



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Jahresbericht 31. Dezember 2008

Erhebung des Kleinwasserkraftpotentials der Schweiz

Ermittlung des hydroelektrischen Potentials für Kleinwasserkraftwerke in der Schweiz

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Wasserkraft
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

Watergisweb AG
Donnerbühlweg 41
CH-3012 Bern
www.watergisweb.ch

Autoren:

Dr. Udo Schröder, Watergisweb AG, u.schroeder@watergisweb.ch
Yvo Weidmann, Watergisweb AG, yvo.weidmann@watergisweb.ch

BFE-Bereichsleiter: Dr. Michael Moser

BFE-Programmleiter: Dr. Klaus Jorde

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 153640 / 102835

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Glossar	7
2	Geographische und hydrologische Kennwerte des Kantons Bern	8
2.1	Gewässernetz GN5	8
2.1.1	Gewässerlängen...	9
3	Konzeptueller Ansatz	10
4	Datenmodell	13
4.1	Kurzbeschreibung der Entitäten	13
4.2	Views	14
5	Berechnungsmethodik.....	15
5.1	Ablauf	15
5.2	Methodischer Ansatz	18
5.2.1	Einzugsgebietsberechnung	18
5.2.2	Das Wassertropfenprinzip	18
5.2.3	Festlegen der Gewässerpunkte für die EZG-Berechnung.....	20
5.2.4	Standortanalyse.....	22
5.2.5	Referenzlängen der Gewässerpunkte	24
5.3	Sonderfälle	25
5.3.1	Kanäle und anthropogene Gewässer	25
5.3.2	Falsche Gewässerstruktur	27
5.3.3	Mündungsbereiche	29
5.3.4	Siedlungsgebiete	30
5.3.5	Bifurkation.....	31
6	Softwaremodule.....	32
7	Qualitätssicherung, Plausibilitätsprüfungen	34
7.1	Plausibilität Einzugsgebietsgrösse	35
7.2	Extremwerte ermittelter Potentiale	37
7.3	Fehlerbehandlung.....	38
8	Grundlagen	39
8.1	Höhenmodell DHM25_10	39
8.2	Vorhandene Kraftnutzung WAKRA	40
8.3	Killerfaktoren.....	41
8.4	Limitierende Faktoren	41
9	Limitierungen, Randbedingungen, Analyseparameter	42
9.1	Randbedingungen für die Analysen	42
9.2	Gestauchte Gewässer	42
9.3	Wechsel der Routennummer auf dem Hauptgewässer.....	42
9.4	Nicht berücksichtigte Gewässer	42
10	Referenzen	45

Liste der Abbildungen

Abb. 1: Histogramm der Gewässerlängen in GN5	9
Abb. 2: Datenmodell (vereinfacht).....	13
Abb. 3: Diskrepanz zwischen Gewässerlauf GN5 und Tiefenlinie des DHM25_10	18
Abb. 4: Erstellen eines Generischen Gewässerlaufs (Prinzipskizze).....	19
Abb. 5: Gewässer im GN5 und zugeordnete <i>Generische Gewässer</i>	20
Abb. 6: Festlegen von Berechnungspunkte auf dem Generischen Gewässer.....	21
Abb. 7: Zugeordnete Punkte GN5 und Generische Gewässer	22
Abb. 8: Prinzip der Standortanalyse.....	22
Abb. 9: Berücksichtigung der Gewässerbereite in der Standortanalyse	23
Abb. 10: Relevanzlängen für Gewässerpunkte	25
Abb. 11: Anthropogen überprägtes Gewässer (Kanal)	26
Abb. 12: Nicht übereinstimmende Gewässerstruktur GN5 - Generisches Gewässer	27
Abb. 13: GN5 fliesst über eine Wasserscheide	28
Abb. 14: Nicht analysierbarer Mündungsbereich der Rotache.....	29
Abb. 15: GN5-Gewässer und Generisches Gewässer im Siedlungsgebiet	30
Abb. 16: Bifurkation, falsche Abgrenzung des Einzugsgebiets	31
Abb. 17: Softwaremodule für die Berechnung und deren Ablauf	32
Abb. 18: Plausibilitätsprüfung der Einzugsgebietsgrösse	35
Abb. 19: Identifikation falsch berechneter Einzugsgebiete einzelne Gewässerpunkte	36
Abb. 20: Falsche Zuordnung von Gewässerpunkten auf dem Generischen Gewässer.....	37
Abb. 21: Tabelle mit hohen Potentialen für einzelne Gewässerpunkte.....	38
Abb. 22: Fehlende Abdeckung des DHM25_10 für das EZG der Emme	39
Abb. 23: Attribute aus WAKRA.....	40
Abb. 24: Killerfaktoren	41
Abb. 25: Einflussfaktoren	41
Abb. 26: Definition der Gewässerabschnittstypen (Auszug aus /1/)	43

Liste der Tabellen

Tab. 1: Flächen und Landnutzungen im Kanton Bern.....	8
Tab. 2: Kennwerte GIS-Datensatz GN5	8
Tab. 3: Vergleich der unterschiedlichen Suchradien.....	24
Tab. 4: Übersicht der Softwaremodule	33
Tab. 5: Randbedingungen und Limitierungen für die Analysen	42
Tab. 6: Nicht berücksichtigte Gewässerabschnittstypen.....	43

Abstract

Mit geeigneten GIS-gestützten Analysen ist das hydroelektrische Potential für Kleinwasserkraftwerke in der Schweiz zu ermitteln. Für die Analysen sind Geodaten zu verwenden, die beim Bund und den Kantonen vorhanden sind.

Um flächendeckende und robuste Resultate zu erzeugen sind alle Fliessgewässer der Schweiz in einer hohen räumlichen Auflösung hinsichtlich ihres hydraulischen Energiepotentials zu analysieren. Der konzeptuelle Ansatz sieht vor, mittels GIS-gestützten Analysen die Energiepotentiale auf allen Fliessgewässern in Abständen von 50 m zu berechnen. Die Resultate des Teilprojekts „Ermittlung des hydroelektrischen Potentials für Kleinwasserkraftwerke“ bilden die Grundlage für die ganzheitlichen Betrachtung der Energieressource Wasser von Seiten des Geographischen Instituts der Universität Bern. Dieser konzeptuelle Ansatz zur Berechnung der Energiepotentiale wurde im Rahmen eines Auftrags von der sol-E suisse AG realisiert und mit dem Swiss Mountain Water Award 2008 prämiert.

Der skizziert konzeptuelle Ansatz wurde im Rahmen einer Potentialstudie für das Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern (AWA) verbessert, und das Berechnungsvorgehen optimiert. Mit der Potentialstudie wurde, unter Berücksichtigung von Einflussfaktoren und vorhandener Wasserkraftnutzungen, das hydroelektrische Potential aller Fliessgewässer im Kanton Bern ermittelt. Diese „kantonale“ Potentialstudie wurde vorgezogen, da die Geodaten für die schweizweite Analyse aus rechtlichen Gründen im 2008 noch nicht verfügbar waren.

Verwendet wurden hoch aufgelöste kantonale Daten (Erfassungsmassstab Gewässernetz 1:5 000, Rastergrösse des Höhenmodells 10 x 10 m). Die Resultate liefern Aussagen zur regionalen Verteilung der Energiepotentiale, zum Ausbaugrad bestehender hydroelektrischer Anlagen und zu potentiellen Standorten von Kleinwasserkraftwerken. Die Ergebnisse der Studie sollen in einer kantonalen Strategie „Erneuerbare Energien“ eingehen.

Mit der Studie für den Kanton Bern wurde der konzeptuelle Ansatz verfeinert sowie die Berechnungsmethodik verbessert und optimiert. Wesentliche Verbesserungen sind zu verzeichnen bei der Güte der Resultate, den QS-Mechanismen und Plausibilitätsprüfungen, der Robustheit in der Analyse grosser Geodatenbestände sowie in der Identifikation und Behandlung von Besonderheiten. Die Verbesserungen sind vor allem darin begründet, dass der methodische Ansatz und Arbeitsweise der Softwaretools anhand aller 6365 analysierten Gewässer überprüft wurde.

Mit der Studie liegen die Grundlagen für die im Forschungsantrag beschriebene Sensitivitätsanalyse (Nutzung hoch aufgelöster kantonaler Daten (M 1:5 000) versus eidgenössischer Daten (M 1:25 000) vor.

Vor der detaillierten Beschreibung der Potentialstudie werden die Erkenntnisse im Hinblick auf das BFE Projekt bewertet.

1 Einleitung

Die Resultate der Potentialstudie für den Kanton Bern haben die Brauchbarkeit des konzeptuellen Ansatzes und dessen softwartechnische Umsetzung bestätigt. Die detaillierte Betrachtung der Gewässer, analysiert wurden Gewässerabschnitte von 50 m, erlaubten flächendeckende Aussagen

- zum theoretisch vorhandenen Potential,
- zum bereits genutzten Potential,
- und zum Potential, welches durch Schutzaspekte von der Nutzung ausgeschlossen ist.

Mit der Studie wurde etwa 14 % der Fläche der Schweiz hinsichtlich dem hydroelektrischen Potential der Fliessgewässer analysiert. Für das BFE-Projekt konnten aus der Studie folgende Erkenntnisse gewonnen, resp. verbessert werden:

- Optimierte Nutzung eines hoch aufgelösten digitalen Höhenmodells (DHM25_10). Zur Reduktion der Berechnungszeiten, wurde das Höhenmodell unter hydrologischen Gesichtspunkten aufgeteilt.
- Behandlung von Randbereichen (unzureichende Abdeckung des hoch aufgelösten Höhenmodells für Einzugsgebiete ausserhalb des Kantons Bern.)
- Verbesserung der QS-Mechanismen und Plausibilitätstest.
- Optimierung der Verfahren zur Identifikation zweifelhafter oder fehlerhafter Resultate.
- Fehlende Übereinstimmung von Gewässernetz und Höhenmodell. Verbesserung des „Wassertropfenprinzips“.
- Automatische Gliederung der Einzugsgebiete.
- Optimierung und Automatisierung der Berechnungsabläufe. Alle Analysen wurden im Batchmodus auf mehreren Rechner durchgeführt.
- Optimierung der Datenhaltung, um die Berechnungszeiten zu reduzieren.
- Sensitivitätsanalysen hinsichtlich dem Einfluss unterschiedlicher Gewässerbreiten bei der Identifikation von Einflussfaktoren auf die Wasserkraftnutzung.
- Optimierung des Datenmodells für die Anforderungen der BFE-Studie.

Mit der Potentialstudie für den Kanton Bern wurden die EDV-technischen Grundlagen erstellt und verifiziert, um die Potentialanalyse für die ganze Schweiz zu starten. Neben dem Datenmodell, das alle relevanten Informationen enthält, steht eine IT-Infrastruktur zur Verfügung, um die Analysen effizient durchzuführen.

Zusätzlich wurden wichtige Grundlagedaten für Sensitivitätsanalysen erarbeitet. Die Bedürfnisse kantonaler Fachstellen hinsichtlich der Resultatdarstellung wurden identifiziert.

Ende 2008 wurde vom BAFU das Projekt „Webbasierte Darstellung von Einzugsgebieten, und Abflüssen“ an uns herangetragen. Mit diesem Projekt sollen Teilergebnisse der Potentialstudie, namentlich die Einzugsgebiete und Abflüsse, kantonalen Fachstellen der Wasserwirtschaft, der Raumplanung und des Umweltschutzes bereitgestellt werden.

Im vorliegenden Jahresbericht werden der konzeptuelle Ansatz, das Datenmodell, die Berechnungsmethodik sowie die Verfahren zur Qualitätssicherung und Plausibilitätsprüfung detailliert beschrieben. Nach Prüfung der Resultate durch den Kanton Bern werden diese ebenfalls bereitgestellt.

1.1 Glossar

Begriff Erläuterung

ArcGIS GIS-Produkte der Firma ESRI (ArcView, ArcInfo, ArcIMS)

ArcGIS-Tool Softwaremodul, welche ArcGIS um spezifische Funktionen erweitert.

DHM25_10 Digitales Höhenmodell des Kantons Bern mit einer Rastergrösse von 10 m

EZG Einzugsgebiet

Geodaten Daten mit einem eindeutigen Raumbezug. Unterschieden werden die geometrischen Objekte Punkt, Linie, Fläche und Raster.

Geodatenbank Bezeichnung für Datenbanken, in welchen Geometrien und Sachdaten gemeinsam gespeichert werden.

Geometric Network Datenstruktur zu Abbildung von Netzwerkbeziehungen

GN5 Digitales Gewässernetz des Kantons Bern

MQ-CH Rasterdatensatz der mittleren monatlichen Abflüsse mit einer Rastergrösse von 500 m (erstellt vom BAFU)

Oracle Relationales Datenbankmanagement System zum Speichern grosser Datenmengen

Räumliche Analysen Verschneidungs- und Überlagerungsfunktionen in einem GIS.

RDBMS Relationales Datenbankmanagement System wie ORACLE, SQL-SERVER, INGRES u.a.

Tiefenlinie Aus DHM25_10 hergeleiteter Verlauf der Talsohle

WAKRA EDV System des WWA zur Erfassung und Verwaltung von Wasserkraftkonzessionen

2 Geographische und hydrologische Kennwerte des Kantons Bern

In Tab. 1 sind geographische und hydrologische Kennwerte des Untersuchungsgebietes zusammengestellt.

Tab. 1: Flächen und Landnutzungen im Kanton Bern

Beschreibung	Fläche in km ²	Anteil in %
Gesamtfläche	5959	100.0
Siedlungsfläche	381	6.4
Landwirtschaftsfläche	2580	43.3
Wald und Gehölze	1847	31.0
Unproduktive Fläche	617	10.4
Gletscher	389	6.5
Seen	144	2.4

Aus: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/regionen/regionalportraets/bern/blank/kennzahlen.html>

Höhen

Höchste Erhebung: Finsteraarhorn (4274 m ü. M.)

Tiefster Punkt: Die Aare bei Wynau (401.5 m ü. M.)

2.1 Gewässernetz GN5

Das Gewässernetz GN5¹ weist folgende Eigenschaften auf:

Tab. 2: Kennwerte GIS-Datensatz GN5

Parameter	Wert / Einheit	Bemerkung
Anzahl Gewässer	21050	Gesamtzahl aller gerouteten Gewässer
Kürzestes Gewässer	0.0015 km	
Längstes Gewässer	205.6 km	Aare
Mittlere Länge	0.591 km	
Gesamtlänge	12456 km	
Gewässer > 500 m		
Anzahl	6365	Anzahl Gewässer mit einer Länge > 500 Meter. Diese wurden für die Analysen berücksichtigt.
Gesamtlänge	9626 km	
Anteil am Gesamtgewässernetz	77 %	

Eine detaillierte Beschreibung des Gewässernetzes findet sich in der Produktbeschreibung GN5 [1]

¹ Stand 2003

2.1.1 Gewässerlängen

Tab. 2 zeigt, dass von den 21050 Gewässern im Kanton nur 6365 länger sind als 500 m. Für die Potentialsstudie wurden nur Gewässer berücksichtigt, die länger sind als 500 m. Hierfür sind zwei Gründe anzuführen:

1. Für Einzugsgebiete < 5 km² kann der Abfluss nicht mit ausreichender Güte ermittelt werden [2].
2. Kurze Gewässer sind energietechnisch schwer oder nicht nutzbar.

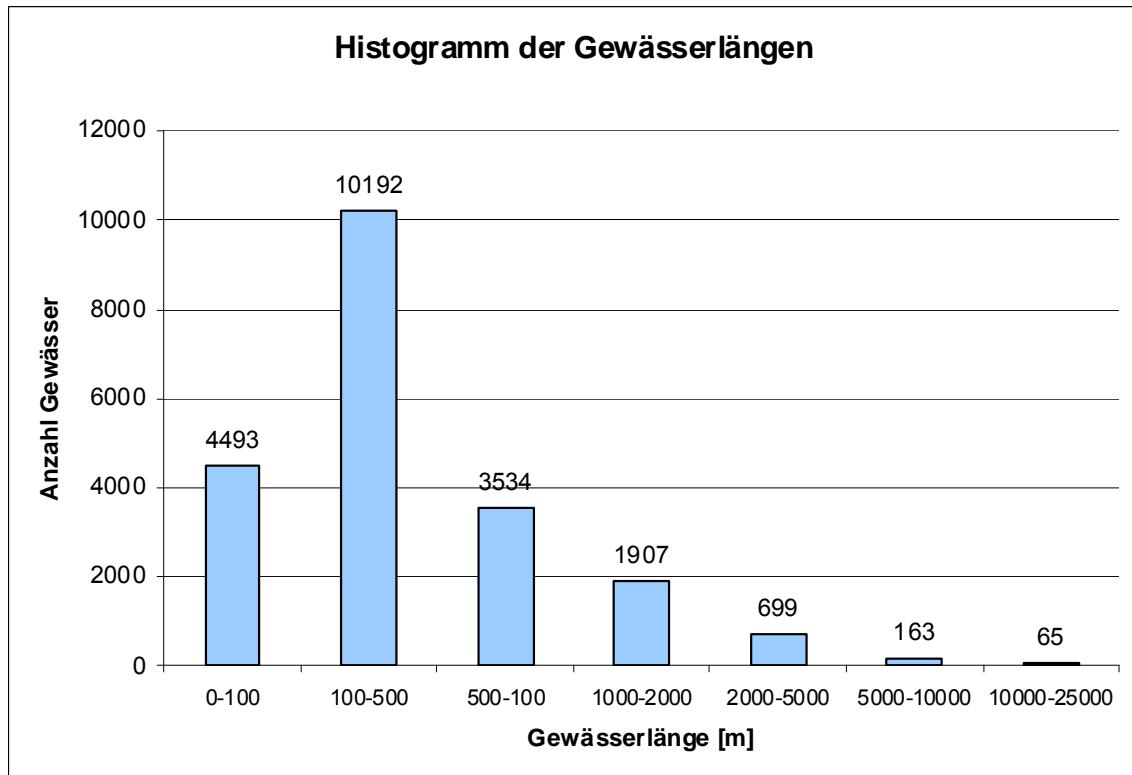
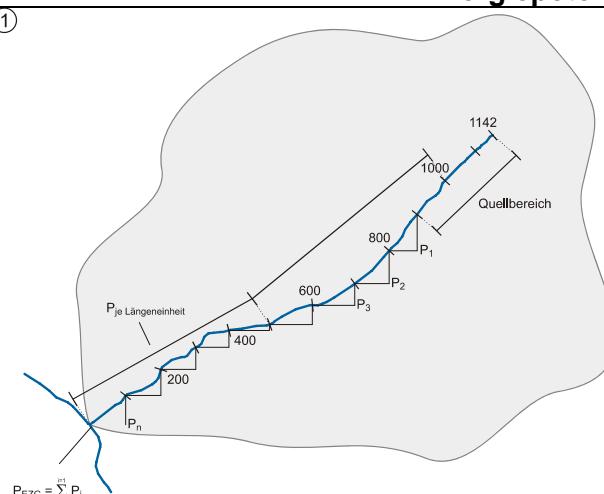
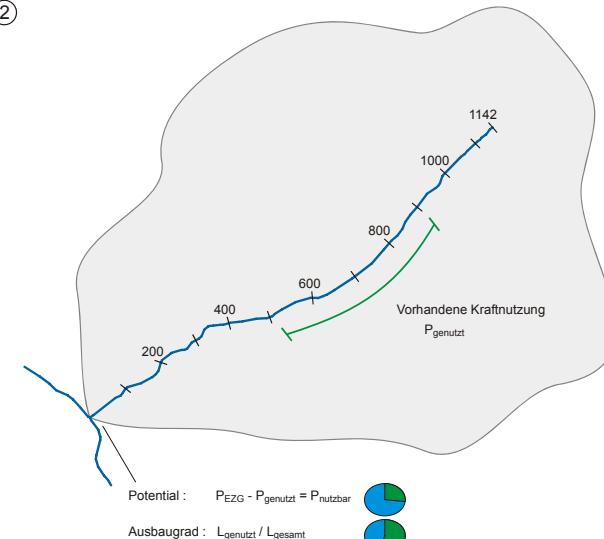


Abb. 1: Histogramm der Gewässerlängen in GN5

3 Konzeptueller Ansatz

Das hydroelektrische Potential der Fließgewässer wird primär bestimmt durch topographische und hydrologische Kennwerte. Dies sind namentlich die Flächen und der oberirdischen Abfluss des Einzugsgebiets, sowie das Längsprofil der Gewässer (Gefälle). Einschränkungen ergeben sich durch eine bereits vorhandene Nutzung sowie limitierende Faktoren (Natur- und Gewässerschutz). Die Vorgehensweise zur Berechnung der Energiepotentiale wird anhand der nachfolgenden Graphiken erläutert.

Energiepotential ermitteln	
<p>①</p>  $P_{EZG} = \sum_{i=1}^{n-1} P_i$	<p>Ein Gewässer wird in äquidistante Abschnitte unterteilt. Das hydroelektrische Potential kann für jeden Abschnitt aus Einzugsgebietsfläche, Abfluss und Gefälle ermittelt werden. Das Aufsummieren der Potentiale aller Abschnitte eines Gewässers ergibt das <i>theoretische hydroelektrische Potential</i> des Gewässers. Um Fehler zu vermeiden wird der Quellbereich, d.h. die ersten 500 m ab Quelle nicht berücksichtigt. Die Abflussberechnung basiert auf dem anthropogen unbeeinflussten, mittleren natürlichen Abfluss [2].</p>
Vorhandene Kraftnutzung berücksichtigen	
<p>②</p>  <p>Potential : $P_{EZG} - P_{genutzt} = P_{nutzbar}$</p> <p>Ausbaugrad : $L_{genutzt} / L_{gesamt}$</p>	<p>Die Nutzung der Gewässer ist bewilligungspflichtig und in Konzessionen rechts-verbindlich festgelegt. Alle Informationen zu den Konzessionen sind in digitaler Form vorhanden. Durch die Subtraktion des bereits genutzten Energiepotentials vom totalen Energiepotential wird das <i>theoretisch noch verfügbare Energiepotential</i> ermittelt.</p>

Limitierende Faktoren ermitteln		
⑥		<p>Das theoretisch verfügbare Energiepotential wird durch limitierende Faktoren reduziert. Die limitierenden Faktoren sind zu differenzieren in Killer- und Einflussfaktoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Killerfaktoren stellen ein Ausschlusskriterium dar, welches keine Nutzung zulässt. • Einflussfaktoren stellen eine Beeinträchtigung dar, verhindern eine Nutzung jedoch nicht. <p>Die Berücksichtigung der limitierenden Faktoren erfolgt GIS-technisch durch eine Verschneidung, in welcher auch der „Abstand der Einflussfaktoren“ vom Gewässer berücksichtigt werden kann.</p>
Killerfaktoren		
④		<p>Unter Berücksichtigung der Killerfaktoren wird das verbleibende <i>nutzbare Energiepotential</i> ermittelt.</p>
Ergebnisse		
⑤		<p>Mit den vorangegangenen Analysen werden die</p> <ul style="list-style-type: none"> • beeinflussten • unbeeinflussten • genutzten • für die Nutzung ausgeschlossenen <p>Gewässerabschnitte identifiziert. Neben den Gewässerstrecken (Längen) sind auch die Potentialanteile der oben genannten Eigenschaften für die Gewässerabschnitte bekannt.</p>
Resultatdarstellung		

<p>Theoretisches Potential</p> <p>Potential ausgeschlossen durch Killerfaktoren</p> <p>Potential genutzt</p> <p>Potential limitiert durch Einflussfaktoren</p> <p>Potentialunbeeinflusst</p> <p>30'000+ kW</p> <p>20'000 kW</p> <p>10'000 kW</p> <p>Spezifische Leistung</p> <ul style="list-style-type: none"> 0.0 - 0.1 kW/m 0.1 - 0.3 kW/m 0.3 - 1.0 kW/m 1.0 - 3.0 kW/m 3.0 - 60.0 kW/m 	<p>In der kartographischen Darstellung kommen zwei Diagrammtypen zur Anwendung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kreisdiagramm: Die Kreisfläche ist proportional dem <i>theoretischen Potential</i> (Gesamtpotential). Die Potentialanteile werden als Kreissegmente ausgewiesen. • Säulendiagramm: Die Säulenhöhe ist proportional der Gewässerlänge. Die Gewässerstrecken der einzelnen Potentialanteile werden proportional ihrer Länge ausgewiesen. <p>Das Konzept erlaubt eine Gegenüberstellung der Teilpotentiale und der durch sie beeinflussten Gewässerstrecken. Mit dem spezifischen Potential wird die Leistung pro Längenabschnitt (kW/m) ausgewiesen. Vorhandene Kraftnutzungen und Einflussfaktoren werden in einer Bänderdarstellung entlang des Gewässers dargestellt.</p>
<p>Thematische Karten</p>	<p>In den Detailkarten werden für jedes Gewässer das Potential und die Teilpotentiale ausgeschieden.</p> <p>In den Übersichtskarten werden die Resultate nur für grössere Fluss- oder Einzugsgebiete ausgewiesen. Hierzu werden die Potentiale der im Flussgebiet enthalten Gewässer aufsummiert.</p>

4 Datenmodell

Das Datenmodell ermöglicht das redundanzfreie Speichern aller Analyseresultate und wichtiger Zwischenergebnisse. In einer vereinfachten Form ist es in Abb. 2 als Entitätendiagramm dargestellt. Rechts der blauen Trennlinie sind die Entitäten betreffend Gewässerpunkte aufgeführt, links der Trennlinie jene für die Gewässer. Entitäten, welche Informationen zu den Potentialen enthalten und primär die Grundlage für die tabellarische und graphische Resultatdarstellung bilden, sind orange markiert. Das Datenmodell ist erweiterbar konzipiert.

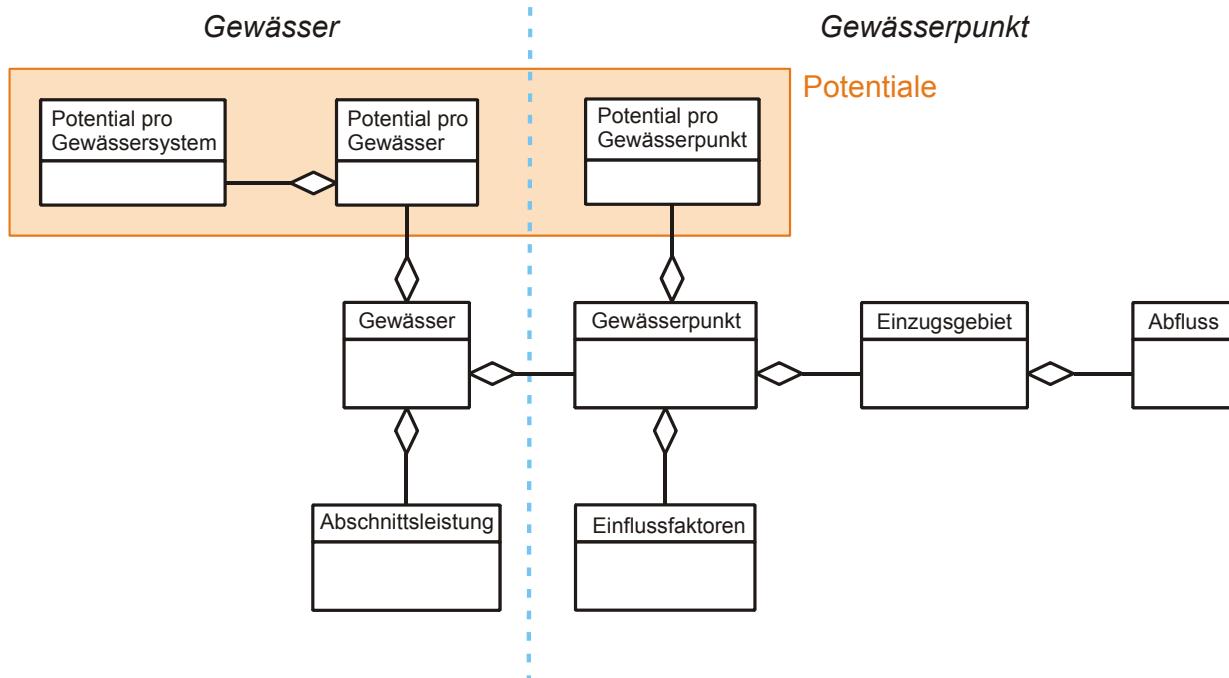


Abb. 2: Datenmodell (vereinfacht)

Eine detaillierte Beschreibung des Datenmodells findet sich im Anhang. Nachfolgend werden nur die wichtigsten Informationen zu den Entitäten und deren Besonderheiten aufgeführt.

4.1 Kurzbeschreibung der Entitäten

Gewässerpunkt Ist die zentrale Entität. Für jeden Gewässerpunkt bekannt sind:

- Geographische Lage (Rechtswert, Hochwert, Höhe ü.M.)
- Zugehörigkeit zu einem Gewässer (Flussnummer)
- Lage (Position) auf der Flussachse

Einzugsgebiet Enthält alle Informationen zum Einzugsgebiet des Gewässerpunktes (1:1 - Verknüpfung)

- Geometrie des Einzugsgebiets
- Kennwerte (minimale, mittlere und maximale Höhe, Fläche)

Abfluss Enthält die Abflusskennwerte für ein Einzugsgebiet (1:13 - Verknüpfung)

- Mittlere monatliche Abflüsse Jan - Dez in (l/s)
- Mittlerer jährlicher Abfluss

Einflussfaktoren Enthält alle Informationen zu den beeinflussenden Faktoren für einen Gewässerpunkt (1:n - Verknüpfung). Die Einflussfaktoren sind das Ergebnis der Standortanalyse.

- Vorhandene Kraftnutzung und konzessionierte Leistung
- Limitierende Faktoren
- Killerfaktoren

Hinweis: Mit dem jeweiligen Einflussfaktor wird auch dessen Schlüssel (eindeutige Kennung) gespeichert. Hierdurch kann der Gewässerpunkt bei Bedarf mit dem Originaldatensatz des Einflussfaktors wieder verknüpft werden.

Potential pro Gewässerpunkt Für jeden Gewässerpunkt wird aus dem Abfluss und der Höhendifferenz zum nächsten flussabwärts liegenden Gewässerpunkt sein hydroelektrisches Potential ermittelt (1:1 - Verknüpfung).

Gewässer Alle Gewässerpunkte sind über einen eindeutigen Schlüssel einem Gewässer (Fluss) zugeordnet (1:n - Verknüpfung).

- Durch die Positions- und Höhenangaben ist das Längsprofil bekannt.
- Auf einem Gewässer repräsentiert jeder Gewässerpunkt eine Referenzlänge, im Normalfall 50 m. Die Referenzlänge ergibt sich aus der Summe der jeweils halben Distanz zum nächsten flussabwärts und flussaufwärts liegenden Gewässerpunkt.

Abschnittsleistung Zur Wahrung der Übersichtlichkeit wird die *spezifische Leistung* für längere Gewässerabschnitte (1, 2 oder 5 km) ermittelt.

Potential pro Gewässer Enthält Angaben zum Potential der Gewässer. Dient als Grundlage für die kartographische Darstellung (Detailkarten).

- Theoretisches Potential
- Genutztes Potential (Kraftnutzung)
- Beeinflusstes Potential (Limitierende Faktoren)
- Nicht nutzbares Potential (Killerfaktoren)

Potential pro Gewässersystem Enthält Angaben zum Potential eines *Einzugsgebietes*. Dient als Grundlage für die Übersichtskarten.

- Theoretisches Potential
- Genutztes Potential (Kraftnutzung)
- Beeinflusstes Potential (Limitierende Faktoren)
- Nicht nutzbares Potential (Killerfaktoren)

4.2 Views

Für alle Analysen und Resultatdarstellungen werden die Daten mittels SQL-Abfragen aus den Entitäten bedürfnisgerecht zusammengestellt. Diese SQL-Abfragen sind in *Views* gespeichert.

5 Berechnungsmethodik

Die Analysen werden vorwiegend mit GIS-Methoden durchgeführt. Hierfür werden die topographischen und hydrologischen Grundlagendaten, sowie die GIS-Daten der Einflussfaktoren, bedürfnisgerecht aufbereitet und in eine Geodatenbank überführt. In Geodatenbanken können geometrische Informationen gemeinsam mit Sachdaten verwaltet und für raumbezogene Analysen genutzt werden.

Das hydraulische Potential eines Gewässerpunktes wird nach Gleichung 1 für jeden Gewässerpunkt aufgrund der berechneten Abflussmenge und der Höhendifferenz zum nächsten flussabwärts liegenden Gewässerpunkt ermittelt.

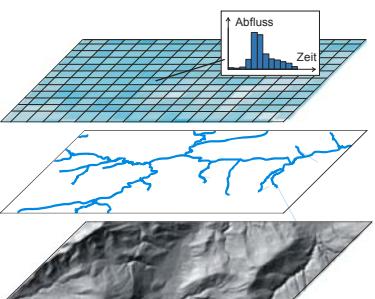
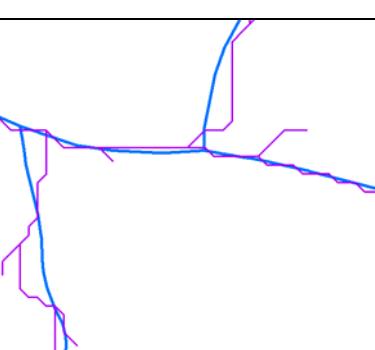
$$P = \rho \cdot Q \cdot \Delta h \cdot g \cdot w \quad \text{Gl. 1}$$

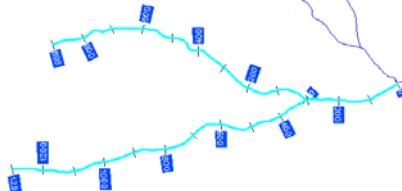
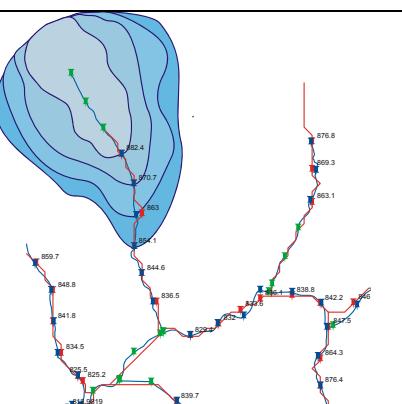
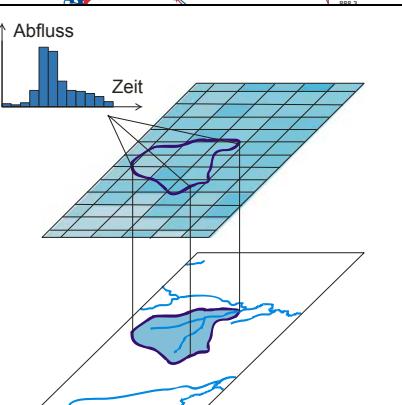
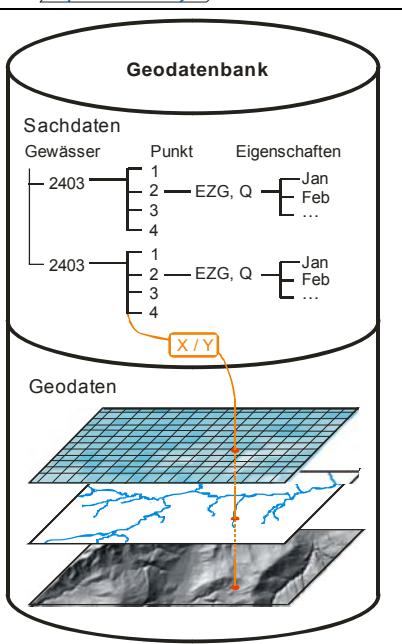
Mit

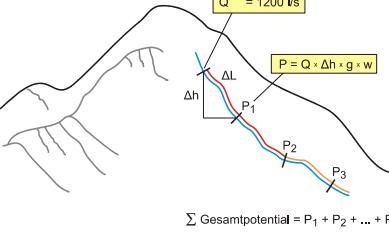
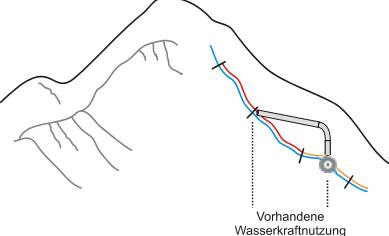
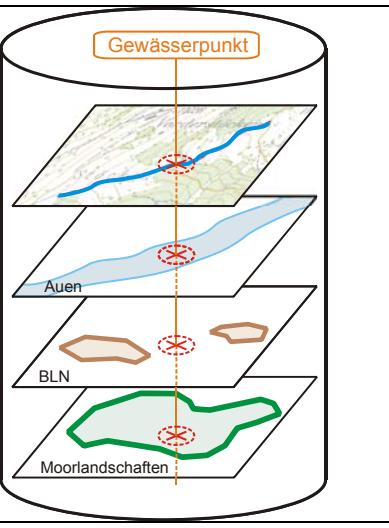
- P = elektrische Leistung in W
 Q = Abflussmenge in m^3/s
 Δh = Höhenunterschied zwischen zwei Gewässerpunkten in m
 g = Erdbeschleunigung 9.81 m/s^2
 w = Koeffizient für den Wirkungsgrad, Annahme $w = 1.0$
 ρ = Dichte des Wassers in kg/m^3

Die Berechnungsmethodik wird nachfolgend anhand von Graphiken illustriert und detailliert erläutert. Wo notwendig und dem Verständnis dienlich wird auf Besonderheiten hingewiesen.

5.1 Ablauf

	<p>① Aufbereiten der Grundlagendaten</p> <ul style="list-style-type: none">- Bereitstellen der Abflussdaten MQ-CH für das Projektgebiet- Bestimmen der geometrischen Abflussverhältnisse aus dem Höhenmodell, erstellen eines <i>generischen Gewässernetzes</i>- Aufbereiten und Bereitstellen der GIS-Layer für die Einflussfaktoren
	<p>① Zuordnung eines Gewässers an ein generisches Gewässer</p> <p>Die Berechnung der Einzugsgebiete erfolgt auf der Tiefenlinie des Höhenmodells, nachfolgend auch als Generisches Gewässer bezeichnet. Jedem Gewässer des GN5 wird genau ein Generisches Gewässer zugeordnet. Die Methodik ist in Kap. 5.2 ausführlich erläutert.</p>

	<p>② Festlegen diskreter Gewässerpunkte Die zu analysierenden Gewässer werden, ausgehend von der Mündung in äquidistante Abschnitte unterteilt (Schrittweite 50 m). Die gewählte Schrittweite ist das Ergebnis einer bereits durchgeföhrten Sensitivitätsanalyse. Für jeden Gewässerpunkt auf dem GN5 wird ein entsprechender Gewässerpunkt auf dem zugeordneten generischen Gewässerlauf ermittelt.</p>
	<p>③ Berechnen der Einzugsgebietskennwerte Für jeden diskreten Gewässerpunkt werden, basierend auf dem generischen Gewässernetz des DHM25_10, das jeweilige Einzugsgebiet (EZG) und alle gewünschten Kennwerte ermittelt (Fläche, minimale, maximale und mittlere Höhe).</p>
	<p>④ Berechnen der Abflussmengen Die mittleren monatlichen Abflüsse und der natürliche Jahresabfluss werden für jeden diskreten Gewässerpunkt durch den räumlichen Verschnitt der EZG-Fläche mit den Rasterdaten Abflüsse (MQ-CH) ermittelt [2]. Für jeden Monat sowie für das Jahresmittel liegt ein Rasterdatensatz der mittleren natürlichen Abflüsse vor (MQ-CH).</p>
	<p>⑤ Speichern der Resultate in einer Geodatendatenbank Alle geographischen und hydrologischen Kennwerte aller diskreten Gewässerpunkte werden gemäss dem Datenmodell in einer auf Oracle basierenden Geodatenbank gespeichert. Die Geodatenbank stellt die Datengrundlagen für die nachgeschalteten Analysen zum Energiepotential der Gewässer sowie zur Analyse der Einflussfaktoren bereit.</p>

	<p>⑥ Ermitteln des theoretischen Energiepotentials Für jeden Gewässerabschnitt (50 m) wird dessen theoretisches hydraulisches Energiepotential ermittelt. Das Aufsummieren der Potentiale der einzelnen Gewässerabschnitte ergibt das Gesamtpotential des Gewässers. Durch das Speichern der detaillierten Analyseresultate in der Datenbank sind jederzeit weitere bedürfnisgerechte Auswertungen möglich. Das theoretische Energiepotential wird ermittelt auf der Basis natürlicher, anthropogen unbeeinflusster Abflussmengen.</p>
	<p>⑦ Bereits genutztes Energiepotential berücksichtigend (WAKRA) Zur Energieerzeugung bereits genutzte Gewässerabschnitte werden vom theoretischen Energiepotential „subtrahiert“. In diesem Arbeitsschritt werden auch Wasserentnahmen und Rückgaben sowie hydrologische Besonderheiten wie grosse Quellschüttungen berücksichtigt.</p>
	<p>⑧ Standortanalyse Jeder Gewässerpunkt wird auf das vorhanden sein von Killer- und Limitierenden Faktoren untersucht. Dies erfolgt mit Hilfe eines räumlichen Verschnittes. Die einzelnen Killer- und Limitierenden Faktoren wurden gemeinsam mit dem Auftraggeber festgelegt.</p>
	<p>⑨ Qualitätssicherung und Plausibilitätstests Zur Prüfung der Resultate werden mehrere QS-Mechanismen und Plausibilitätstests angewendet.</p> <ul style="list-style-type: none"> Mit <i>statischen Verfahren</i> werden Ausreißer und nicht plausible Werte identifiziert. Mit <i>halbautomatischen Verfahren</i> werden Gewässer mit auffälligen Resultaten identifiziert und visuell überprüft. <p>Beispiel: Einzugsgebietsfläche und Abfluss muss mit der Lauflängen ansteigen, die Abflusswerten müssen einer für das Gebiet typischen Abflussspende [$l/s \text{ km}^2$] entsprechen.</p>

5.2 Methodischer Ansatz

5.2.1 Einzugsgebietberechnung

Problematik: Die Einzugsgebiete können **nicht** direkt auf der Grundlage von Punkten **auf** dem GN5 ermittelt werden, da das Gewässernetz GN5 und das Höhenmodell DHM25_10 nicht aufeinander abgestimmt sind. Anschaulich ist dies in Abb. 3 dargestellt. Ein Vergleich der Gewässerläufe aus GN5 mit der Tiefenlinie aus dem DHM25_10 zeigt je nach morphologischer Situation ein mehr oder weniger starkes Abweichen von der GN5-Achse.

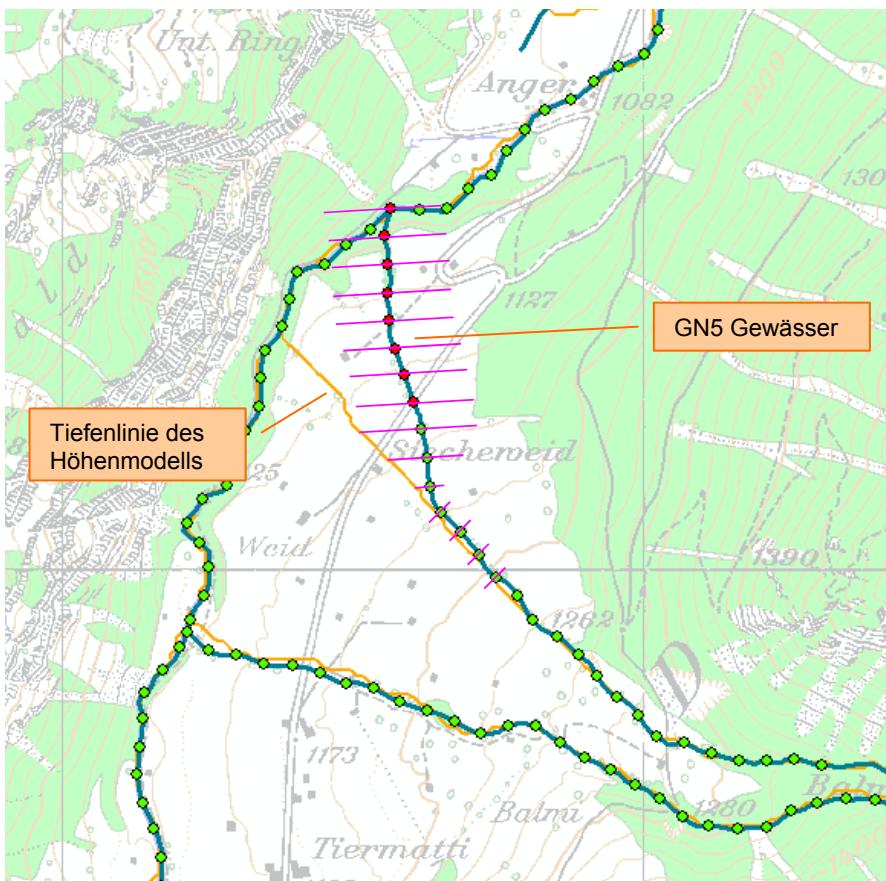


Abb. 3: Diskrepanz zwischen Gewässerlauf GN5 und Tiefenlinie des DHM25_10

Lösungsansatz: Die Einzugsgebiete für Gewässerpunkte auf dem GN5 werden auf der Basis entsprechender Punkte auf den Tiefenlinien des DHM25_10 ermittelt. Dies bedingt, dass für jeden Gewässerpunkt des GN5 ein entsprechender Punkt auf der Tiefenlinie des DHM25_10 definiert wird. Der Lösungsansatz wird als „Wassertropfenprinzip“ bezeichnet.

5.2.2 Das Wassertropfenprinzip

Die Überlegung: Jedem Gewässer im GN5 wird genau eine Tiefenlinie aus dem DHM25_10 zugeordnet, die dem Gewässer möglichst *ähnlich*² ist. Abb. 4 illustriert, dass alle Tiefenlinien, welche sich in einem Umkreis von 100 Metern (orange Kreislinie) zu einer Quelle befinden auf

² Die Differenz zwischen Tiefenlinie und GWN25 Gewässer soll minimal sein.

einer Tiefenlinie zusammenlaufen. Diese Tiefenlinie (fette violette Linie) entspricht mit zunehmender Lauflänge dem GN5 Gewässer.

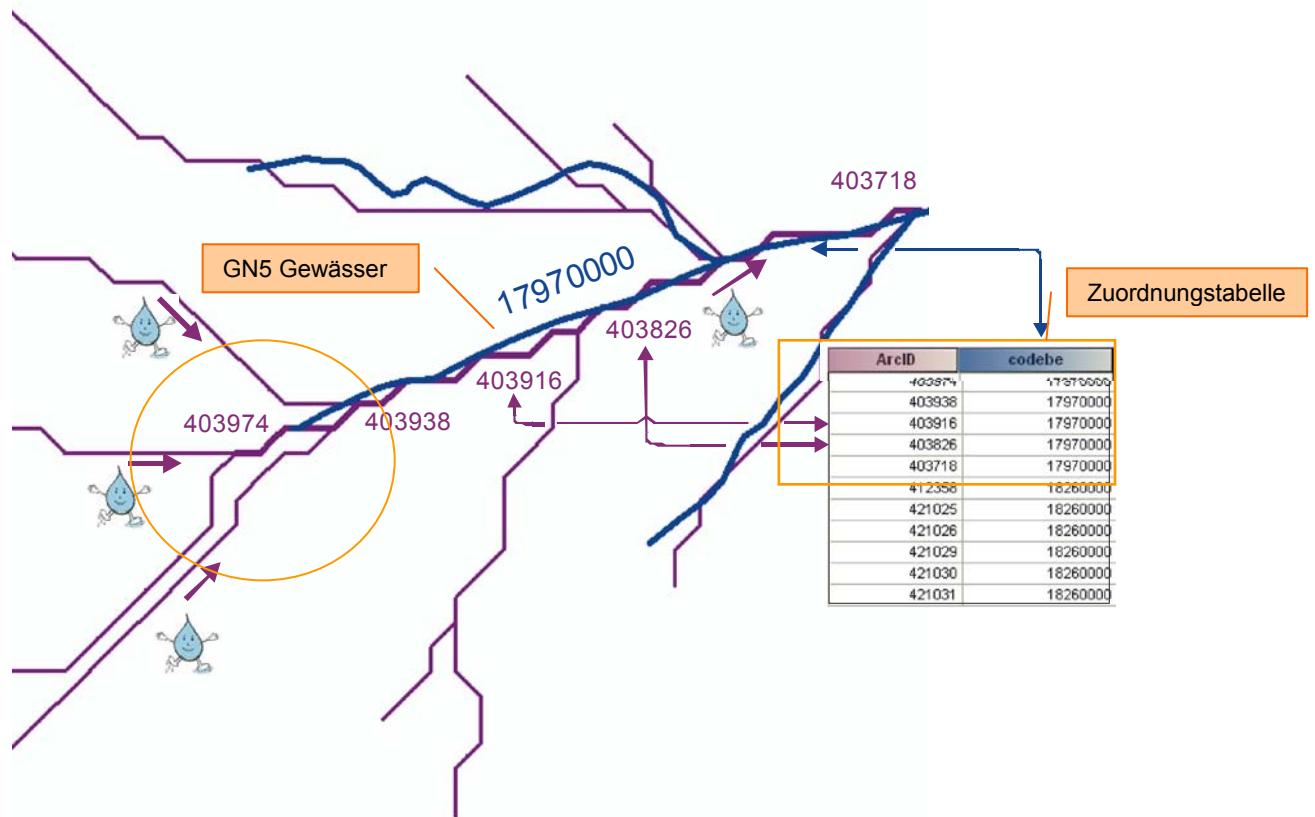


Abb. 4: Erstellen eines Generischen Gewässerlaufs (Prinzipskizze)

Das Prinzip: Wird auf irgendeiner Tiefenlinie in der Nähe der Quelle eines GN5 Gewässers ein „Wassertropfen“ gestartet, so durchfliesst dieser bereits nach kurzer Distanz alle Tiefenlinien des DHM25_10, die dem GN5 Gewässer entsprechen. In Abb. 4 ist das Prinzip beispielhaft am Gewässer 17970000 dargestellt.

Alle vom Wassertropfen durchflossenen Abschnitte der Tiefenlinien werden in einer **Zuordnungstabelle** protokolliert. Das Zusammenfassen aller Abschnitte eines Gewässers über einen Schlüssel (orange Markierung) liefert ein **Generisches Gewässer**. Für jedes GN5 Gewässer wird mit diesem Prinzip genau ein Generisches Gewässer ermittelt. Das Generische Gewässernetz wird softwaretechnisch gleich behandelt wie das GN5, d.h. es liegt in ArcGIS als *Network Dataset* vor.

Die Anwendung des Prinzips ist in Abb. 5 anhand mehrerer Gewässer beispielhaft dargestellt. Gestartet wird mit einem sehr hoch aufgelösten Netz von Tiefenlinien (violett, Bild links). Für jede Quelle wird auf einer Tiefenlinie im Umkreis von 100 m (oranger Kreis) ein Wassertropfen gestartet. Im Bild rechts sind nur noch die Generischen Gewässer dargestellt, die einem GN5 Gewässer zugeordnet sind. Auf diesen Generischen Gewässern werden die Referenzpunkte für die Berechnung von Einzugsgebiet und Abfluss festgelegt, siehe Kap. 5.2.3.

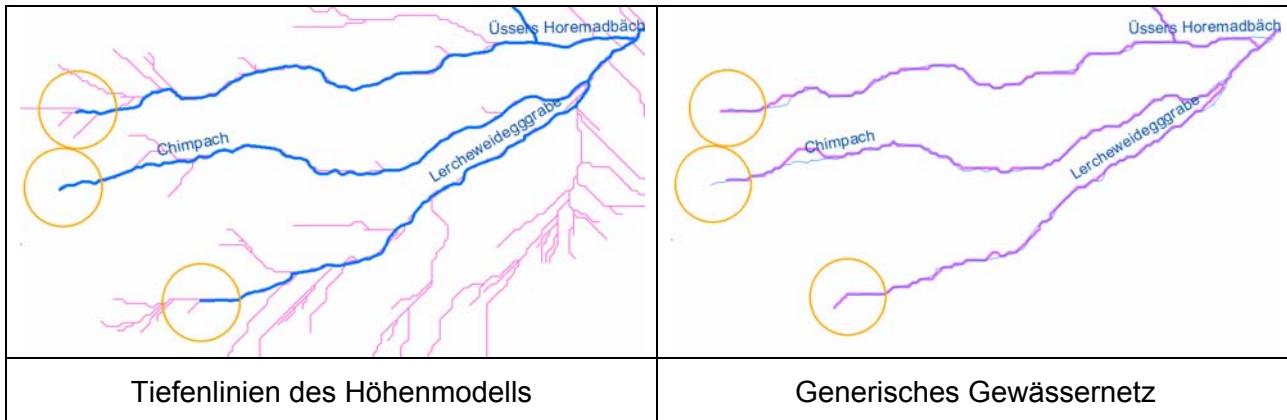


Abb. 5: Gewässer im GN5 und zugeordnete Generische Gewässer

Hinweis Bei der Entwicklung dieser Methodik wurden alle 6365 Gewässer visuell dahingehend überprüft, ob die Zuordnung der Generischen Gewässer korrekt ist. Dies erfolgte softwaregestützt, indem jedes Gewässer formatfüllend im GIS dargestellt wurde und die Güte der Zuordnung bewertet wurde. Basierend auf diesen Analysen wurde die Methodik des Wassertropfens optimiert.

5.2.3 Festlegen der Gewässerpunkte für die EZG-Berechnung

Aufgrund der fehlenden Übereinstimmung von GN5 und Höhenmodell erfolgt die Berechnung der Einzugsgebiete indirekt über Referenzpunkte auf dem Generischen Gewässernetz, d.h., den Tiefenlinien des Höhenmodells. Die Zuordnung erfolgt softwaregestützt nach dem in Abb. 6 illustrierten Prinzip. Auf jedem GN5-Gewässerpunkt wird im rechten Winkel (Senkrechte) zur Achse des GN5 eine Linie mit einer Länge von 20 m erstellt.

- Wird das zugeordnete³ Generische Gewässer geschnitten ist der gesuchte Referenzpunkt gefunden.
- Wird das zugeordnete Generische Gewässer nicht geschnitten, wird die rechtwinklige Linie in 5 Meter Schritten verlängert bis das zugeordnete Generische Gewässer geschnitten wird. Bei einer Distanz⁴ > 500 m wird der Vorgang abgebrochen.
- Wird kein zugeordnetes Generisches Gewässer geschnitten oder wird das zugeordnete Generische Gewässer mehrfach geschnitten wird der Gewässerpunkt in den Analysen nicht berücksichtigt.

³ Mit der Zuordnung wird vermieden, dass ein anderes generisches Gewässer geschnitten wird.

⁴ Hierbei handelt es sich um einen vorgegebenen Grenzwert, der verändert werden kann.

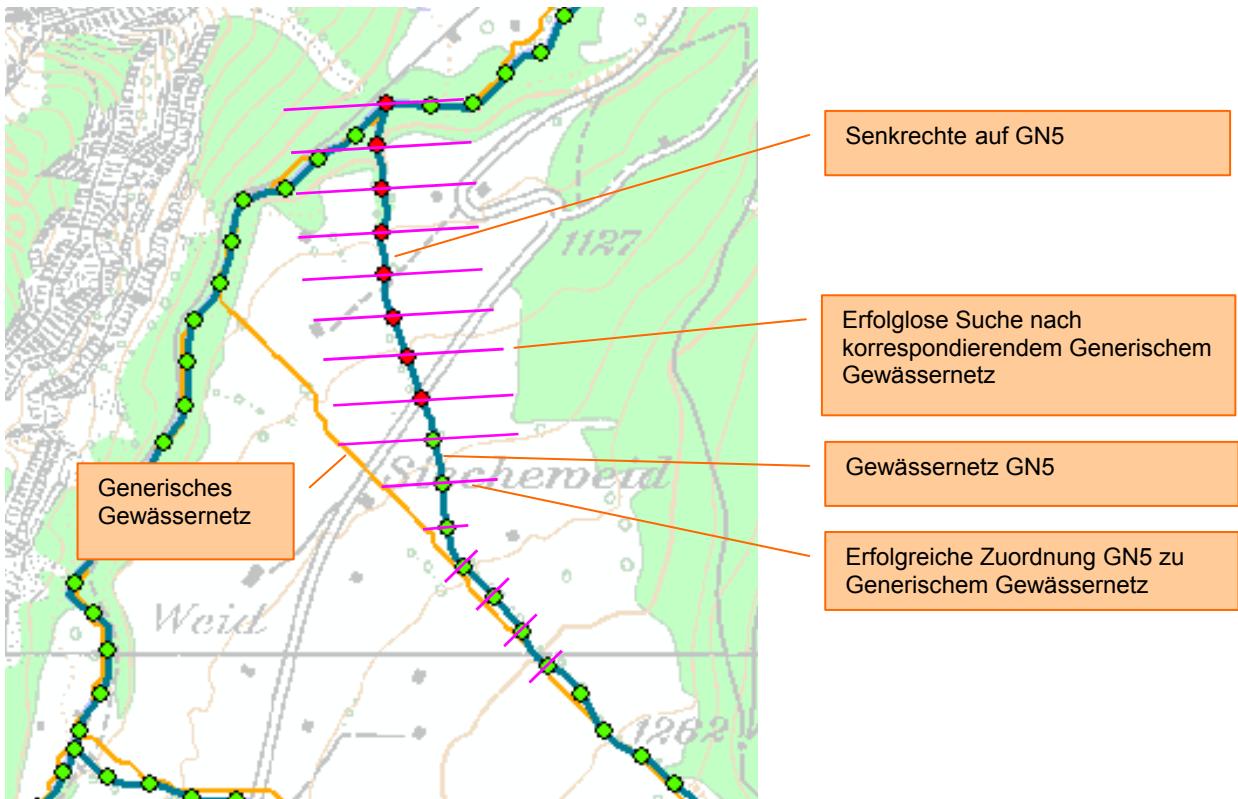


Abb. 6: Festlegen von Berechnungspunkten auf dem Generischen Gewässer

Die Methodik bringt es mit sich, dass für jeden Gewässerpunkt, für den das Einzugsgebiet zu berechnen ist, zwei Koordinatenpaare vorliegen:

1. Koordinaten⁵ des Punkts auf dem Gewässer GN5
2. Koordinaten des Punkts auf dem zugeordneten Generischen Gewässer

Das Ergebnis dieses Verfahren ist beispielhaft in Abb. 7 illustriert. Rot dargestellt sind die Verbindungslien zwischen den Punkten auf dem GN5 Gewässer und den Referenzpunkten auf dem zugeordneten Generischen Gewässer. Basierend auf den Punkten des Generischen Gewässers werden die Einzugsgebiete berechnet.

Die Graphik illustriert sehr schön, dass sich das Generische Gewässer je nach topographischer Situation mehr oder weniger stark vom GN5 Gewässern „entfernen“ kann. Im vorliegenden Fall handelt es sich um einen Talboden.

⁵ Rechts- und Hochwerte in Landeskoordinaten

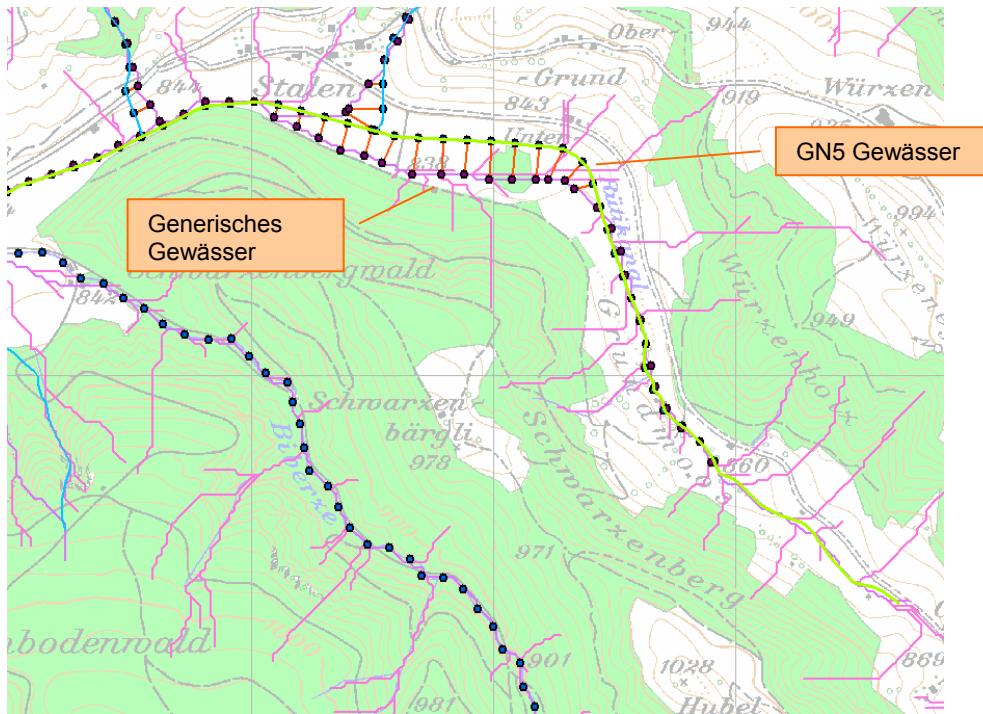


Abb. 7: Zugeordnete Punkte GN5 und Generische Gewässer

5.2.4 Standortanalyse

Mit einer räumlichen Analyse im GIS wird geprüft, ob die Gewässerpunkte von Killerfaktoren oder limitierenden Faktoren beeinflusst sind. Das Verfahren ist in Abb. 8 dargestellt.

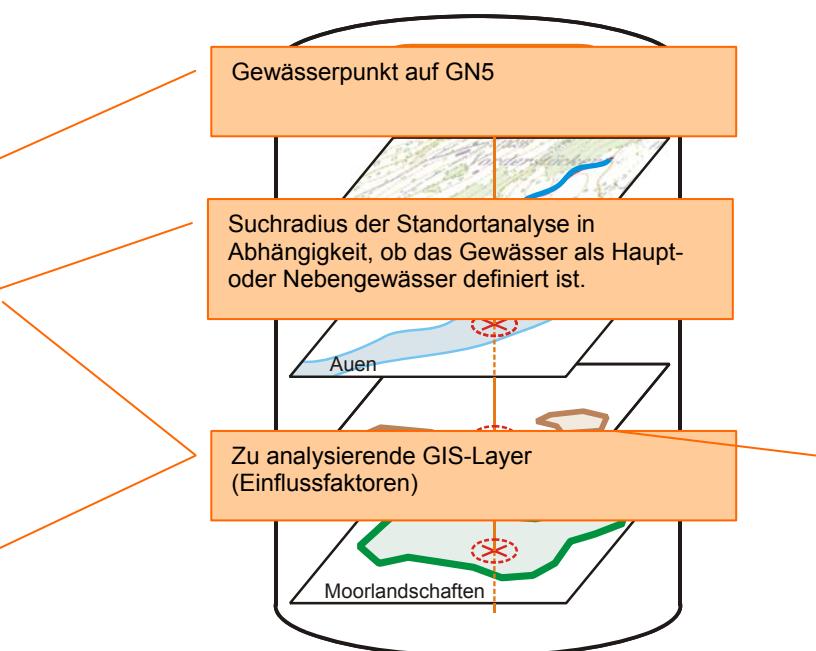


Abb. 8: Prinzip der Standortanalyse

In einer beliebigen Anzahl von Layern (Einflussfaktoren) wird für jeden Gewässerpunkt geprüft ob sich an dessen Standort Informationen befinden. Im Prinzip wird für jeden Gewässerpunkt ein Durchschuss durch die Layer der Einflussfaktoren durchgeführt. Mit dem Suchradius wird die Gewässerbreite berücksichtigt.

Erläuterung zur Gewässerbreite: Das Gewässernetz GN5 liegt als Liniengeometrie vor. Da eine Linie mathematisch keine Ausdehnung hat, wird die tatsächliche Breite des Gewässers im GN5 nicht berücksichtigt. Einflussfaktoren wie Gewässerschutzbereiche oder Auen werden vielfach jedoch nur bis an das Ufer erfasst. Mit dem Suchradius wird in der Standortanalyse die Breite der Gewässer in abhängig vom Gewässertyp berücksichtigt (Hauptgewässer = 20 m, Nebengewässer = 6 m).

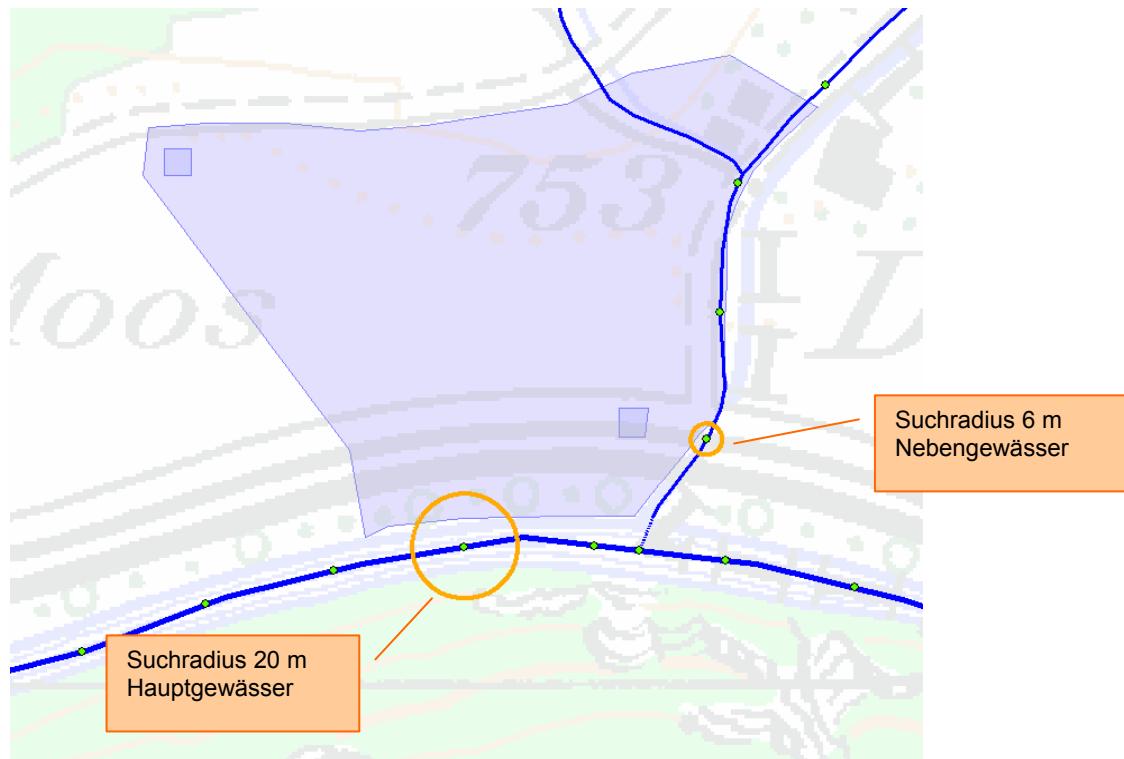


Abb. 9: Berücksichtigung der Gewässerbereite in der Standortanalyse

Mit einer Sensitivitätsanalyse wurde der Einfluss unterschiedlicher Suchradien auf die Resultate untersucht. Es wurden folgende Suchradien (1/2 Gewässerbereite) berücksichtigt.

- Hauptgewässer 10 m | **20 m** | 40 m
- Nebengewässer 3 m | **6 m** | 12 m

In Tab. 3 sind die beeinflussten Gewässerlängen der limitierenden Faktoren in Abhängigkeit der drei Beträge für die Suchradien dargestellt. Die beeinflussten Gewässerlängen ergeben sich aus der Anzahl Treffer der entsprechenden Einfluss- und Killerfaktoren multipliziert mit der mittleren Referenzlänge von 50 m.

Tab. 3: Vergleich der unterschiedlichen Suchradien

	Suchradien 10 m / 3 m		Differenz abs. [km]	Sucheradien 20 m / 6 m		Suchradien 40 m / 12 m	Differenz abs. [km]
	[km]	[km]		[km]	[km]		
Auen	164.3	0.5		164.8		170.6	5.8
Hochmoore	4.9	0.25		5.15		6.2	1.05
Flachmoore nationaler Bedeutung	34.2	1.15		35.35		51.55	16.2
Amphibien	18.9	0		18.9		25.35	6.45
BLN	655.6	0.2		655.8		662.15	6.35
Flachmoore regionaler Bedeutung	16.5	0.2		16.7		21.85	5.15
Moorlandschaften	274.2	0.1		274.3		276.65	2.35
Naturschutzgebiete	286.45	2.4		288.85		295.2	6.35
Gewässerschutzkarte	64.75	8.05		72.8		84.35	11.55
Ortsbilder	3	0.05		3.05		5.45	2.4
Restwasserstrecken	204.4	0.1		204.5		208.6	4.1
Summen [km]	1727.2	13		1740.2		1807.95	67.75
Anteil zu 20 m / 6 m [%]	99.25			100%		103.89	

Die Abweichungen hervorgerufenen durch die unterschiedlichen Suchradien sind je betroffener Gewässerstrecke überwiegend < 5%. Für die Potentialanalyse wurden Suchradien von 20 m (Hauptgewässer) und 6 m (Nebengewässer) verwendet.

5.2.5 Referenzlängen der Gewässerpunkte

Jeder Gewässerpunkt ist repräsentativ für eine bestimmte Gewässerlänge. Die repräsentative Gewässerlänge ergibt sich aus der Summe der jeweils halben Distanz zum flussabwärts und flussaufwärts liegenden Gewässerpunkt, siehe Abb. 10.



Wenn aufgrund von Plausibilitätstests Resultate eines Punktes gelöscht werden, vergrössern sich die Referenzlängen der benachbarten Gewässerpunkte. Mit diesem Prinzip können Fehler bereinigt werden ohne die Aussagekraft der Resultate zu beeinflussen.

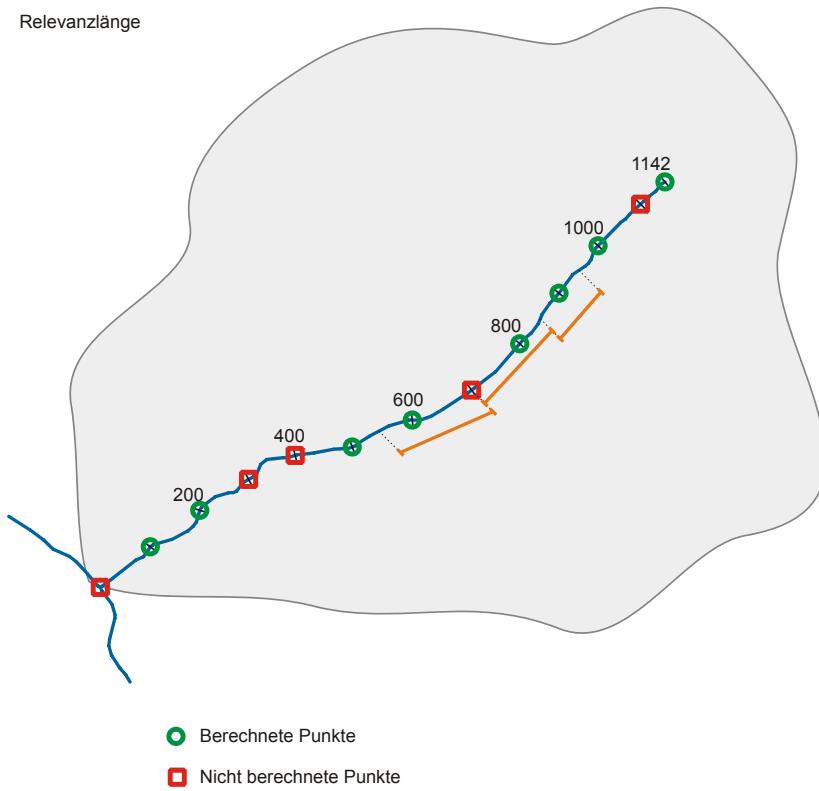


Abb. 10: Relevanzlängen für Gewässerpunkte

5.3 Sonderfälle

Je nach morphologischer Situation liefert das Wassertropfenprinzip **keine** oder **falsche** Resultate. Diese Sonderfälle werden nachfolgend exemplarisch erläutert.

5.3.1 Kanäle und anthropogene Gewässer

Abb. 11 zeigt ein kanalisiertes Gewässer entlang der Emme (gelb markierte Linie). Der natürliche Oberlauf des Gewässers wird noch korrekt erfasst. Nach der „Begradigung“ schneidet das Gewässer mehrere Tiefenlinien (violett dargestellt). Eine Einzugsgebietesberechnung ist für diesen Abschnitt nicht mehr möglich.

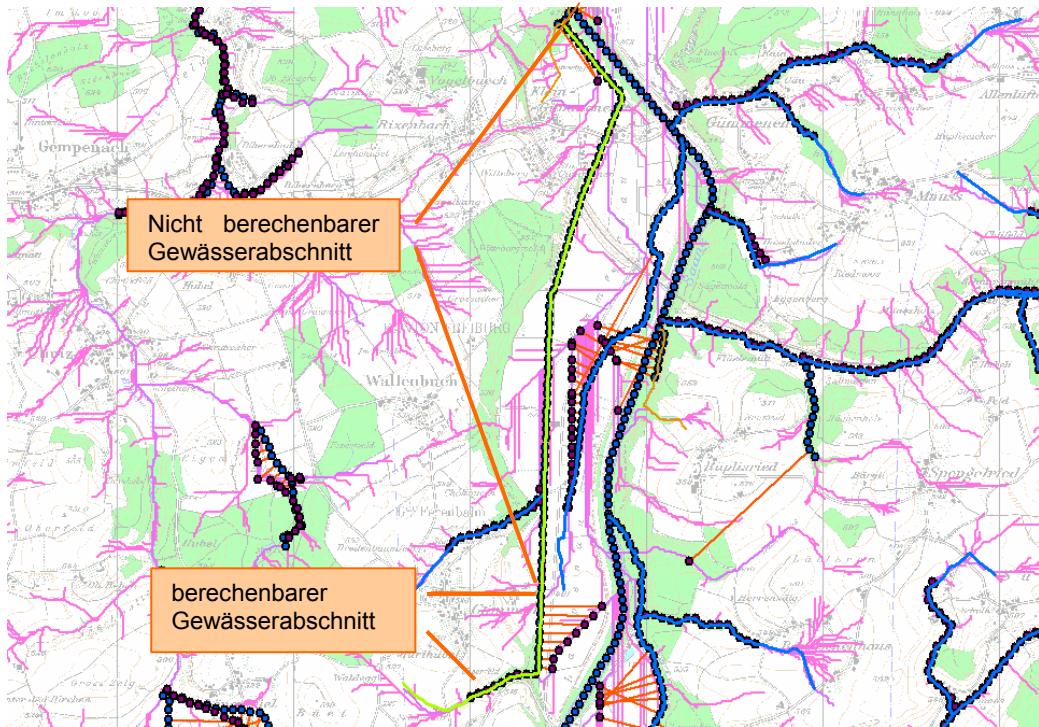


Abb. 11: Anthropogen überprägtes Gewässer (Kanal)

5.3.2 Falsche Gewässerstruktur

Abb. 12 illustriert das Problem von nicht übereinstimmenden Gewässerstrukturen⁶. Das generische Gewässernetz des gelb markierten Gewässers mündet in das Generische Gewässer des parallel verlaufenden westlichen Gewässers. Ein Generisches Gewässer kann per Definition aber nur einem Gewässerlauf aus GN5 zugeordnet werden. Die Punkte des markierten Gewässers ohne rote Verbindungsline haben keine Referenzpunkte auf einem Generischen Gewässerlauf und werden somit bei den Berechnungen nicht berücksichtigt.

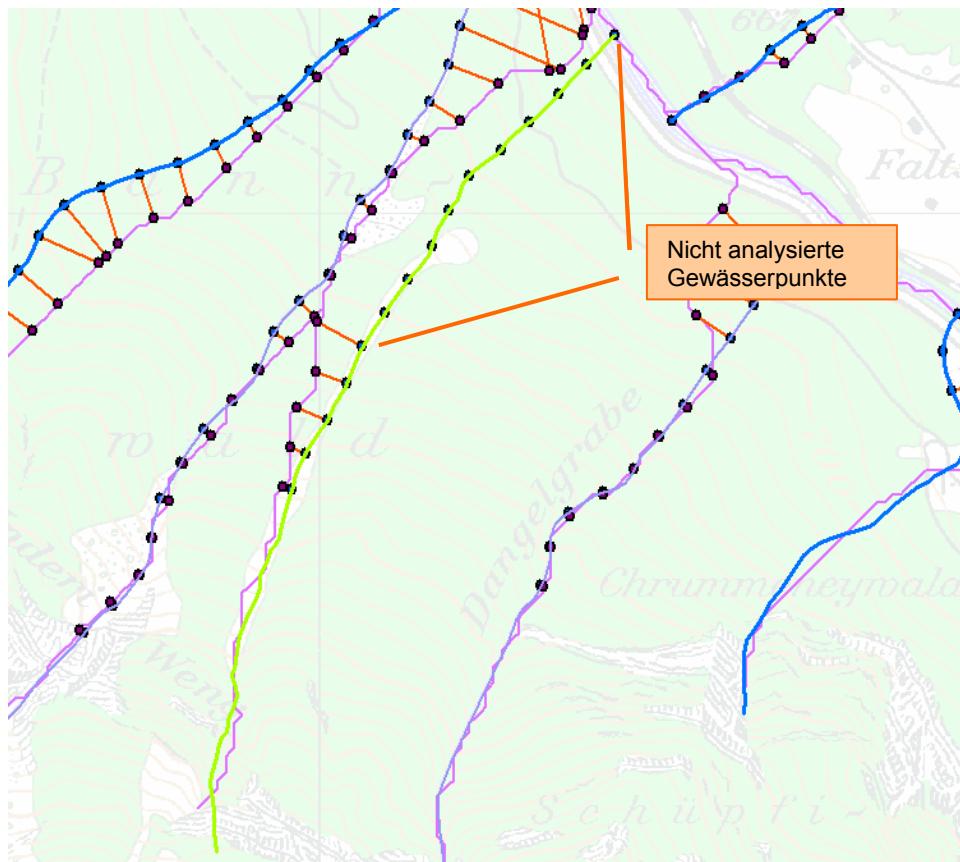


Abb. 12: Nicht übereinstimmende Gewässerstruktur GN5 - Generisches Gewässer

⁶ Die unterschiedlichen Gewässerstrukturen ergeben sich aus der nicht Übereinstimmung von GN5 und Höhenmodell DHM25_10

Abb. 13 zeigt einen weiteren mehrfach aufgetretenen Sonderfall: Das GN5-Gewässer „überfliesst“ eine Wasserscheide, welche im DHM25_10 abgebildet ist. Der Oberlauf des Gewässers wird korrekt berechnet. Nach der „Wasserscheide“ ist keine Berechnung möglich. Die Situation tritt in erster Linie in flachen Gebieten auf.

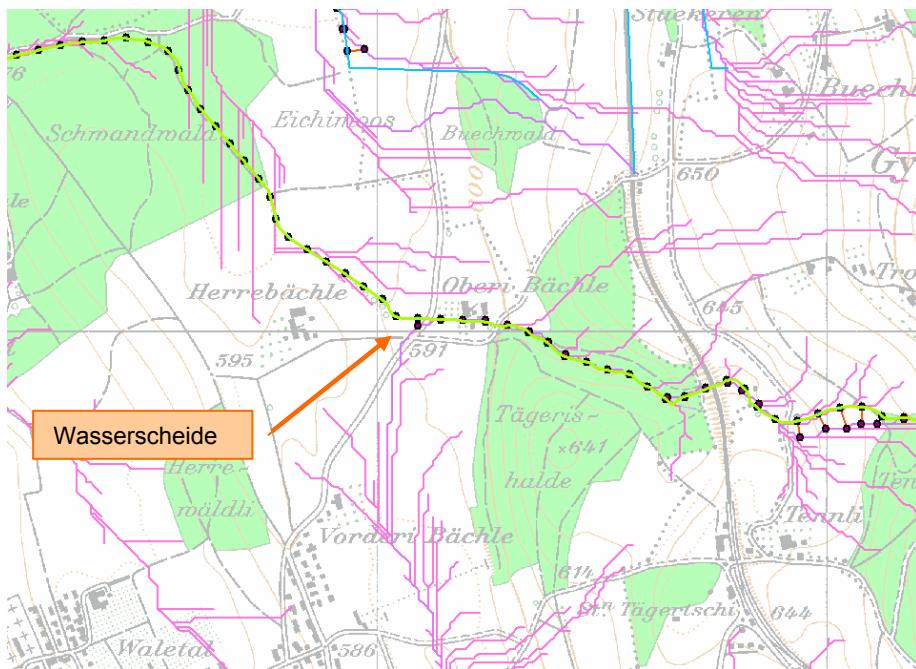


Abb. 13: GN5 fliesst über eine Wasserscheide

5.3.3 Mündungsbereiche

Für Mündungsbereiche kann häufig keine Berechnung der Einzugsgebiete durchgeführt werden. Abb. 14 zeigt, dass die Tiefenlinie (hellblaue Markierung) sich kontinuierlich vom Gewässer entfernt. Im vorliegenden Fall wird dieser Effekt hervorgerufen durch die Anhebung des Gewässerbetts im Mündungsbereich durch Sedimentation.

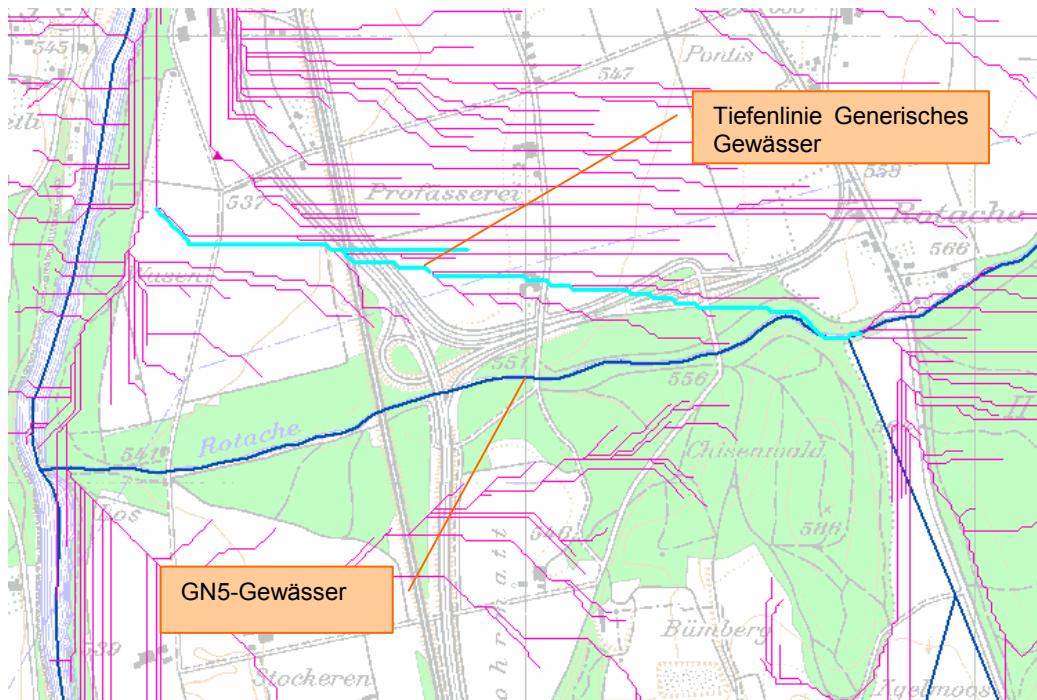


Abb. 14: Nicht analysierbarer Mündungsbereich der Rotache

5.3.4 Siedlungsgebiete

Auch in Siedlungsgebieten ist vielfach eine schlechte Übereinstimmung von Generischem Gewässer und GN5-Gewässer zu beobachten, siehe Abb. 15. Ursachen sind:

- die anthropogene Überprägung der Gewässer
- die Auflösungsgrenze des DHM25_10

In Abb. 15 ist das Gerinnebett an jener Stelle, an welcher sich das Generische Gewässer vom GN5-Gewässer entfernt, um einige Meter eingetieft (eigene Beobachtung). Aufgrund der geringen Breite des Gewässers und der steilen Talflanken wird dieser Umstand im Höhenmodell nicht wiedergegeben.

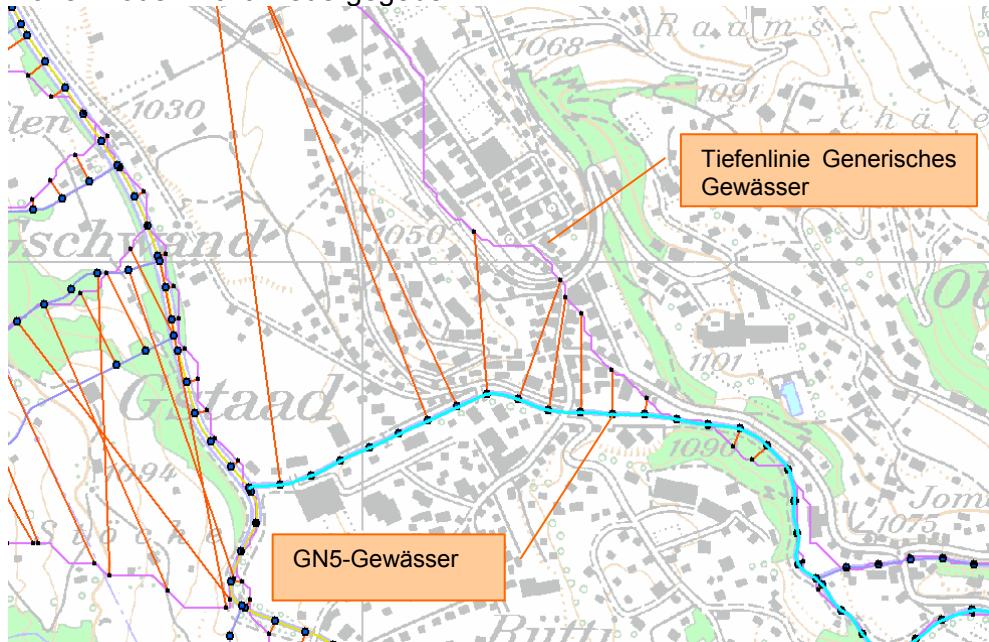


Abb. 15: GN5-Gewässer und Generisches Gewässer im Siedlungsgebiet

5.3.5 Bifurcation

Ein spezieller Fall, den wir im Kanton Bern nur einmal angetroffen haben, ist in Abb. 16 dargestellt. Das Einzugsgebiet lässt sich auf der Basis des DHM25_10 nicht korrekt abgrenzen. Auch unter Zuhilfenahme des Generischen Gewässernetzes ist dies nicht möglich. Um die Berechnung des *Rüwlis Graben* dennoch zu ermöglichen erfolgte die Zuordnung des Generischen Gewässers nicht ausgehend von der Quelle, sondern 500 m unterhalb der Quelle nach dem in Kap. 5.2.3 skizzierten Konzept.

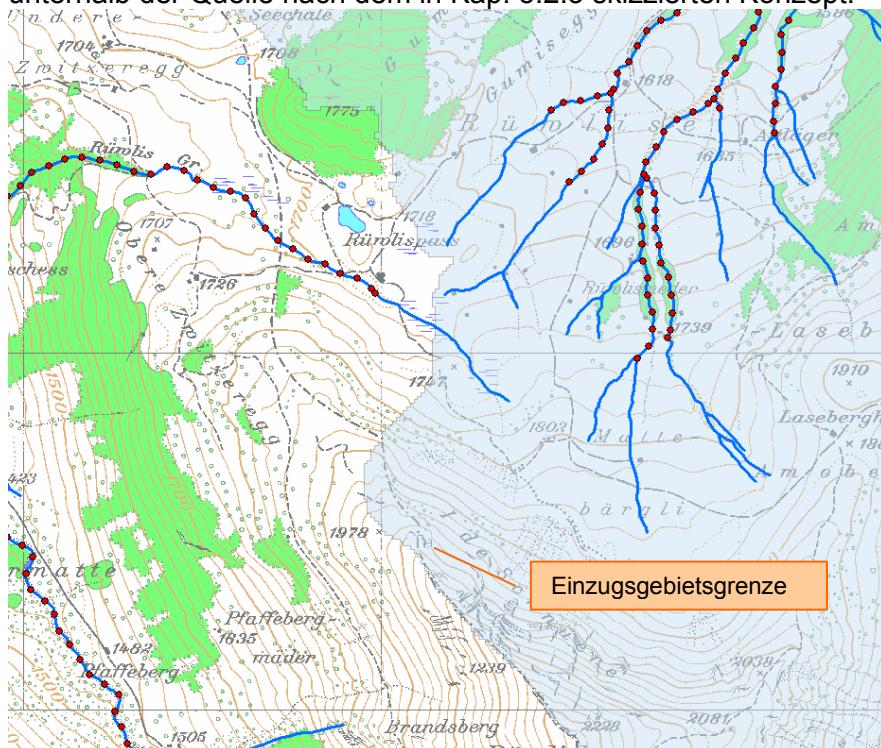


Abb. 16: Bifurcation, falsche Abgrenzung des Einzugsgebiets

6 Softwaremodule

Nach einem modularen Konzept wurde die vorgängig skizzierte Berechnungsmethodik softwaretechnisch abgebildet. Im Wesentlichen entspricht jeder Bearbeitungsschritt einem Modul, welches für sich eigenständig lauffähig ist. Durch die Kombination der Module zu einer Prozesskette können alle Analysen im Batchmodus (automatisiert) durchgeführt werden.

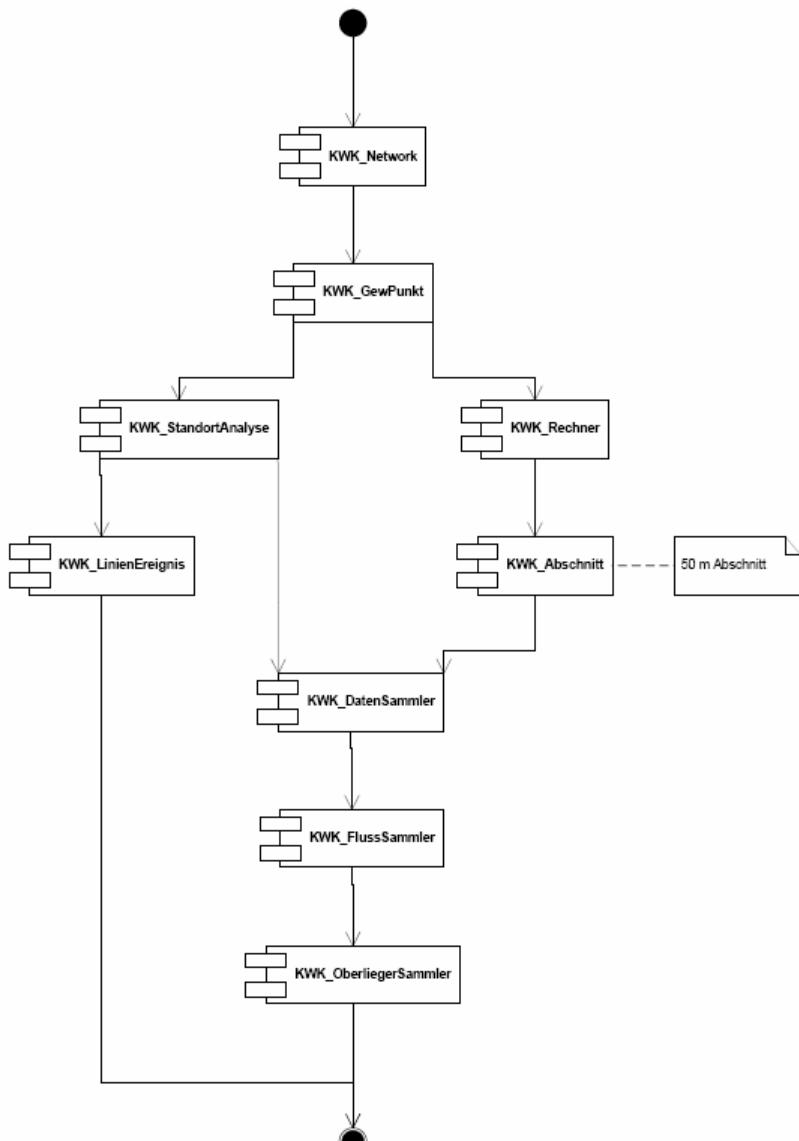


Abb. 17: Softwaremodule für die Berechnung und deren Ablauf

Die Module liegen als Bibliotheken (DLL) oder als ausführbare Programme (EXE) vor und sind in VisualBasic 6 programmiert.

Steuerparameter für die Analysen und variable Informationen zur Programmausführung sind in einem *Konfigurationsfile* definiert. Für jedes Softwaremodul ist im Konfigurationsfile eine Section reserviert.

Funktionen und Besonderheiten der einzelnen Module werden nachfolgend kurz erläutert. Eine detaillierte Erläuterung findet sich im Anhang.

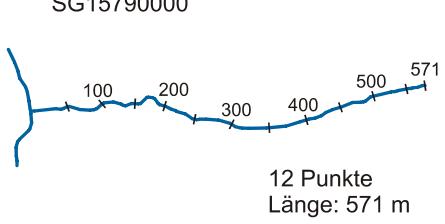
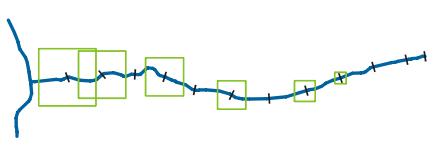
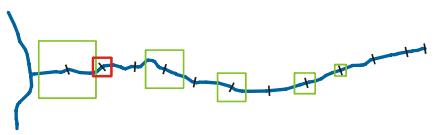
Tab. 4: Übersicht der Softwaremodule

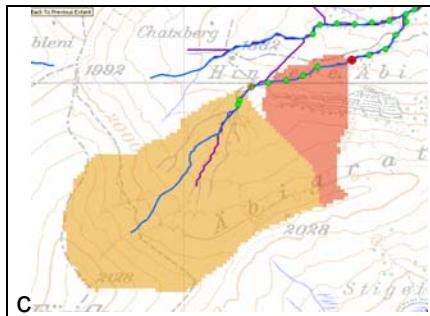
Softwaremodul	Beschreibung
KWK_Network	Erstellen und analysieren des Generischen Gewässernetzes. Jedem Gewässer im GN5 wird <i>eine definierte Abfolge von Abschnitten</i> des Generischen Gewässernetzes zugeordnet.
KWK_GewPunkt	Legt ausgehend von der Mündung in äquidistanten Abständen Punkte auf den Gewässern des GN5 fest. Zu jedem Gewässerpunkt wird seine Entsprechung auf den zugeordneten Abschnitten des Generischen Gewässernetzes festgelegt.
KWK_Rechner	Berechnet das Einzugsgebiet, die Einzugsgebietskennwerte und die Abflüsse für die Gewässerpunkte.
KWK_Abschnitt	Berechnet die Energiepotentiale für Gewässerabschnitte von beliebiger Länge.
KWK_Standortanalyse	Erermittelt für jeden Gewässerpunkt die Existenz von Limitierenden Faktoren und Killerfaktoren sowie eine vorhandene Kraftnutzung. Auch Zu- und Ableitungen sowie hydrologische Besonderheiten werden an dieser Stelle berücksichtigt.
KWK_Liniereignis	Erstellt aus benachbarten Gewässerpunkten mit gleichen Eigenschaften (Limitierende und Killerfaktoren) Liniereignisse. Die Liniereignisse dienen als Grundlage für die kartographische Darstellung der Resultate.
KWK_Datensammler	Sammelt alle Informationen zu einem Gewässerpunkt.
KWK_FlussSammler	Berechnet für jedes Gewässer das theoretische Potential und die Potentialanteile. Die Resultate sind beispielsweise die Grundlage für die Kreis- und Säulendiagramme in den Detailkarten.
KWK_OberliegerSammler	Berechnet auf der Basis eines <i>Geometric Network</i> das theoretische Potential und der Potentialanteile für ein Fluss- oder Einzugsgebiet. Die Resultate sind die Grundlage für die Kreis- und Säulendiagramme in den Übersichtskarten.
KWK_Daten	Modul für das Schreiben und Lesen aus der Datenbank.

7 Qualitätssicherung, Plausibilitätsprüfungen

Automatische Rechenverfahren zur raumbezogenen Analyse umfangreicher Daten bedingen die Anwendung von Mechanismen zur Qualitätssicherung, respektive eine Plausibilitätsprüfung der Ergebnisse. Der individuelle Charakter der Geodaten (Höhenmodell, Gewässernetz), respektive deren fehlende Übereinstimmung, können leicht zu Fehlinterpretationen führen. Fehler sind aufgrund der grossen Anzahl der Resultate nicht oder nur schwer erkennbar.

Um in den etwa 100'000 analysierten Gewässerpunkten jene Ergebnisse zu finden, die fehler- oder zumindest zweifelhaft sind, werden diverse QS-Mechanismen angewendet. Mit den nachfolgend skizzierten Verfahren gilt es, die sprichwörtliche Nadel im Heuhaufen zu finden.

 <p>SG15790000 12 Punkte Länge: 571 m</p>	<p>1. Vergleich Anzahl Punkte versus Gewässerlänge Für jedes Gewässer wird geprüft, ob die Anzahl diskreter Gewässerpunkte für die Analysen mit der geometrischen Länge (Kilometrierung der Route) korrespondiert.</p> $L_{\text{Gew}} - (N * \Delta L) < \Delta L$ <p>Mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> L_{Gew} = Gesamtlänge des Gewässers [m] N = Anzahl Gewässerpunkte ΔL = Abstand der Analysepunkt auf dem Gewässer [50 m] <p>Das Resultat muss kleiner dem Abstand ΔL sein.</p>																																
	<p>2. Anzahl berechenbarer Punkte Für jedes Gewässer wird die Anzahl berechenbarer Punkte ermittelt, hier grün dargestellt. Ist die Anzahl berechenbarer Punkte kleiner als ein vorgegebener Grenzwert (< 0.8) wird das Gewässer visuell geprüft.</p>																																
	<p>3. Plausibilität der Resultate Einzugsgebietsflächen und Abflüsse müssen mit der Lauflänge ansteigen. Die errechneten Abflusswerten werden einer für das Gebiet typischen Abflussspende [l/s km^2] gegenübergestellt.</p>																																
<table border="1" data-bbox="182 1426 627 1560"> <thead> <tr> <th>NAME</th> <th>GEWAESSER_ID</th> <th>POTENTIAL</th> <th>RELEVANZ_L</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Jaane</td> <td>19255.309449</td> <td>55473.853627</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>Diessle</td> <td>10169.984661</td> <td>17751.755365</td> <td>175</td> </tr> <tr> <td>Heimeggbach</td> <td>2208.642611</td> <td>17579.391617</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Urbach</td> <td>1111.461072</td> <td>5911.503613</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Combe de l'Orte le Boeuf</td> <td>664.359002</td> <td>4636.665269</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Xare</td> <td>87092.272175</td> <td>3590.898754</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Xare</td> <td>87142.272175</td> <td>3590.838477</td> <td>50</td> </tr> </tbody> </table>	NAME	GEWAESSER_ID	POTENTIAL	RELEVANZ_L	Jaane	19255.309449	55473.853627	75	Diessle	10169.984661	17751.755365	175	Heimeggbach	2208.642611	17579.391617	50	Urbach	1111.461072	5911.503613	50	Combe de l'Orte le Boeuf	664.359002	4636.665269	50	Xare	87092.272175	3590.898754	50	Xare	87142.272175	3590.838477	50	<p>4. Potentiale je Gewässerpunkt Die ermittelten Potentiale an den Gewässerpunkten werden in einer Tabelle dargestellt. Durch Sortieren einzelner Spalten können Extremwerte identifiziert werden, die visuell zu verifizieren sind.</p>
NAME	GEWAESSER_ID	POTENTIAL	RELEVANZ_L																														
Jaane	19255.309449	55473.853627	75																														
Diessle	10169.984661	17751.755365	175																														
Heimeggbach	2208.642611	17579.391617	50																														
Urbach	1111.461072	5911.503613	50																														
Combe de l'Orte le Boeuf	664.359002	4636.665269	50																														
Xare	87092.272175	3590.898754	50																														
Xare	87142.272175	3590.838477	50																														
	<p>5. Verhältnisgrößen Jeder Gewässerpunkt wird mit seinem flussabwärtsliegenden Gewässerpunkt verglichen. Es wird der Quotient der EZG-Flächen resp. der Abflüsse gebildet. Extreme Sprünge, die nicht durch die Zunahme der EZG-Fläche durch die Einmündung eines Seitenbachs erklärt werden können, werden visuell überprüft.</p>																																



6. Zwiebelschalenprinzip

Das Einzugsgebiet eines flussaufwärts liegenden Gewässerpunktes muss vollständig im EZG des aktuellen Gewässerpunktes liegen. Im skizzierten Beispiel ist das nicht der Fall.

Auf eine detaillierte Darstellung der Resultate der einzelnen QS-Mechanismen und Plausibilitätsprüfungen soll aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet werden. Einige Verfahren werden lediglich beispielhaft dargestellt. Eine umfassende Dokumentation der angewendeten Prüfverfahren findet sich in einem Journal, dass auf Anforderung zur Verfügung gestellt werden kann.

7.1 Plausibilität Einzugsgebietsgrösse

Die Grösse der Kreissymbole in Abb. 18 repräsentiert die Flächen der ermittelten Einzugsgebiete. Gut erkennbar ist, dass die Einzugsgebietsflächen mit der Lauflänge des Gewässers zunehmen. Dies ist korrekt.

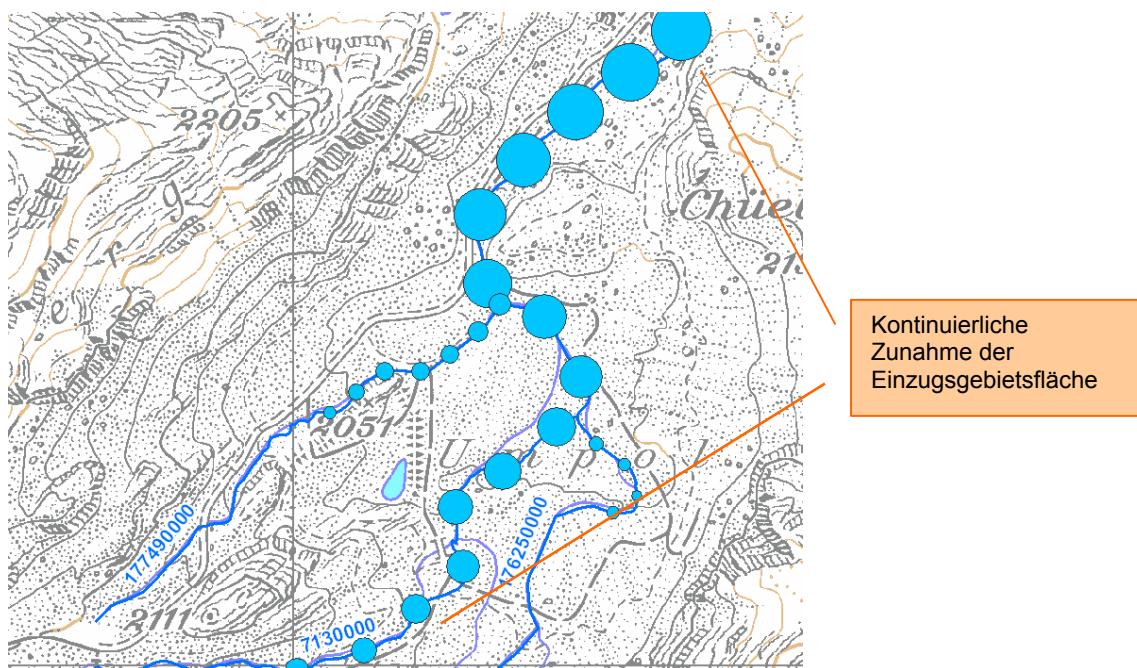


Abb. 18: Plausibilitätsprüfung der Einzugsgebietsgrösse

In Abb. 19 ist ein Gewässer dargestellt, bei welchen die Einzugsgebietsfläche mit der Laufänge nicht zunimmt. Gesamthaft wurden 1514 Gewässer identifiziert, bei welchen 2336 Punkten falsch berechnet wurden. Alle diese Gewässer wurden visuell überprüft und gegebenenfalls gelöscht.

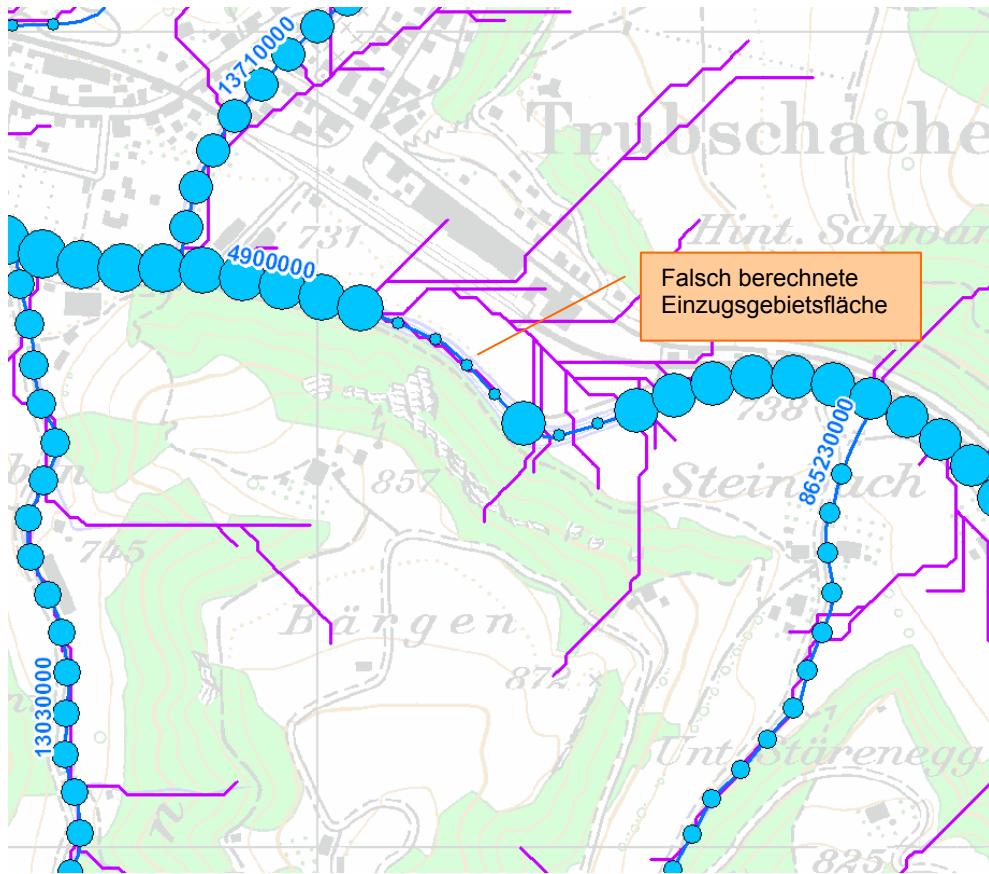


Abb. 19: Identifikation falsch berechneter Einzugsgebiete einzelne Gewässerpunkte

Als Ursache ist anzuführen:

- Falsche Zuordnung der Punkte auf dem Generischen Gewässer. Die Zuordnung von Referenzpunkten auf dem Generischen Gewässer mittels einer senkrechten Linie auf den GN5-Gewässern ist nur suboptimal. Namentlich bei einer starken Mäandrierung kommt es zu falschen Zuordnungen, siehe Abb. 20.

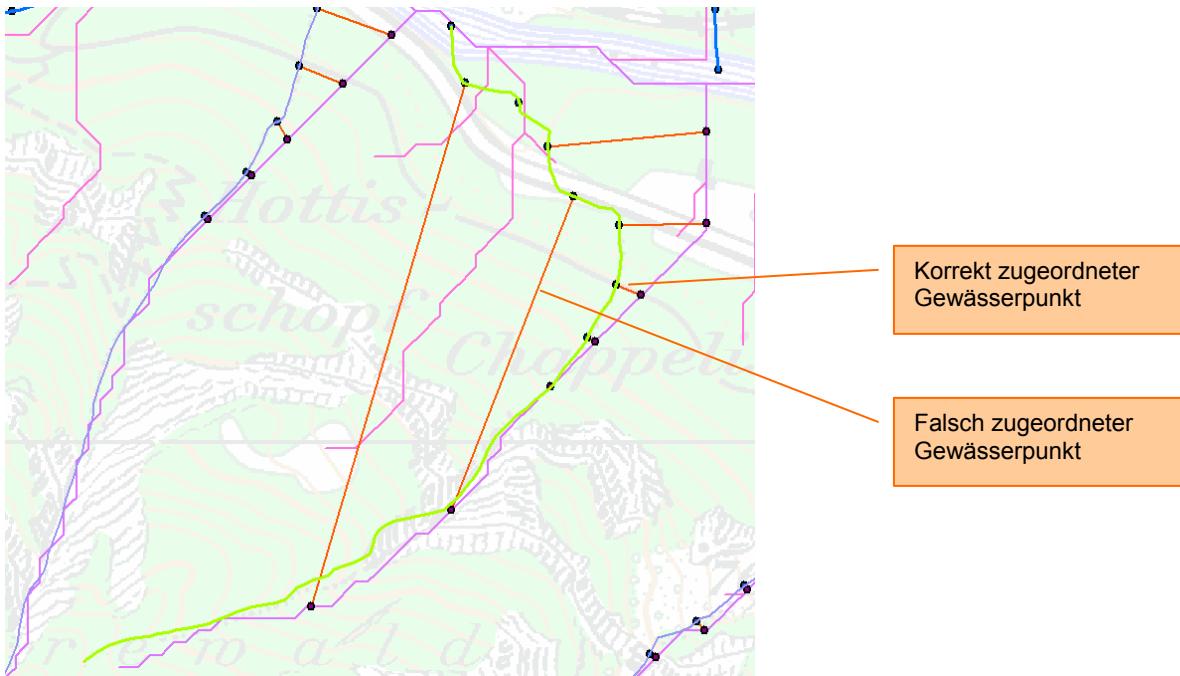


Abb. 20: Falsche Zuordnung von Gewässerpunkten auf dem Generischen Gewässer

7.2 Extremwerte ermittelter Potentiale

In Abb. 21 dargestellt ist eine Tabelle mit Potentialen von Gewässerpunkten. Die Spalte *Potential* ist absteigende sortiert. Für die extrem hohen Potentialwerte sind folgende Ursachen anzuführen:

- Grosse Abflussmenge bei mittlerem Gefälle. Für die Aare zwischen Thun und Bern werden für Strecken von 50 m Potentiale > 500 kW ermittelt. Korrekt.
- Extrem grosse Höhenunterschiede zwischen zwei Gewässerpunkten. Bei der visuellen Prüfung der Punkte wurden diese als Wasserfälle identifiziert. Korrekt
- Grosse Distanzen zwischen zwei analysierten Gewässerpunkten. Die Diskrepanz zwischen GN5 und Generischem Gewässer kann dazu führen, dass über längere Gewässerstrecken keine Analysepunkte vorhanden sind. Mit steigender Distanz vergrössert sich auch die Höhendifferenz, was bei entsprechender Abflussmenge zu hohen Potentialen führt. Korrekt.
- Fehler durch eine falsche Zuordnung der Gewässerpunkte, siehe Abb. 20.

MEASURE	MEASURE_LI	EASTING	NORTHING	CODEBE	NAME	GEWAESSER	POTENTIAL	RELEVANZ_L	NORM
11100.001345	11100	583317.060611	194278.607138	2270000	Saane	19255.319449	55473.853627	75	
13599.99649	13600	614402.546124	173337.202768	14500000	Gleise	10169.594661	17751.755365	175	
599.99978	600	636455.146823	161574.929862	261050000	Heimeggbach	2208.612611	17579.391617	50	
300.000242	300	644491.303063	163869.880329	233640000	Tuttbach	1111.431072	5911.503613	50	
200.000047	200	596276.143246	239515.545352	101590000	Combe de l'Ortie le Boeuf	664.359002	4636.665259	50	
118545.898298	118550	609140.713858	187579.80167	370000	Aare	87092.272175	3590.898754	50	
118495.89673	118500	609131.093939	187628.667515	370000	Aare	87142.272175	3590.838477	50	
2899.999309	2900	557722.949544	223374.878263	760650000	La Ronde	2580.216126	3520.191865	50	
118645.896988	118650	609178.216322	187487.578605	370000	Aare	86992.272175	3316.160542	50	
203145.872141	203150	667851.96187	160167.039202	370000	Aare	2492.272175	2938.040179	325	
203095.874237	203100	667842.465273	160233.97135	370000	Aare	2542.272175	2791.606598	50	
106295.888969	106300	602973.074349	196977.701722	370000	Aare	99342.272175	2537.292502	50	
115945.892347	115950	608478.770374	190059.85833	370000	Aare	89692.272175	2449.435292	50	
183995.864848	184000	659288.471084	174329.621378	370000	Aare	21642.272175	2391.11233	50	
1250.001641	1250	656920.353915	173924.931172	18740000	Rychenbach	10313.61616	2295.015958	75	
183945.864866	183950	659251.171521	174362.917984	370000	Aare	21692.272175	2251.780728	50	
2949.999731	2950	557728.808112	223333.086687	760650000	La Ronde	2530.216126	2336.421809	50	
183895.864777	183900	659217.787346	174399.540557	370000	Aare	21742.272175	2155.216304	50	
183845.864726	183850	659189.861616	174440.917691	370000	Aare	21792.272175	1963.977652	50	
152495.90662	152500	63124.2.02320	170140.433902	370000	Aare	53142.272175	1935.105059	50	
152545.91283	152550	631280.766649	170170.082121	370000	Aare	53092.272175	1933.727019	50	
202645.870957	202650	667752.911637	160624.502452	370000	Aare	2992.272175	1927.05179	50	
199695.871578	199700	666603.21560	162838.518118	370000	Aare	5942.272175	1819.645805	50	
1349.996003	1350	661202.547705	173472.703211	5690000	Gadmerwasser	16270.25659	1671.700856	50	
181495.870727	181500	656974.321215	174879.816206	370000	Aare	24142.272175	1661.809825	50	
54399.996742	54400	603815.855616	140547.691389	4390000	Simme	499.056443	1658.734451	75	
17599.999102	17600	614614.341292	211264.048501	4680000	Emme	58130.34794	1623.768979	75	
118595.897281	118600	609157.151265	187532.678835	370000	Aare	87042.272175	1592.478678	50	
2199.996645	2200	614389.570349	169273.731985	4390000	Simme	52699.056443	1528.505559	400	
199645.870904	199650	666595.969616	162887.704852	370000	Aare	5992.272175	1519.597614	50	

Extremwerte für die visuelle Prüfung

Abb. 21: Tabelle mit hohen Potentialen für einzelne Gewässerpunkte

7.3 Fehlerbehandlung

Alle auffälligen Gewässerpunkte wurden visuell geprüft. Gewässerpunkte mit falschen Resultaten wurden gelöscht⁷. Ausgehend von ca. 100'000 analysierten Punkten wurden aufgrund der Plausibilitätsprüfung und der QS-Mechanismen die Resultate von rund 2500 Gewässerpunkten in der Datenbank gelöscht. Aufgrund des grossen Stichprobenumfangs wird die Aussagekraft der Resultate in keiner Weise beeinträchtigt.

⁷ Gelöscht wurden nur die Resultate, nicht die Punkte.

8 Grundlagen

Alle für die Analysen notwendigen Grundlagendaten wurden von der BVE bereitgestellt:

- Gewässernetz (GN5, Stand 2003)
- Höhenmodell (DHM25_10)
- Gewässerschutzkarte (GSK 25)
- Vorhandene Wasserkraftnutzung (WAKRA)
- Limitierende Faktoren (Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN), Inventar schützenswerter Ortsbilder der Schweiz (ISOS), Flachmoore kantonaler Bedeutung, Moorlandschaften, Naturschutzgebiete, Gewässerschutzkarte)
- Killerfaktoren (Auen, Hoch- und Flachmoore von nationaler Bedeutung, Amphibienlaichgebiete)

8.1 Höhenmodell DHM25_10

Verwendet wurde ein *verfeinertes Höhenmodell* auf der Grundlage des DHM25, Rastergrösse 10 m mal 10 m. Das Höhenmodell deckt zwar die Kantonsfläche ab, jedoch nicht alle *hydrologischen Einzugsgebiete*, siehe Abb. 22. Für Einzugsgebiete, welche über die Abdeckung des DHM25_10 hinausgehen wurde das DHM25_10 mit Daten des Höhenmodell DHM25 ergänzt.

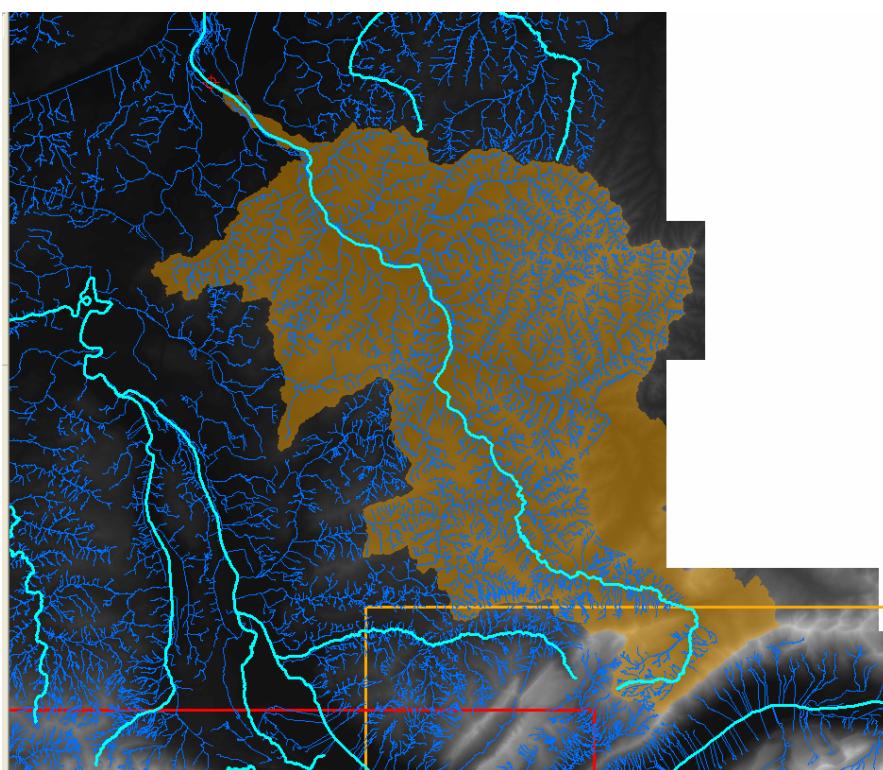


Abb. 22: Fehlende Abdeckung des DHM25_10 für das EZG der Emme

8.2 Vorhandene Kraftnutzung WAKRA

Die zur Verfügung gestellte WAKRA GeoDB enthält 784 Linieneignisse. Relevant für die Potentialanalyse sind lediglich die „Restwasserstrecken“ (222 Ereignisse). Zu jeder Restwasserstrecke ist der Entnahm- und Rückgabestandort sowie das konzessionierte Leistung bekannt. Berechnet wird die spezifische Leistung je Längeneinheit (kW/m). Diese spezifische Leistung wird, unter Berücksichtigung der repräsentativen Länge, jedem durch eine Restwasserstrecke beeinflussten Gewässerpunkt zugewiesen.

Beispiel:

- Länge der Restwasserstrecke 300 Meter
- Leistung 450 kW
- Spezifische Leistung $450 \text{ kW} / 300 \text{ m} = 1.5 \text{ kW / m}$
- Spezifische Leistung für einen Gewässerpunkt (Referenzlänge = 50 m):
 $1.5 \text{ kW/m} * 50 \text{ m} = 75 \text{ kW}$
- Spezifische Leistung für einen Gewässerpunkt (Referenzlänge = 200 m):
 $1.5 \text{ kW/m} * 200 \text{ m} = 300 \text{ kW}$

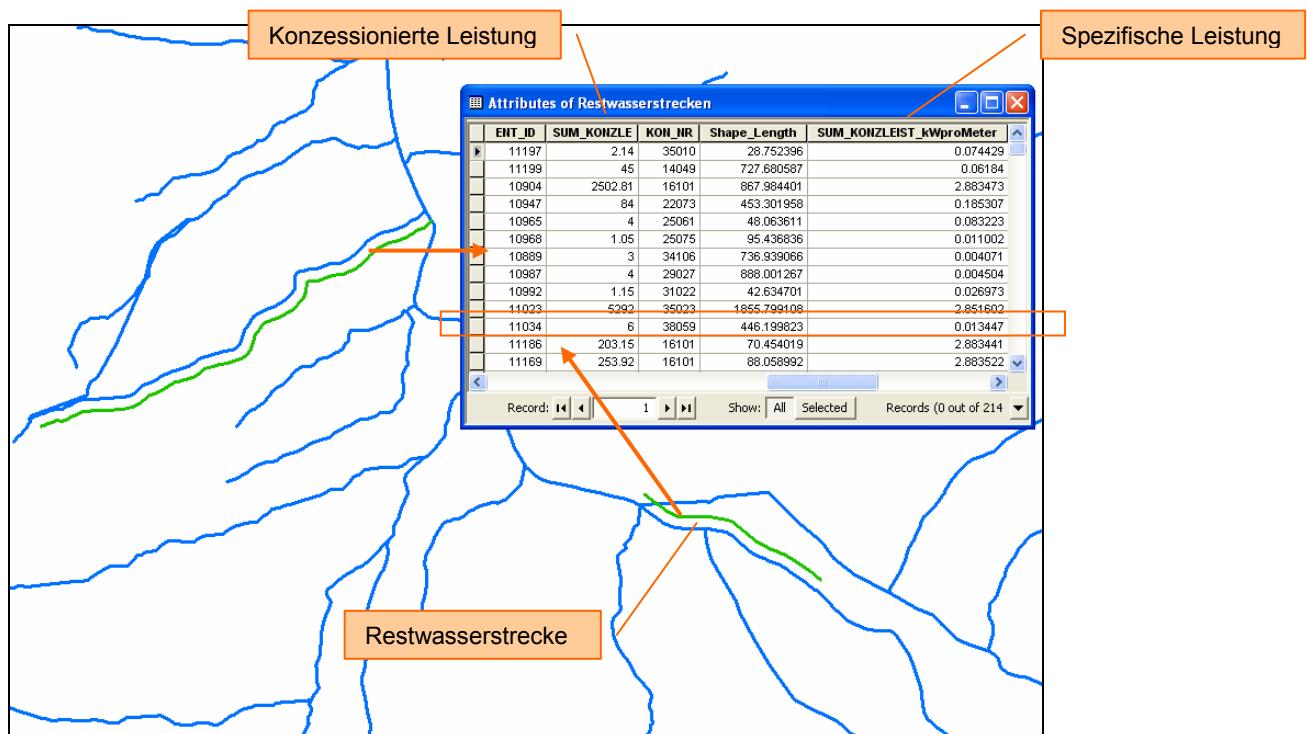


Abb. 23: Attribute aus WAKRA

8.3 Killerfaktoren

Killerfaktoren und limitierende Faktoren stammen gemäss Lieferung vom 28.10.2008 alle aus der Geodatenbank des Kantons und repräsentieren den aktuellen Datenstand.



Abb. 24: Killerfaktoren

Killerfaktoren schliessen die Nutzung einer Gewässerstrecke kategorisch aus. Berücksichtigt wurden die in Abb. 24 dargestellten Informationen.

- Auen von nationaler Bedeutung
- Hochmoore von *nationaler* Bedeutung
- Flachmoore von *nationaler* Bedeutung
- Amphibienlaichgebiete

8.4 Limitierende Faktoren

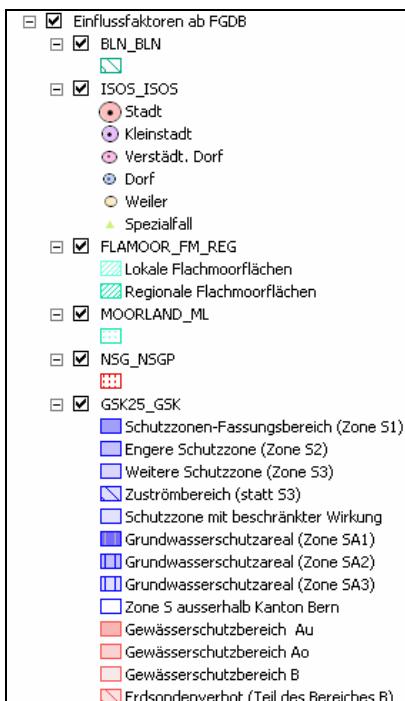


Abb. 25: Einflussfaktoren

Limitierende Faktoren behindern oder erschweren die Nutzung einer Gewässerstrecke für die Energiegewinnung. Im Gegensatz zu *Killerfaktoren* schliessen sie eine Nutzung nicht kategorisch aus.

Berücksichtigt wurden folgende Informationen.

- BLN Gebiete
- ISOS Ortsbilder
- Flachmoore von *kantonaler* Bedeutung
- Moorlandschaften (Kantonal)
- Naturschutzgebiete (Kantonal)
- Gewässerschutzkarte (Relevant sind nur die Schutzzonen S1, S2 sowie SA1 und SA2)

ISOS Ortsbilder liegen als Punktlayer vor. Für die Analysen wurde für jeden Punkt ein konstanter Kreisradius von 20 Meter berücksichtigt.

9 Limitierungen, Randbedingungen, Analyseparameter

9.1 Randbedingungen für die Analysen

Tab. 5: Randbedingungen und Limitierungen für die Analysen

Nr.	Position	Beschreibung	Grenzwert
1	Wertebereich Leistung	Ein vorgesehener unterer Grenzwert von 30 kW wurde nicht berücksichtigt. Dies erlaubt auch die Analyse von Kleinstgewässern mit geringem Potential	/ (30 kW)
2	Minimale Gewässerlänge	Gewässer, die eine minimale Gewässerlänge unterschreiten, werden in den Analysen nicht berücksichtigt.	500 m
3	Quellbereich	Analog der <i>minimalen Gewässerlänge</i> , wird der Quellbereich eines Gewässers nicht analysiert.	500 m ab Quelle
4	Gletscher	Gewässerlinien durchziehen teilweise auch Gletscher.	Die Daten werden berechnet, jedoch nachträglich „ausgeblendet“

9.2 Gestauchte Gewässer

Beispiel Fabrikkanal Urtenental. Die Bearbeitung von gestauchten oder gestreckten Gewässern (Measurewerte entsprechen nicht der geometrischen Länge) ist problemlos möglich, da für die Festlegung äquidistanter Punkte auf den Gewässern nur die geometrische Länge berücksichtigt wird.

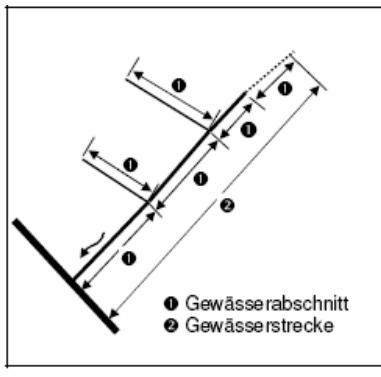
9.3 Wechsel der Routennummer auf dem Hauptgewässer

Einige Hauptgewässer wechseln die Routennummer. Gemäss der Randbedingung, dass die ersten 500 m nach der Quelle für die Analysen nicht berücksichtigt werden, wurden Abschnitte von 500 m bei diesen Gewässern nicht analysiert. Diese Gewässer wurden nachträglich noch einmal mit geänderter Randbedingung analysiert (Kein Quellbereich berücksichtigen).

9.4 Nicht berücksichtigte Gewässer

Die Aare unterhalb von Bern wurde nicht analysiert, da sie bereits vollständig genutzt wird. Die an der Aare liegenden Restwasserstecken blieben ebenfalls unberücksichtigt.

Jedem Gewässerabschnitt liegt ein Abschnittstyp zugrunde, der die Eigenschaft des Gewässers bezeichnet, siehe auch /1/.



Nr	Typ	Beschreibung
1	BACH	oberirdischer Bachlauf
2	BACHACHS	Gedachter Gewässerverlauf zwischen Seeachse bzw. Flussachse und Uferlinie
3	BACH_U	unterirdischer Bachlauf
4	BACH_V	virtueller Bachlauf: gedachter hydraulischer Anschluss eines Gewässers an den Vorfluter
5	BISSE	Bisse (im Kanton Bern nicht vorhanden)
6	DRUCKL_1	Druckleitung einfach
7	FLUSS	Flusslauf (Achse)
8	FLUSS_U	unterirdischer Flusslauf (Achse)
9	KANAL	künstliches Gewässer
10	SEEACHSE	gedachter Verlauf des den See durchfliessenden Gewässers

Abb. 26: Definition der Gewässerabschnittstypen (Auszug aus /1/)

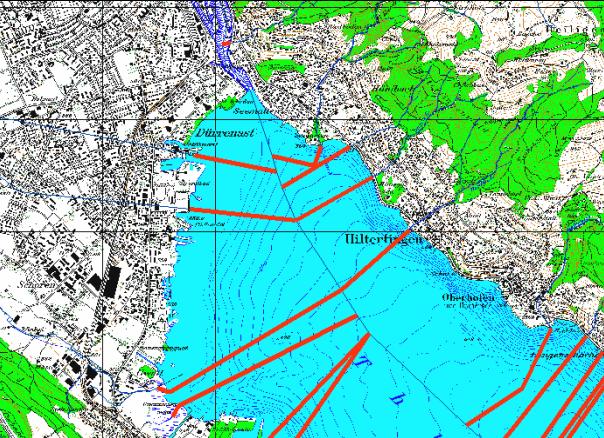
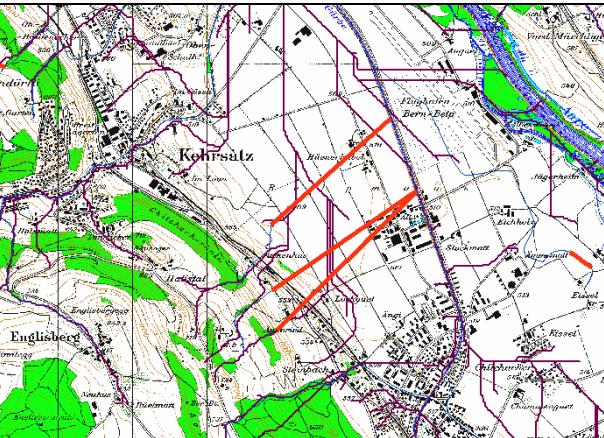
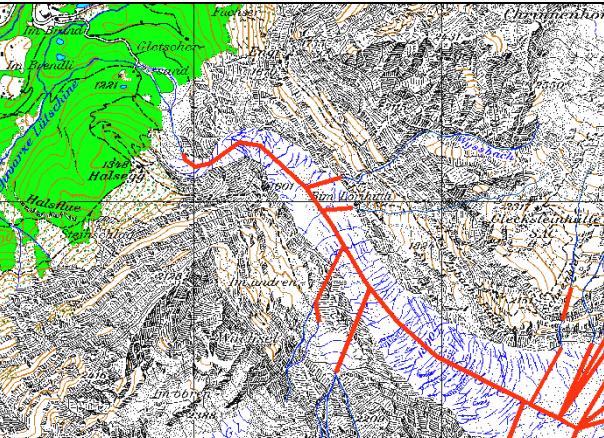
Nicht berücksichtigt werden die in Tab. 6 aufgeführten Gewässertypen:

Tab. 6: Nicht berücksichtigte Gewässerabschnittstypen

Nr	Typ	Erläuterung	Gewässerlängen ⁸
2	BACHACHS	Direkte Verbindung vom Mündungspunkt eines Gewässers in einen See und Verbindung zur Seeachse.	51.1 km
4	BACH_V	Virtuelle Gewässer. Weisen keine Übereinstimmung mit dem generischen Gewässer auf.	254.5 km
6	DRUCKL_1	Für Druckleitungen kann kein Einzugsgebiet abgeleitet werden. Es sind technische Bauwerke, die bereits der Energieerzeugung oder der Wasserversorgung dienen.	8.7 km
10	SEEACHSE	Es kann kein natürliches Einzugsgebiet abgeleitet werden, da das generische Gewässernetz nicht mit der gedachten Seeachse übereinstimmt. Alle Höhenwerte einer Seeachse sind identisch. Es gibt kein Gefälle	96.0 km

Mit den nachfolgenden Graphiken werden die in Tab. 6 ausgewiesenen Gewässerabschnittstypen beispielhaft illustriert.

⁸ Die ausgewiesenen Gewässerlängen beziehen sich auf den Anteil der Gewässer, die analysiert wurden.

Beispiel	Nr / Typ Erläuterung
	2 / Bachachse Ein rein gedachter Gewässerverlauf ohne Übereinstimmung mit dem generischen Gewässernetz und ohne Höhendifferenzen zwischen den Gewässerpunkten
	4 / Virtueller Bachverlauf (a) Meist kurze Gewässerläufe, bei welchen die Versickerung bekannt ist und der Versickerungspunkt mit einem Einlauf in einem Gewässer durch eine direkte Linie verbunden wurde. Wird im Jura zur Abbildung der <i>unterirdischen</i> Gewässersysteme verwendet.
	4 / Virtueller Bachverlauf (b) Um die Verbindung von Wasserläufen welche auf Gletscher münden zum restlichen Gewässernetz zu garantieren, werden diese als virtuelle Bachläufe definiert.

Beispiel	Nr / Typ Erläuterung
	/ Kanal (a) Kanäle sind schwer zu interpretierende Gewässer. Das illustrierte Gewässer kann nicht analysiert werden, da es sich um einen „gegrabenen Kanal“ handelt.
	/ Kanal (b) Der dargestellte Kanal ist ein „kanalisiertes Gewässer“, für welches zumindest teilweise ein natürliches Einzugsgebiet ermittelt werden kann. Wird in den Analysen berücksichtigt.

10 Referenzen

[1] GN5 Produktbeschreibung:

http://www.bve.be.ch/site/bve_agi_pro_p_r_e_wasser_gn5.pdf

[2] BAFU MQ-CH Beschreibung:

BAFU und WSL, 2006:

Rasterdatensatz mittlere Abflüsse der Schweiz für die Periode 1981-2000

11 Anhang

Softwaremodule

Die einzelnen Module werden in einer Prozesskette zusammengefasst, so dass die gewünschten Analysen automatisiert ausgeführt werden können.

Beschreibung der Softwaremodule

Softwaremodul	Beschreibung
<i>ArcMap ICommand</i> KWK_Network.dll	Jedem Gewässer im GN5 wird <i>eine definierte Abfolge von Abschnitten</i> des Generischen Gewässernetzes zugeordnet. Die Zuordnung der Abschnitte zum Gewässernetz wird in einer eigenen Tabelle abgelegt. Diese <i>Zuordnungstabelle</i> bildet die Grundlage für die Netzwerkstruktur des Generischen Gewässernetzes. Abschnitte des Generischen Gewässernetzes, welche nicht einem GN5-Gewässer zugeordnet werden, werden gelöscht.
<i>ArcMap ICommand</i> KWK_GewPunkt.dll	Legt ausgehend von der Mündung in äquidistanten Abständen Punkte auf den Gewässern des GN5 fest. Zu jedem Gewässerpunkt wird seine Entsprechung auf den zugeordneten Abschnitten des Generischen Gewässernetzes festgelegt. Dabei wird die <i>Zuordnungstabelle</i> aus <i>KWK_Network.dll</i> als Grundlage verwendet. Gemäss Konzept dürfen sich Referenzpunkte nur auf einem zugeordneten Generischen Gewässer befinden. Bei den analysierten Punkten auf den Generischen Abschnitten (depending points) werden die Ost-West und Nord-Süd Koordinaten, sowie die Höhe erfasst und in der Datenbank abgelegt.
<i>Executable</i> KWK_Rechner.exe	Programm, welches über die Eingabezeile oder über ein Batch-File die zu berechnenden Gewässer entgegen nimmt und an die entsprechenden Libraries weiterleitet.
<i>ArcObjects Library</i> KWK_Rechner.dll	Steuert die Berechnung und Simulation von Einzugsgebieten und Abflüssen. Dabei werden sequentiell alle zu berechnenden Punkte eines Flusses abgearbeitet.
<i>ArcObjects Library</i> KWK_EZG.dll	Berechnet aus dem <i>DHM25_10</i> die Geometrie und die Kennwerte des Einzugsgebietes. Basierend auf dem <i>MQ-CH</i> -Raster werden die monatlichen und jährlichen Abflüsse ermittelt. Als Gebietsauslass werden die Referenzpunkte der Gewässerpunkte auf dem Generischen Gewässernetz (depending points) verwendet. Die Berechnung des Einzugsgebietes wird unter Verwendung der in <i>ArcMap - SpatialAnalyst</i> implementierten Methode <i>Watershed</i> durchgeführt. Die Abflüsse werden über die <i>Zonale Statistik</i> von <i>Spatial Analyst</i> berechnet. Dabei bilden die Raster der berechneten Einzugsgebiete und die Raster des <i>MQ-CH</i> die Input-Größen. Um Fehler durch die Diskrepanz der Rasterzellengrößen zwischen <i>DHM25_10</i> und <i>MQ-CH</i> wird mit der Einstellung <i>Minimum Of Input</i> des <i>Spatial Analyst</i> gearbeitet. Die berechneten Raster der Einzugsgebiete werden ohne Generalisierung in Polygone umgewandelt und in Geodatabases abgelegt.

<i>Executable</i> KWK_Abschnitt.exe	Stellt eine Benutzeroberfläche für die Wahl der zu berechnenden Gewässer zu Verfügung. Die Berechnung der normierten Energiepotentiale kann über einzelne Gewässer, eine Auswahl von Gewässer oder über alle Gewässer durchgeführt werden.
<i>Library</i> KWK_Abschnitt.dll	Berechnet die normierten Energiepotentiale für einen Gewässerabschnitt von beliebiger Länge. Die Berechnung basiert auf den Daten in der Datenbank und benötigt kein ArcMap.
<i>Executable</i> KWK_Standortanalyse.exe	Programm, welches über die Eingabezeile oder über ein Batch-File die zu berechnenden Gewässer entgegen nimmt und an die entsprechenden Libraries weiterleitet.
<i>ArcObjects Library</i> KWK_Standortanalyse.dll	Ermittelt für jeden Gewässerpunkt die Existenz von Einfluss- und Killerfaktoren sowie eine allfällig vorhandene Kraftnutzung. Die Steuerung der Standortanalyse erfolgt über die Steuertabellen <i>FEATURECLASS</i> und <i>FEATURECLASS_ATTRIBUT</i> in der Datenbank. In diesen werden die zu analysierenden Layer und die zu speichernden Attribute definiert. Basierend auf den Attributen des <i>GN5</i> wird festgelegt, ob es sich beim Gewässerpunkt um einen Punkt auf einem Haupt- oder Nebengewässer handelt. Dies bildet die Entscheidung, mit welchem Puffer-Radius (entspricht einer mittleren Gewässerbreite) die Layer analysiert werden.
<i>Executable</i> KWK_Liniereignis.exe	Programm, welches über die Eingabezeile oder über ein Batch-File die zu berechnenden Gewässer entgegen nimmt und an die entsprechenden Libraries weiterleitet.
<i>Library</i> KWK_Liniereignis.dll	Erstellt aus benachbarten Gewässerpunkten mit gleichen Eigenschaften (Killer- und Einflussfaktoren) Liniereignisse. Die Resultate werden in einer eigenen Datenbanktabelle (<i>LINE_EVENT</i>) abgelegt. Diese Tabelle dient nur der kartografischen Darstellung. Bei der Erstellung der Liniereignisse wird die hierarchische Ordnung zwischen Einfluss- und Killerfaktoren berücksichtigt. Das heisst, dass ein Killerfaktor immer über einen Einflussfaktor dominiert.
<i>Executable</i> KWK_Datensammler.exe	Programm, welches über die Eingabezeile oder über ein Batch-File die zu berechnenden Gewässer entgegen nimmt und an die entsprechenden Libraries weiterleitet.
<i>Library</i> KWK_Datensammler.dll	Die über verschiedene Tabellen verteilten Informationen zu einem einzelnen Gewässerpunkt (Einzugsgebiet, Abfluss, Standortinformationen, ...) werden in einer eigenen Resultatetabelle (<i>STREAMDATA_RESULT</i>) zusammengezogen. Dies führt zu einer redundanten Speicherung einzelner Werte. Spezifische Informationen zu einem Punkt lassen sich aber dadurch schneller und einfacher beziehen, was die redundante Speicherung rechtfertigt.
<i>Executable</i> KWK_FlussSammler.exe	Programm, welches über die Eingabezeile oder über ein Batch-File die zu berechnenden Gewässer entgegen nimmt und an die entsprechenden Libraries weiterleitet.
<i>Library</i> KWK_FlussSammler.dll	Berechnet für jedes Gewässer das theoretische Potential und die Potentialanteile. Die Resultate sind beispielsweise die Grundlage für die Kreis- und Säulendiagramme in den Detailkarten. Als Input für die Berechnung dienen die Resultate welche von <i>KWK_Datensammler.dll</i> errechnet wurden.
<i>ArcGIS ICommand</i> KWK_OberliegerSammler.dll	Berechnet auf der Basis eines Geometric Network das theoretische Potential und die Potentialanteile für ein Fluss- oder Einzugsgebiet. Die Resultate sind die Grundlage für die Kreis- und Säulendiagramme in den Übersichtskarten. Die Selektion der zu berücksichtigenden Flüsse wird über die <i>Network Methode Find Upstream</i> durchgeführt.

	<p>Die zu berechnenden Gewässer werden in einer Eingabemaske festgelegt. Standardmäßig wird ein ganzer Fluss berücksichtigt. An einem Fluss kann die Analyse aber auch erst ab einer frei bestimmbarer Position durchgeführt werden. Dabei wird das gesamten Potenzial oberhalb der definierten Position aufsummiert.</p>
<i>Library</i> KWK_Daten.dll	<p>Basismodul für die Speicherung (Persistenz) aller Daten. Jede Datenbanktabelle liegt als eigene Klasse vor. Die Tabellenbeziehungen (z.B. 1:1 oder 1:n Beziehungen) werden als Objektreferenzen oder Objektmengenreferenzen (<i>Dictionaries</i>) abgebildet.</p> <p>Die jeweiligen Klassen besitzen selbst die Logik für ihre Speicherung.</p> <p>Bei der Erstellung einer neuen Instanz von Datenklasse wird automatisch ein <i>Global Unique Identifier</i> (<i>GUID</i>) bestimmt. Diese <i>GUID</i> wird für die eindeutige Identifikation eines Objektes verwendet und dient auch in der Datenbank als Primärschlüssel in den einzelnen Tabellen.</p>

