissionsszenario (RCP 4.5¹²), bei welchem die notwendigen Klimaschutzmassnahmen weltweit teilweise umgesetzt werden. Unter diesem Szenario wird die Jahresmitteltemperatur im Gebiet der Engelbergeraas bis Mitte dieses Jahrhunderts gegenüber heute um 1.5 bis 2.5 °C und bis zum Jahr 2100 um 2 bis 3 °C zunehmen, während sich die mittleren Jahresniederschlagssummen kaum verändern werden. Allerdings ist mit einer Abnahme der sommerlichen Niederschläge um bis zu 30 Prozent und einer Zunahme der winterlichen Niederschläge um bis zu 20 Prozent zu rechnen. Diese Veränderungen werden direkte Auswirkungen auf die Abflussverhältnisse und somit auf die Wasserkraftproduktion haben. Das Abflussverhalten in der Engelbergeraas und deren seitlichen Zuflüsse hängt im Wesentlichen vom Wechselspiel zwischen Regen, Schnee und Gletschern ab. Durch die Klimaveränderung wird dieses Wechselspiel mehr oder weniger stark beeinflusst. Dabei spielt die Höhe eines Einzugsgebiets und der Vergletscherungsgrad die entscheidende Rolle. In höher gelegenen Einzugsgebieten wird der Einfluss von Gletschern und Schnee abnehmen. Die Bedeutung des direkt aus dem Regen entstehenden Abflusses wird überall zunehmen, jene der Zwischenspeicherung und Schmelze von Schnee und Eis hingegen abnehmen. Aufgrund dieser Überlegungen lassen sich im Einzugsgebiet der Engelbergeraas drei hydrologische Regionen unterscheiden, welche aus Sicht der Klimaveränderung betrachtet werden. Weiter wird die Veränderungen des Abflusses der Engelbergeraas bei Buochs zusätzlich separat betrachtet, da dieser durch die verschiedenen regionalen Einflüsse geprägt ist.

Für das Einzugsgebiet der Engelbergeraas liefert der hydrogeologische Atlas der Schweiz¹³ Daten und Informationen, welche für die nachfolgenden Auswertungen verwendet werden. Für die übrigen Regionen basieren die Aussagen auf Simulationen in benachbarten Einzugsgebieten ausserhalb der Engelbergeraas, deren Eigenschaften mit denen der jeweiligen Zielregion möglichst übereinstimmen¹⁴. Bei der Beurteilung wird zwischen den Abflussveränderungen im Winterhalbjahr (Oktober bis März) und im Sommerhalbjahr (April – September) unterschieden. Die prozentualen Angaben zeigen die Abweichungen zum Referenzzustand der Periode 1981 – 2010.

Beurteilung der Veränderungen

Vorab – und dies ist aus Sicht der Wasserkraftproduktion sehr wichtig – kann in allen drei Regionen davon ausgegangen werden, dass die langjährigen mittleren Abflüsse nur wenig abnehmen werden, in höher gelegenen Einzugsgebieten um etwa 5 Prozent, in tiefer gelegenen Einzugsgebieten zwischen 0 und 5 Prozent. Die saisonalen Abflüsse hingegen werden sich verändern, wie im Folgenden aufgezeigt wird. Mit der abnehmenden Bedeutung von Schnee und – wo heute vorhanden – der Gletscher, wird das Abflussverhalten zudem variabler, und zwar sowohl auf saisonaler Basis wie auch bei den Jahresabflüssen. Dies wird direkte Auswirkungen auf die Produktionssicherheit und den operationellen Betrieb haben.

¹² Representative Concentration Pathways (RCPs) aus dem 5. Sachbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC

¹³ Hydrogeologischer Atlas der Schweiz, Hydrol-CH2018, Szenarien bis 2100

¹⁴ Hydrogeologischer Atlas der Schweiz, Hydrol-CH2018, Szenarien bis 2100, Karte L03 von Freudiger et al. (2020)

Region 1: glazial geprägte Einzugsgebiete

Die Region 1 umfasst die Engelbergeraa und deren Zuflüsse oberhalb von Engelberg. Diese Region ist aus hydrologischer Sicht die produktivste. Die Abflüsse im Sommerhalbjahr sind markant grösser als jene im Winterhalbjahr. Die höchsten Abflüsse treten im Juni, Juli, August und Mai (in dieser Reihenfolge) auf, die kleinsten zwischen Dezember und März. Die Wasserkraftproduktion im Winter, die heute auf einem tiefen Niveau liegt, wird zulegen können. Die Abnahmen im Sommerhalbjahr werden im Mittel weniger als 15 Prozent betragen, wenn man davon ausgeht, dass sich die hydrologischen Veränderungen direkt auf die Wasserkraftproduktion durchschlagen (Tabelle 17).

Tabelle 17: Erwartete Veränderungen der Abflussspende infolge der Klimaveränderung für die Region 1.¹⁵

	Heute l/(s · km ²)	Veränderung bis 2060 %	Veränderung bis 2085 %
Jahresabflussspende	45	-5	-3
Abflussspende Sommer (Apr. – Sep.)	77	- 10	- 12
Abflussspende Winter (Okt. – Mär.)	14	+ 18	+ 30

Region 2: nival geprägte Einzugsgebiete

Die Region 2 beinhaltet die Zuflüsse zur Engelbergeraa zwischen Engelberg und oberhalb von Dallenwil (also exklusive Steinibach und Buholzbach). In dieser Region spielt der Schnee eine wichtige Rolle (nivale Regime). Die Schneeschmelze führt heute zu grossen Abflüssen zwischen April und Juni. Diese werden zurückgehen. Gleichzeitig werden sich die kleinen Abflüsse des Winterhalbjahrs um bis zu 25 Prozent erhöhen, was die winterliche Wasserkraftproduktion erhöhen wird (Tabelle 18). Mit der abnehmenden Bedeutung des Schnees wird die Variabilität der Abflüsse im Allgemeinen stark zunehmen. Es besteht zukünftig eine höhere Tendenz zur Trockenheit in den Sommermonaten.

Tabelle 18: Erwartete Veränderungen der Abflussspende infolge der Klimaveränderung für die Region 2.¹⁵

	Heute l/(s · km ²)	Veränderung bis 2060 %	Veränderung bis 2085 %
Jahresabflussspende	40	-5	0
Abflussspende Sommer (Apr. – Sep.)	62	- 15	- 13
Abflussspende Winter (Okt. – Mär.)	18	+ 20	+ 25

Region 3: pluvial geprägte Einzugsgebiete

Die Region beinhaltet die Zuflüsse der Engelberaa ab Dallenwil sowie sämtlich restliche Einzugsgebiete im Kanton Nidwalden, die nicht in die Engelbergeraa münden. In diesen Einzugsgebieten nimmt die Bedeutung des Schnees im Abflussverhalten ab, während gleichzeitig Niederschlag und Verdunstung an Bedeutung gewinnen. Dieser Effekt hängt von der abnehmenden mittleren Höhe der Einzugsgebiete ab. Die Jahreswerte des Abflusses sind kleiner als in den anderen Regionen. Auch die Unterschiede zwischen den Abflussmittelwerten des Sommer- und Winterhalbjahrs sind kleiner als im übrigen Gebiet und werden im Zuge der Klimaveränderung noch kleiner (Tabelle 19). Aus Sicht der Wasserkraft dürften die hohe Variabilität der Abflüsse und die Tendenz zu sehr kleinen Abflüssen zwischen Juli und Oktober besonders relevant sein.

Tabelle 19: Erwartete Veränderungen der Abflussspende infolge der Klimaveränderung für die Region 3.¹⁵

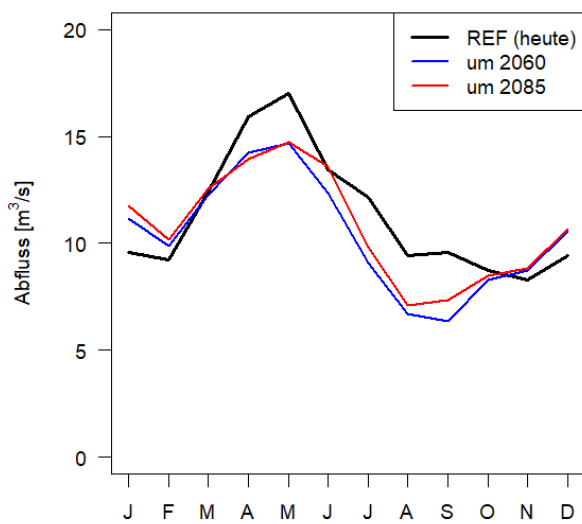
	Heute l/(s · km ²)	Veränderung bis 2060 %	Veränderung bis 2085 %
Jahresabflussspende	35	- 8	- 3
Abflussspende Sommer (Apr. – Sep.)	47	- 15	- 20
Abflussspende Winter (Okt. – Mär.)	23	+ 5	+ 10

¹⁵ Bei den Werten für die Zukunft handelt es sich um modellierte Medianwerte, welche im Rahmen des Projektes Hydro-CH2018 hergeleitet wurden.

Engelbergeraa in Buochs

Die Abbildung 14 zeigt die Veränderungen der mittleren Abflüsse der Engelbergeraa in Buochs unter dem Szenario RCP 4.5. Das saisonale Abflussverhalten ist aus dem Zusammenwirken der Zuflüsse aus den drei oben beschriebenen Regionen entstanden, wobei die Einflüsse der beiden oberen Regionen dominieren. Die Abnahme der langjährigen mittleren Jahresabflüsse beträgt weniger als 10 Prozent. Die Abflüsse im Winterhalbjahr (Oktober bis März) werden um 3 bis 10 Prozent zunehmen, jene des Sommerhalbjahrs um 15 bis 20 Prozent abnehmen. Ausgeprägt werden die Abnahmen besonders von Juni bis September sein. Ein Laufwasserkraftwerk im Unterlauf der Engelbergeraa könnte von den zunehmenden Winterabflüssen profitieren. Allerdings wird sich auch im Gesamtgebiet die Abflussvariabilität erhöhen.

Abbildung 14: Abflussverhältnisse bei der Engelbergeraa in Buochs im Zustand heute und in Zukunft unter Berücksichtigung des Emissionszenarios RCP 4.5. (Datengrundlage vgl. 2)



Fazit

Folgende Aspekte sind aus Sicht der Wasserkraftnutzung relevant:

- Die Jahresabflusswerte nehmen im Vergleich zu heute durchschnittlich um 5 bis 8 Prozent bis ins Jahr 2060 und um 0 bis 3 Prozent bis ins Jahr 2085 ab. Die Abnahme im Sommer wird durch einen über die Jahrzehnte zunehmenden Anstieg im Winter kompensiert. Im für die Wasserkraft besonders wichtigen Winterhalbjahr ist mit einer Zunahme von durchschnittlich 5 bis 20 Prozent bis ins Jahr 2060 und um 10 bis 30 Prozent bis ins Jahr 2085 zu rechnen.
- Mit der insgesamt geringen Abnahme der Jahresabflusswerte ändert sich eine wichtige Rahmenbedingung für die Wasserkraftnutzung in den nächsten 60 Jahren nur marginal.
- Die zunehmende Variabilität der Abflüsse verlangt mehr Flexibilität beim operationellen Betrieb bzw. wo vorhanden eine aktivere Bewirtschaftung der Speicher.

Mit den heute verfügbaren Daten und Modellen wäre es in einem nächsten Schritt möglich, diese allgemeinen regionalen Aussagen zu erweitern und zu vertiefen, um präzisere Informationen zu erhalten.

3.6.2 Revitalisierungsplanung

Der Artikel 38a des Gewässerschutzgesetzes (GSchG; SR 814.20) verpflichtet die Kantone, für die Revitalisierung von Gewässern zu sorgen und diese zu planen. In der Gewässerschutzverordnung (GSchV; SR 814.201) werden die Anforderungen an die kantonale Planung in Artikel 41d konkretisiert. Dabei handelt es sich um eine übergeordnete Planung auf strategischer Ebene, um die langfristigen Ziele der Revitalisierungen zu erreichen. Die Umsetzung der Revitalisierungen ist für einen Zeitraum bis 2090 vorgesehen.

Grundsätzlich können Wasserbauprojekte Auswirkungen auf die Bewertungen aller Schutzkriterien haben. Entsprechende Änderungen bei den Bewertungen werden künftig im Rahmen eines konkreten Projekts berücksichtigt und können zu einer neuen Ausgangslage hinsichtlich einer möglichen Nutzung in diesem Gewässerabschnitt führen.

3.6.3 Sanierung Wasserkraft

Im Jahr 2011 wurden das Gewässerschutzgesetz (GSchG; SR 814.20) und das Bundesgesetz über die Fischerei (BGF; SR 923.0) revidiert. Bis 2030 sind die Inhaber von Wasserkraftwerken und Geschiebesammlern verpflichtet, mit der Umsetzung zur Sanierung der Fließgewässer hinsichtlich Schwall-Sunk, Fischgängigkeit und Geschiebehaushalt zu beginnen.

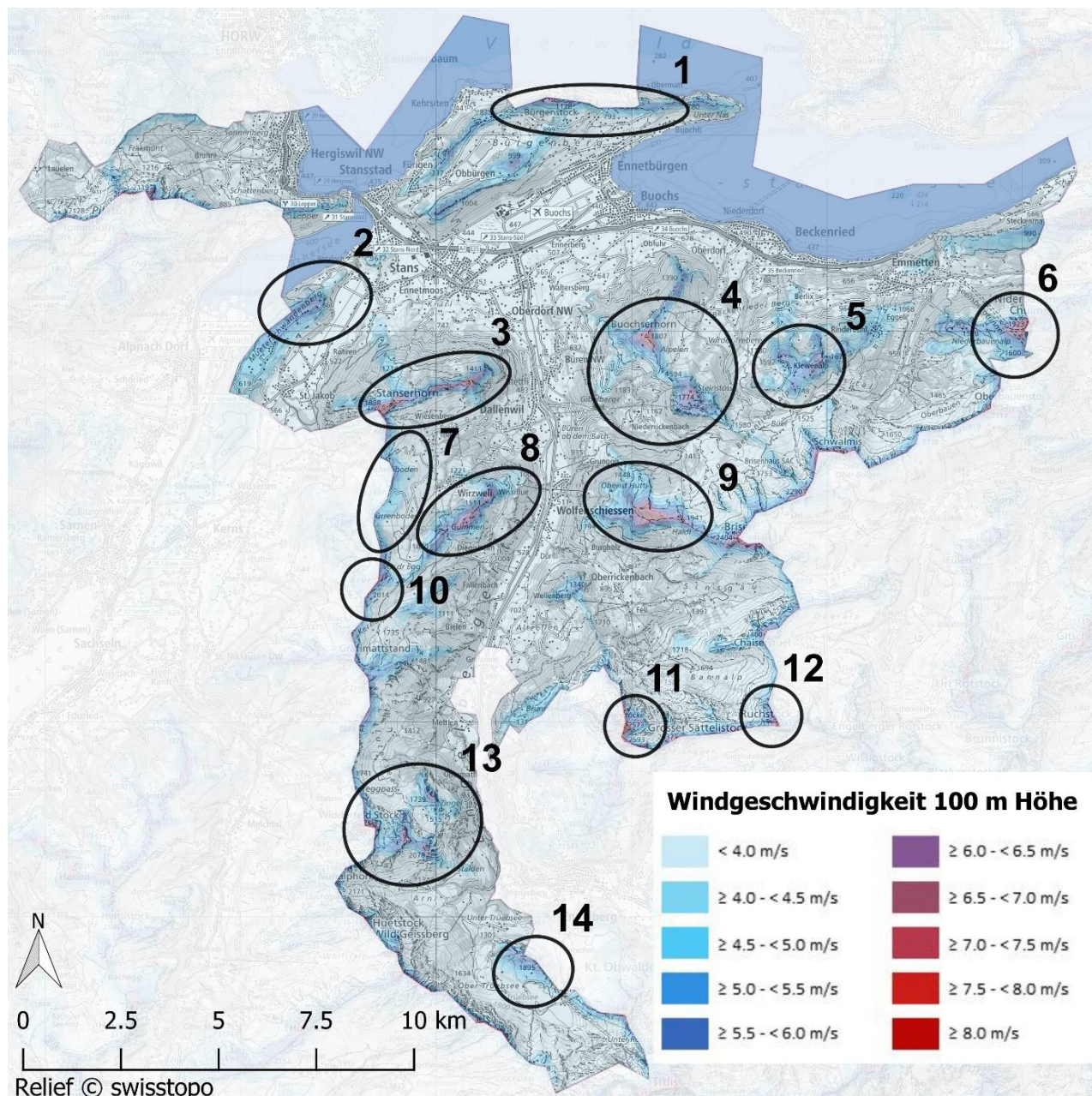
Die Umsetzung solcher Sanierungsmassnahmen kann Auswirkungen auf die Bewertungen der Nutzungskriterien Jahresproduktion, Winterproduktion und Flexibilität sowie auf die Bewertung der Schutzkriterien Wertvoller Lebensraum und Bedeutung landschaftliche Aspekte und Naherholung haben. Entsprechende Änderungen bei den Bewertungen werden künftig im Rahmen eines konkreten Projekts berücksichtigt und können zu einer neuen Ausgangslage hinsichtlich einer möglichen Nutzung des betroffenen Gewässerabschnitts führen.

4 Windkraft

4.1 Auswahl möglicher Gebiete

Mögliche Gebiete, die für eine Nutzung von Windenergie in Frage kommen, wurden anhand der mittleren Windgeschwindigkeit gemäss Windatlas Schweiz ermittelt. Ein wirtschaftlicher Einsatz einer Windenergieanlage ist ab einer mittleren Windgeschwindigkeit von 5 m/s möglich. Die entsprechenden Gebiete sind in Abbildung 15 dargestellt.

Abbildung 15: Gebiete mit mittleren Windgeschwindigkeiten über 5 m/s gemäss Windatlas Schweiz.



Ob in einem Gebiet Windkraftanlagen wirtschaftlich betrieben werden können, hängt zusätzlich von der Zugänglichkeit ab. In Tabelle 20 ist für die einzelnen Gebiete gemäss Abbildung 15 ersichtlich, ob sie aufgrund erschwelter Zugänglichkeit nicht weiterverfolgt werden. Unter Berücksichtigung der Windgeschwindigkeit und der Zugänglichkeit verbleiben sieben potentielle Gebiete, die hinsichtlich Schutz und Nutzung beurteilt werden.

Tabelle 20: Gebiete mit Windgeschwindigkeiten über 5 m/s gemäss Windatlas Schweiz.

Nr.	Gebiet	Bemerkungen
1	Bürgenberg	
2	Mueterschwandenberg	
3	Stanserhorn	Keine Weiterberücksichtigung aufgrund erschwelter Zugänglichkeit
4	Buochserhorn/Musenalp	Keine Weiterberücksichtigung aufgrund erschwelter Zugänglichkeit
5	Klewenalp	
6	Niederbauen	Keine Weiterberücksichtigung aufgrund erschwelter Zugänglichkeit
7	Ächerli	
8	Gummen	
9	Plütschgen-/Haldigrat	
10	Arvigrat	Keine Weiterberücksichtigung aufgrund erschwelter Zugänglichkeit
11	Walenstöcke	Keine Weiterberücksichtigung aufgrund erschwelter Zugänglichkeit
12	Ruchstock	Keine Weiterberücksichtigung aufgrund erschwelter Zugänglichkeit
13	Widderfeld	Keine Weiterberücksichtigung aufgrund erschwelter Zugänglichkeit
14	Bitzistock	

4.2 Nutzung

Die Nutzung wurde anhand folgender Kriterien bewertet:

- Jahresproduktion (Gewichtung 20 %)
- Winterproduktion (Oktober bis März, Gewichtung 80 %)

Jahresproduktion

Für eine energetische Betrachtung stellt die Jahresproduktion eine wichtige Kenngrösse dar. Die Jahresproduktion in einem möglichen Gebiet hängt dabei massgeblich von den Windbedingungen vor Ort ab. Zusätzlich hat die Wahl des Turbinentyps einen Einfluss auf die mögliche Stromproduktion und die Wirtschaftlichkeit einer Anlage. Um diese Sensitivität zu berücksichtigen, erfolgte die Berechnung der Jahresproduktion für verschiedene in Frage kommende Windturbinen. Die Jahresproduktion wurde aus der langjährigen Windverteilung in einem Gebiet gemäss Schweizer Windatlas und einer zu erwartenden Turbinenleistung berechnet.

Dabei wurde die Windverteilung bei einer Höhe von 100 Metern verwendet. Es wurden zudem Berechnungen für drei verschiedene Windturbinen mit einer Nabenhöhe von 100 Metern durchgeführt:

- Vestas V110 mit 2 MW Leistung
- Enercon E-103 mit 2.35 MW Leistung
- Nordex 131 mit 3 MW Leistung

Die Vestas V110 weist in allen Gebieten die geringsten Stromgestehungskosten auf, weshalb für die nachfolgende Bewertung von dieser Windturbine ausgegangen wurde.

Zur Beurteilung der Jahresproduktion wurden dieselben Klassen wie bei der Wasserkraft verwendet. Diese Klasseneinteilung wurde anhand eines schweizweiten Vergleichs von bestehenden Windenergieanlagen plausibilisiert (Tabelle 21).

Tabelle 21: Klasseneinteilung für das Nutzungskriterium Jahresproduktion für eine Windenergieanlage.

Klasse	Jahresproduktion GWh
1	< 0.5
2	0.5 – 1
3	1 – 2
4	2 – 5
5	> 5

In Tabelle 22 ist die berechnete Jahresproduktion sowie die daraus resultierende Bewertung dargestellt. Je nach Gebiet ist es möglich, mehrere Windenergieanlagen zu installieren.

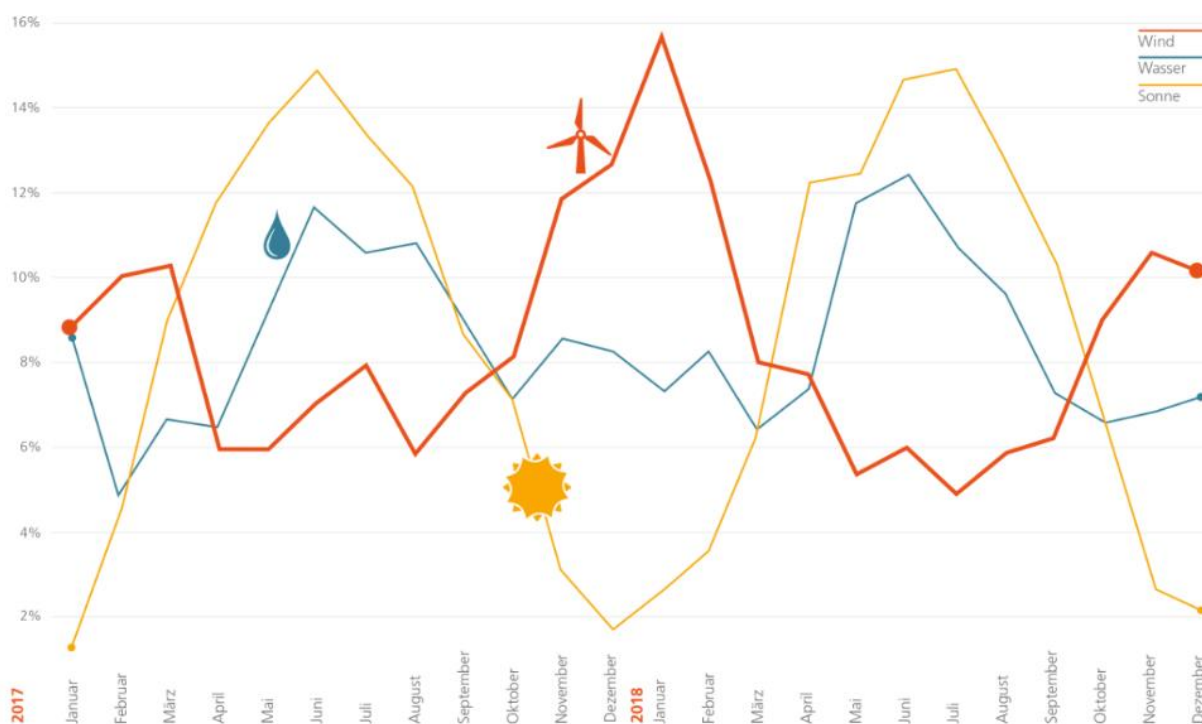
Tabelle 22: Jahresproduktion pro ausgewähltes Gebiet und die daraus resultierende Bewertung.

Nr.	Gebiet	Jahresproduktion pro Anlage GWh	Anzahl Anlagen	Jahresproduktion pro Gebiet GWh	Klasse
7	Ächerli	4.1	3	12.3	4
14	Bitzistock	5.0	1	5.0	4
1	Bürgenberg	5.0	3	15.0	4
8	Gummen	6.1	4	24.4	5
5	Klewenalp	5.4	3	16.2	5
2	Mueterschwandenberg	4.7	2	9.4	4
9	Plütschgen-/Haldigrat	5.5	4	22.0	5

Winterproduktion

Seit über 20 Jahren importieren die Schweiz und der Kanton Nidwalden im Winterhalbjahr Strom. Dieser Importbedarf wird sich im Zuge der Energiewende noch weiter verstärken. Während mit dem geplanten Ausstieg aus der Atomkraft auf nationaler Ebene ein grosser Teil der heutigen winterlichen Stromproduktion wegfallen wird, ist von einem bedeutenden Anstieg des Strombedarfs infolge der vorgesehenen Elektrifizierung von Verkehr und Gebäuden (Wärmegewinnung mittels Wärmepumpen) auszugehen. Abbildung 16 zeigt exemplarisch die monatliche Stromproduktion aus Wasserkraft, Windkraft und Photovoltaik in der Schweiz für die Jahre 2017 und 2018 prozentual zur jeweiligen Jahresproduktion. Im Unterschied zur Wasserkraft und zur Photovoltaik liegt die Phase mit erhöhter Stromproduktion für die Windkraft in den Wintermonaten.

Abbildung 16: Monatliche Stromproduktion für Wasserkraft, Windkraft und Photovoltaik prozentual zur jeweiligen Jahresproduktion¹⁶.



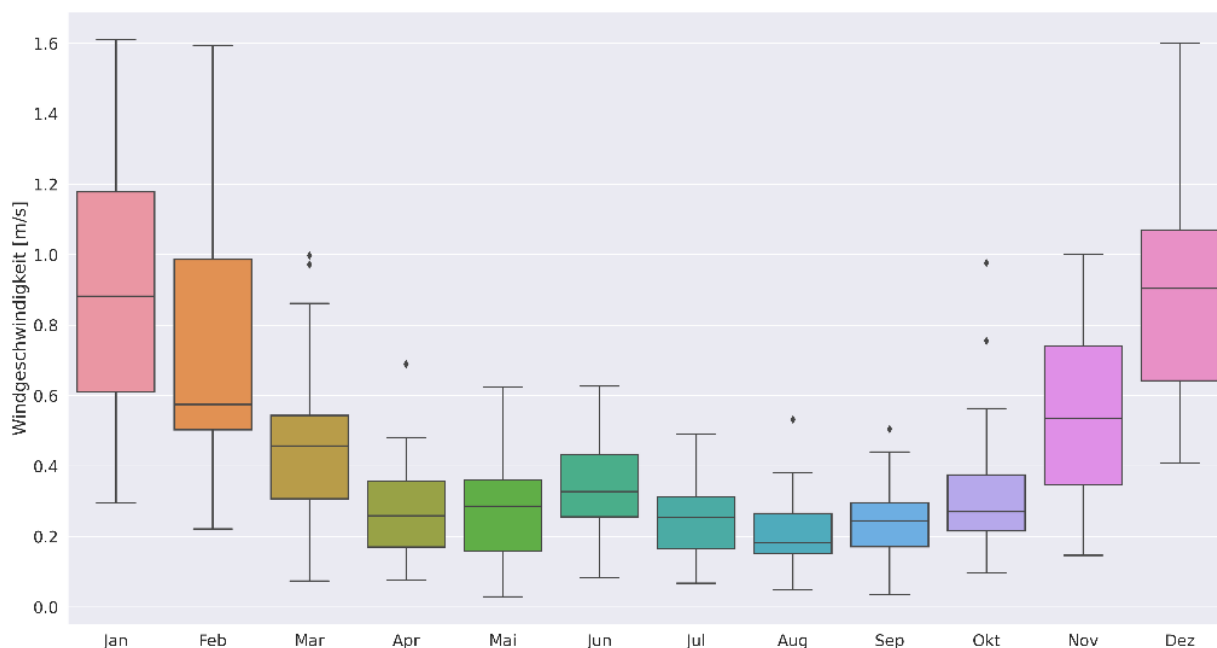
Für die Winterproduktion (Oktober bis März) wurden dieselben Klassen wie bei der Wasserkraft verwendet (Tabelle 23).

Tabelle 23: Klasseneinteilung für das Nutzungskriterium Winterproduktion für eine Windenergieanlage.

Klasse	Winterproduktion GWh
1	< 0.3
2	0.3 – 0.5
3	0.5 – 1
4	1 – 3
5	> 3

Die Winterproduktion wurde für den Zeitraum zwischen Oktober und März und der zu erwartenden Turbinenleistung berechnet. Zu beachten ist die hohe zeitliche Variabilität der Produktionswerte (Abbildung 17).

¹⁶ Quelle: Bundesamt für Energie BFE, <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/erneuerbare-energien/windenergie.html>

Abbildung 17: Windgeschwindigkeitsverteilungen pro Monat von 1995 bis 2018 für das Gebiet Gummen auf einer Höhe von 10 Metern über dem Grund¹⁷.

In Tabelle 24 sind die berechnete Winterproduktion und die daraus resultierende Bewertung dargestellt.

Tabelle 24: Winterproduktion pro ausgewähltes Gebiet und die daraus resultierende Bewertung.

Nr.	Gebiet	Winterproduktion pro Anlage GWh	Anzahl Anlagen	Winterproduktion pro Gebiet GWh	Klasse
7	Ächerli	2.4	3	7.2	4
14	Bitzistock	3.6	1	3.6	5
1	Bürgenberg	3.6	3	10.8	5
8	Gummen	4.3	4	17.2	5
5	Klewenalp	2.8	3	8.4	4
2	Mueterschwandenberg	3.7	2	7.4	5
9	Plütschgen-/Haldigrat	3.2	4	12.8	5

Bewertung Nutzung

In Tabelle 25 sind die Bewertungen der Nutzungskriterien für die definierten Gebiete dargestellt. Die Jahresproduktion wird mit 20 % und die Winterproduktion mit 80 % gewichtet.

Tabelle 25: Bewertung der Nutzung für die ausgewählten Gebiete

Nr.	Gebiet	Jahresproduktion	Winterproduktion	Bewertung Nutzung
7	Ächerli	4	4	4.00
14	Bitzistock	4	5	4.80
1	Bürgenberg	4	5	4.80
8	Gummen	5	5	5.00
5	Klewenalp	5	4	4.20
2	Mueterschwandenberg	4	5	4.80
9	Plütschgen-/Haldigrat	5	5	5.00

¹⁷ Datensatz erstellt durch COSMO-REA6, einem hochauflösenden Reanalysesystem basierend auf dem numerischen Wettervorhersagemodell COSMO (Consortium for Small-scale Modeling). Der Datensatz liefert monatlich gemittelte Windgeschwindigkeiten auf einer Höhe von 10 Metern über dem Grund, mit einer räumlichen Auflösung von 6 Kilometern. Die Abbildung dient lediglich zur Veranschaulichung der Windgeschwindigkeitsverteilung über das Jahr und nicht zur eigentlichen Bestimmung des Windenergiepotentials. Quelle: <https://reanalysis.meteo.uni-bonn.de/?COSMO-REA6>

4.3 Schutz

Zu vielen Schutzaspekten liegen im Kanton Nidwalden nur wenige Daten zur Verfügung, die mehrheitlich im Rahmen der Planung baulicher Massnahmen erfasst wurden. Dies umfasst insbesondere:

- geschützte Arten
- Lebensräume
- Gewässerraumzonen

Diese Aspekte sollen auch in Zukunft erst im Rahmen von konkreten Projekten untersucht werden. Ebenfalls erst im Rahmen von konkreten Projekten berücksichtigt werden:

- Kommunale Schutzzonen und Objekte
- Bundesinventar der historischen Verkehrswege der Schweiz (IVS)
- Wildruhe- und Jagdbanngebiete
- Gefahrenzonen

Der Schutz wurde anhand folgender Kriterien bewertet:

- Biotopschutz (Gewichtung 33.3 %)
- Landschaftsschutz (Gewichtung 33.3 %)
- Betroffenheit von Personen (Gewichtung 33.3 %)

Biotopschutz

Mit dem Schutzkriterium Biotopschutz wird der gesetzliche Schutzstatus eines Gebiets beschrieben. Es wurden dieselben Kriterien wie bei der Wasserkraft verwendet (Tabelle 26).

Tabelle 26: Klasseneinteilung für das Schutzkriterium Biotopschutz.

Klasse	Biotopschutz
1	kein Schutzgebiet
2	Schutzgebiet von lokaler Bedeutung
3	Schutzgebiet von regionaler Bedeutung
4	kantonales Schutzgebiet
5	nationales Schutzgebiet

Die Bewertungen der ausgewählten Gebiete anhand des Schutzkriteriums Biotopschutz wird in Tabelle 27 aufgeführt.

Tabelle 27: Bewertung des Schutzkriteriums Biotopschutz für die ausgewählten Gebiete

Nr.	Gebiet	Biotopschutz	Klasse
7	Ächerli	kein Schutzgebiet	1
14	Bitzistock	nationales Schutzgebiet ¹⁸	5
1	Bürgenberg	kein Schutzgebiet	1
8	Gummen	kein Schutzgebiet	1
5	Klewenalp	kein Schutzgebiet	1
2	Mueterschwandenberg	kein Schutzgebiet	1
9	Plütschgen-/Haldigrat	kein Schutzgebiet	1

¹⁸ Artenschutz: Bartgeier

Landschaftsschutz

Das Schutzkriterium Landschaftsschutz wurde anhand folgender Kriterien beurteilt (Tabelle 28).

Tabelle 28: Klasseneinteilung für das Schutzkriterium Landschaftsschutz.

Klasse	Landschaftsschutz
1	Kein BLN-Gebiet ¹⁹ und kein LES-Gebiet ²⁰
3	LES-Gebiet oder nahe BLN-Gebiet
5	BLN-Gebiet

Nahe BLN-Gebiet wird als innerhalb einer 150 m Pufferzone um das BLN-Gebiet definiert. Die Bewertung des Schutzkriteriums Landschaftsschutz wird in Tabelle 29 aufgeführt.

Tabelle 29: Bewertung des Schutzkriteriums Landschaftsschutz für die ausgewählten Gebiete

Nr.	Gebiet	Landschaftsschutz	Klasse
7	Ächerli ²¹	kein BLN-Gebiet und kein LES-Gebiet	1
14	Bitzistock	kein BLN-Gebiet und kein LES-Gebiet	1
1	Bürgenberg	BLN-Gebiet	5
8	Gummen	kein BLN-Gebiet und kein LES-Gebiet	1
5	Klewenalp ²²	BLN-Gebiet	5
2	Mueterschwandenberg	BLN-Gebiet	5
9	Plütschgen-/Haldigrat	kein BLN-Gebiet und kein LES-Gebiet	1

Betroffenheit von Personen

Für das Schutzkriterium Betroffenheit von Personen sind vor allem die Vorgaben der Lärmschutzverordnung sowie der Geräuschpegel während der Nacht entscheidend. Die Klassendefinitionen für dieses Schutzkriterium basieren daher auf einer Kombination dieser beiden Aspekte gemäss Tabelle 30.

Tabelle 30: Klasseneinteilung für das Schutzkriterium Betroffenheit von Personen.

		Empfindlichkeitsstufe gemäss Lärmschutzverordnung			
		IV Industrie	III Wohnen / Gewerbe	II Wohnen	I Erholung
Nächtlicher Geräuschpegel dB(A)	< 40	1	1	1	3
	40 - 45	1	1	3	5
	45 - 50	1	3	5	5
	> 50	3	5	5	5

Die Bewertungen des Schutzkriteriums Betroffenheit von Personen wird in Tabelle 31 aufgeführt.

¹⁹ Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmälern von nationaler Bedeutung

²⁰ Landschaftlich empfindliches Siedlungsgebiet

²¹ LES-Gebiet Würzwei

²² BLN-Gebiet Vierwaldstättersee mit Kernwald, Bürgenstock und Rigi

Tabelle 31: Bewertung des Schutzkriteriums Betroffenheit von Personen für die ausgewählten Gebiete

Nr.	Gebiet	Empfindlichkeitsstufe gemäss Lärmschutzverordnung	Nächtlicher Geräuschpegel dB(A)	Klasse
7	Ächerli	-	-	1
14	Bitzistock	-	-	1
1	Bürgenberg	-	-	1
8	Gummen	II Wohnen	40-45	3
5	Klewenalp	-	-	1
2	Mueterschwandenberg	-	-	1
9	Plütschgen-/Haldigrat	-	-	1

Bewertung Schutz

In Tabelle 32 sind die Bewertungen der Schutzkriterien für die definierten Gebiete dargestellt. Die Bewertung Schutz entspricht dem Mittelwert aus den drei Schutzkriterien.

Tabelle 32: Bewertung des Schutzes für die ausgewählten Gebiete

Nr.	Gebiet	Biotopschutz	Landschafts-schutz	Betroffenheit von Personen	Bewertung Schutz
7	Ächerli	1	1	1	1.00
14	Bitzistock	5	1	1	2.33
1	Bürgenberg	1	5	1	2.33
8	Gummen	1	1	3	1.67
5	Klewenalp	1	5	1	2.33
2	Mueterschwandenberg	1	5	1	2.33
9	Plütschgen-/Haldigrat	1	1	1	1.00

4.4 Gesamtbewertung

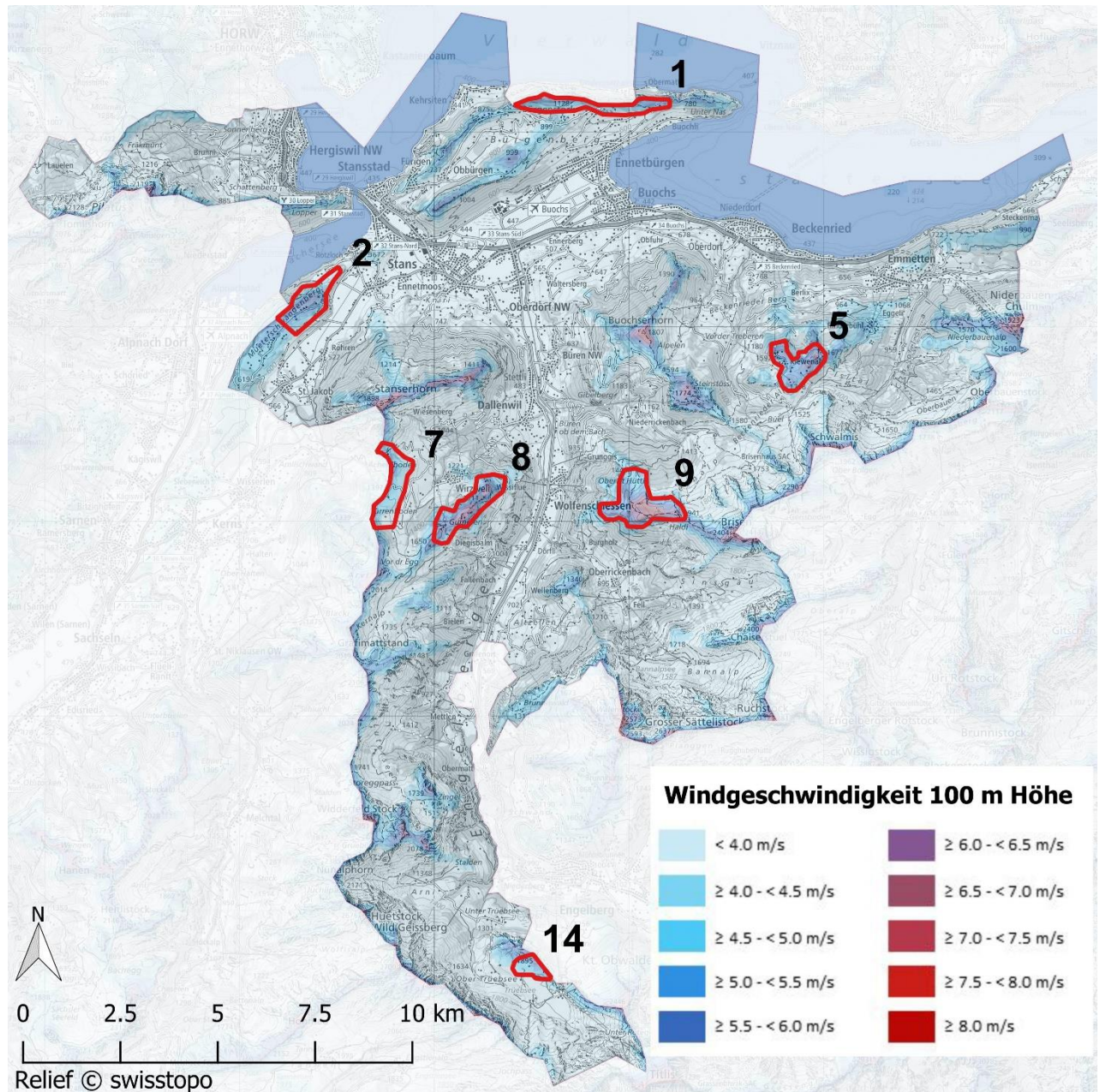
Die Gesamtbewertung erfolgt aus dem Verhältnis aus der Bewertung der Nutzung zur Bewertung des Schutzes (Tabelle 33). Alle Gebiete erreichen eine Gesamtbewertung grösser und gleich 1.2; entsprechend überwiegen die Nutzungsaspekte.

Tabelle 33: Gesamtbewertung anhand der Nutzungs- und Schutzkriterien.

Nr.	Gebiet	Anzahl Anlagen	Jahresproduktion pro Gebiet GWh	Winterproduktion pro Gebiet GWh	Gesamtbewertung
7	Ächerli	3	12.3	7.2	4.00
14	Bitzistock	1	5.0	3.6	2.06
1	Bürgenberg	3	15.0	10.8	2.06
8	Gummen	4	24.4	17.2	3.00
5	Klewenalp	3	16.2	8.4	1.80
2	Mueterschwandenberg	2	9.4	7.4	2.06
9	Plütschgen-/Haldigrat	4	22.0	12.8	5.00

In der Abbildung 18 sind für die anhand der Nutzungs- und Schutzkriterien bewerteten Gebiete mögliche Flächen angegeben.

Abbildung 18: Potentielle Gebiete für die Windkraftnutzung. Eine detaillierte Darstellung ist in Karte 8 und im Anhang 7.3 ersichtlich.



5 Photovoltaik

Bei der Photovoltaik (PV) wurde das Potential von Freiflächenanlagen und von Anlagen auf Infrastrukturbauten betrachtet. Das Potential von Photovoltaik auf Gebäuden (Dächer und Fassaden) von insgesamt 250 GWh Jahresproduktion (davon bisher 14.5 GWh genutzt) wurde nicht weiterverfolgt, weil bei diesen Projekten die Abwägung zwischen Schutz und Nutzen im Rahmen der Baugesetzgebung erfolgt. Ebenfalls nicht betrachtet wurden Agri-PV-Anlagen. Hier handelt es sich um Solaranlagen auf landwirtschaftlichen Flächen, welche Vorteile für die Nutzpflanzen bieten.

5.1 Freiflächenanlagen

Das gesamte Kantonsgebiet wurde in ein Raster von 50 mal 50 Meter aufgeteilt und jede dieser Flächen wurde einzeln bewertet.

5.1.1 Eingrenzung der bewerteten Gebiete

Nicht bewertete Gebiete

Nicht berücksichtigt für die Bewertung wurden die in Tabelle 34 aufgeführten Gebiete. Die in der Vernehmlassungsversion verwendeten Eingrenzungskriterien (Distanz zu Strassen, Gebäuden, Wald und Elektroleitungen) wurden bei der Überarbeitung nicht mehr berücksichtigt.

Tabelle 34: Liste der für die Bewertung nicht berücksichtigten Gebiete. Alle aufgeführten Gebiete werden für PV-Freiflächenanlagen als nicht geeignet betrachtet und daher von der Potenzialanalyse ausgeschlossen.

Nicht berücksichtigte Gebiete	Bemerkung
Wald und Wald offen (Wytweiden) inkl. Gebüschwald	
Waldreservate	
Seen und Flüsse, Geröll, Gletscher, Feuchtgebiete	Ungeeigneter Baugrund aus dem Topografische Landschaftsmodell TLM (TLM_BODENBEDECKUNG; Codes 3, 45, 7, 8, 9, 10, 11, 15)
Permafrostgebiete	Ungeeigneter Baugrund. Gemäss der <i>Hinweiskarte der Permafrostverbreitung in der Schweiz</i> ²³ des BAFU (in 25 m Auflösung). Isolierte, alleinstehende Rasterzellen mit Permafrost werden nicht berücksichtigt.
Hangneigung ²⁴	PV-Anlagen im sehr steilen Gelände sind schwierig zu realisieren und in höheren Lagen nehmen bereits ab 30° Probleme mit Lawinen und Schneedruck massiv zu. Eine Obergrenze für die maximal erlaubte Hangneigung von 45° wurde verwendet.
Skipisten Golfplätze Langlaufloipen	Plus 100 m Buffer um die Skipisten. Basierend auf OpenStreetMap Daten. Vollständigkeit nicht gegeben.

²³ Weitere Informationen siehe: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/naturgefahren/fachinformationen/naturgefahrensituation-und-raumnutzung/verkehrgrundlagen/hinweiskarte-der-permafrostverbreitung-in-der-schweiz.html>

²⁴ Durch das Anwenden einer Obergrenze für die maximal erlaubte Hangneigung von 45° fallen Felswände aus der Analyse. Dies ist sinnvoll, da die meisten Felswände und sehr steilen Hänge, insbesondere im voralpinen und alpinen Gelände, nicht für Freiflächen PV-Anlagen geeignet sind. Es ist aber durchaus möglich, dass einzelne Felswände für PV-Anlagen geeignet sind. Diese werden in dieser Analyse weder positiv noch negativ bewertet.

Nicht berücksichtigte Gebiete	Bemerkung
Eisenbahnstrecken	Topografisches Landschaftsmodell TLM «TLM_EISENBAHN»
Bauzonen	Gebäude ausserhalb der Bauzone wurden nicht ausgeschlossen, da es sich dabei oft um Einzelgebäude handelt, welche die Eignung einer 2500 m ² Rasterzelle nicht massgeblich beeinflussen.

Fruchtfolgefleichen wurden nicht als Ausschlusskriterium definiert, weil der Datensatz der Fruchtfolgefleichen im Kanton Nidwalden grundlegend überarbeitet wird. Dies bedeutet nicht, dass auf Fruchtfolgefleichen Freiflächenanlagen gebaut werden dürfen.

Ausschlussgebiete

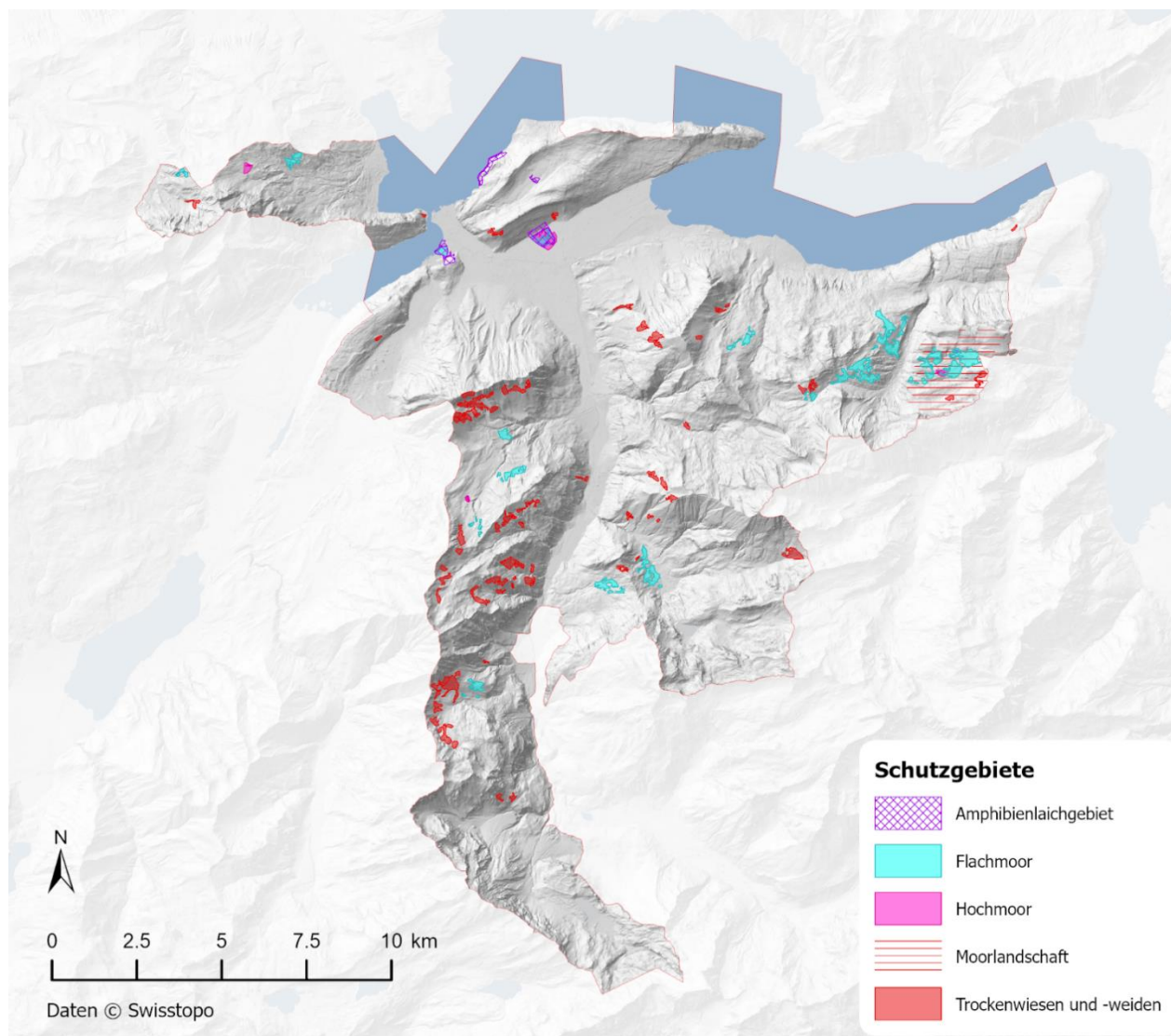
In folgenden Schutzgebieten überwiegen die Schutzinteressen immer und eine Nutzung ist ausgeschlossen:

- Amphibienlaichgebiete
- Flach- und Hochmoore
- Moorlandschaft
- Trockenwiesen und -weiden.

Smaragdgebiete (europäische Schutzgebiete, um besonders wertvolle Arten und Lebensräume zu schützen) gelten nicht mehr als Ausschlusskriterium und werden bei der Schutzbewertung berücksichtigt. Auengebiete sowie Wasser- und Zugvogelreservate nationaler Bedeutung gibt es im Kanton Nidwalden keine.

Die Ausschlussgebiete sind in Abbildung 19 dargestellt.

Abbildung 19: Kartographische Darstellung der Ausschlussgebiete für die Nutzung der Photovoltaik, dargestellt auf dem 50 mal 50 m Raster. Eine detaillierte Darstellung befindet sich in Karte 9.



5.1.2 Nutzung

Die Nutzung wurde anhand der Globalstrahlung²⁵ [kWh/m²] pro Rasterzelle bewertet:

- Jahressumme der Globalstrahlung (Gewichtung 20 %)
- Wintersumme der Globalstrahlung (Oktober bis März, Gewichtung 80 %)

Im Vergleich zur Vernehmlassungsversion wurde das Kriterium Infrastruktur nicht mehr berücksichtigt. Die Wirtschaftlichkeit soll im Rahmen eines konkreten Projekts beurteilt werden.

Neu wurde ausserdem ein Mindestwert für die Jahres- und Wintersumme der Globalstrahlung festgelegt. Rasterzellen mit Globalstrahlungswerten unter dem jeweiligen Mindestwert wurden in der weiteren Bewertung nicht berücksichtigt, weil diese Gebiete zu schattig für Freiflächenanlagen sind. Zum Ausschluss genügt es, wenn eine Rasterzelle einen der beiden Mindestwerte unterschreitet.

²⁵ Für Details zu Berechnung der Globalstrahlung siehe Anhang 7.4

Die Klassen wurden wie folgt gebildet:

- Die Verteilung der Werte für die Jahressumme der Globalstrahlung wurde untersucht. Dabei wurde einerseits die mathematische Verteilung (Histogramm) der Globalstrahlungswerte im Gebiet um Nidwalden berücksichtigt, damit die Klassen diese Verteilung abbilden.
- Es wurde qualitativ überprüft, dass die Klassen die Eignung für Freiflächen PV-Anlagen im Kanton Nidwalden widerspiegeln. Ein hoch gelegener, relativ steiler Südhang soll also in Klasse 4 oder 5 liegen. Tiefer gelegene Ost- oder Westhänge sind eher in Klassen 2 oder 3 zu finden. Flache oder beschattete Gebiete oder Nordhänge sollten in Klasse 1 liegen oder den Mindestwert nicht erreichen und somit komplett ausgeschlossen werden.
- Die Werte der PV-Produktion [kWh/m²], welche eine Rasterzelle mit einer bestimmten Globalstrahlung und innerhalb einer Klasse aufweist, wurden weiter untersucht. Gebiete mit einer hohen Eignungsklasse weisen auch eine hohe PV-Produktion auf.

Dies führt zu Eignungsklassen, welche nicht immer in konstanten Intervallen ansteigen.

Jahressumme der Globalstrahlung

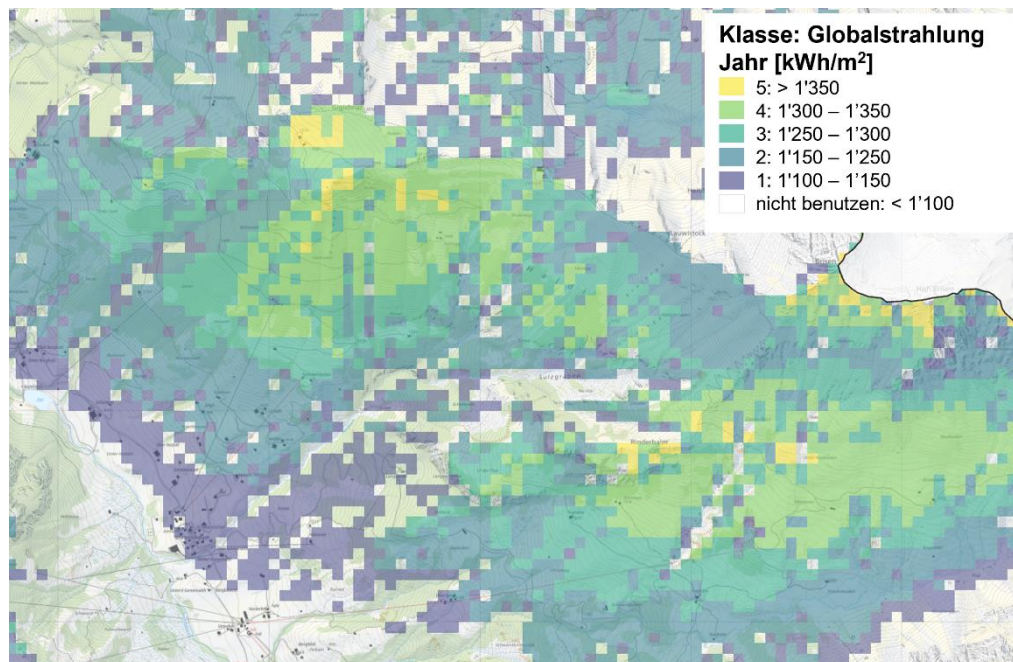
Der Mindestwert für die Jahressumme der Globalstrahlung ist 1'100 kWh/m². Aus der Verteilung der Globalstrahlungswerte wird ersichtlich, dass Werte zwischen 1'100 und 1'150 kWh/m² am häufigsten sind. Klasse 1 deckt deshalb ein kleines Intervall von nur 50 kWh/m² (1'100 – 1'150) ab. Klasse 2 deckt ein Intervall von 100 kWh/m² ab, während die höheren Klassen erneut 50 kWh/m² Intervalle abdecken, damit nur die strahlungsreichsten Gebiete in diese Klassen fallen. Tabelle 35 zeigt die Klassen für die Jahressumme der Globalstrahlung.

Tabelle 35: Klassengrenzen basierend auf der Jahressumme der Globalstrahlung.

Klasse	Jahressumme der Globalstrahlung kWh/m ²
Nicht berücksichtigt	< 1'100
1	1'100 – 1'150
2	1'150 – 1'250
3	1'250 – 1'300
4	1'300 – 1'350
5	> 1'350

Abbildung 20 zeigt ein Beispiel für die Nutzungsklassen basierend auf der Jahressumme der Globalstrahlung.

Abbildung 20: Die Nutzungsklassen basierend auf der Jahressumme der Globalstrahlung um den Brisen und den Haldigrat. Nicht eingefärbte Gebiete erreichen den Mindestwert von 1'100 kWh/m² nicht.



Wintersumme der Globalstrahlung

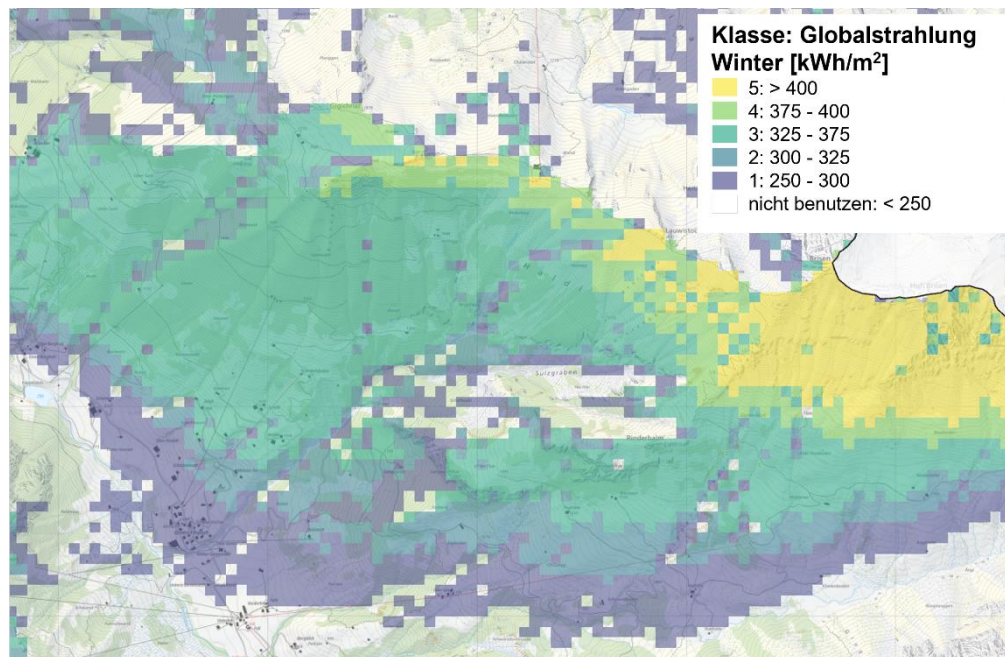
Der Mindestwert für die Wintersumme der Globalstrahlung beträgt 250 kWh/m². Werte zwischen 280 und 320 kWh/m² sind am häufigsten. Klasse 2 deckt deshalb ein kleines Intervall von nur 25 kWh/m² (300 - 325) ab. Klasse 3 deckt ein 50 kWh/m² Intervall ab, während die Intervalle für Klassen 4 und 5 erneut kleiner werden, damit nur die strahlungsreichsten Gebiete in diese Klassen fallen. Tabelle 36 zeigt die Klassen für die Wintersumme der Globalstrahlung.

Tabelle 36: Klassengrenzen für Nutzen basierend auf der Wintersumme der Globalstrahlung.

Klasse	Jahressumme der Globalstrahlung kWh/m ²
Nicht berücksichtigt	< 250
1	250 - 300
2	300 - 325
3	325 - 375
4	375 - 400
5	> 400

Abbildung 21 zeigt ein Beispiel für die Nutzungsklassen basierend auf der Wintersumme der Globalstrahlung. Die Wintersumme der Globalstrahlung und deren Eignungsklassen folgen stark dem Gelände. Dies weil die Sonne in den Wintermonaten flach steht und Nordhänge und tiefe Täler wenig Einstrahlung erhalten. Weiter tritt in der Höhe im Winter weniger Nebel auf.

Abbildung 21: Die Nutzungsklassen basierend auf der Wintersumme der Globalstrahlung um den Brisen und den Haldigrat. Nicht eingefärbte Gebiete erreichen den Mindestwert von 250 kWh/m² nicht.



Bewertung Nutzung

Die Nutzung der Photovoltaik auf Freiflächen macht insbesondere an Standorten in Höhenlagen Sinn, da diese im Vergleich zu Flächen im Talboden eine deutlich bessere Besonnung im Winterhalbjahr aufweisen. Entsprechend wird die Winterproduktion mit 80 Prozent deutlich stärker als die Jahresproduktion gewichtet. Die Bewertung Nutzung erfolgte pro Rasterzelle automatisiert. Die Darstellung erfolgt erst im Rahmen der Gesamtbewertung.

5.1.3 Schutz

Zu vielen Schutzaspekten liegen im Kanton Nidwalden nur wenige Daten zur Verfügung, die mehrheitlich im Rahmen der Planung baulicher Massnahmen erfasst wurden. Dies umfasst insbesondere:

- Geschützte Arten
- Lebensräume
- Gewässerraumzonen

Diese Aspekte sollen auch in Zukunft erst im Rahmen von konkreten Projekten untersucht werden. Ebenfalls erst im Rahmen von konkreten Projekten berücksichtigt werden:

- Kommunale Schutzzonen und Objekte
- Bundesinventar der historischen Verkehrswege der Schweiz (IVS)
- Wildruhe- und Jagdbanngebiete
- Gefahrenzonen

Der Schutz wurde anhand folgender Kriterien bewertet:

- Biotopschutz (Gewichtung 40 %)
- Landschaftsschutz (Gewichtung 40 %)
- Landwirtschaft und Alpwirtschaft (Gewichtung 20 %)

Das Kriterium «Einsehbarkeit und Blendung» wurde bei der Überarbeitung nach der Vernehmlassung nicht mehr verwendet. Das Kriterium Landwirtschaft und Alpwirtschaft wurde neu mit 20 % gewichtet.

Biotopschutz

Mit dem Schutzkriterium Biotopschutz wird der gesetzliche Schutzstatus eines Gebiets beschrieben. Es wurden dieselben Kriterien wie bei der Wasserkraft verwendet (Tabelle 37).

Tabelle 37: Klasseneinteilung für das Schutzkriterium Biotopschutz

Klasse	Biotopschutz	Verwendeter Datensatz
1	kein Schutzgebiet	-
2	Schutzgebiet von lokaler Bedeutung	Keine Vorhanden
3	Schutzgebiet von regionaler Bedeutung	Wildschutzgebiete Landschaftsschutzgebiete Pflanzenschutzgebiete Flachmoore – Puffergebiet Regionale Naturschutzzonen Flachmoore Trockenwiesen- und Weiden Flachmoor Stansstaderried Flach- und Hochmoor Gnappiried Hochmoore Auengebiete (Grafenort)
4	kantonales Schutzgebiet	Pflanzenschutzgebiete Kantonale Naturschutzzonen
5	nationales Schutzgebiet	Wildruhezonen Smaragdgebiete

Landschaftsschutz

Das Schutzkriterium Landschaftsschutz wurde anhand derselben Kriterien wie bei der Windkraft beurteilt (Tabelle 38).

Tabelle 38: Klasseneinteilung für das Schutzkriterium Landschaftsschutz.

Klasse	Landschaftsschutz
1	Kein BLN-Gebiet ²⁶ und kein LES-Gebiet ²⁷
3	LES-Gebiet oder nahe BLN-Gebiet
5	BLN-Gebiet

"Nahe BLN-Gebiet" wird als innerhalb einer 150 m Pufferzone um das BLN-Gebiet definiert.

Landwirtschaft und Alpwirtschaft

Bei einer Realisierung von Photovoltaikanlagen ausserhalb der Bauzone können land- oder alpwirtschaftliche Flächen beansprucht werden. Um für Alpbetriebe Möglichkeiten zur Nutzung der Solarenergie zu schaffen, werden Landwirtschaft und Alpwirtschaft bewusst weniger stark gewichtet als die anderen Schutzkriterien. Für die Realisierung einer Anlage ist in jedem Fall die Zustimmung des Grundeigentümers notwendig. Die Bewertung dieses Schutzkriteriums erfolgt gemäss Tabelle 39.

²⁶ Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmälern von nationaler Bedeutung

²⁷ Landschaftlich empfindliches Siedlungsgebiet

Tabelle 39: Klasseneinteilung für das Schutzkriterium Landwirtschaft und Alpwirtschaft.

Klasse	Landwirtschaft und Alpwirtschaft	Code und Name des Flächentyps ²⁸
1	keine landwirtschaftliche und keine alpwirtschaftliche Nutzung	-
3	alpwirtschaftliche Nutzung ²⁹	0930 Sömmerungsweiden 0621 Heuwiesen im Sömmerungsgebiet 0622 Heuwiesen im Sömmerungsgebiet (EW)
5	landwirtschaftliche Nutzung ³⁰	0616 Weide (Heimweiden, üb. Weide ohne Sö.geb.) 0611 Extensiv genutzte Wiesen (ohne Weiden) 0613 Übrige Dauerwiesen (ohne Weiden) 0617 Extensiv genutzte Weiden 0612 Wenig intensiv genutzte Wiesen (ohne Weiden) 0705 Mehrjährige Beeren 0725 Permakultur 0508 Körnermais 0706 Mehrjährige Heil- und Gewürzpflanzen 0524 Kartoffeln 0635 Uferwiesen (ohne Weiden) 0601 Kunstwiese (ohne Weiden) 0521 Silo- und Grünmais 0536 Bohnen und Wicken zur Körnergewinnung (z.B. Ackerbohnen) 0720 Gepflegte Selven (Kastanienbäume) 0813 Beerenkulturen in geschütztem Anbau ohne festes Fundament; im gewachsenen Boden 0797 Übrige Dauerkulturen (beitragsberechtigt) 0701 Reben 0551 Einjährige Beeren (Erdbeeren etc.) 0704 Obstanlagen Steinobst 0545 Freilandgemüse (ohne Kons.gemüse) 0811 Gemüsekulturen in geschütztem Anbau ohne festes Fundament; im gewachsenen Boden 0553 Einjährige Gewürz- und Medizinalpflanzen 0618 Waldweiden (ohne bewaldete Flächen) 0709 Rhabarber 0710 Spargel 0703 Obstanlagen Birnen 0702 Obstanlagen Äpfel 0513 Winterweizen ohne Futterweizen swissgranum 0572 Nützlingsstreifen auf offener Ackerfläche 0504 Hafer 0510 Hartweizen 0554 Einj. gärtn. Freilandkult. (Blumen, Rollrasen)

Bewertung Schutz

Die Bewertung Schutz erfolgte automatisiert pro Rasterzelle. Die Darstellung erfolgt erst im Rahmen der Gesamtbewertung.

²⁸ Es wurde der Geodatenatz Nutzungsarten_agriGIS verwendet.

²⁹ Sömmerungsweiden

³⁰ andere landwirtschaftlich genutzte Flächen

5.1.4 Gesamtbewertung

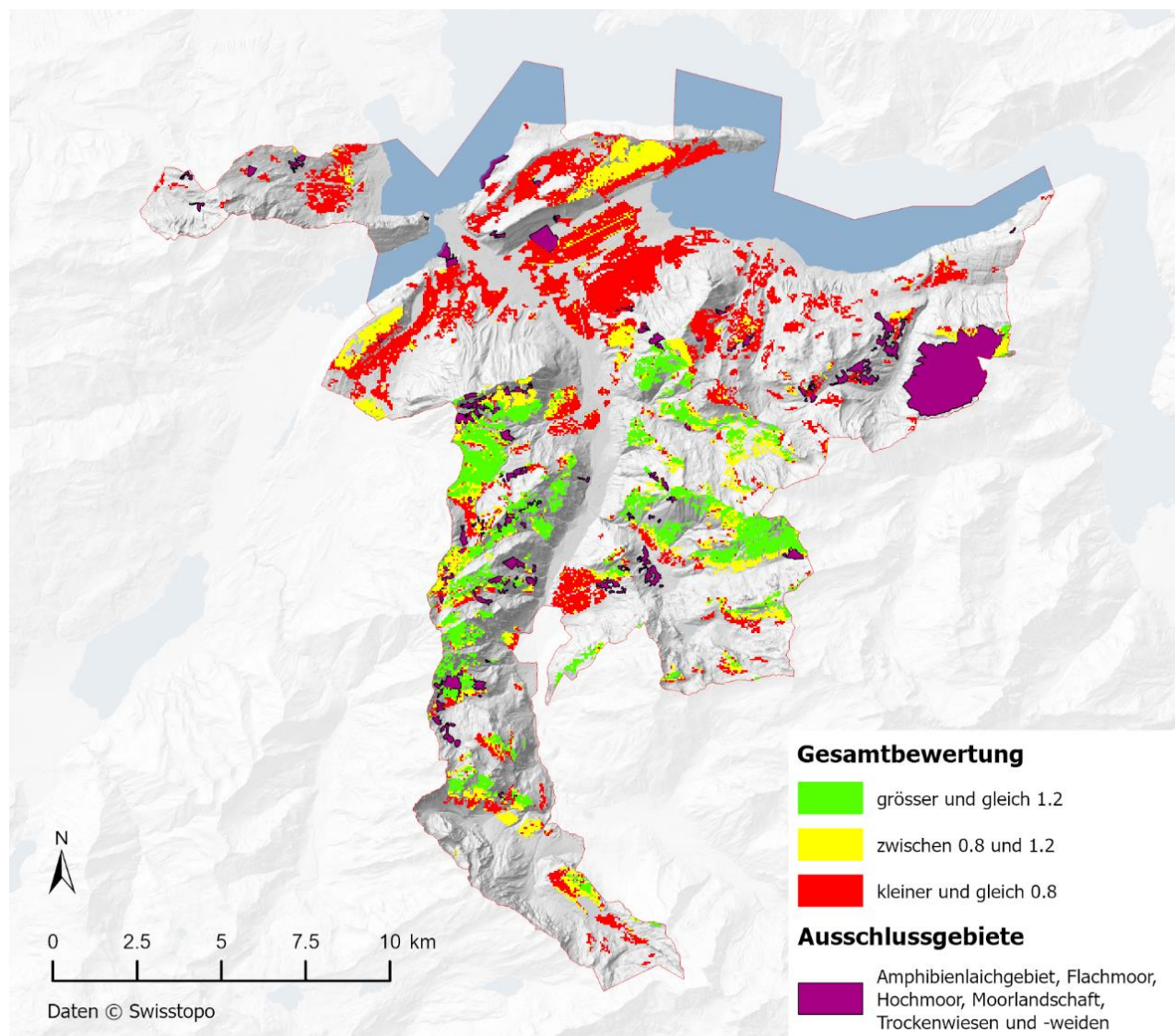
Pro Rasterzelle mit einer Fläche von 2'500 m² wurden die mittlere Nutzungsklasse und die mittlere Schutzklasse automatisiert berechnet. Die Gesamtbewertung erfolgte pro Rasterzelle aus dem Verhältnis aus der Bewertung der Nutzung zur Bewertung des Schutzes (Abbildung 22).

Bei Flächen, welche mit einem Verhältnis über 1.2 bewertet werden, überwiegen die Nutzungsaspekte. PV-Projekte sind im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben möglich. Bei einem Verhältnis unter 0.8 überwiegen die Schutzaspekte deutlich und gegenüber PV-Projekten auf diesen Flächen bestehen Nutzungsvorbehalte. Liegt das Verhältnis zwischen 0.8 und 1.2, liegen die Bewertungen der Schutz- und Nutzungsaspekte im Bereich der Unschärfe der Bewertungsmethode. Für eine Nutzung ist eine individuelle projektbezogene Beurteilung notwendig.

Isolierte, alleinstehende Gruppen von Rasterzellen mit vier oder weniger Rasterzellen wurden gelöscht, weil diese eine zu geringe Fläche von maximal 10'000 m² aufweisen. Rasterzellen gelten als zusammenhängend, wenn sie sich über ihre Kanten oder Eckpunkte (diagonal) berühren.

Abbildung 22: Kartographische Darstellung der Freiflächen für die Nutzung der Photovoltaik unter Berücksichtigung besonders sensibler Schutzgebiete als Ausschusskriterium. Eine detaillierte Darstellung befindet sich in Karte 10.

- Nutzung überwiegt Schutz deutlich, PV-Projekte im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben möglich (Gesamtbewertung grösser und gleich 1.2)
- Nutzung und Schutz liegen nahe beieinander, individuelle projektbezogene Beurteilung notwendig (Gesamtbewertung zwischen 0.8 und 1.2)
- Schutz überwiegt Nutzung deutlich, es bestehen Nutzungsvorbehalte (Gesamtbewertung kleiner und gleich 0.8)



5.1.5 Betrachtung auf Gemeindeebene

Nutzbare Fläche

Für jede Gemeinde wurden die potentiell nutzbaren Flächen gemäss ihrer Klasse in der Gesamtbewertung berechnet. Sie sind in Tabelle 40 aufgeführt.

Tabelle 40: Potenziell nutzbare Fläche je Klasse pro Gemeinde.

Gemeinde	Gemeindefläche km ²	Fläche km ²		
		Nutzungs-kategorie	Mittlere Klasse	Schutzklasse
Beckenried	33.0	0.4	0.7	3.8
Buochs	12.0	0.0	0.2	3.7
Dallenwil	15.5	2.9	1.7	1.7
Emmetten	28.6	0.1	0.5	1.2
Ennetbuergen	17.7	0.0	2.0	2.7
Ennetmoos	15.0	0.0	1.3	3.5
Hergiswil	17.0	0.0	0.2	1.8
Oberdorf	16.2	1.6	1.2	3.5
Stans	11.1	0.0	0.1	2.0
Stansstad	17.1	0.0	0.0	1.9
Wolfenschiessen	92.7	8.8	5.6	5.0
Total	275.9	13.5	13.5	30.8

Mit der neuen Methodik werden in allen Klassen deutlich grössere Flächen ausgewiesen, insbesondere in der Schutzklasse. Ein Grund dafür ist, dass Hänge unter 20° nicht mehr ausgeschlossen werden, was dazu führt, dass auch flaches Terrain bewertet wird. Auf dem Talboden weisen diese Flächen jedoch eine geringe Einstrahlung auf (tiefe Bewertung im Nutzen) und sind von Schutzkriterien betroffen (Landwirtschaft), was zu einer tiefen Gesamtbewertung führt. Sie fallen entsprechend in die Schutzklasse. Das Weglassen des Kriteriums "Distanz zu Strassen und Elektroleitungen unter 500 m" führt dazu, dass generell deutlich mehr Fläche bewertet wird. Die Erfahrung zeigt, dass die Zugänglichkeit im Rahmen der Projektentwicklung geklärt wird und nicht bereits bei der Potentialanalyse zu einem Flächenausschluss führen soll. Schliesslich wurden die Fruchtfolgefleichen nicht ausgeschlossen. Dies führt dazu, dass im Talboden mehr potenzielle Fläche vorhanden ist, die sonst nicht berücksichtigt würde.

Jahresproduktion und Winterproduktion

Ausgehend von der Globalstrahlung berechnet die Software Meteonorm³¹ den spezifischen PV-Ertrag in kWh/kW (auch kWh/kWp genannt). Die Software liefert Monatswerte, die zur Jahressumme und zur Winter-summe (Monate Oktober bis März) aggregiert werden. Der spezifische PV-Ertrag für eine 75° geneigte, gegen Süden ausgerichtete Fläche wird als Basis für die Berechnung des PV-Potentials pro Gemeinde genommen. 75° Neigung ist eine gängige Neigung für PV-Module in alpinen, auf Winterstromertrag ausgerichteten Projekten.

Aus dem spezifische PV-Ertrag in kWh/kW wird mittels folgender Näherung die PV-Produktion pro m² Modulfläche berechnet:

$$PV_{Ertrag} = \frac{PV_{spezifisch} * PV_{corr}}{14.6} \text{ [kWh/m}^2 \text{ (Arealfläche)]}$$

$$PV_{corr} = 1 + 0.05 * \text{Neigung(Süden)} \text{ [-] (Wert zwischen 0.5 und 2.0 begrenzt)}$$

Neigung (Süden) ist der Anteil der Hangneigung [°] einer Rasterzelle, welche nach Süden gerichtet ist. Nordhänge haben negative Werte für *Neigung (Süden)*. Auf Südhängen lassen sich die Modulreihen enger bauen, da die gegenseitige Beschattung geringer ist. Dies wird mit dem Korrekturfaktor (PV_{corr}) modelliert. Der Wert

³¹ Für Details zur Software Meteonorm siehe Anhang 7.4

ist zwischen 0.5 und 2.0 begrenzt. Steile Südhänge würden sonst mit einem Korrekturfaktor von über 2.0 einen unrealistisch hohen PV-Ertrag aufweisen, während steile Nordhänge mit einem Korrekturfaktor von unter 0.5 einen unrealistisch tiefen PV-Ertrag hätten. Beispielsweise hat ein genau nach Süden ausgerichteter Hang mit einer Neigung von 25° einen PV_{corr} Faktor von $1 + 0.05 * (1 * 25^\circ) = 2.25$, welcher jedoch auf 2.0 begrenzt wird. $PV_{spezifisch}$ ist der spezifische PV-Ertrag in kWh/kW. Der Faktor von 14.6 für die Umrechnung von $PV_{spezifisch}$ zum PV_{Ertrag} pro Arealfläche leitet sich aus Annahmen zur Flächenausnutzung (0.38 m² Modulfläche / m² Arealfläche) und zum PV-Modul ab (22% Wirkungsgrad und eine Performance Ratio von 0.82). Die Performance Ratio ist ein Qualitätsfaktor einer PV-Anlage und berechnet sich als Verhältnis zwischen dem Ist-Ertrag und Soll-Ertrag. Darin enthaltene Verlustfaktoren sind beispielsweise die Verluste der Leitungen, Verluste im Wechselrichter oder die Verschmutzung der Photovoltaik Module.

Die erreichbaren Erträge pro Arealfläche ohne die Korrektur durch die Neigung liegen in den Alpen oft bei 80 – 130 kWh/m². Der eher geringe Wert ist dadurch bedingt, dass die Modulreihen relativ weit auseinanderstehen (6 m im flachen Gelände). Dies ermöglicht die Beweidung oder das Mähen und auch eine gute Besonnung im Hochwinter. Mit dem Korrekturfaktor PV_{corr} kann die Produktion jedoch an Südhängen oft 150 kWh/m² oder mehr betragen.

Die so berechnete PV-Produktion ist jedoch mit einer Unsicherheit von rund 10% behaftet und soll lediglich als Richtwert dienen.

In Tabelle 41 ist die potenziell mögliche Jahresproduktion auf Freiflächen pro Gemeinde aufgeführt.

Tabelle 41: Potenziell mögliche Jahresproduktion je Klasse pro Gemeinde.

Gemeinde	Jahresproduktion GWh		
	Nutzungsklasse	Mittlere Klasse	Schutzklasse
Beckenried	33.8	40.6	179.3
Buochs	0.1	11.3	144.9
Dallenwil	263.1	158.2	85.1
Emmetten	12.5	52.1	82.8
Ennetbuergen	1.3	244	267.4
Ennetmoos	1.8	111.2	221.9
Hergiswil	0.7	12.2	116.7
Oberdorf	176.8	127.8	222.2
Stans	0.3	7.6	106.2
Stansstad	0.0	3.9	156.8
Wolfenschiessen	1'082.5	512.2	355.0
Total	1'572.9	1'281.1	1'938.3

In Tabelle 42 ist die potenziell mögliche Winterproduktion auf Freiflächen pro Gemeinde aufgeführt.

Tabelle 42: Potenziell mögliche Winterproduktion je Klasse pro Gemeinde

Gemeinde	Winterproduktion GWh		
	Nutzungsklasse	Mittlere Klasse	Schutzklasse
Beckenried	14.6	17.0	70.7
Buochs	0.0	4.4	54.2
Dallenwil	120.8	70.9	32.6
Emmetten	5.9	23.5	30.8
Ennetbuergen	0.6	107.4	113.8
Ennetmoos	0.8	47.5	86.7
Hergiswil	0.3	5.1	46.3
Oberdorf	80.7	56.0	89.2
Stans	0.1	2.9	40.8
Stansstad	0.0	1.7	65.8
Wolfenschiessen	508.1	218.7	136.4
Total	731.9	555.1	767.3

Diskrepanzen zwischen den Tabellen zur ausgewiesenen Fläche und dem ausgewiesenen Potential können durch Rundungsfehler verursacht werden. So hat Stans abgerundet 0.0 km² potenziell nutzbare Fläche in der Nutzungsklasse, aber 0.3 GWh potentiell mögliche Jahresproduktion.

5.2 Anlagen auf Infrastrukturbauten

Als Infrastrukturbauten wurden Lärmschutzwände an Nationalstrassen, Autobahnüberdachungen, Kläranlagen und Parkplätze berücksichtigt. Die Flächen wurden manuell erhoben und es wurden nur Flächen von mindestens 1000 m² berücksichtigt.

Ein Eintrag dieser Standorte in den Richtplan ist nicht vorgesehen. Folglich wird im Unterschied zur Vernehmlassungsversion bei der Überarbeitung auf eine Bewertung verzichtet. Diese soll im Rahmen von konkreten Projekten erfolgen.

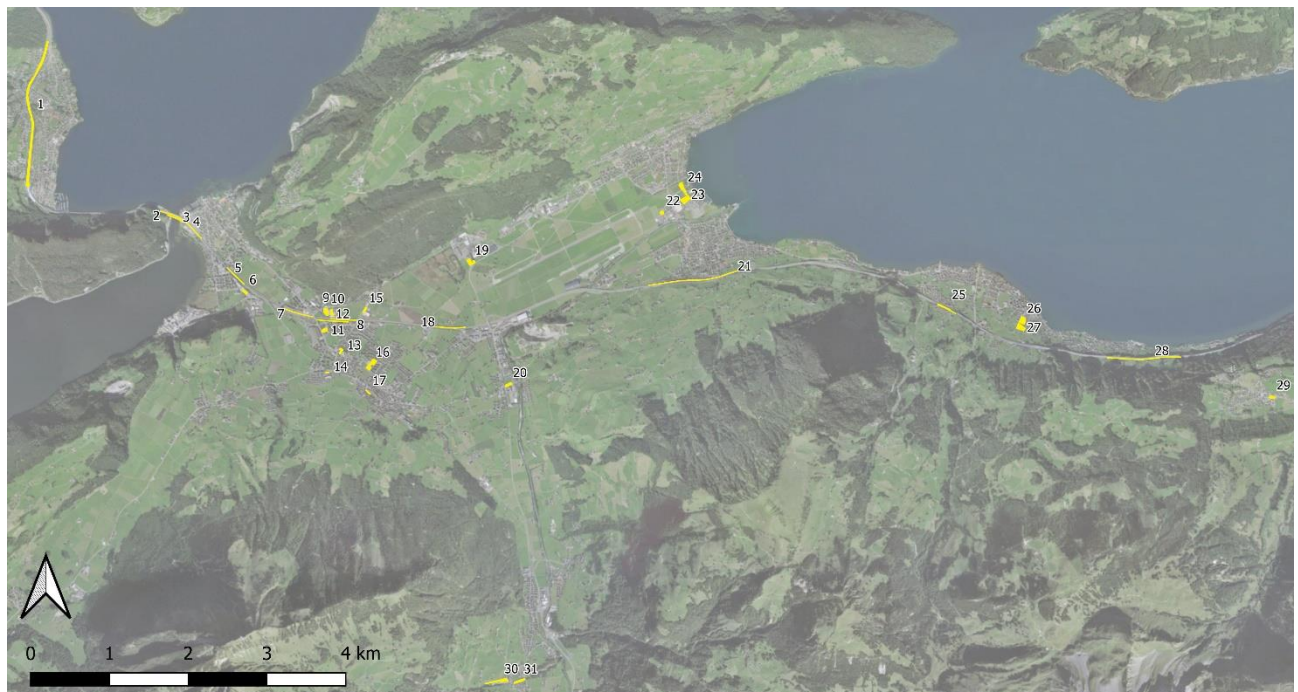
In der Tabelle 43 und der Abbildung 23 werden die berücksichtigten Infrastrukturbauten aufgelistet und dargestellt.

Tabelle 43: Liste der Berücksichtigten Infrastrukturbauten.

Nr	Objekt
1	Autobahnüberdachung Hergiswil
2	Lärmschutzwand Stansstad
3	Lärmschutzwand Stansstad
4	Lärmschutzwand Stansstad
5	Lärmschutzwand Stansstad
6	Kläranlage Rotzwinkel Stans
7	Lärmschutzwand Stans
8	Lärmschutzwand Stans
9	Parkplatz Lidl Stans
10	Parkplatz Mühlebachstrasse Stans
11	Parkplatz Veronika-Gut-Weg Stans
12	Lärmschutzwand Stans

Nr	Objekt
13	Parkplatz Abstellplatz Kantonalbank Stans
14	Parkplatz Kantonsspital Stans
15	Parkplatz Eichli Stans
16	Parkplatz Gemeindeparkplatz Stans
17	Parkplatz Steinmätteli Stans
18	Lärmschutzwand Stans
19	Parkplatz Pilatus Flugzeugwerke Stans
20	Parkplatz Kasernenstrasse Oberdorf
21	Lärmschutzwand Autobahn Buochs
22	Kläranlage Aumühle Buochs
23	Parkplatz Camping Buochs
24	Parkplatz Seefeld Ennetbürgen
25	Autobahnüberdachung Beckenried32
26	Parkplatz Klewenalpbahn Beckenried
27	Parkplatz Klewenalpbahn Beckenried
28	Lärmschutzwand Beckenried
29	Parkplatz Gemeindeparkplatz Emmetten
30	Parkplatz Wirzwelibahn Dallenwi
31	Parkplatz Wirzwelibahn Dallenwil

Abbildung 23: Kartographische Darstellung der berücksichtigten Infrastrukturbauten für die Nutzung der Photovoltaik. Eine detaillierte Darstellung ist in Karte 11 enthalten.



5.2.1 Potenziell mögliche Jahres- und Winterproduktion

Um die potenziell mögliche Jahres- und Winterproduktion zu berechnen, wurden die Erfahrungswerte gemäss Tabelle 44 verwendet.

Tabelle 44: Jahresproduktion und Winterproduktion pro Quadratmeter als Basis für die Berechnung der potenziell möglichen Produktion für die Anlagen auf Infrastrukturbauten.

Objekt	Geographische Ausrichtung	Neigung	Jahresproduktion kWh/m ²	Winterproduktion kWh/m ²
Lärmschutzwand	Süd	90°	121.4	58.0
Autobahnüberdachung	Horizontal	0°	148.7	42.1
Kläranlage	Horizontal	0°	148.7	42.1
Parkplatz	Horizontal	0°	148.7	42.1

In Tabelle 45 sind die potenziell mögliche Jahres- und Winterproduktion für die Anlagen auf Infrastrukturbauten pro Objektart aufgeführt.

Tabelle 45: Potenziell mögliche Jahres- und Winterproduktion für die berücksichtigten Anlagen auf Infrastrukturbauten.

Objekt	Jahresproduktion GWh	Winterproduktion GWh
Lärmschutzwände	1.2	0.6
Autobahnüberdachungen	5.8	0.8
Kläranlagen	0.4	0.1
Parkplätze	6.9	1.6
Total	14.3	3.1

6 Fazit

Das Schutz- und Nutzungskonzept zeigt für den Kanton Nidwalden ausgehend vom heutigen Zustand Möglichkeiten zum Ausbau der Stromproduktion mit den erneuerbaren Energiequellen Wasserkraft, Windkraft und Photovoltaik auf. Die Energieproduktion aus Geothermie wurde im Auftrag der Landwirtschafts- und Umweltdirektion in der Studie "Erdgas und Tiefengeothermie für die Kantone Nid- und Obwalden" untersucht und ist nicht Gegenstand des vorliegenden Konzepts. Auch für die potenzielle Energiequelle Biogas sollen gestützt auf das Leitbild 2035 separate Abklärungen getroffen werden.

Bezüglich Jahresbilanz ist es für den Kanton Nidwalden möglich, in Zukunft den gesamten Strombedarf von aktuell rund 260 GWh mittels Eigenproduktion zu decken. Die Wasserkraft weist nur begrenzte Zubau-möglichkeiten auf, hingegen können die Windkraft und insbesondere die Photovoltaik stark ausgebaut werden. Allerdings unterliegt die Stromproduktion aus Windkraft und Photovoltaik starken saisonalen Schwankungen. Die Photovoltaik weist zudem im Winter das Produktionsminimum auf, wenn der Strombedarf am höchsten ist. Bei der Windkraft ist es umgekehrt, was im Hinblick auf die Deckung der Winterstromlücke vorteilhaft ist.

Mit den aktuell zur Verfügung stehenden Technologien kann im Winterhalbjahr nicht genügend Strom für eine Selbstversorgung des Kantons produziert werden und eine Saisonspeicherung ist auch nicht im benötigten Ausmass möglich. Entsprechend ist der Kanton Nidwalden noch auf Technologien angewiesen, die konstant und witterungsunabhängig sogenannte Bandenergie erzeugen.

Nachfolgend wird in den Tabellen 46 bis 48 eine Gesamtübersicht über den Strombedarf und die Produktion aus Wasserkraft, Windkraft und Photovoltaik heute und in Zukunft dargestellt. Bei der Gesamtübersicht heute (Tabelle 46) sieht man, dass ein Drittel des Strombedarfs importiert werden muss; im Winterhalbjahr erhöht sich dieser Anteil auf drei Viertel.

Tabelle 46: Gesamtübersicht der heute benötigten und produzierten Strommenge³³

	Jahresbetrachtung						Winterbetrachtung					
	Produktion		Import		Bedarf		Produktion		Import		Bedarf	
	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%
Total	165	64	95	36	260	100	41	26	116	74	157	100
Wasser	150	58					38	24				
Wind	0	0					0	0				
PV	15	6					3	2				

Geht man nun von der voraussehbaren Strombedarfsentwicklung bis im Jahr 2050³⁴ und vom maximal möglichen Zubau³⁵ aus (Tabelle 47), könnte der Jahres- und der Winterbedarf gedeckt werden, wenn bei den PV-Freiflächenanlagen ein starker Ausbau erfolgen würde. Die hier dargestellten Werte sind mit Vorsicht zu betrachten, weil das ausgewiesene Potential bei weitem nicht maximal genutzt werden kann, insbesondere bei den PV-Freiflächenanlagen.

Tabelle 47: Gesamtübersicht der im Jahr 2050 voraussichtlich benötigten und maximal produzierbaren Strommenge

	Jahresbetrachtung						Winterbetrachtung					
	Produktion		Import		Bedarf		Produktion		Import		Bedarf	
	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%
Total	2135	657	-	-	325	100	906	453	-	-	200	100
Wasser	194	60					50	25				
Wind	104	32					67	34				
PV	1837	565					789	394				

³³ Die angegebenen Werte stammen vom Elektrizitätswerk Nidwalden.

³⁴ Prognostizierte Strombedarfsentwicklung für die Schweiz (Studie der Empa und der EPFL) heruntergerechnet auf den Kanton Nidwalden, Daten wurden vom Elektrizitätswerk Nidwalden zur Verfügung gestellt.

³⁵ Als maximal möglicher Zubau wird folgendes Szenario betrachtet: Nutzung aller Gewässerstrecken der Nutz- und der Mittelklasse, Realisierung sämtlicher Windkraftanlagen, Zubau des PV-Potentials auf Dächer und Infrastrukturbauten und Realisierung der Freiflächenanlagen der Nutzungsklasse.

Vollständigkeitshalber zeigt Tabelle 48, dass ohne die PV-Freiflächenanlagen der Jahresbedarf gedeckt werden könnte, nicht jedoch der Winterbedarf. Im Winterhalbjahr müsste trotz maximalem Zubau von Wasserkraft, Windkraft und PV-Anlagen auf Dächern und Infrastrukturbauten nach wie vor ein kleiner Anteil des Strombedarfs importiert werden.

Tabelle 48: Gesamtübersicht der im Jahr 2050 voraussichtlich benötigten und maximal produzierbaren Strommenge ohne die Berücksichtigung von PV-Freiflächenanlagen.

	Jahresbetrachtung						Winterbetrachtung					
	Produktion		Import		Bedarf		Produktion		Import		Bedarf	
	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%
Total	562	173	-	-	325	100	174	87	26	13	200	100
Wasser	194	60					50	25				
Wind	104	32					67	34				
PV	264	81					57	28				

Wasserkraft

Es wurden alle Gewässer mit einer theoretischen Jahresproduktion von über 1 GWh betrachtet. Für diese Gewässer wurde unter Berücksichtigung von Verlusten aufgrund des Wirkungsgrads der Turbine, Überfallsituationen und Restwasserbestimmungen die realistische Jahres- und Winterproduktion berechnet. Gewässer mit einer Produktion unter 1 GWh sollen zukünftig mit Ausnahme von autarken Insellösungen von einer Nutzung ausgeschlossen werden, weil die geringe Energieproduktion die nachteiligen ökologischen Auswirkungen nicht rechtfertigt.

Das verfügbare Potential der Wasserkraft wird zu einem grossen Teil schon genutzt. Bisher werden jährlich gut 150 GWh Strom aus Wasserkraft produziert. Die noch nicht genutzten Gewässer der Nutzungsklasse und der mittleren Klasse weisen zusammen eine maximal mögliche Jahresproduktion von 44 GWh und eine Winterproduktion von 12 GWh auf. Nicht berücksichtigt sind künftige Produktionseinbussen infolge von höheren Restwasserabgaben bei Neukonzessionierungen.

Im Winterhalbjahr ist aufgrund der Klimaveränderung mit einer Zunahme der Abflüsse von durchschnittlich 5 bis 20 Prozent bis ins Jahr 2060 und um 10 bis 30 Prozent bis ins Jahr 2085 zu rechnen. Dies allein wird jedoch nicht ausreichen, um in Zukunft im Winterhalbjahr auf einen Stromzukauf zu verzichten.

Die anstehende Revitalisierungsplanung und Sanierung der Wasserkraft wird den ökologischen Wert einzelner Gewässer erhöhen. Andererseits ist von einer Minderung der Produktion erneuerbaren Stroms bei den betroffenen Wasserkraftwerken auszugehen. Diese Auswirkungen können erst nach erfolgter Umsetzung beurteilt werden und werden bei den betroffenen Gewässern bei zukünftigen Wasserkraftprojekten eine Neubeurteilung erfordern.

Windkraft

Die Windkraft wird in Nidwalden bisher nicht zur Stromproduktion genutzt. Sie weist im Unterschied zur Wasserkraft und zur Photovoltaik das Produktionsmaximum im Winterhalbjahr auf und ist deshalb eine gute Ergänzung zu den anderen erneuerbaren Energien. Für die Windkraft wurden sieben mögliche Gebiete ausgeschieden, die insgesamt eine maximal mögliche Jahresproduktion von 104 GWh und eine Winterproduktion von 67 GWh aufweisen.

Photovoltaik

Bei der Photovoltaik wurden nur Anlagen betrachtet, die nicht auf Gebäuden installiert sind. Das Potential der Photovoltaik auf Gebäuden (Dächer und Fassaden) von insgesamt 250 GWh Jahresproduktion (davon bisher 14.5 GWh genutzt) wurde nicht weiterverfolgt, weil bei diesen Projekten die Abwägung zwischen Schutz und Nutzen im Rahmen der Baugesetzgebung erfolgt.

Wichtig ist die Abgrenzung zum Art. 71a des Energiegesetzes (EnG; SR 730.0), dem sogenannten Solarexpress, der auf Bundesebene aufgrund der Strommangellage geschaffen wurde. Das Schutz- und Nutzungskonzept soll nicht diese ausserordentliche Gesetzgebung abbilden. Das Konzept ist die Grundlage für die Anpassung des Richtplans, um langfristig und unabhängig von der jeweiligen Versorgungslage Projekte zur Stromerzeugung mit erneuerbaren Energien realisieren zu können.

Freiflächenanlagen und Anlagen auf Infrastrukturbauten wurden methodisch unterschiedlich betrachtet. Bei den Freiflächenanlagen wurden für das gesamte Kantonsgebiet Flächen ausgeschieden, die sich für die Installation von Photovoltaikanlagen eignen. Insgesamt ergeben sich für die Nutzungsklasse eine maximal mögliche Jahresproduktion von 1570 GWh und eine Winterproduktion von 730 GWh. Als Infrastrukturbauten wurden Lärmschutzwände, Autobahnüberdachungen, Kläranlagen und Parkplätze mit einer Fläche ab 1000 m² untersucht. Für diese Objekte betragen die maximal mögliche Jahresproduktion insgesamt 14 GWh und die Winterproduktion 3 GWh.

Grundlage für die kantonale Energiepolitik

Das vorliegende Schutz- und Nutzungskonzept bildet eine Grundlage für die kantonale Energiepolitik und eine Zielfestsetzung hinsichtlich Stromproduktion aus erneuerbaren Energien. In einem nächsten Schritt können Ziele für den Ausbau der Stromproduktion aus Wasserkraft, Windkraft und Photovoltaik festgelegt werden.

Grundlage für den kantonalen Richtplan

- Das vorliegende Schutz- und Nutzungskonzept bildet eine Grundlage für die Überarbeitung des kantonalen Richtplans im Bereich Energie:
- Für die Wasserkraftnutzung sind auf der Karte 7 die Gewässerabschnitte gemäss ihrer Bewertung hinsichtlich Nutzung und Schutz dargestellt. Sie kann als Grundlage für den Richtplan zur Festlegung der geeigneten sowie der freizuhaltenden Gewässerstrecken übernommen werden.
- Für die Ausscheidung von Standorten zur Windkraftnutzung bildet die Karte 8 die Grundlage, damit im Richtplan die geeigneten und freizuhaltenden Gebiete bezeichnet werden können.
- Die Ausscheidung von Freiflächen zur Stromproduktion mittels Photovoltaik kann aufgrund der Karte 10 erfolgen.

Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Bei der Wasserkraft ist in einem nächsten Schritt zu klären, ob das Speicherpotential ausgebaut werden kann. Insbesondere ist zu klären, ob Standorte für zusätzliche saisonale Speicher ausgeschieden werden können. Ein reiner Ausbau der Laufwasserkraft an bisher ungenutzten Gewässern ist hingegen nur bedingt sinnvoll: das noch vorhandene Potential ist begrenzt, der Grossteil der Produktion fällt im Sommerhalbjahr an (während dem ein Überangebot an Elektrizität besteht) und die nachteiligen ökologischen Auswirkungen sind meistens bedeutend. In erster Priorität sollten Effizienzsteigerungen an den bestehenden Nutzungsstandorten vorgenommen werden.

Das vorliegende Konzept bildet eine Grundlage für die Erarbeitung von Schutz- und Nutzungsplanungen gemäss Art. 32 Bst. c des Bundesgesetzes über den Schutz der Gewässer (GSchG; SR 814.20) im Rahmen von Konzessionserneuerungen. Dabei können für Gewässer eines topographisch zusammenhängenden Gebiets die Mindestrestwassermengen gemäss Art. 31 GSchG tiefer als gesetzlich vorgeschrieben angesetzt werden, sofern ein entsprechender Ausgleich stattfindet (beispielsweise durch Verzicht auf Wasserentnahmen aus anderen Gewässern im gleichen Gebiet). Ebenfalls kann das Konzept ergänzend zu den im Rahmen von Konzessionierungsprojekten vertieften, gewässerspezifischen Abklärungen eine Grundlage für die im Einzelfall durchzuführende Interessenabwägung nach Art. 33 Abs. 2 und 3 GSchG bezüglich Erhöhung der Mindestrestwassermengen bilden.

Die Windkraft bildet ein interessantes Potential zur Ergänzung der Stromproduktion im Winterhalbjahr. In einem nächsten Schritt könnte für die ausgeschiedenen Gebiete eine Machbarkeitsstudie erstellt werden.

Die Nutzung der Photovoltaik auf Freiflächen macht insbesondere an Standorten in Höhenlagen Sinn, die im Vergleich zu Flächen im Talboden eine deutlich bessere Besonnung im Winterhalbjahr aufweisen.

7 Anhang

7.1 Plausibilisierung der berechneten Zuflussdaten

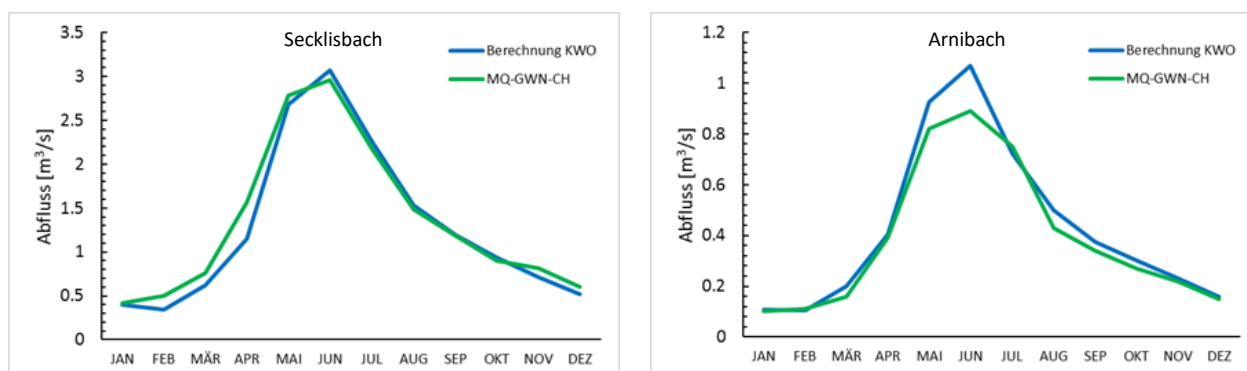
Die Plausibilisierung der Zuflussdaten erfolgte anhand voneinander unabhängiger Vergleichsansätzen³⁶.

Vergleich der berechneten Abflüsse mit modellierten Abflüssen

Die berechneten Abflüsse für ausgewählte mittelgrosse hydrologische Einzugsgebiete wurden anhand des Datensatzes MQ-GWN-CH³⁷ (BAFU 2013) plausibilisiert. Bei diesem Vergleich wurden die modellierten Abflüsse auf Basis von Monatsmittelwerten überprüft.

Der Vergleich zeigte grundsätzlich, dass die berechneten Monatsmittelabflüsse gut mit den Werten von MQ-GWN-CH übereinstimmen. In Abbildung 24 sind die Ergebnisse für den Secklisbach und den Arnibach dargestellt. Für den Secklisbach wurden nur sehr geringe Differenzen festgestellt, primär in den Monaten Februar bis April. Beim Arnibach traten die grössten Differenzen in den Monaten Mai und Juni (Schneesmelze) auf, aber auch bei diesem Gewässer wurde das Regime grundsätzlich identisch abgebildet. Die Resultate dieses Vergleichs zeigen, dass die Berechnungen plausible Resultate hinsichtlich dem Jahresverlauf der Abflüsse liefern.

Abbildung 24: Vergleich der berechneten Monatsmittelabflüsse mit den modellierten Abflüssen von MQ-GWN-CH für den Secklisbach und den Arnibach.



Vergleich von flächengewichteten Abflussspenden mit der gemessenen Abflussspende der Engelbergeraas

Die berechneten Abflüsse der für den Abfluss der Engelbergeraas massgebenden Gewässer wurden anhand von effektiven Messwerten im Einzugsgebiet der Engelbergeraas plausibilisiert. Für die Engelbergeraas besteht in Buochs eine langjährige Abflussmessreihe. Anhand dieser konnten der Jahresmittelabfluss und dessen Schwankungsbereich für die Gegenwart (1980-2009) bestimmt und daraus die Abflussspende berechnet werden (Abfluss dividiert durch Fläche). Zahlreiche Gewässer entwässern in die Engelbergeraas und tragen somit zu diesem gemessenen Jahresmittelabfluss bei. Für diese Gewässer konnte eine flächengewichtete Abflussspende berechnet werden. Die Plausibilisierung erfolgte durch den Vergleich der gemessenen Abflussspende mit der berechneten Abflussspende der massgebenden Gewässer.

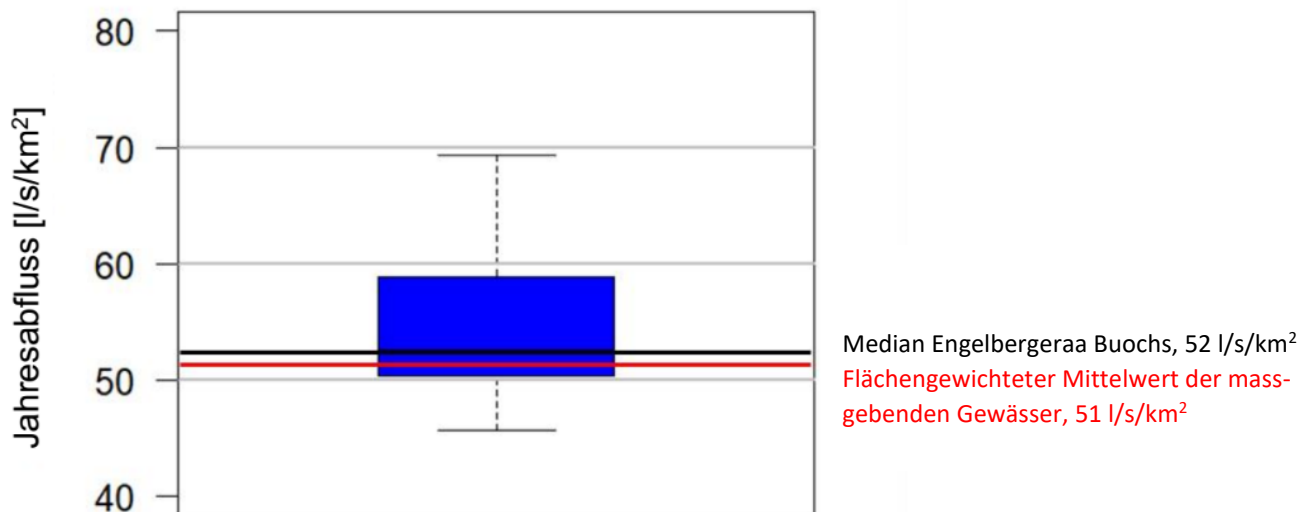
Die Engelbergeraas bei Buochs weist eine Einzugsgebietsfläche von 228 km² auf. Der gemessene Jahresmittelabfluss in der Periode 1980-2009 lag bei 52 l/s/km² (Medianwert, vgl. Abbildung 25). Der Schwankungsbereich der jährlichen Abflussspende lag in der untersuchten Periode zwischen rund 46 l/s/km² und 69 l/s/km². Rund 30 der bewerteten Gewässer mit einer Gesamteinzugsgebietsfläche von rund 112 km² liegen innerhalb des Einzugsgebiets der Engelbergeraas. Der flächengewichtete Mittelwert der berechneten Jahresabflüsse der massgebenden Gewässer liegt bei 51 l/s/km². Die Abweichung von 1 l/s/km² zwischen dem gemessenen und

³⁶ Die Plausibilisierung erfolgte in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Rolf Weingartner, ecosfera GmbH.

³⁷ Mittlere simulierte natürliche jährliche und monatliche Abflüsse (MQ) und Abflussregimetypen für die mittelgrossen Gewässer des Gewässernetzes (GWN) der Schweiz (CH), BAFU (2013): Datensatz MQ-GWN-CH – Produktdokumentation, Bundesamt für Umwelt, Abteilung Wasser, Bern.

dem berechneten Jahresabfluss ist sehr gering. Entsprechend kann festgehalten werden, dass die berechneten Abflüsse der Gewässer die hydrologischen Bedingungen im Einzugsgebiet der Engelbergeraa gut abbilden und plausibel sind.

Abbildung 25: Vergleich der jährlichen Abflussspende der Engelbergeraa bei Buochs (1980-2009) mit dem Durchschnitt der berechneten Abflussspenden der für den Abfluss der Engelbergeraa massgebenden Gewässer.³⁸



Analyse der regimetyptischen Abflussspenden

Die regimetyptischen Abflussspenden der relevanten Gewässer wurden anhand einer Experteneinschätzung (durch den Vergleich mit den theoretischen Erwartungswerten nach der Regimetheorie) analysiert. Die Einzugsgebiete der relevanten Gewässer wurden gemäss ihrem hydrologischen Regimetypt klassiert und die mittlere jährliche Abflussspende jedes Gebiets wurde berechnet.

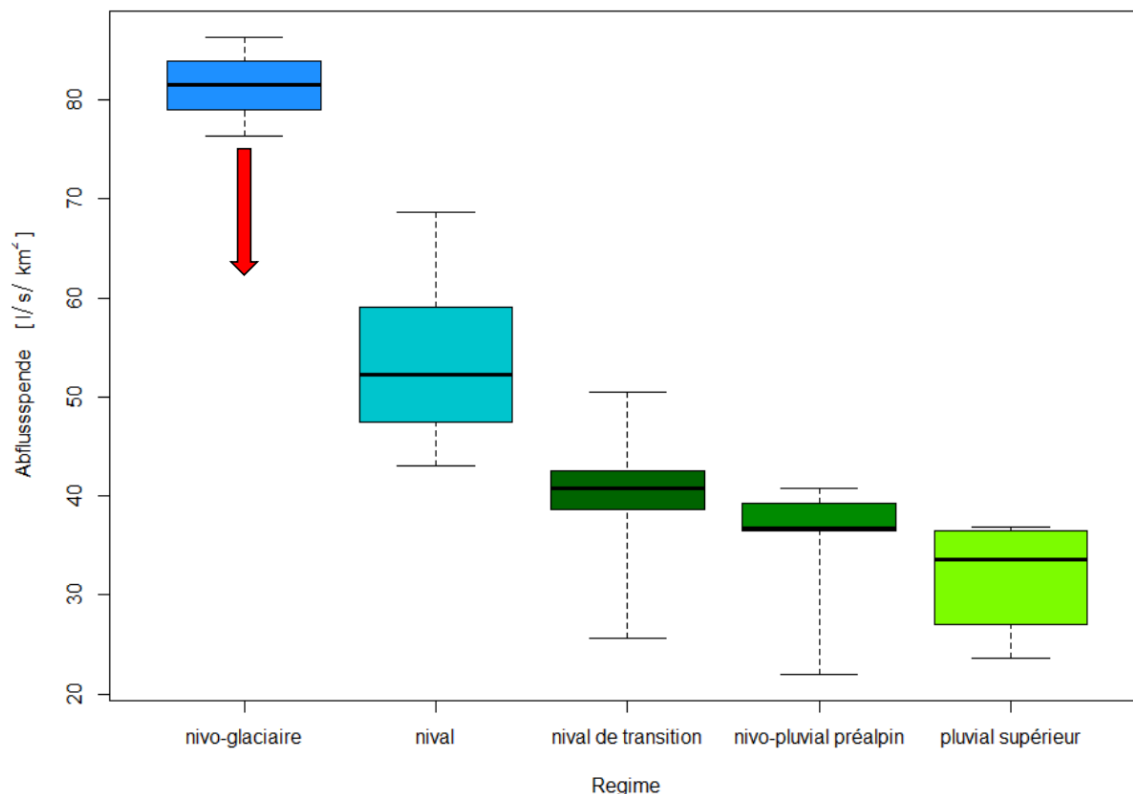
In Abbildung 26 sind die Abflussspenden aller untersuchten Gewässer nach Abflussregime³⁹ dargestellt. Erwartungsgemäss weisen die Gebiete mit Vergletscherung (nivo-glaciaire) die höchsten Abflussspenden auf. In den Gebieten ohne Vergletscherung nimmt der Median der Abflussspende mit abnehmender Höhenlage ab. Die Abflussspenden der schneedominierten Einzugsgebiete (nival und nival de transition) sind höher als die Abflussspenden der niederschlagsdominierten Einzugsgebiete (nivo-pluvial und pluvial supérieur).

Der Vergleich mit der Regimetheorie zeigt, dass grundsätzlich die Abflussspenden plausibel berechnet wurden und die Einzugsgebiete der Gewässer repräsentativ abbilden. Die Abflussspende der Gewässer mit dem Regimetypt nivo-glaciaire war hingegen im Vergleich zum Erwartungswert deutlich zu hoch. Dies betrifft die Einzugsgebiete des Trübseebaches und des Trübenbaches. Für diese Einzugsgebiete war eine Korrektur notwendig (vgl. nachfolgend).

³⁸ Aufbau Boxplot: Median = schwarze Trennlinie in blauer Box, 75 % Perzentil = Oberkante der blauen Box, 25 % Perzentil = Unterkante der blauen Box, Maximum = oberer Whisker, Minimum = unterer Whisker

³⁹ Weingartner & Aschwanden, Hydrologischer Atlas der Schweiz, 1992, Abflussregimes als Grundlage zur Abschätzung von Mittelwerten des Abflusses, Druckausgabe, Tafel 5.2

Abbildung 26: Abflusspenden der Einzugsgebiete der untersuchten Gewässer klassiert nach Regimetypen

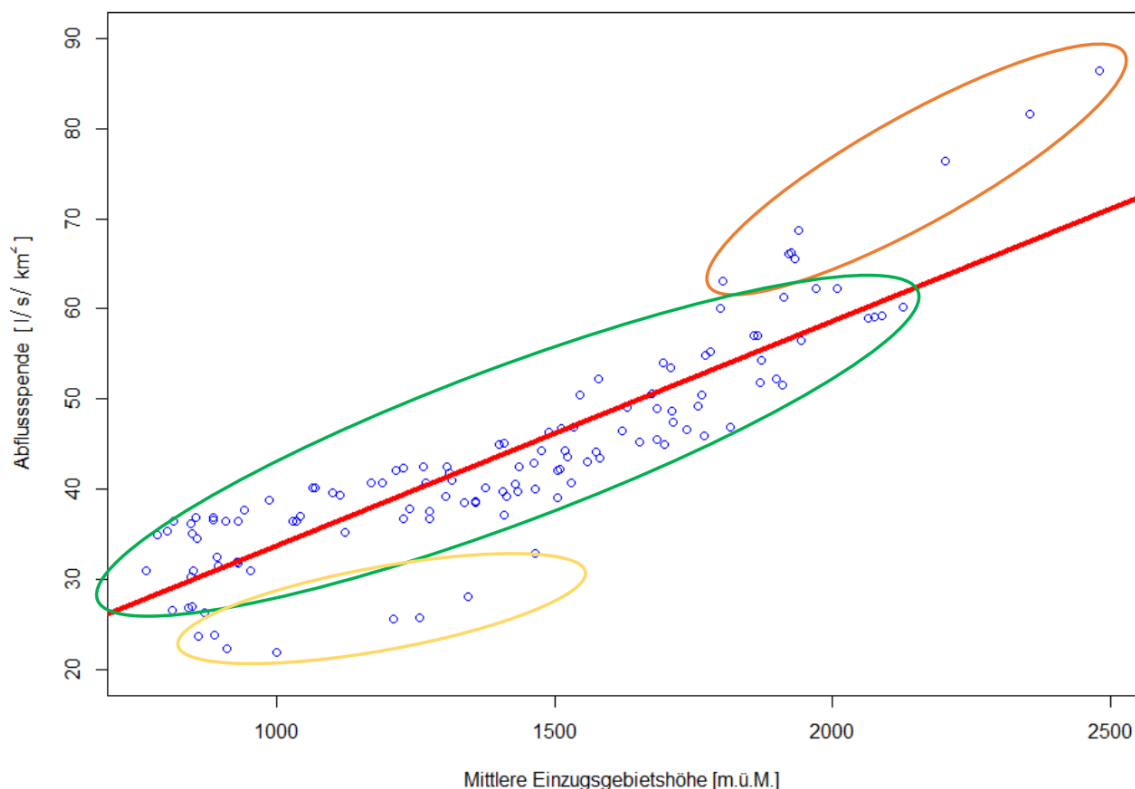


Analyse des Höhengradientes der Abflusspende

Für die untersuchten Gewässer wurde der Höhengradient der Abflusspende analysiert. Die mittlere Abflusspende eines Einzugsgebietes nimmt mit zunehmender Höhe des Einzugsgebietes zu⁴⁰. Für jedes Einzugsgebiet wurden die Abflusspenden und die mittlere Höhe des Einzugsgebietes berechnet und in Abbildung 27 dargestellt. Die durchschnittliche Zunahme der Abflusspende beträgt im Kanton Nidwalden rund 2.5 l/s/km² pro 100 Höhenmeter (rote Linie). Der grösste Teil der Einzugsgebiete liegt ziemlich nahe an der roten Linie (grüner Kreis) und weist über alle Höhenstufen eine ähnliche Streuung um die rote Linie auf. Dies weist darauf hin, dass der Jahresabfluss dieser Gebiete massgeblich vom Jahresniederschlag abhängt, der mit der Höhe zunimmt. Acht Einzugsgebiete weisen deutlich tiefere Abflusspenden auf (gelber Kreis) und weichen deutlich von der roten Linie ab. Dies sind die Einzugsgebiete des Steinibaches und Mühlebaches in Hergiswil. Gemäss dem hydrologischen Atlas der Schweiz gehört die Region Hergiswil zum trockensten Bereich im Kanton Nidwalden. Dadurch kann die Abweichung erklärt werden. Die berechneten Abflusspenden von minimal 22 l/s/km² sind jedoch in einem schweizweiten Vergleich plausibel und es wurde daher auf eine Korrektur verzichtet. Weitere acht Einzugsgebiete weisen deutlich höhere Abflusspenden auf (oranger Kreis) und weichen deutlich von der roten Linie ab. Dies sind die Einzugsgebiete des Trübseebaches und Trübenbaches. Diese beiden Einzugsgebiete sind im Gegensatz zu den restlichen Einzugsgebieten vergletschert und bringen überproportional viel Wasser. Deren berechnete Abflusspenden von bis zu 80 l/s/km² sind jedoch in einem schweizweiten Vergleich deutlich zu hoch und wurden reduziert (vgl. nachfolgend).

⁴⁰ Weingartner & Aschwanden, Hydrologischer Atlas der Schweiz, 1992, Abflussregimes als Grundlage zur Abschätzung von Mittelwerten des Abflusses, Druckausgabe, Tafel 5.2

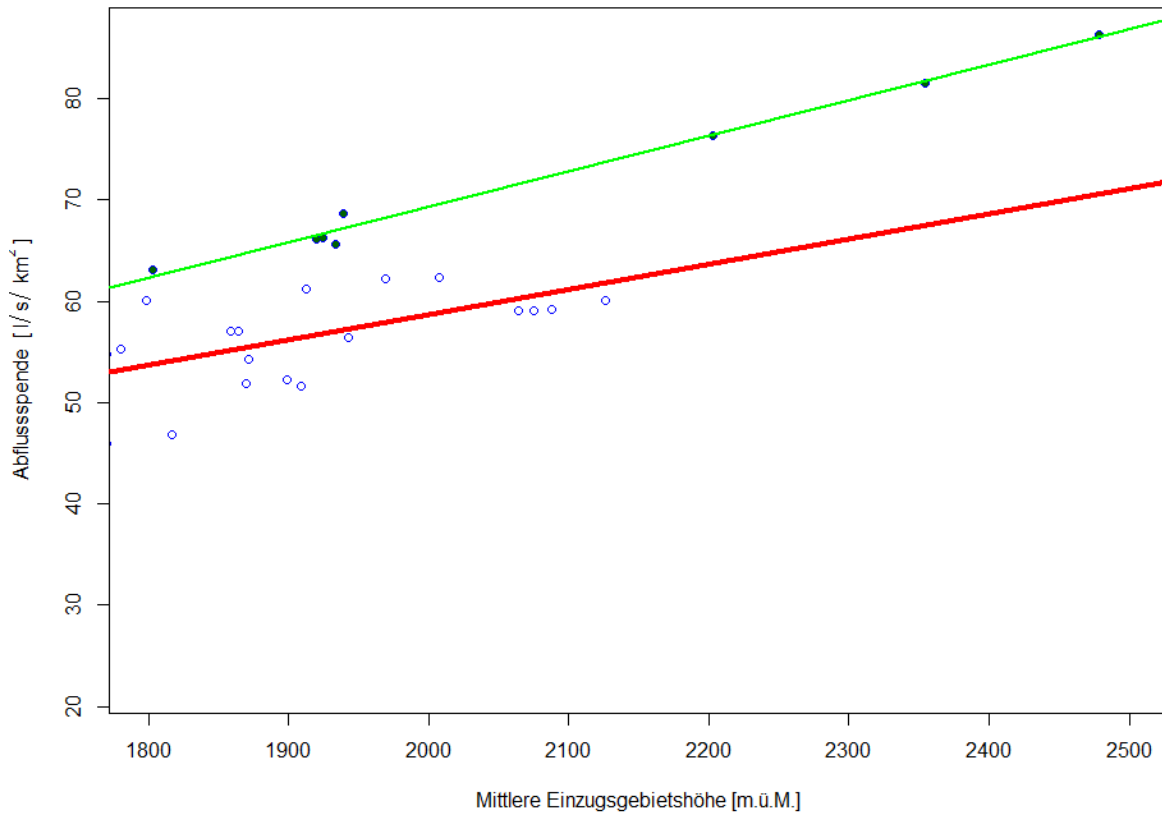
Abbildung 27: Streudiagramm der berechneten Abflussspenden in Abhängigkeit der mittleren Einzugsgebietshöhe.



Korrekturansatz für die Einzugsgebiete mit dem Regimetyp nivo-glaciaire

Die Resultate der vorhergehenden beiden Ansätze zeigen, dass eine Korrektur der Abflusswerte für die Einzugsgebiete des Regimetyps nivo-glaciaire notwendig war. Dies betrifft die Einzugsgebiete des Trübseebaches und Trübenbaches (insgesamt acht Teileinzugsgebiete mit Abflussspenden von $63-86 l/s/km^2$). In der Abbildung 28 ist die Zunahme der Abflussspende in Abhängigkeit der Höhenlage der Einzugsgebiete dargestellt. Für die zu korrigierenden Einzugsgebiete beträgt die Zunahme der Abflussspende rund $3.5 l/s/km^2$ pro 100 Höhenmeter (grüne Linie) anstatt die üblichen $2.5 l/s/km^2$ (rote Linie).

Abbildung 28: Streudiagramm der berechneten Abflusspenden und der mittleren Einzugsgebietshöhe. Die rote Linie zeigt die Zunahme der Abflusspende in Abhängigkeit der Höhenlage für repräsentative Gewässer. Die grüne Linie zeigt die Zunahme für die zu korrigierenden vergletscherten Einzugsgebiete.

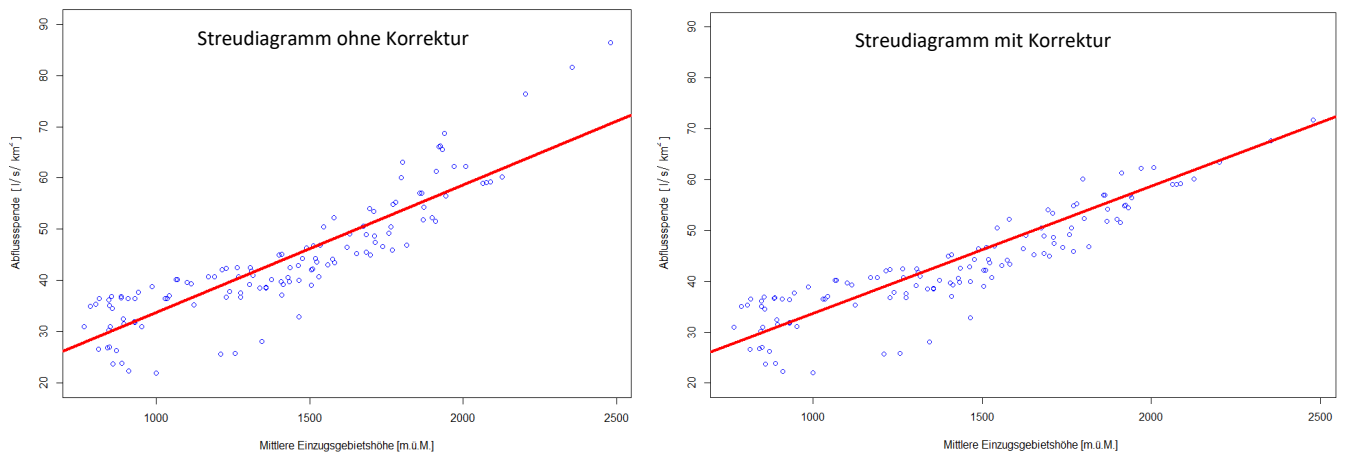


Die Korrektur erfolgte durch die Multiplikation der Abflusspenden der betroffenen Einzugsgebiete mit dem Korrekturfaktor k , der wie folgt berechnet wurde:

$$k = \frac{2.5 \text{ l/s/km}^2}{\left(\frac{2.5 \text{ l/s/km}^2 + 3.5 \text{ l/s/km}^2}{2}\right)} = 0.83$$

Der Korrekturfaktor wurde anhand der unterschiedlichen Gradienten der Zunahme der Abflusspende in Abhängigkeit der Höhenlage berechnet. Die Resultate der Korrektur sind in der Abbildung 29 dargestellt. Mit der Korrektur ergeben sich plausible Werte, die Ausreisser liegen nun um die rote Linie.

Abbildung 29: Darstellung der Resultate der Korrektur anhand von Streudiagrammen.



7.2 Sensitivitätsanalyse

Um die Sensitivität der Bewertung des Teils Wasserkraft zu quantifizieren, wurden die Gewichtungsfaktoren je Nutzungs- und Schutzkriterium gemäss Tabelle 49 variiert.

Tabelle 49: Szenarien für die Sensitivitätsanalyse.

- Gewichtung gemäss Ausgangsbewertung (Szenario 0)
 Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse veränderte Gewichtung

Sze- nario	Jahres- Produktion %	Winter- Produktion %	Flexi- bilität %	Bestehende Nutzung %	Wertvoller Lebensraum %	Biotop- schutz %	Gewässer- morphologie %	Naherholung & Landschaft %
0	30	40	10	20	25	25	25	25
1	40	20	20	20	25	25	25	25
2	20	40	20	20	25	25	25	25
3	20	20	40	20	25	25	25	25
4	20	20	20	40	25	25	25	25
5	70	10	10	10	25	25	25	25
6	10	70	10	10	25	25	25	25
7	10	10	70	10	25	25	25	25
8	10	10	10	70	25	25	25	25
9	30	40	10	20	40	20	20	20
10	30	40	10	20	20	40	20	20
11	30	40	10	20	20	20	40	20
12	30	40	10	20	20	20	20	40
13	30	40	10	20	70	10	10	10
14	30	40	10	20	10	70	10	10
15	30	40	10	20	10	10	70	10
16	30	40	10	20	10	10	10	70

Erklärung Box-Plot

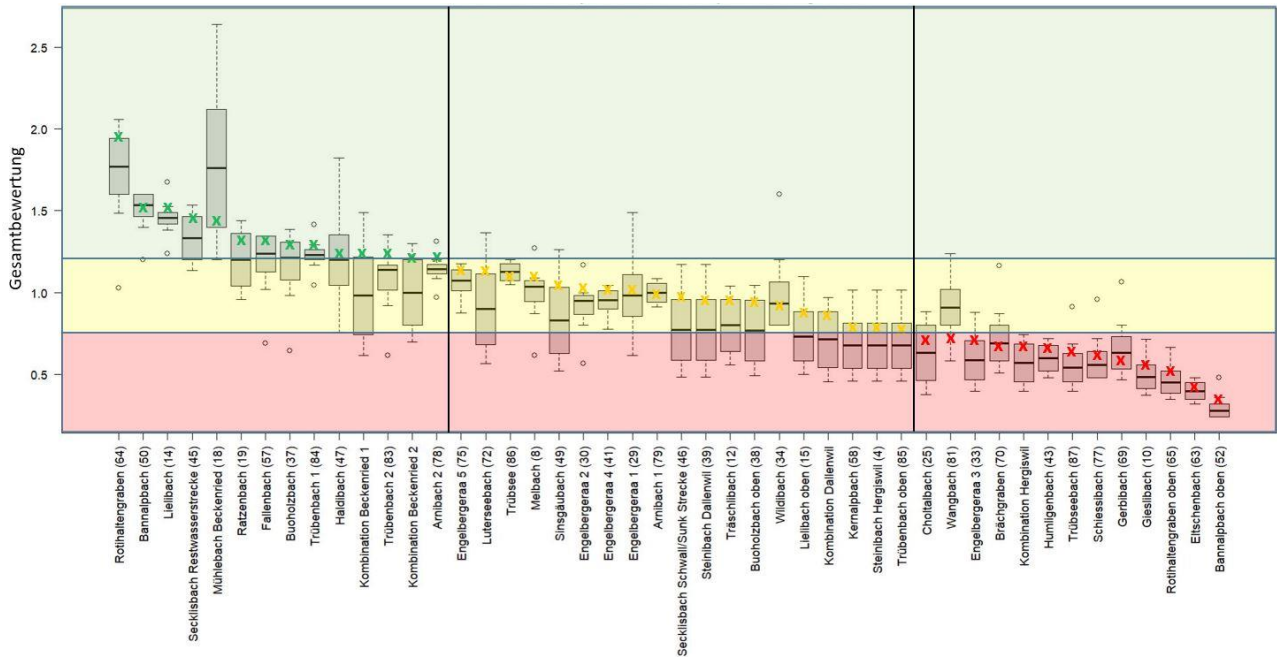
In den grauen Boxen sind jeweils 50 Prozent der Szenarien enthalten, in der Regel sind dies die Szenarien 1-4, resp. 9-12, wo die Gewichtungsfaktoren nicht so stark variiert werden wie in den Szenarien 5-8, resp. 13-16. Die Länge der gestrichelten Linie richtet sich nach der Verteilung der Daten, resp. dem sogenannten Interquartilsabstand⁴¹. Bei einer eher engen Verteilung der Werte geben die Endpunkte der gestrichelten Linien das Minimum und das Maximum des Wertebereichs an und zeigen damit die Spannweite an. Bei Verteilungen mit einer grossen Streuung, bei denen Werte mit einer grossen Differenz zur Box auftreten, geben die Endpunkte der gestrichelten Linie nicht mehr das Minimum und/oder Maximum an. In diesen Fällen werden Extremwerte durch Kreise dargestellt.

⁴¹ Der Interquartilsabstand ist ein Streuungsmaß in der deskriptiven Statistik. Sortiert man eine Stichprobe der Größe nach, so gibt der Interquartilsabstand an, wie breit das Intervall ist, in dem die mittleren 50 Prozent der Stichprobeelemente liegen.

Sensitivität der Nutzung

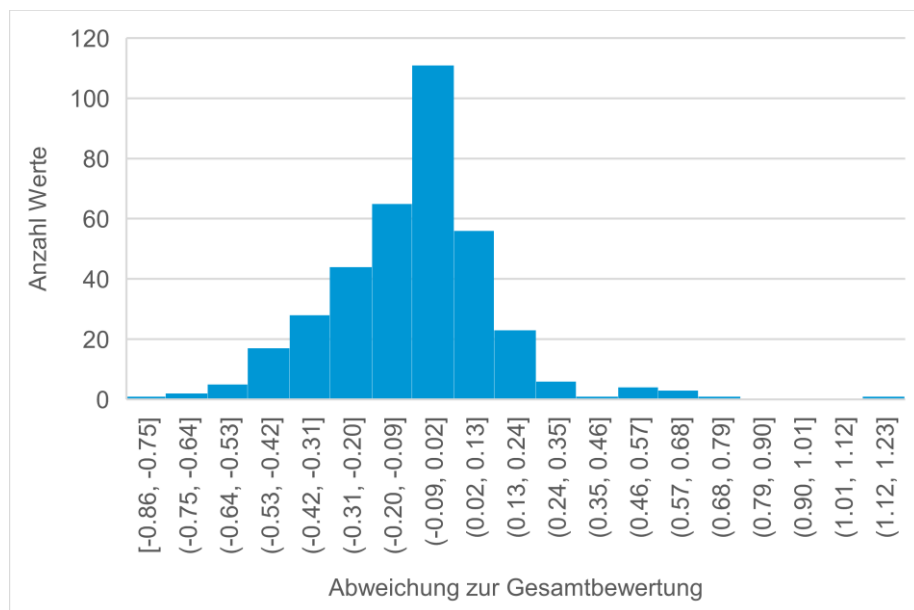
In Abbildung 30 sind die Ergebnisse der Szenarien dargestellt, bei denen die Nutzungskriterien variiert wurden (Szenarien 1-8). Bei fast allen Gewässerabschnitten variieren die grauen Boxen nur geringfügig mit Werten zwischen 0.1 und 0.4. Die Boxen der Gewässerabschnitte der Nutzungsklasse liegen fast alle oberhalb von 1.0, d.h. in diesen Fällen überwiegt nach wie vor die Nutzung. Gleiches gilt sinngemäss für die Gewässerabschnitte der Schutzklasse: hier liegen alle Boxen unterhalb von 1.0, d.h. der Schutz überwiegt. Verglichen mit der Ausgangsbewertung (Szenario 0) schneiden die Bewertungen bei den Szenarien 1-8 tendenziell etwas schlechter ab, vor allem bei den Gewässerabschnitten der Nutzungsklasse.

Abbildung 30: Darstellung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse bei Veränderung der Gewichtungsfaktoren der Nutzungskriterien (Szenarien 1-8). Die Kreuze stellen die Ausgangsbewertung dar (Szenario 0).



Werden die Gewichtungsfaktoren der Nutzungskriterien variiert (Szenarien 1-8), fallen die Bewertungen in den meisten Fällen etwas tiefer aus als bei der Ausgangsbewertung (Abbildung 31).

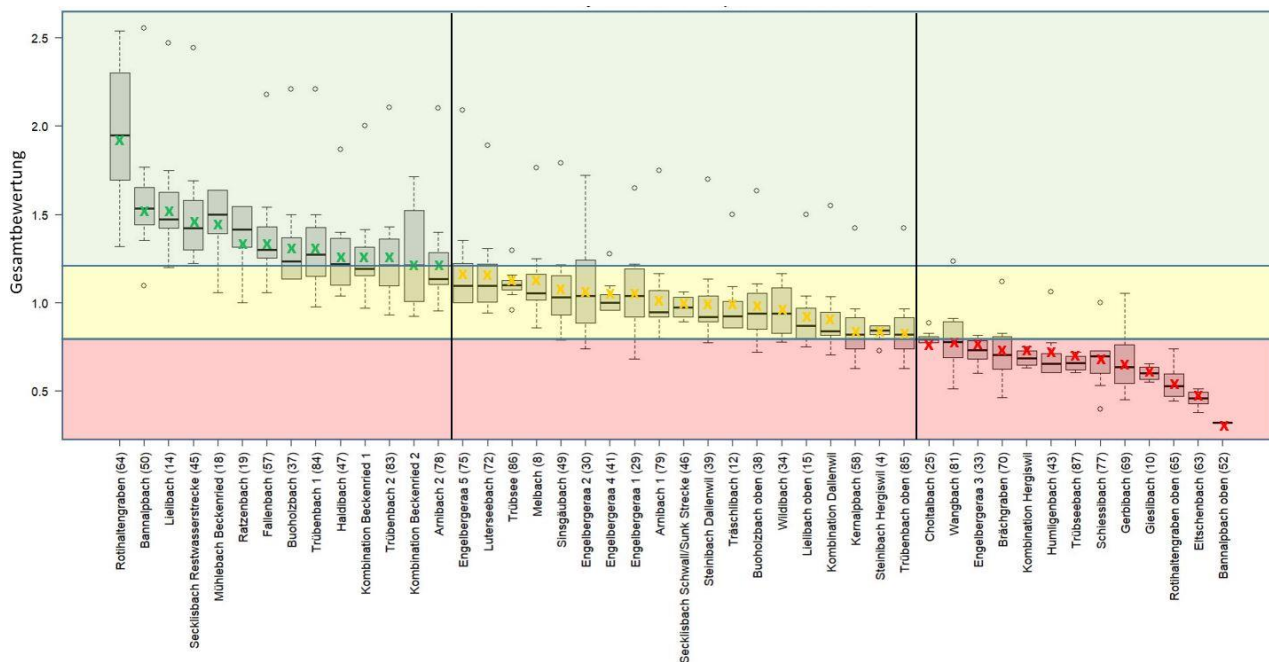
Abbildung 31: Häufigkeitsverteilung der Abweichungen der Bewertungen (Szenarien 1-8) gegenüber der Ausgangsbewertung (Szenario 0) bei einer Veränderung der Gewichtungsfaktoren der Nutzungskriterien.



Sensitivität des Schutzes

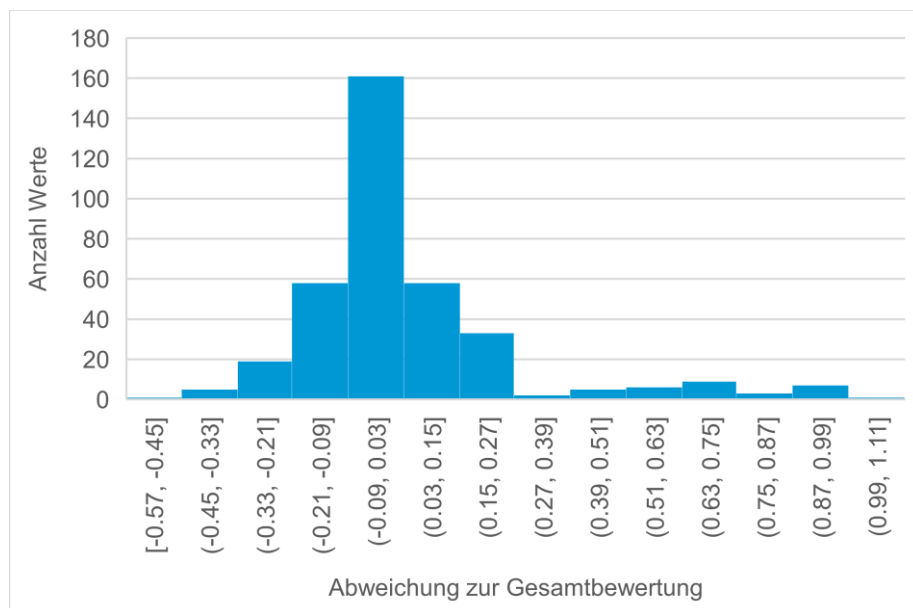
In Abbildung 32 sind die Ergebnisse der Szenarien dargestellt, bei denen die Schutzkriterien variiert wurden (Szenarien 9-16). Die Sensitivität liegt in einem vergleichbaren Rahmen wie bei der Nutzung. Auch hier liegen die Boxen der Gewässerabschnitte der Nutzungsklasse resp. der Schutzklasse jeweils oberhalb resp. unterhalb von 1.0. Verglichen mit der Ausgangsbewertung (Szenario 0) schneiden die Bewertungen bei den Szenarien 9-16 in etwa gleich ab.

Abbildung 32: Darstellung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse bei Veränderung der Gewichtungsfaktoren der Schutzkriterien (Szenarien 9-16). Die Kreuze stellen die Ausgangsbewertung dar (Szenario 0).



Werden die Gewichtungsfaktoren der Schutzkriterien variiert, liegen rund 80 Prozent der Bewertungen der Szenarien 9-16 im Bereich zwischen -0.2 und +0.2 (Abbildung 33). Grössere Abweichungen treten tendenziell im Bereich über 0.2 auf. In diesen Fällen würde die Anpassung der Gewichtungsfaktoren zu einer Verbesserung der Gesamtbewertung führen.

Abbildung 33: Häufigkeitsverteilung der Abweichungen der Bewertungen (Szenarien 9-16) gegenüber der Ausgangsbewertung (Szenario 0) bei einer Veränderung der Gewichtungsfaktoren der Schutzkriterien.



Sensitivität der Gesamtbewertung

Abbildung 34 zeigt die Variabilität der Gesamtbewertung für alle 16 Szenarien. Hinsichtlich des Streubereichs ergibt sich ein vergleichbares Bild wie bei den Sensitivitäten von Nutzung und Schutz. Bei den ersten 14 Gewässerabschnitten überwiegt gemäss der Ausgangsbewertung die Nutzung. Für diese Gewässerabschnitte liegen fast alle grauen Boxen und somit die Hälfte der Szenarien stets oberhalb 1.0, d.h. sofern die Gewichtungsfaktoren nicht extrem verändert werden, überwiegt nach wie vor die Nutzung. Allerdings kann es bei vereinzelt Szenarien zu einer Verschiebung in die mittlere Klasse kommen. Werte unter 0.8 und somit eine Überwiegung des Schutzes treten nur ganz vereinzelt auf (extreme Ausreisser).

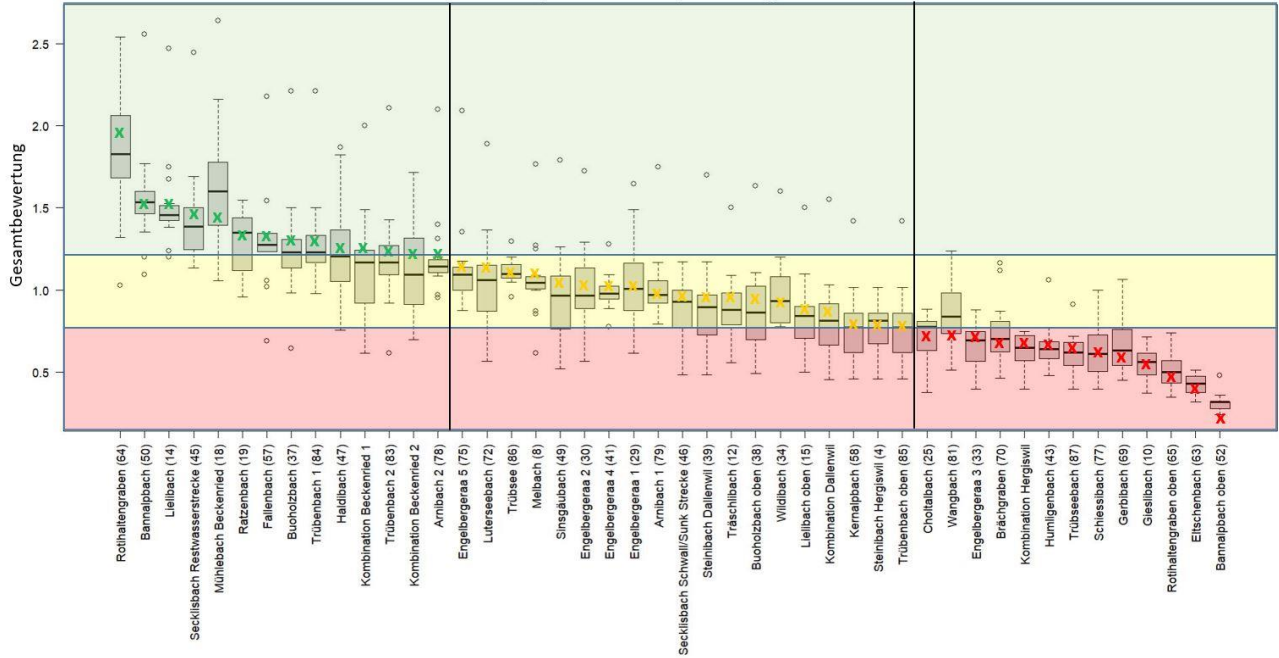
Die nächsten 19 Gewässerabschnitte wurden mit der mittleren Klasse bewertet (Gesamtbewertung zwischen 0.8 und 1.2). Hier befinden sich die grauen Boxen bis auf wenige Ausnahmen im Bereich zwischen 0.8 und 1.2. Werden auch die Szenarien ausserhalb der Boxen berücksichtigt, zeigen sich auch Klassenwechsel in die beiden anderen Klassen. Gewässer auf der linken Seite tendieren eher in die Nutzungsklasse und Gewässer auf der rechten Seite eher in die Schutzklasse. Dies ist auf die gewählte Reihenfolge der Gewässerabschnitte zurückzuführen, bei der die Gesamtbewertung von links nach rechts kontinuierlich abnimmt.

Bei den restlichen 13 Gewässerabschnitten überwiegt gemäss der Ausgangsbewertung der Schutz. Bei diesen Gewässerabschnitten erreicht fast keine Box den Wert 1.0, d.h. für die Mehrzahl der Szenarien überwiegt nach wie vor der Schutz. In drei Fällen ragen die Boxen in den Bereich oberhalb von 0.8, womit eine Verschiebung in die mittlere Klasse erreicht würde. Eine Verschiebung zur Nutzungsklasse ist nur bei einem Fall zu beobachten.

Die Gewässerabschnitte der Nutzungsklasse und der mittleren Klasse zeigen für die verschiedenen Szenarien einen leichten Trend gegen unten (tiefere Bewertung). Bei den Gewässerabschnitten der Schutzklasse zeigt sich keinen Trend, d.h. die Sensitivität der Bewertungen erfolgt etwa gleichmässig nach oben (höhere Bewertung) und nach unten (tiefere Bewertung).

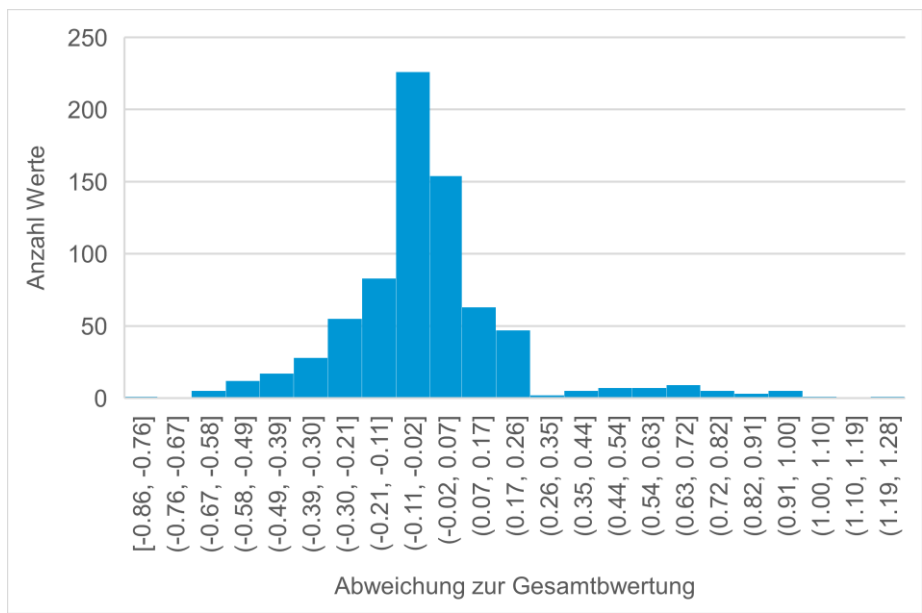
Abbildung 34: Darstellung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse bei Veränderung der Gewichtungsfaktoren der Nutzungs- und Schutzkriterien (Szenarien 1-16). Die Kreuze stellen die Ausgangsbewertung dar (Szenario 0).

- Nutzung überwiegt Schutz deutlich, Wasserkraftprojekte im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben möglich (Gesamtbewertung über 1.2)
- Nutzung und Schutz liegen nahe beieinander, individuelle projektbezogene Beurteilung notwendig (Gesamtbewertung zwischen 0.8 und 1.2)
- Schutz überwiegt Nutzung deutlich, es bestehen Nutzungsvorbehalte (Gesamtbewertung unter 0.8)



Die Veränderung aller Gewichtungsfaktoren (Szenarien 1-16) ist in Abbildung 35 dargestellt. Hier zeigt sich eine Tendenz, dass die Variationen der Gewichtungsfaktoren zu einer eher tieferen Gesamtbewertung führen.

Abbildung 35: Häufigkeitsverteilung der Abweichungen der Bewertungen (Szenarien 1-16) gegenüber der Ausgangsbewertung (Szenario 0) bei einer Veränderung der Gewichtungsfaktoren der Nutzungs- und Schutzkriterien.



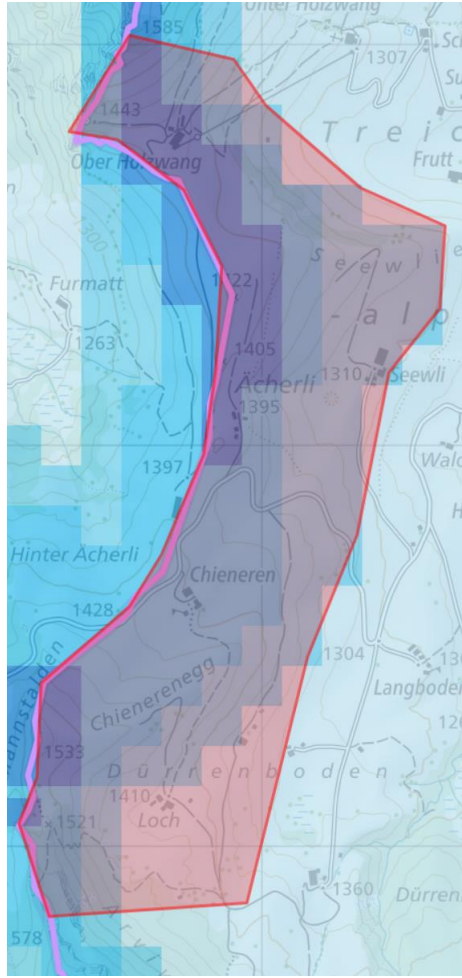
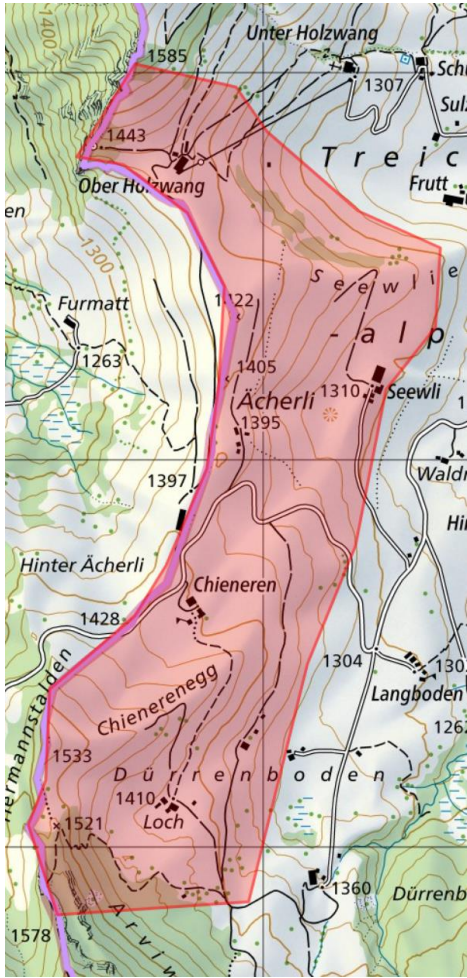
Fazit

Grundsätzlich wurden mit den Szenarien die Gewichtungsfaktoren stark (Szenarien 1-4 und 9-12) und sehr stark (Szenarien 5-8 und 13-16) variiert. Trotz dieser starken Variationen können folgende Ergebnisse festgehalten werden:

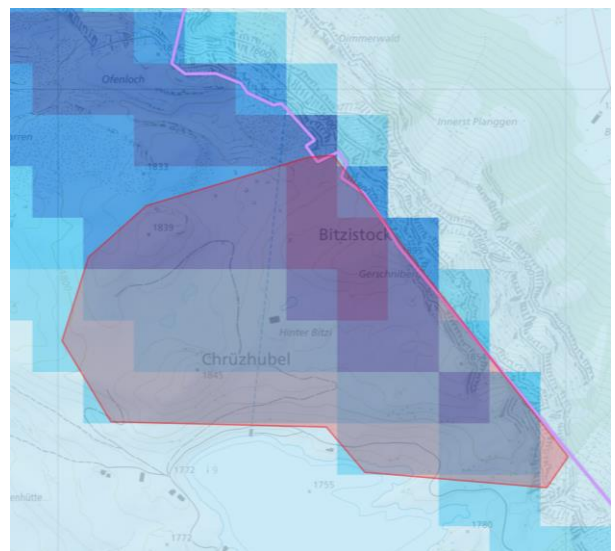
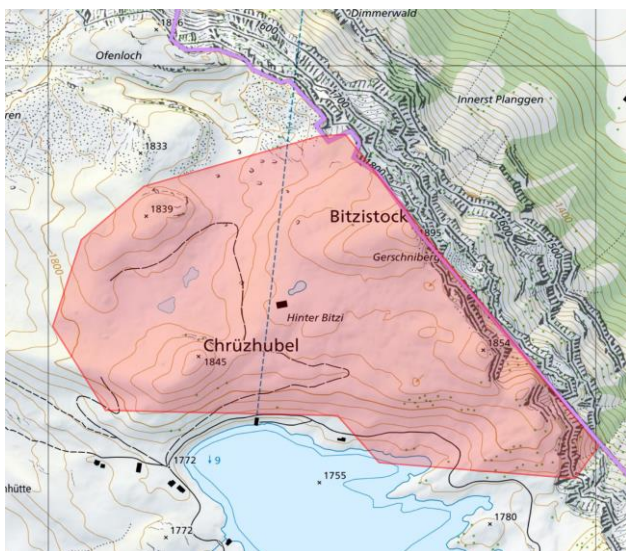
- Bei der überwiegenden Mehrheit der Szenarien ist lediglich eine geringe Sensitivität zu beobachten.
- Über alle 16 Szenarien betrachtet, liegt eine leichte Tendenz für eine tiefere Bewertung gegenüber der Ausgangsbewertung vor.
- Insgesamt sind die Ergebnisse robust, eindeutig und plausibel.

7.3 Gebiete für die Windkraftnutzung

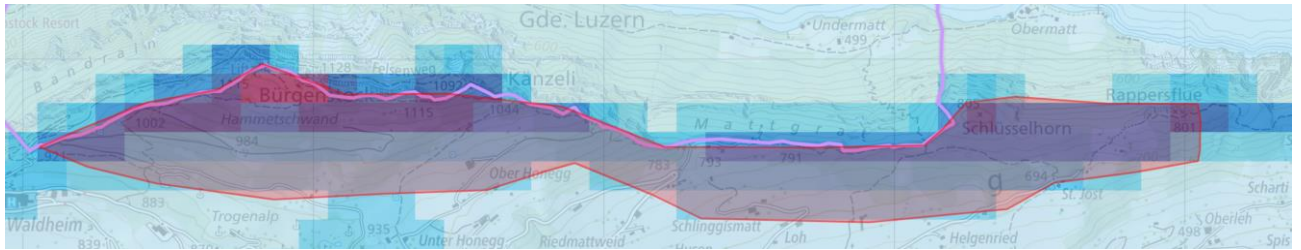
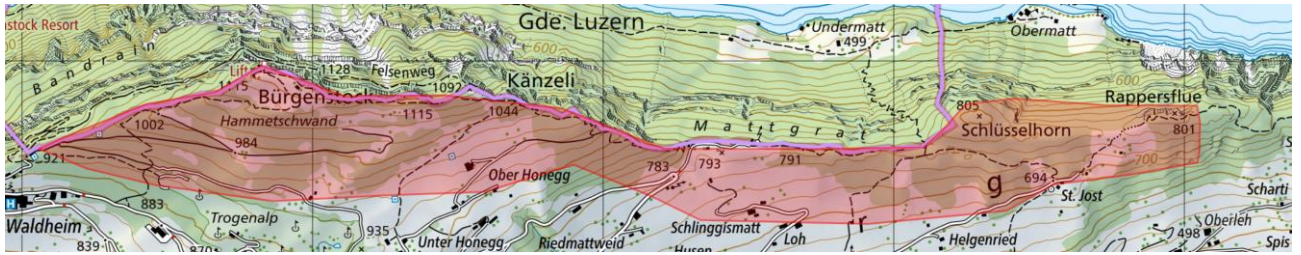
Ächerli (7)



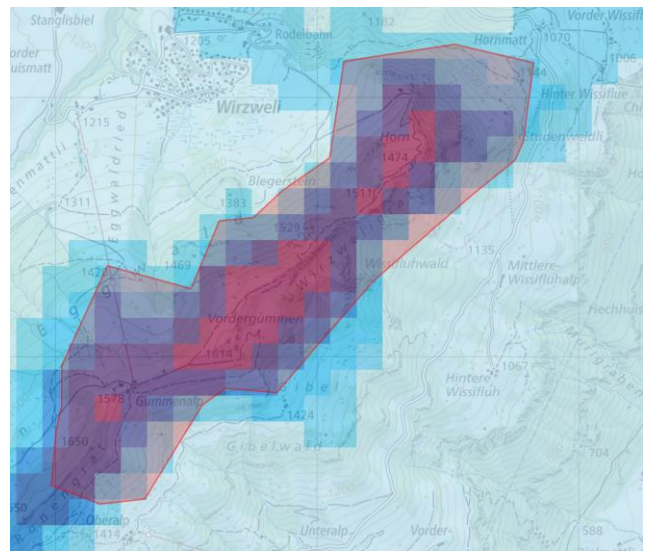
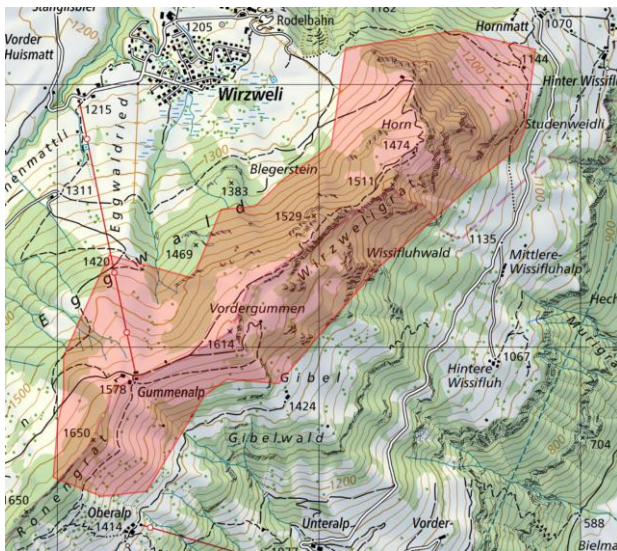
Bitzistock (14)



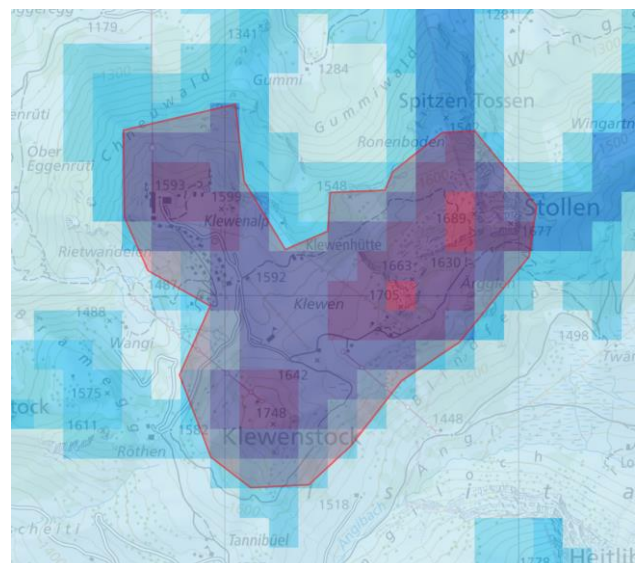
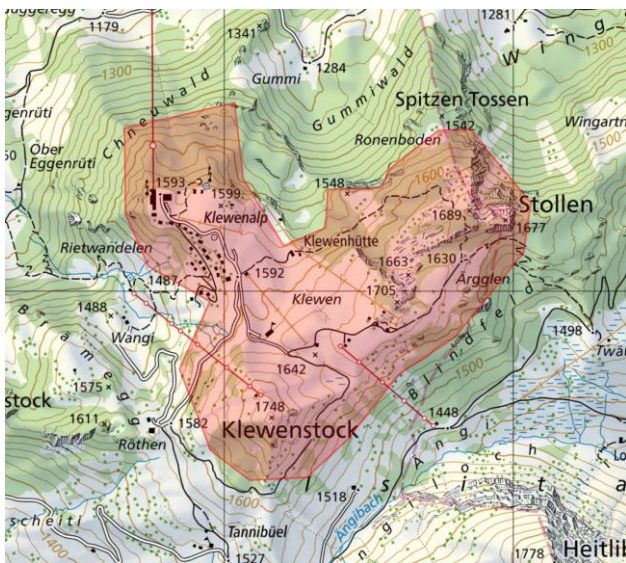
Bürgenberg (1)



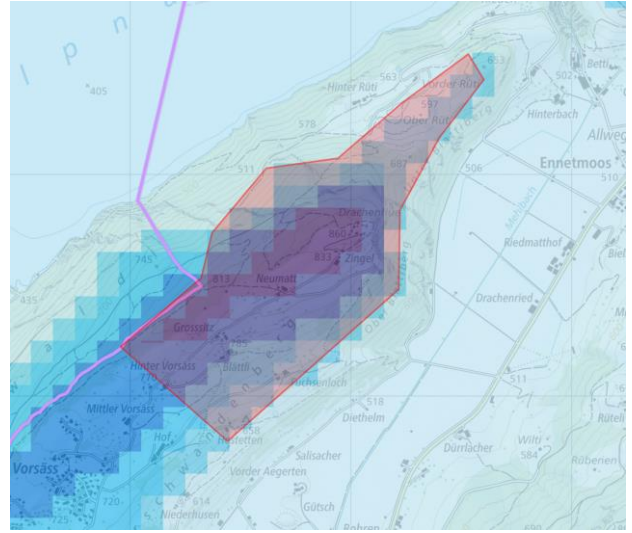
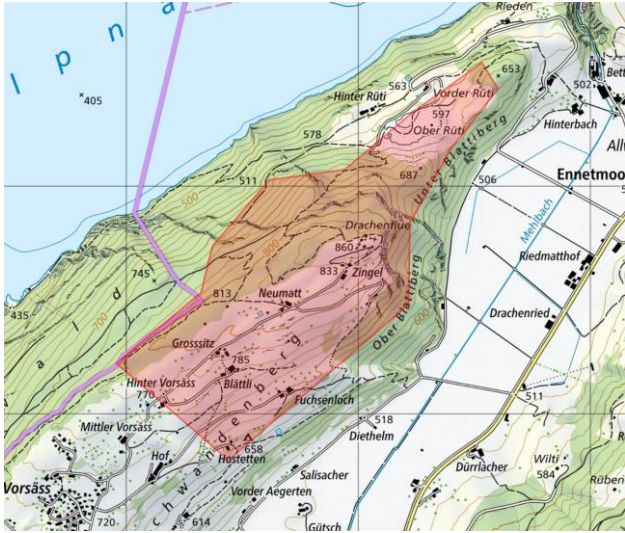
Gummen (8)



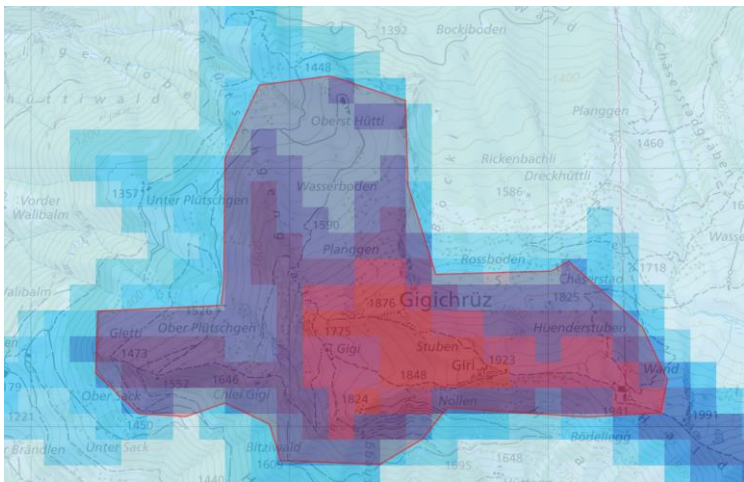
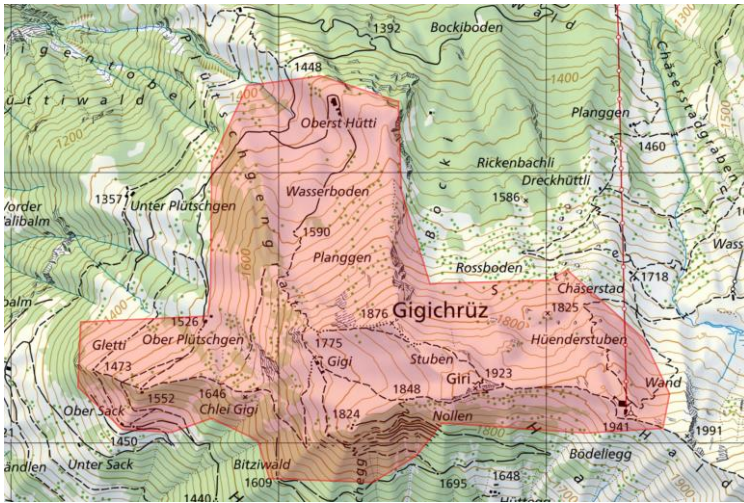
Klewenalp (5)



Mueterschwandenberg (2)



Plütschgen-/Haldigrat (9)



7.4 Berechnung der Globalstrahlung

Für die Berechnung der Einstrahlungswerte wurde die Software Meteororm v8.2⁴² verwendet, welche von der Firma Meteotest entwickelt wird. Meteororm ist eine globale Klimadatenbank und erzeugt genaue und repräsentative typische Meteorologische Jahre für jeden Standort auf der Erde. Detaillierte Informationen über die Funktionsweise und die verwendeten Modelle sind im Softwarehandbuch⁴³ und im Theoriehandbuch⁴⁴ beschrieben.

Berechnung der Einstrahlung auf die geneigte Fläche

Die Grundlagendaten der Einstrahlung (Globalstrahlung auf eine horizontale und auf eine 30°, 75° und 90° geneigte Fläche), sowie des spezifischen PV-Ertrages [kWh/kW] für die gleichen Neigungen werden flächendeckend und auf den Kanton Nidwalden zugeschnitten geliefert. Dies erlaubt beispielsweise eine Darstellung der Einstrahlungsdaten und des spezifischen PV-Ertrages in den WebGIS-Tools des Kantons.

Im vorliegenden Projekt wurden die folgenden Winkelkonfigurationen berechnet (Abbildung 36):

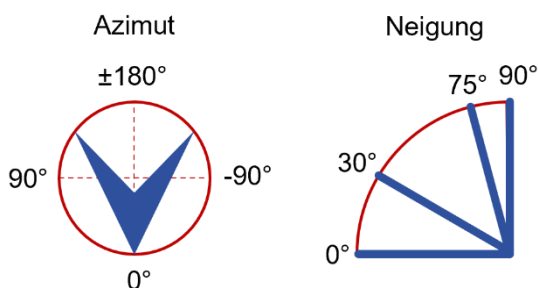
0° Neigung, Südausrichtung

30° Neigung, Südausrichtung

75° Neigung, Südausrichtung

90° Neigung, Südausrichtung

Abbildung 36: Winkelkonfigurationen für die Berechnung der Einstrahlung auf die geneigte Fläche (Azimut 0° = Süden).



Berechnung des natürlichen Horizontes

Der Einfluss des Horizonts der einzelnen Berechnungspunkte wurde aus einem 10 m aufgelösten Höhenmodell der Schweiz abgeleitet. Für die Berechnung des natürlichen Horizontes wurden sämtliche Erhebungen im Umkreis von 30 km jedes Berechnungspunktes in 1°-Schritten abgetastet. Aus den maximalen Höhenwinkeln ergibt sich die für die Berechnung der Einstrahlung relevante Horizontlinie. Der Suchradius für die Horizontberechnung wurde aus Gründen der Berechnungseffizienz auf 30 km beschränkt. In den allermeisten Fällen liegen die Punkte mit relevanter Horizont einschränkung in einer Distanz <30 km. Desweiteren ist der Höhenwinkel für weiter entfernt liegende Punkte sehr klein (wenige Grad) und für die Strahlungsbilanz vernachlässigbar (wenig Energieeintrag bei Sonnenaufgang/-untergang).

Aggregationszeiträume und Einheiten

Die Ergebnisse der Berechnung mit Meteororm werden für jeden Berechnungspunkt als Monatswerte abgespeichert. Es werden die folgenden Aggregationszeiträume ausgegeben:

Monatssumme (Summe pro Monat Januar bis Dezember)

Jahressumme (Summe aller Monate Januar bis Dezember)

Wintersumme (Summe aller Monate Oktober bis März)

Für die jeweiligen Aggregationszeiträume wird die Einstrahlungssumme in den Einheiten kWh/m² und die PV-Produktionssumme in den Einheiten kWh/kW angegeben.

⁴² <https://meteororm.com/>

⁴³ https://meteororm.meteotest.ch/assets/downloads/mn82_software.pdf

⁴⁴ https://meteororm.meteotest.ch/assets/downloads/mn82_theory.pdf

Dateinamen

Die Datensätze sind nach der folgenden Konvention benannt:

VARIABLENNAME_Ausrichtung**AZIMUT**_Neigung**NEIGUNG**_AGGREGATION_NW.tiff

In Tabelle 50 sind die möglichen Werte der **PLATZHALTER** aufgelistet.

Tabelle 50: Werte der Platzhalter für die Namensgebung

Platzhalter	Wert
VARIABLENNAME	Globalstrahlung, PVProduktion
AZIMUT	0
NEIGUNG	0, 30, 75, 90
AGGREGATION	Jahressumme, Monatssumme[01..12], Wintersumme