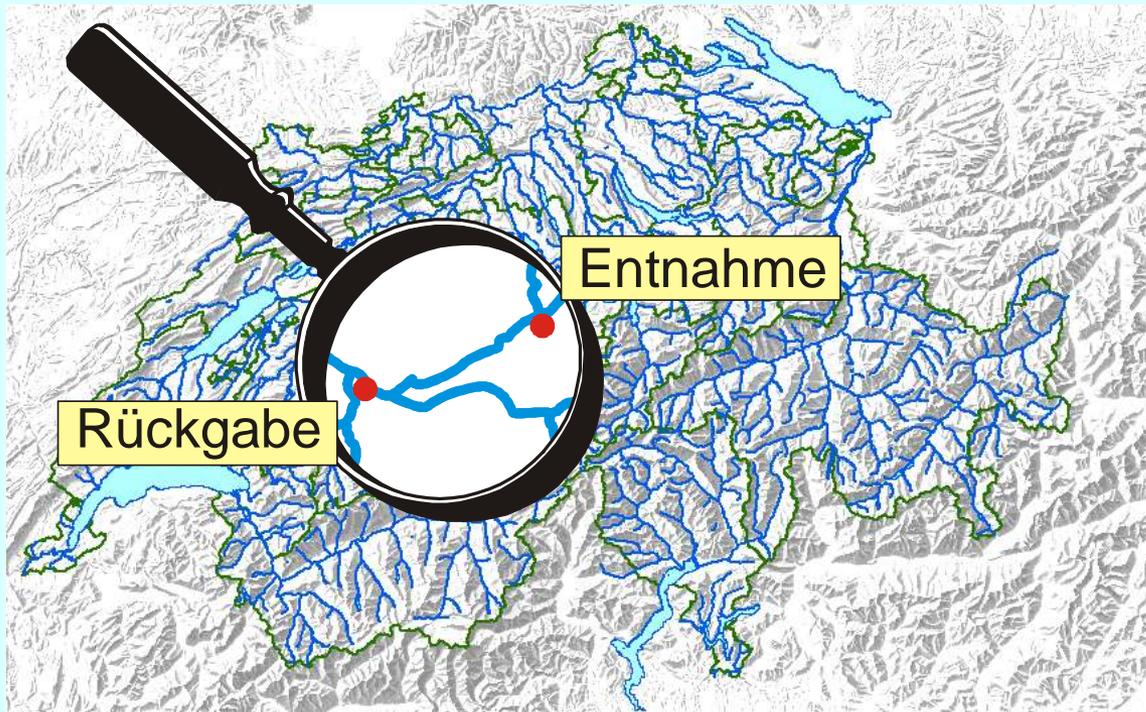


Flächendeckende GIS-gestützte Identifikation des Kleinwasserkraftpotentials in der Schweiz



Dipl. Ing. FH Yvo Weidmann

Je nach Auftraggeber unterscheiden sich die Fragestellungen zum hydroelektrischen Potential der Gewässer.

Energieversorger

Vorevaluation möglicher Kraftwerksstandorte

Ausweisen spezifischer Kraftwerksleistungen

Erkennen attraktiver Regionen für Neubauten

Behörden

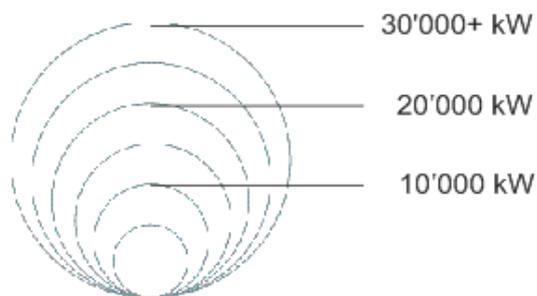
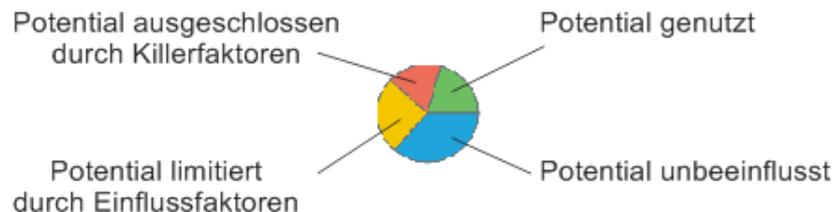
Grundlagen für politische Entscheide

Hilfsmittel für Bewilligungsverfahren

Gesamtübersicht über hydroelektrisches Potential

Kleinwasserkraftwerk Bis 10 MW Leistung

Theoretisches Potential



Einflussfaktoren

-  Restwasserstrecke
-  Killerfaktoren
-  Einflussfaktoren

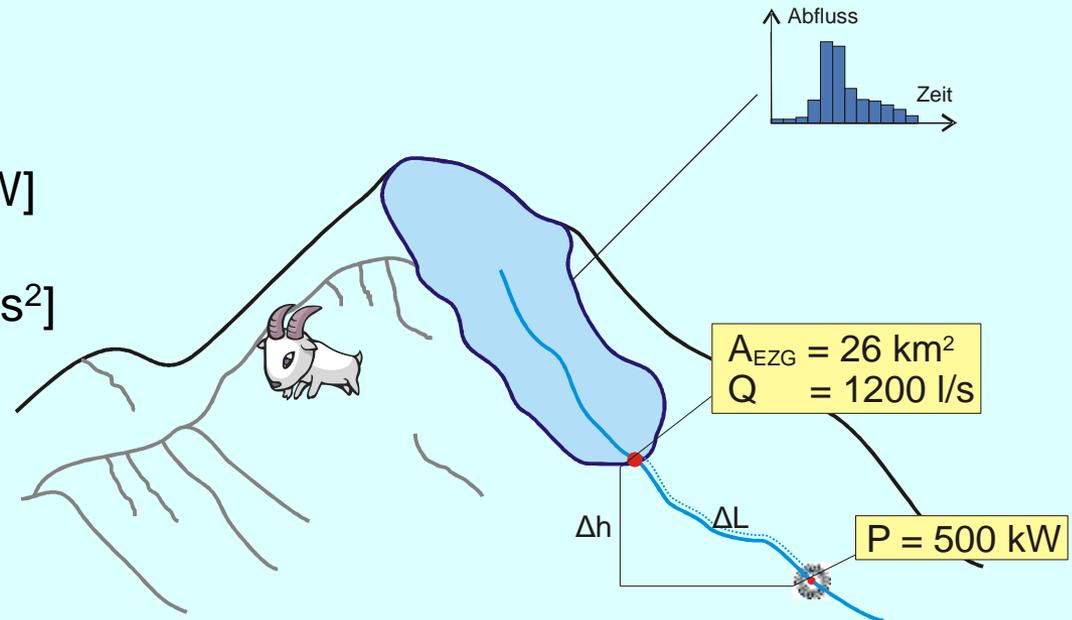
Spezifische Leistung

-  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

Das hydroelektrische Potential eines Gewässers wird bestimmt durch Abflussmenge und Fallhöhe.

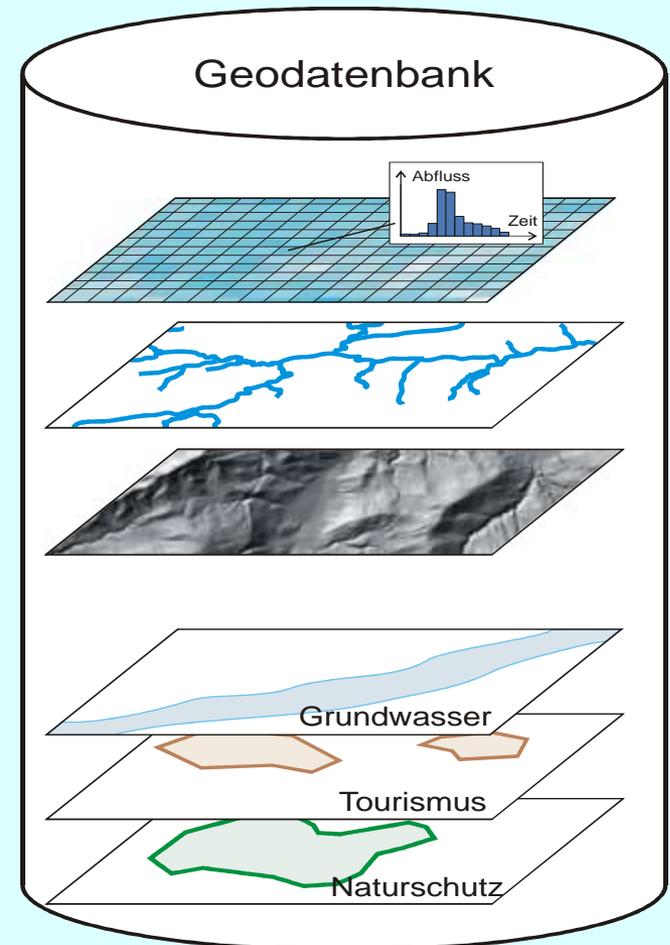
$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta h \cdot \eta$$

P	Leistung [$\text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^3$], [W]
ρ	Dichte [kg / m^3]
g	Erdbeschleunigung [m / s^2]
Q	Abfluss [m^3 / s]
Δh	Fallhöhe [m]
η	Wirkungsgrad



Erforderliche Geodaten sind beim Bund und bei den Kantonen in ausreichender Güte vorhanden

- Mittlere monatliche Abflüsse (MQ-CH)
- Digitale Gewässernetze (GWN25, GN5)
- Digitale Höhenmodelle (DHM25, DHM25_10)
- Beeinflussende Faktoren (Auen, Hochmoore, Grundwasserschutz, Amphibien, ...)
- Bestehende Krafternutzung? (Konzessionierte Restwasserstrecken)

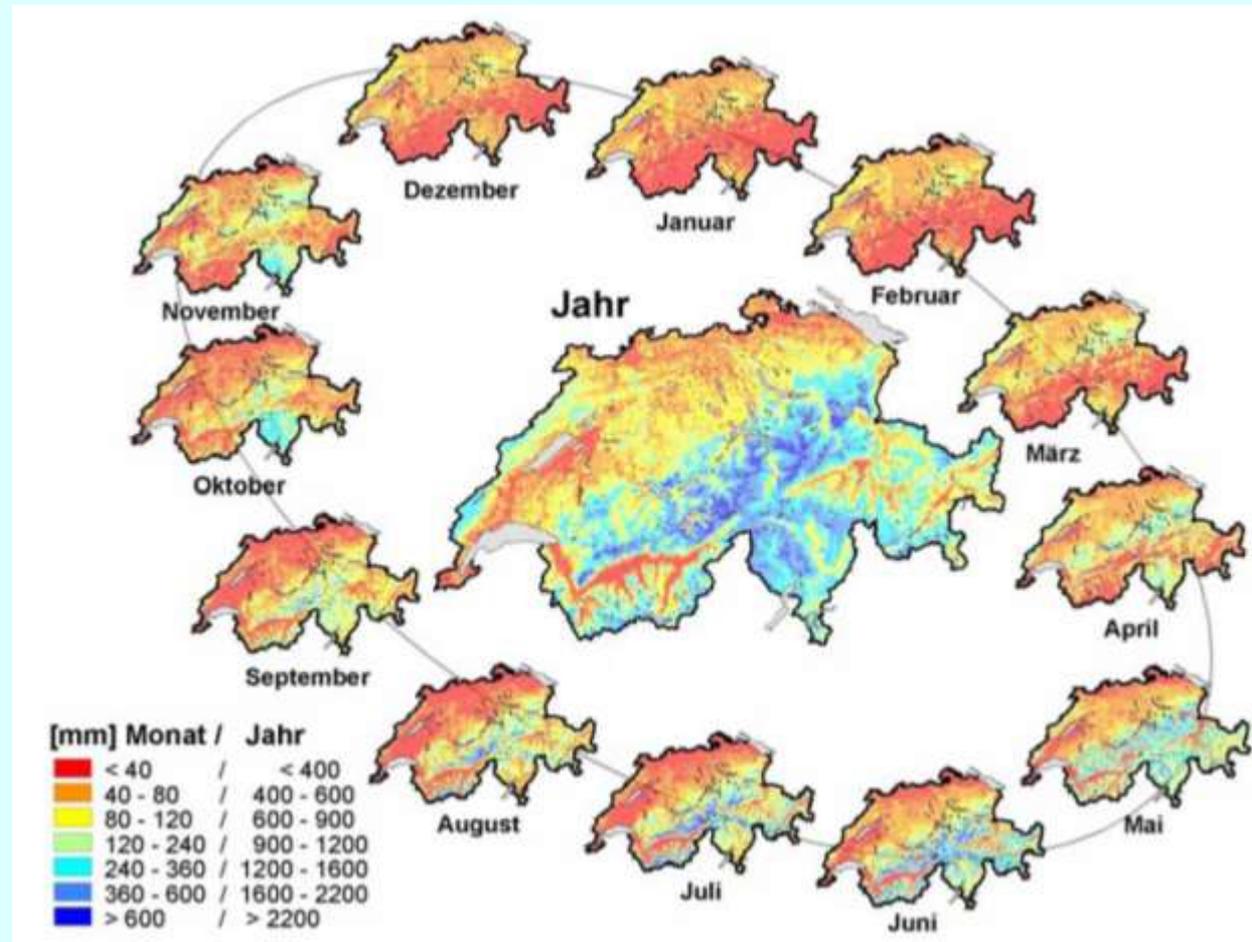


Rasterdatensatz der mittleren jährlichen und mittleren monatlichen Abflüsse über die ganze Schweiz

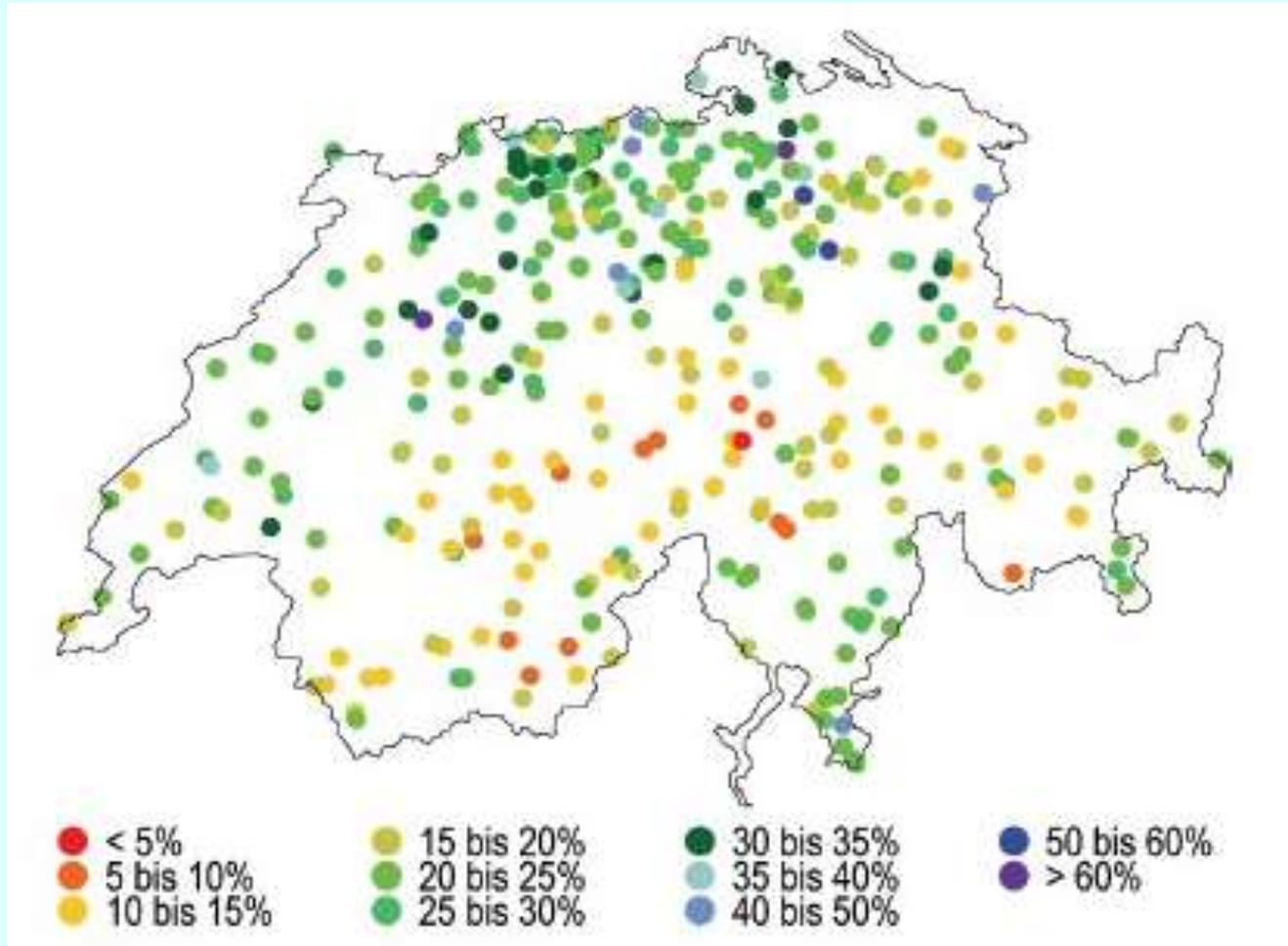
Periode 1981 – 2000

Fusion zweier
Datensätze unter-
schiedlicher
Auflösung

Validierung mit
realen Abflüssen

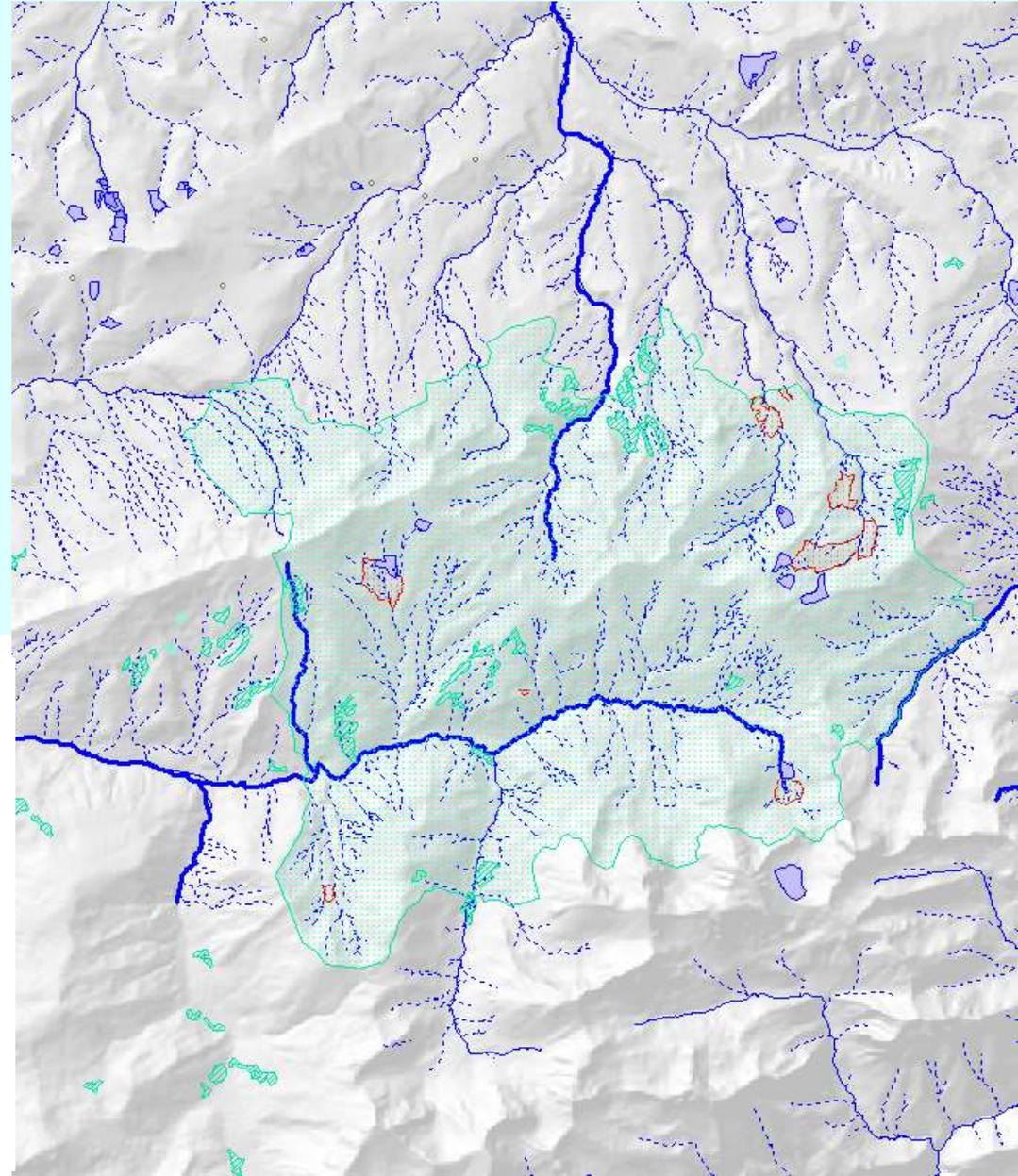


Natürliche Variabilität des Abflusses ist z.T. grösser als der Schätzfehler der modellierten mittleren Abflüssen



Schutzgebiete können die Kraftnutzung in einem Gewässer einschränken, resp. verhindern.

Verbindungen (Einflussfaktoren)

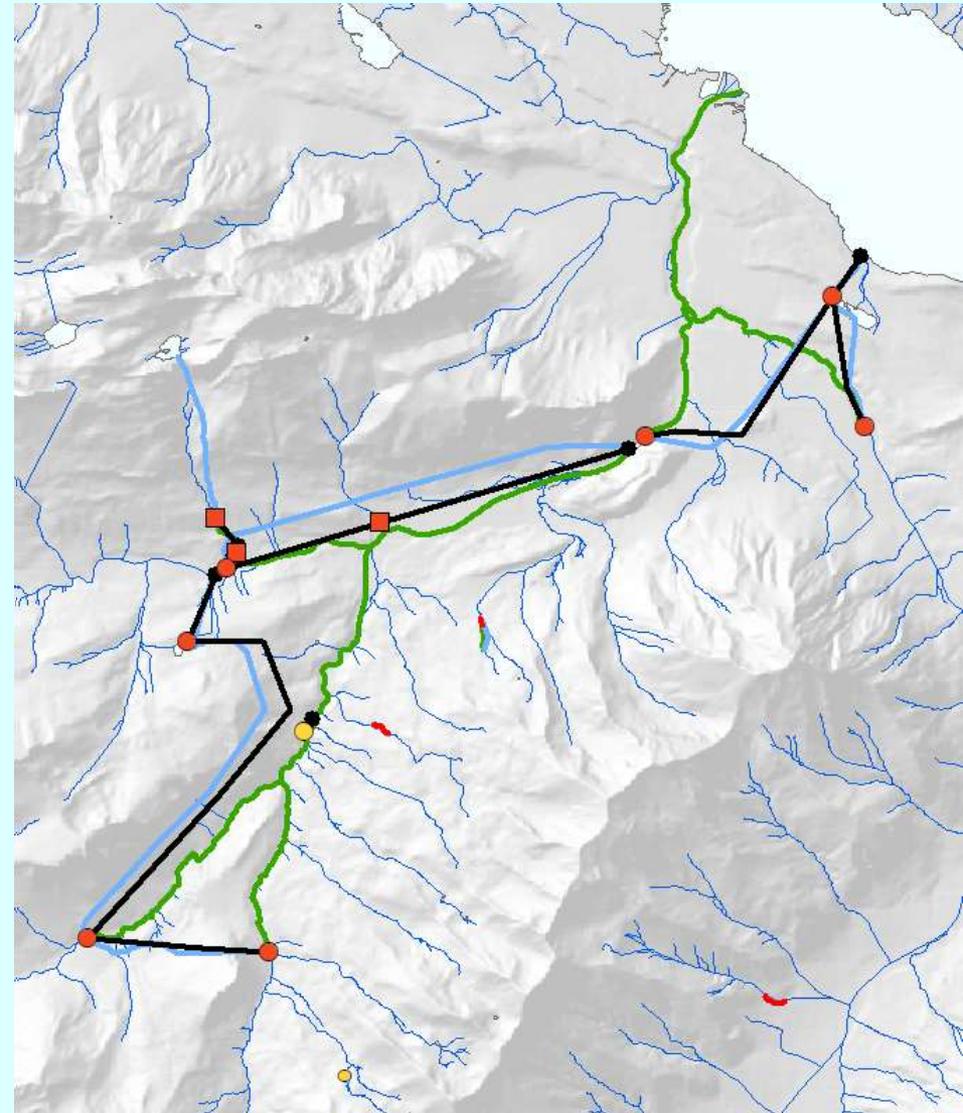


- Killerfaktoren
- Einflussfaktoren
 - Inventar der schützenswerten Ortsbilder der Schweiz
 - 
 - Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nat. Bedeutung
 - 
 - Inventar der Flachmoore von reg. Bedeutung
 -  Lokale Flachmoorflächen
 -  Regionale Flachmoorflächen
 - Gewässerschutzkarte
 -  Schutzzonen-Fassungsbereich (Zone S1)
 -  Engere Schutzzone (Zone S2)
 -  Grundwasserschutzareal (Zone SA1)
 -  Grundwasserschutzareal (Zone SA2)
 - Bundesinventar der Moorlandschaften von nat. Bedeutung
 - 
 - Naturschutzgebiete
 - 

Gewässerabschnitte mit bestehenden Wasserkraftkonzessionen können nicht mehrfach genutzt werden.

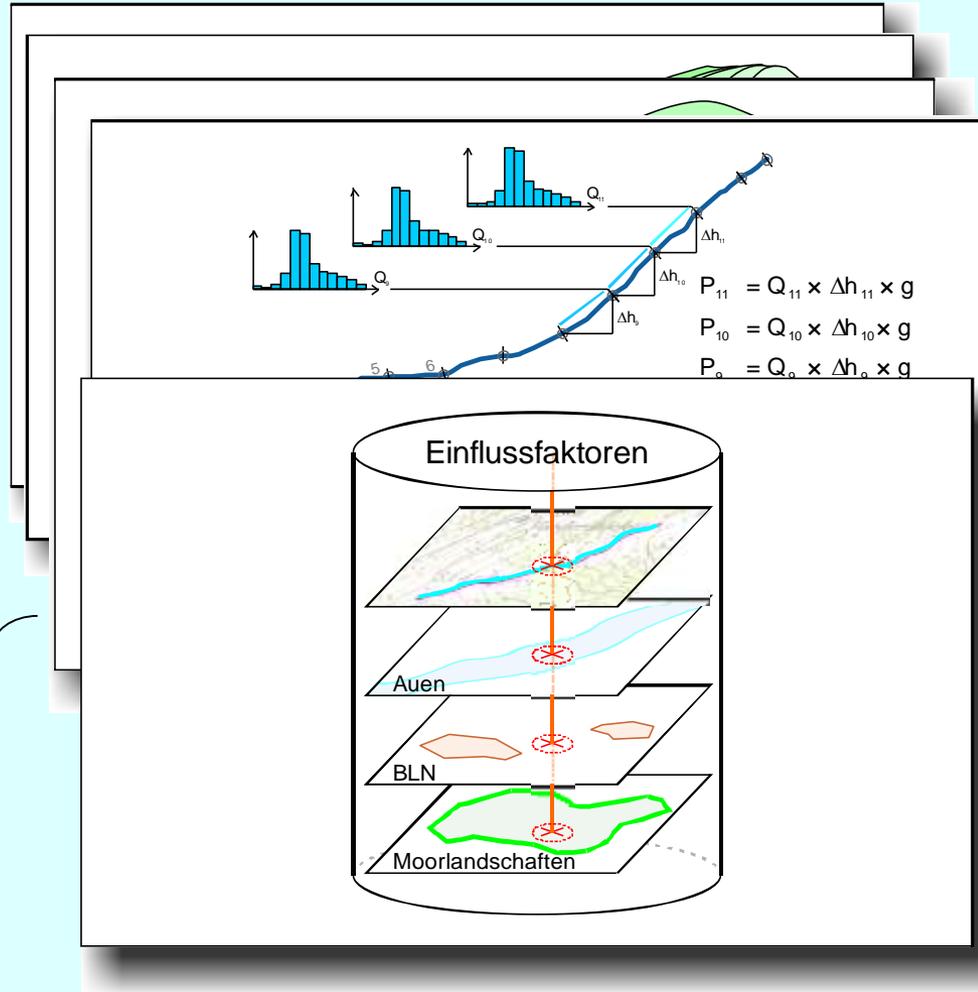
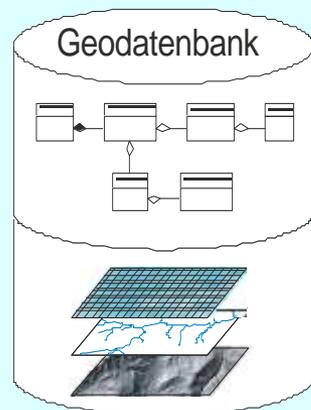
Bestehende Konzessionsmengen geben Aufschluss über den Ausnutzungsgrad des theoretischen Potentials.

Unterschiedliche Datenlage zwischen Bund und Kanton Bern



Berechnen geographischer und hydrologischer Kennwerte für diskrete Gewässerpunkte

- Diskrete Gewässerpunkte festlegen (50m)
- Einzugsgebiet ermitteln
- Abfluss ermitteln
- Standorteigenschaften
- Kennwerte speichern

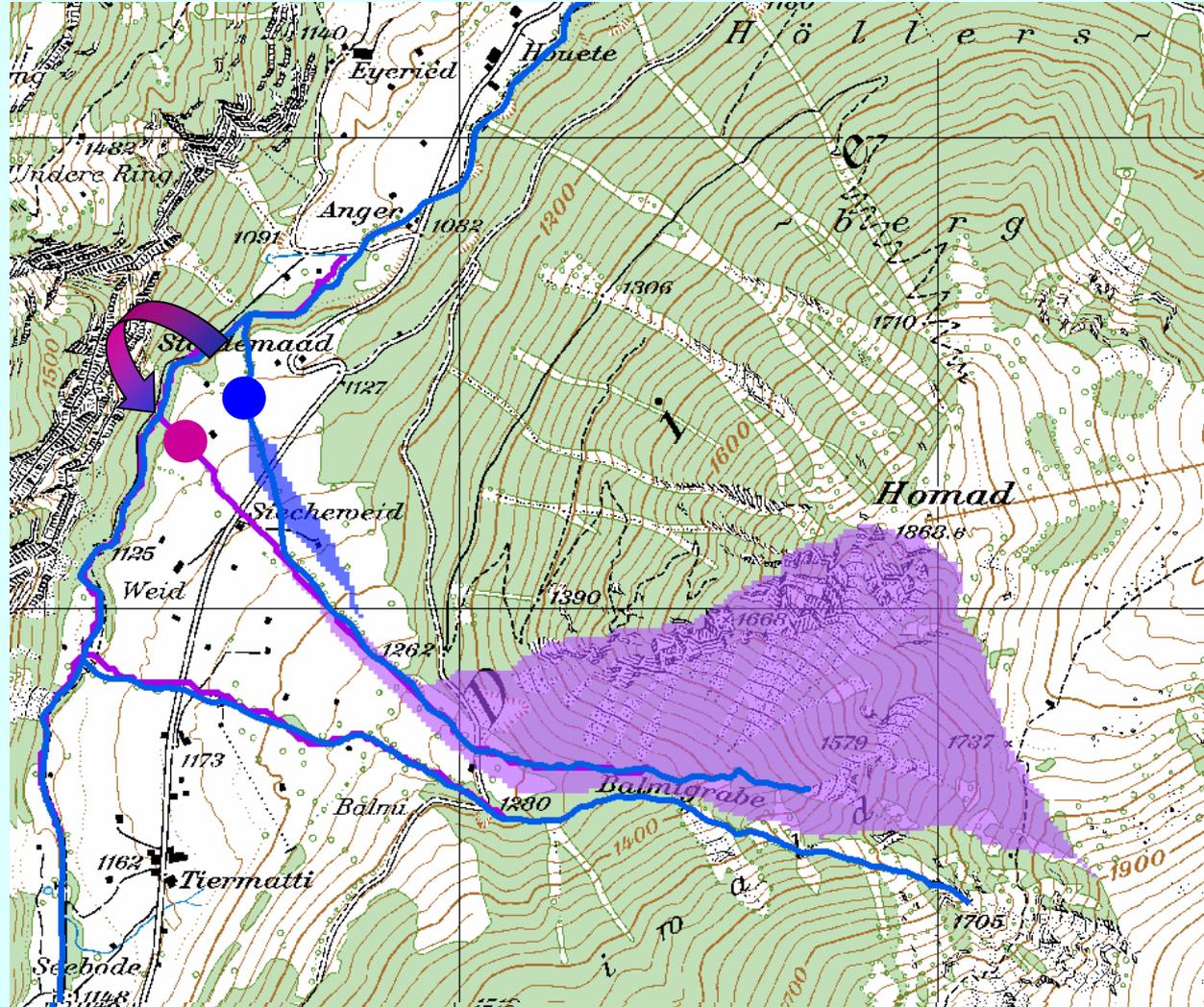


Das digitalisierte Gewässernetz und die **Tallinie** eines Höhenmodells stimmen nicht überein.

Berechnung von Einzugsgebieten auf **Gewässernetz** führt zu Fehler

Herleitung von **Tallinie** aus Höhenmodell

Berechnung von Einzugsgebieten auf **Tallinie**

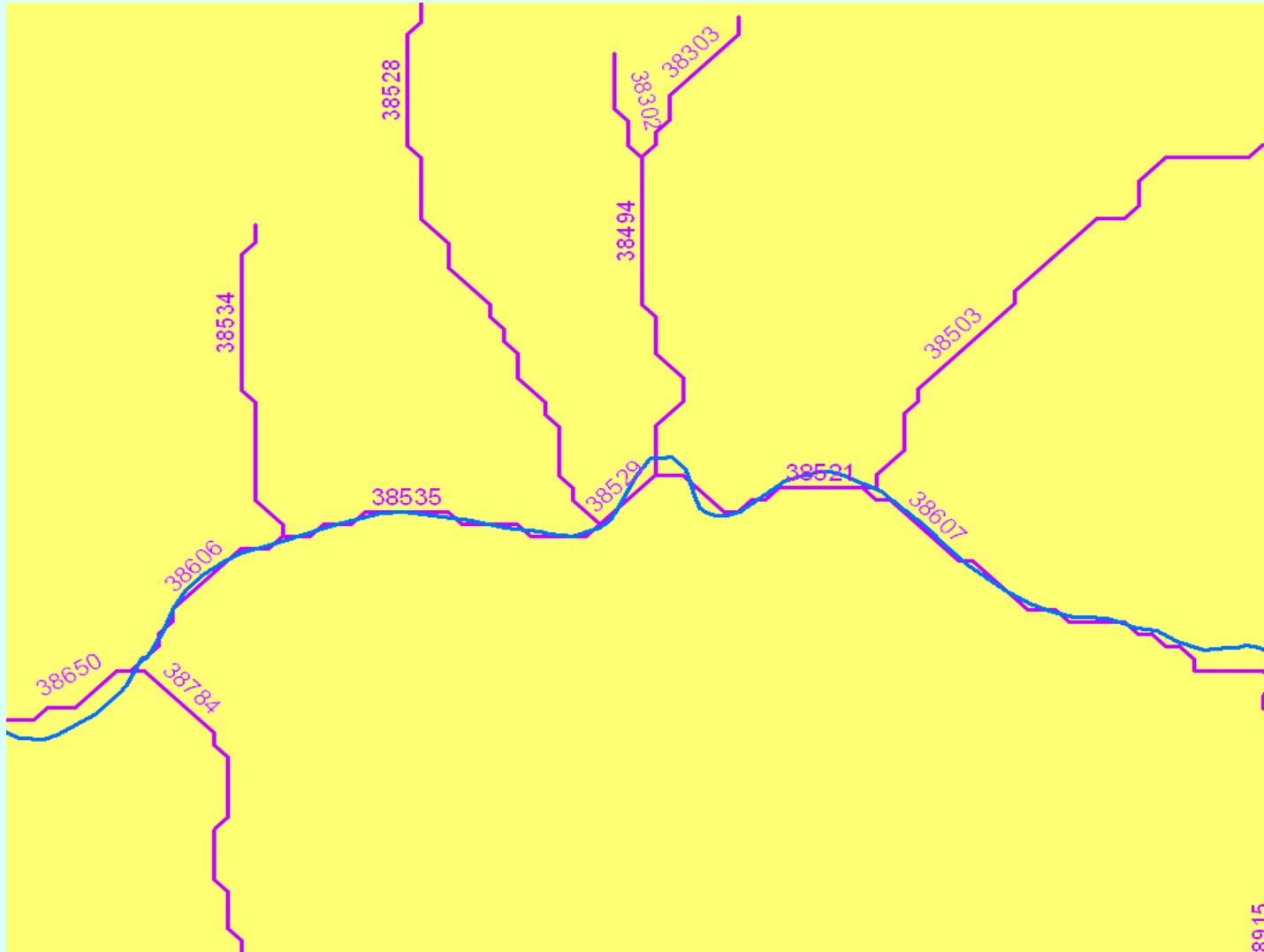


Tallinie und **digitalisiertes Gewässer** müssen verknüpft werden.

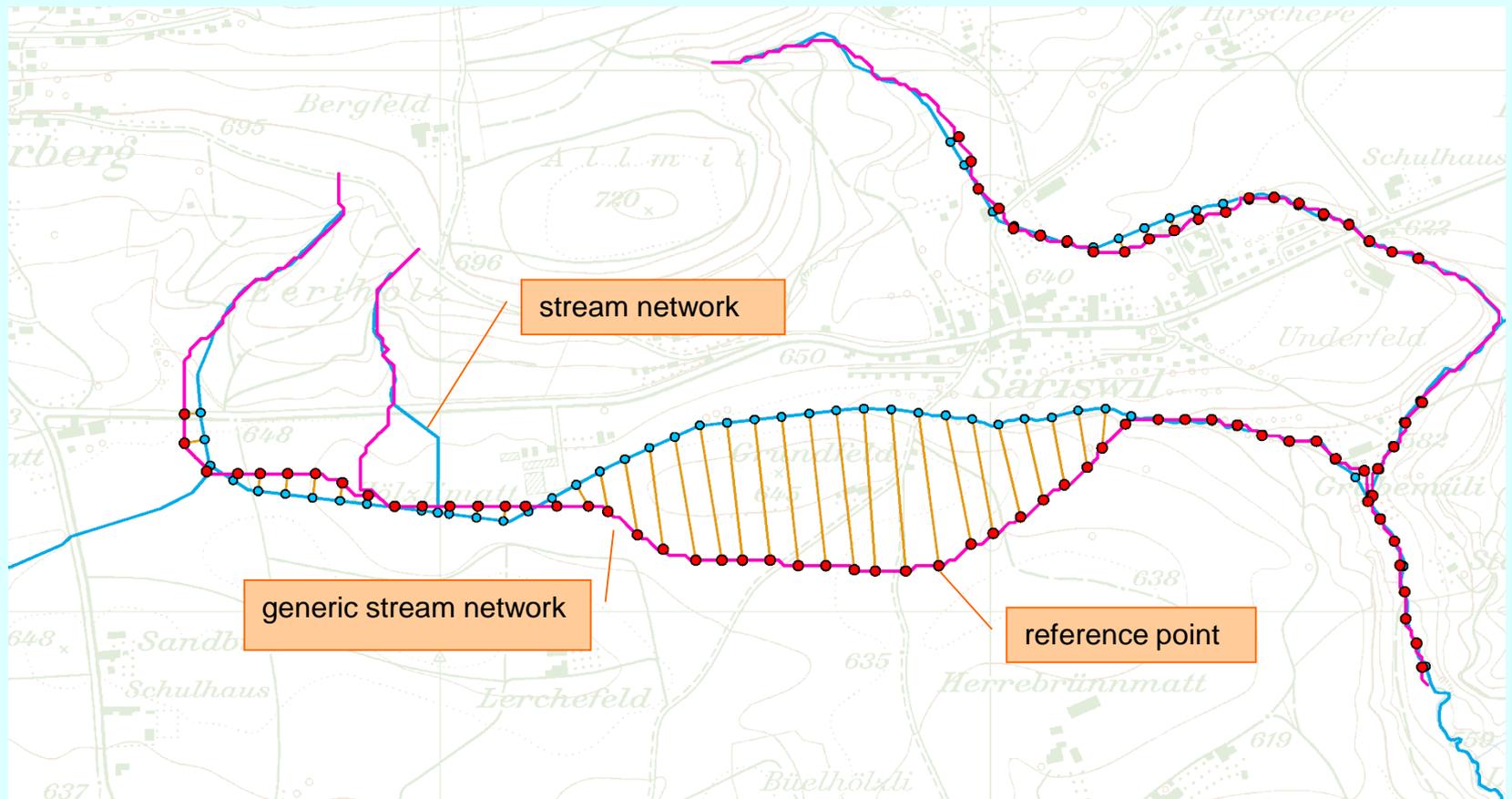
Festlegen von **Quelle** und **Mündung**

Netzwerk-Routing

Speichern der Zuordnungen



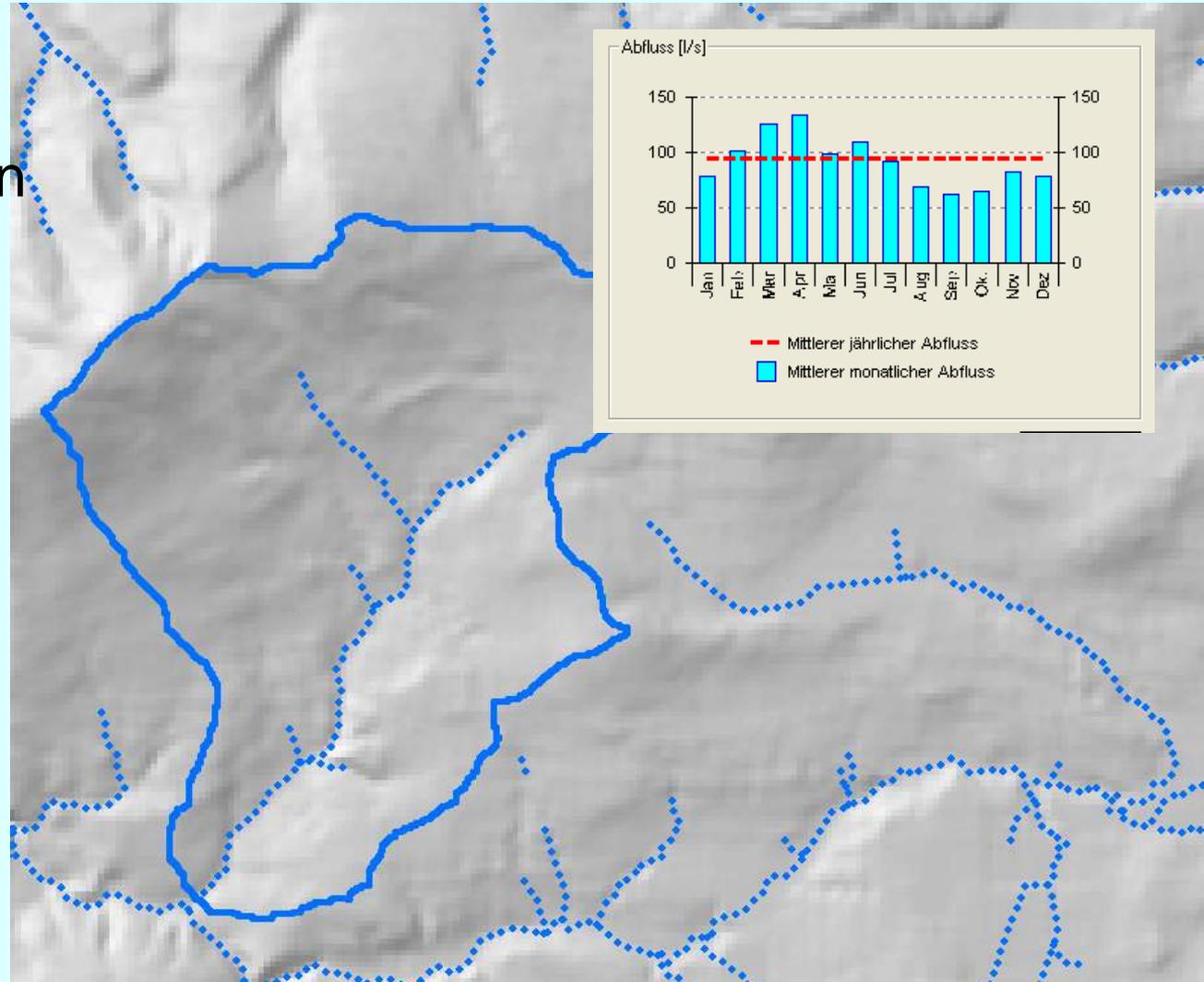
Das Gewässernetz wird in diskrete Punkte aufgeteilt. Zu jedem Punkt auf dem **Gewässernetz** wird der korrespondierende Punkt auf der **Tallinie** ermittelt.



Für jeden Gewässerpunkt wird das Einzugsgebiet und die modellierten Abflüsse (monatlich, jährlich) bestimmt.

Einzugsgebiete für alle Punkte ermitteln

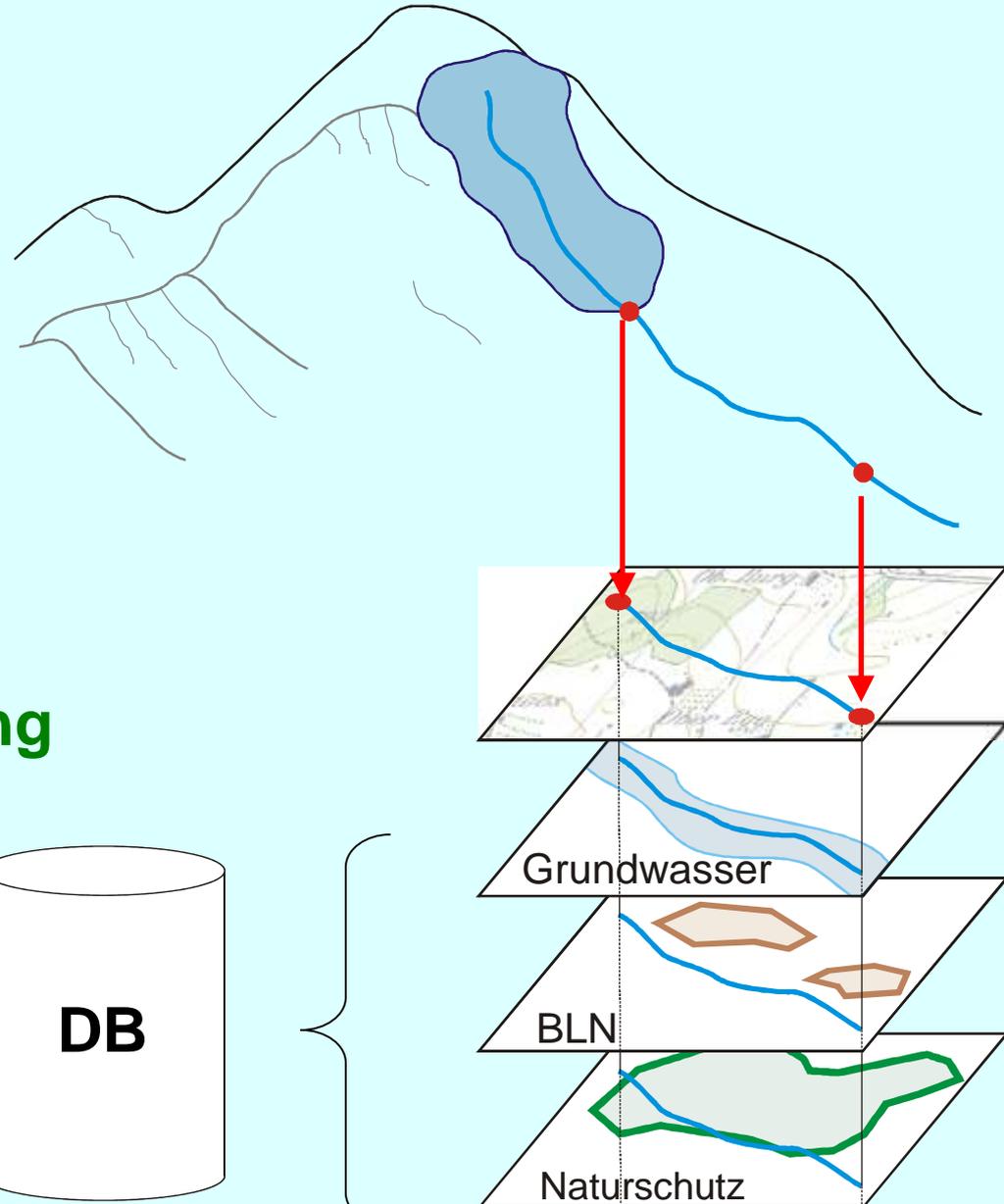
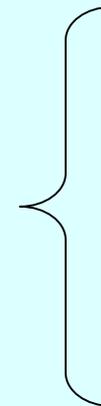
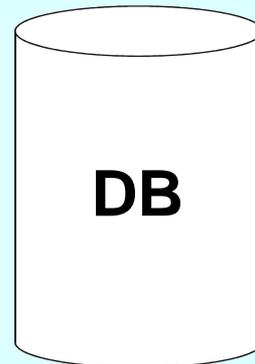
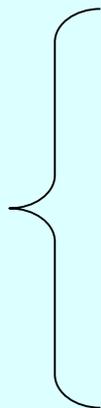
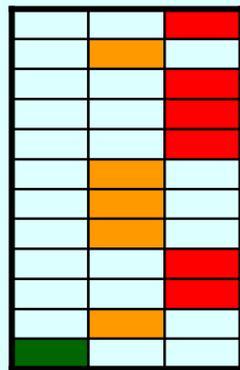
Monatlichen und jährlichen Abfluss für jedes Einzugsgebiet



Ermittlung von Standortfaktoren an jedem Gewässerpunkt mittels geografischem Verschnitt

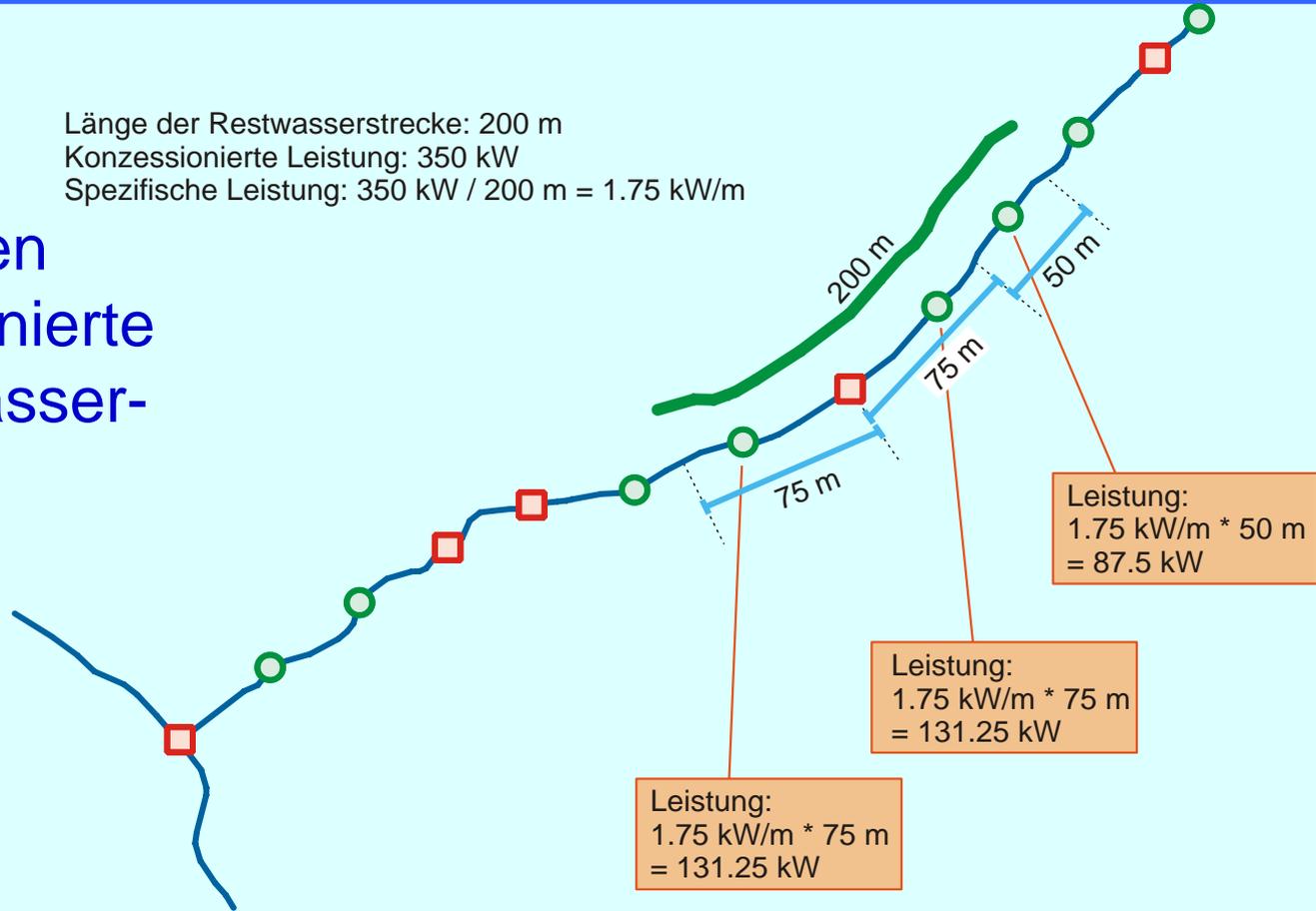
Aufteilung in Einflussklassen

- Einflussfaktoren
- Ausschlussfaktoren
- Bestehende Kraftnutzung



Basierend auf der Information von Restwasserstrecken wird die konzessionierte Nutzung pro Gewässer-Punkt ermittelt.

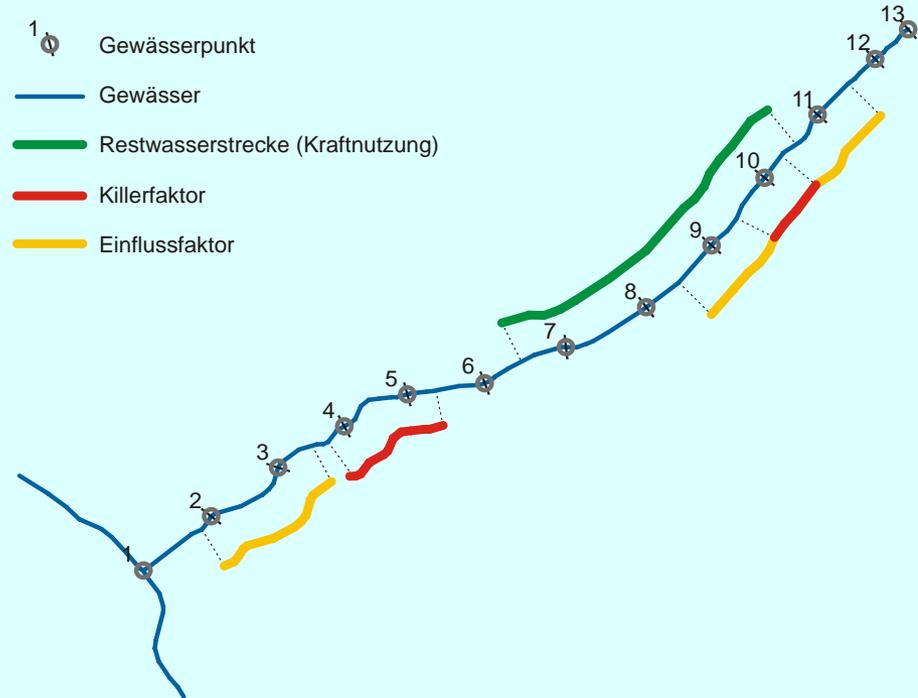
Länge der Restwasserstrecke: 200 m
 Konzessionierte Leistung: 350 kW
 Spezifische Leistung: $350 \text{ kW} / 200 \text{ m} = 1.75 \text{ kW/m}$



- Berechnete Punkte
- Nicht berechnete Punkte
- Gewässer
- Restwasserstrecke
- Relevanzlänge

Das theoretische Potential wird in 4 Klassen aufgeteilt:

- **Genutzt**
- **Ausgeschlossen**
- **Limitiert**
- **Unbeeinflusst**



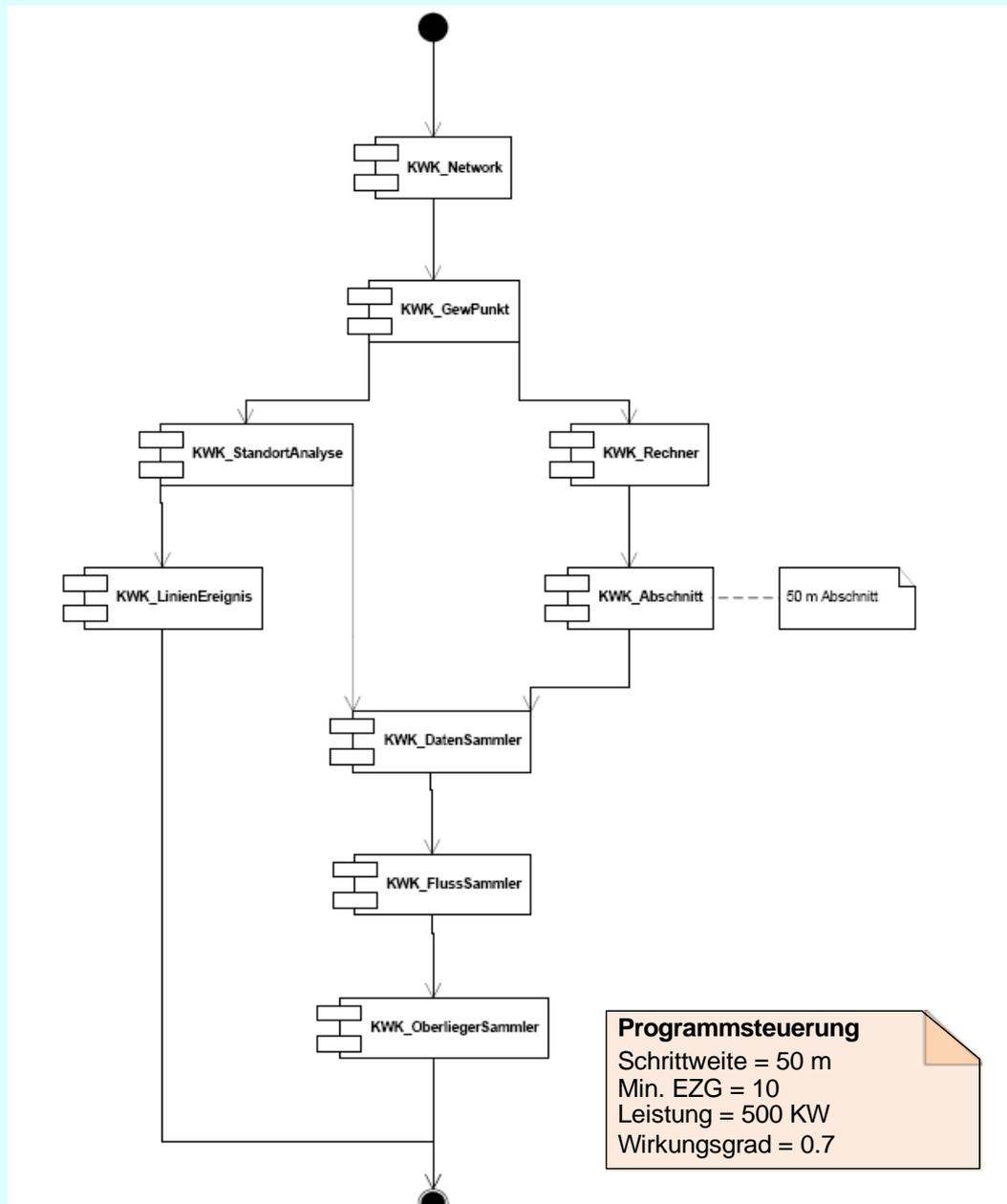
	Gewässerpunkt													Summe
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Potential [kW]														
Theoretisch	140	125	95	70	90	100	120	75	80	90	105	75	60	1225
Genutzt							40	40	40	40				160
Verfügbar	140	125	95	70	90	100	80	35	40	50	105	75	60	1065
Killerfaktor				70	90					50				210
Nutzbar	140	125	95	0	0	100	80	35	40	0	105	75	60	855
Einflussfaktor		125	95						40	0	105			365
Unbeeinflusst	140	0	0	0	0	100	80	35	0	0	0	75	60	490



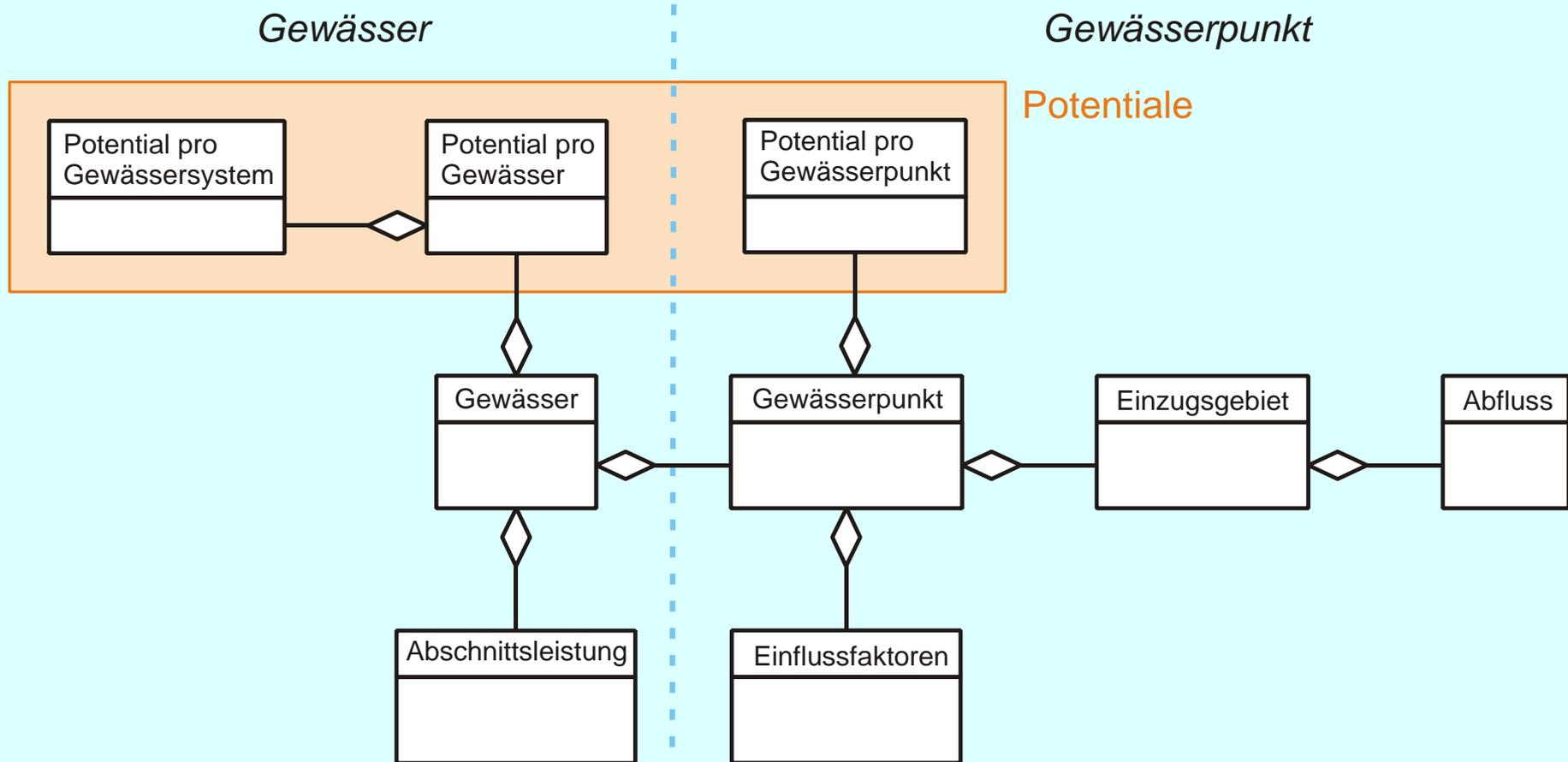
Verwendung von
ArcGIS als Framework.

Programmierung von
spezifischen Tools für
die Berechnungen:

- ca. 15 Tools
- ca. 30'000 Zeilen Code



Alle berechneten Daten werden in einer relationalen Datenbank gespeichert und stehen für die weiteren Auswertungen zu Verfügung.

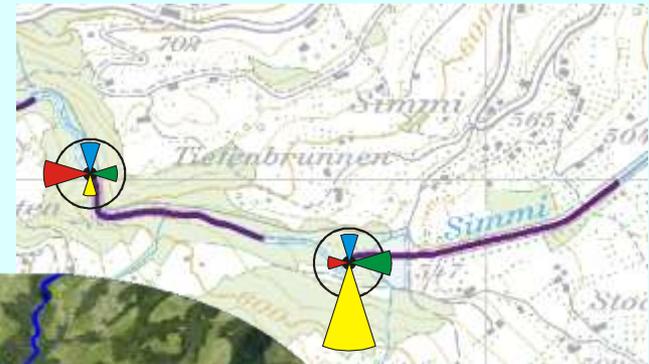




Aussagekräftige, bedürfnisorientierte Resultatdarstellung in unterschiedlichen Detaillierungsstufen

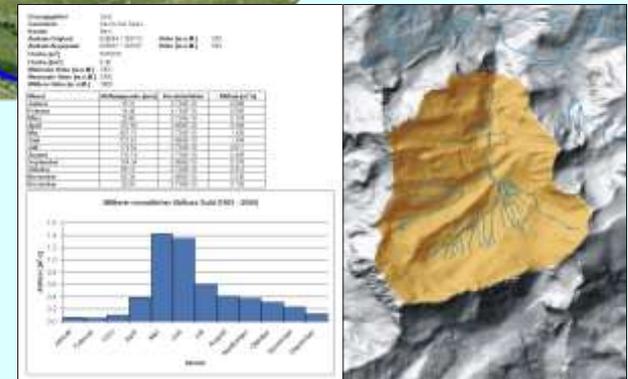
- **Klassische Darstellung (analog)**

- Potentialkarte
- Standortbewertung



- **GoogleEarth (digital)**

- Übersicht der Standorte
- Detaillierter Standortbericht



Detailkarte 1:25'000

1187

Münsingen

Wasserkraft-
Potentialstudie
Kanton Bern

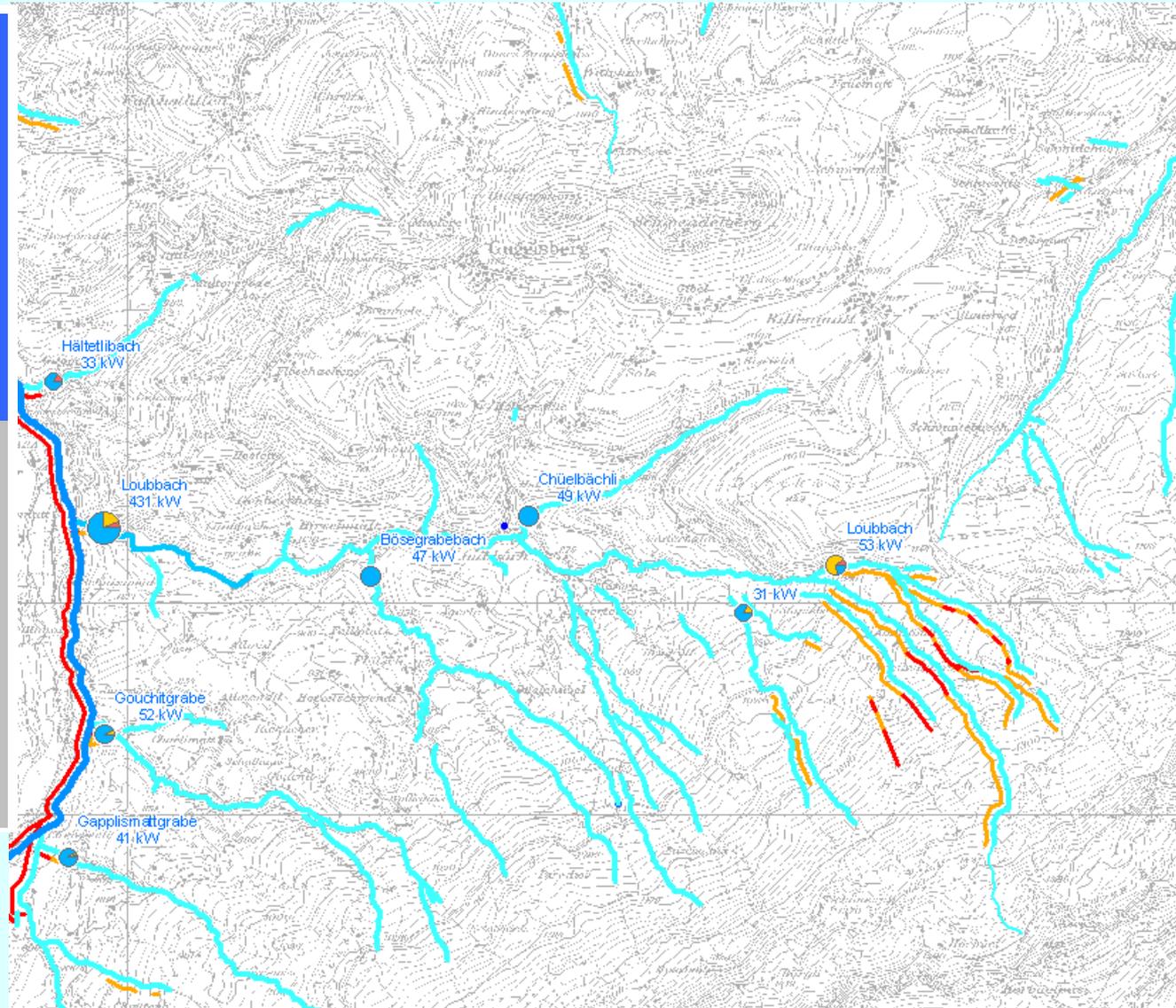
1:25 000

Ausgabe 2009

		1087			
1105	1106	1107	1108		
1124	1125	1126	1127	1128	
1144	1145	1146	1147	1148	
1165	1166	1167	1168	1169	
1185	1186	1187	1188	1189	
1206	1207	1208	1209	1210	1211
1226	1227	1228	1229	1230	1231
1245	1246	1247	1248	1249	1250
1265	1266	1267	1268		
1285	1286				

AWA
Amt für Wasser und Abfall

Bau-, Verkehrs- und
Energiedirektion
des Kantons Bern



Übersichtskarte 1:100'000



Blatt Süd

Wasserkraft-
Potentialstudie
Kanton Bern

1:100 000

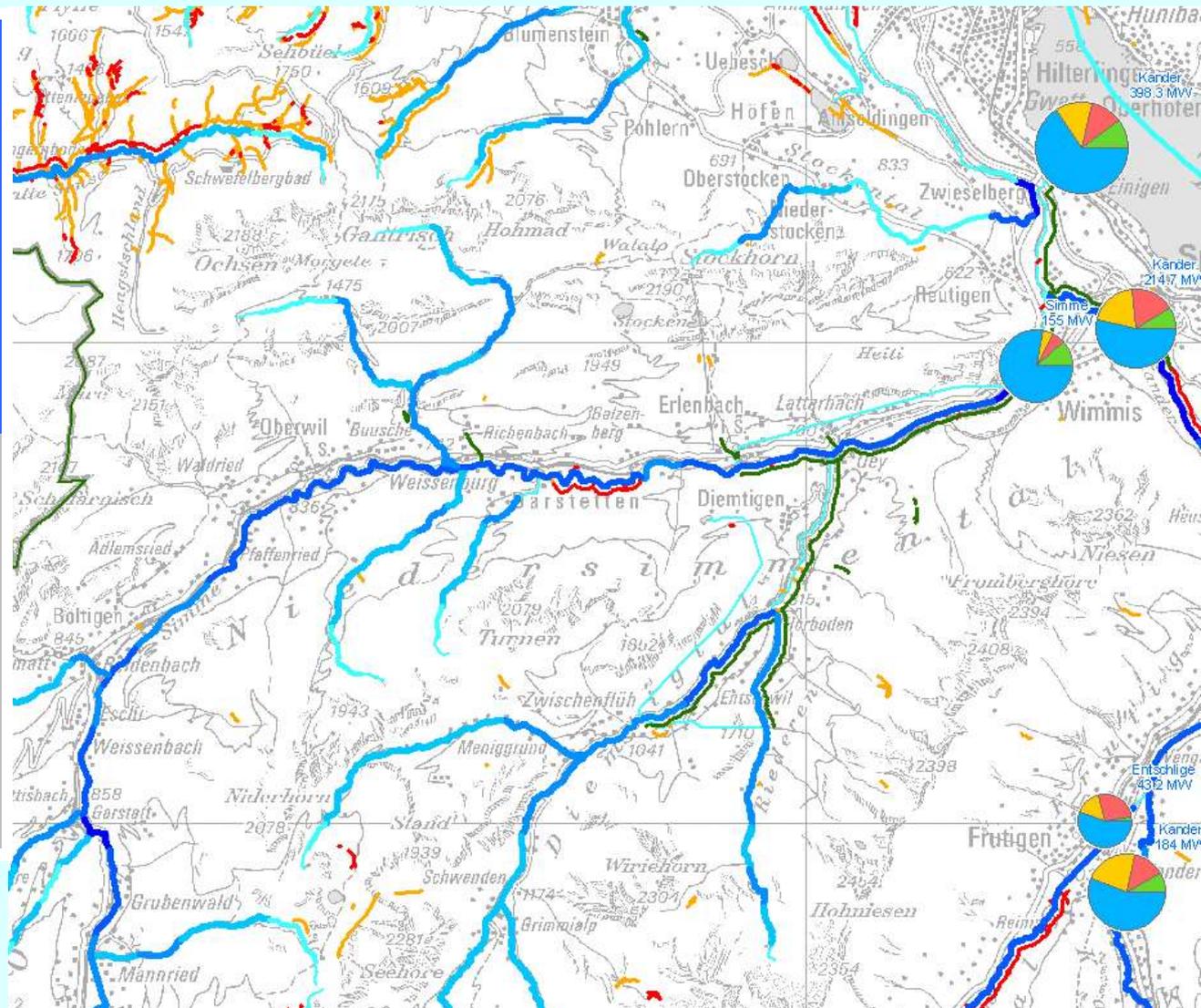
Abgabe 2009

Blatt Nord

Blatt Süd

AWA
Amt für Wasser und Abfall

Bau-, Verkehrs- und
Energiedirektion
des Kantons Bern



Berechnung möglicher Kraftwerksstandorte für frei wählbare Leistungsklassen:

- 0.5 MW, 1.0 MW, 2.0 MW

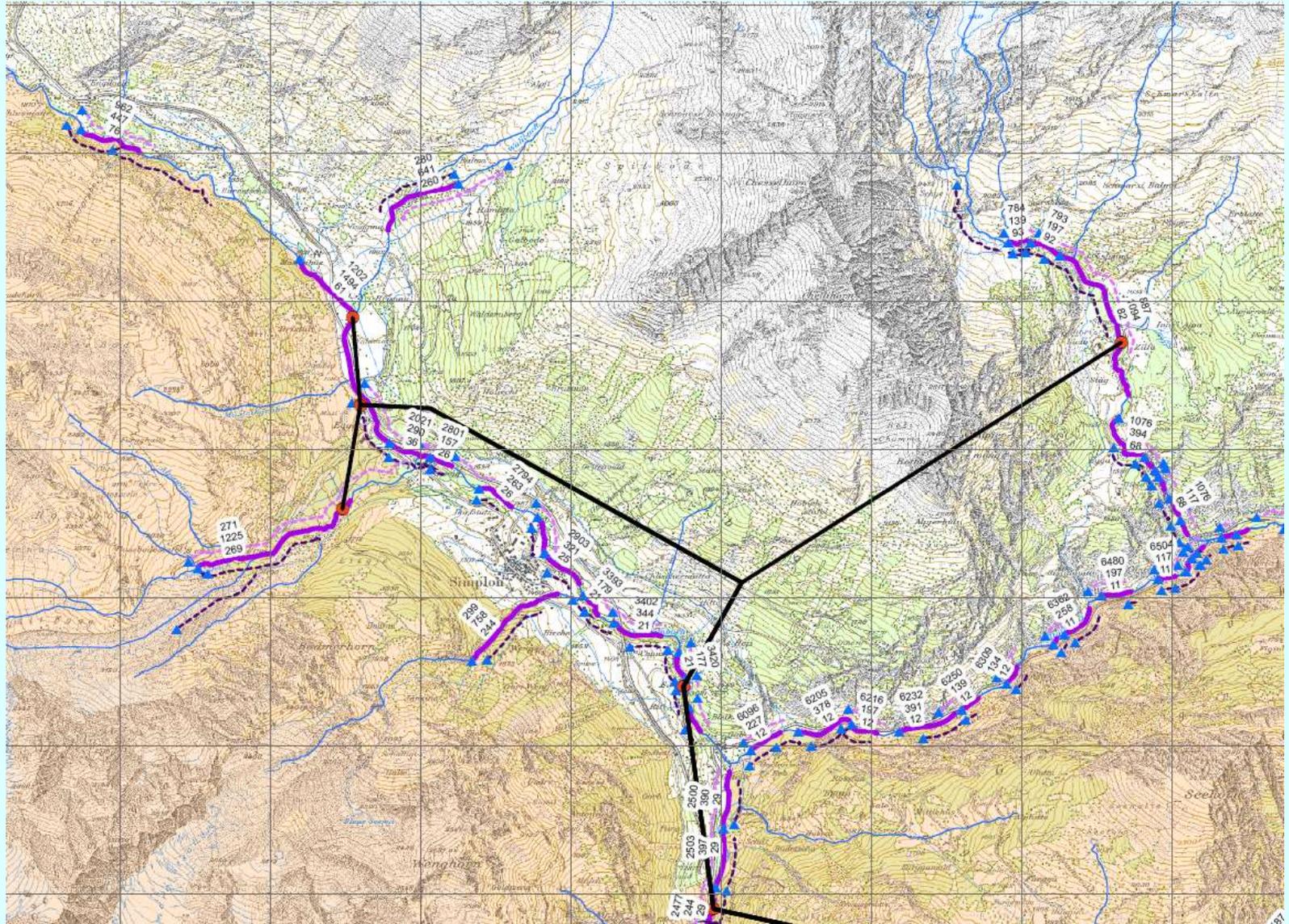
Berücksichtigung technischen, ökologischen und ökonomischen Limitierungen:

- Wirkungsgrad ($\eta = 0.7$)
- Ausbauwassermenge (Q_{120})
- Maximale Länge Ausleitstrecke (Leistungsabhängig)
- Berücksichtigung der Abflussvariabilität ($Q_{120} \pm 20\%$)

Darstellung der Resultate:

- Hinweiskarten 1:25'000
- GoogleEarth

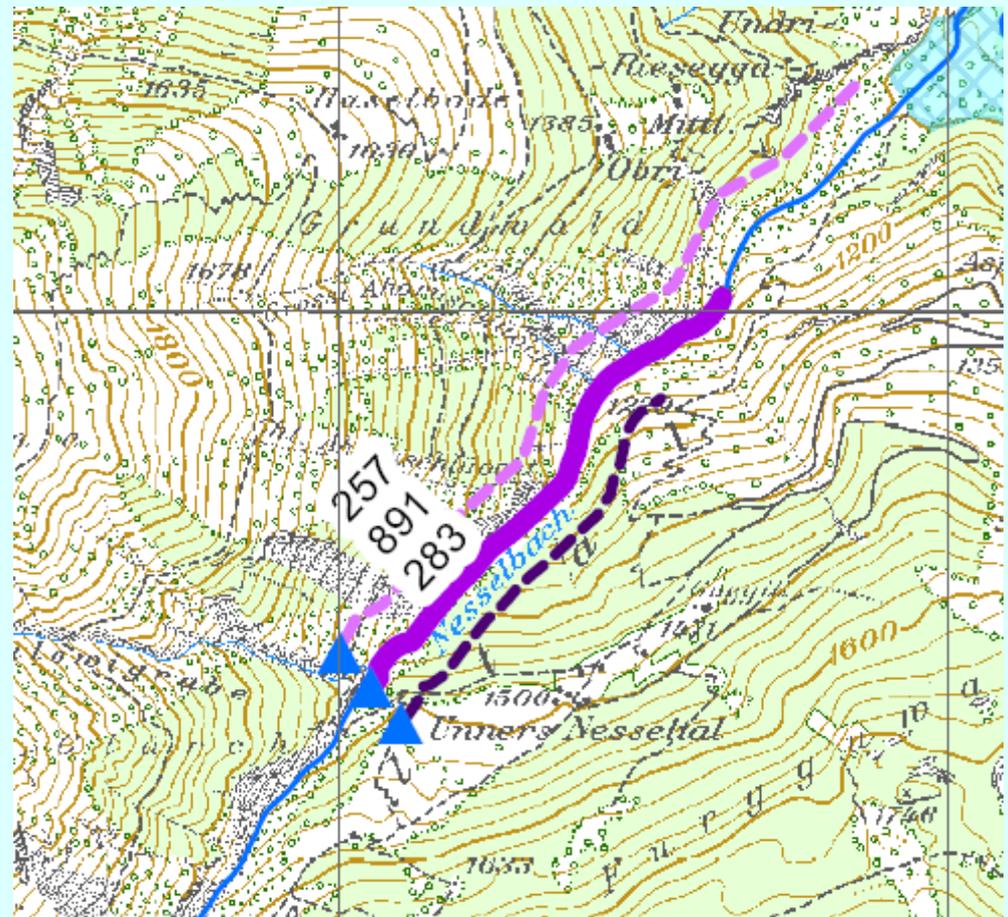
Hinweiskarte Potentielle Kraftwerksstandorte 1:25'000



Mit der Berücksichtigung der Abflussvariabilität ($Q_{120} \pm 20\%$) kann die *Robustheit* der Standorte eruiert werden.

Standort detektiert bei:

- $Q_{120} + 20\%$
- Q_{120}
- $Q_{120} - 20\%$

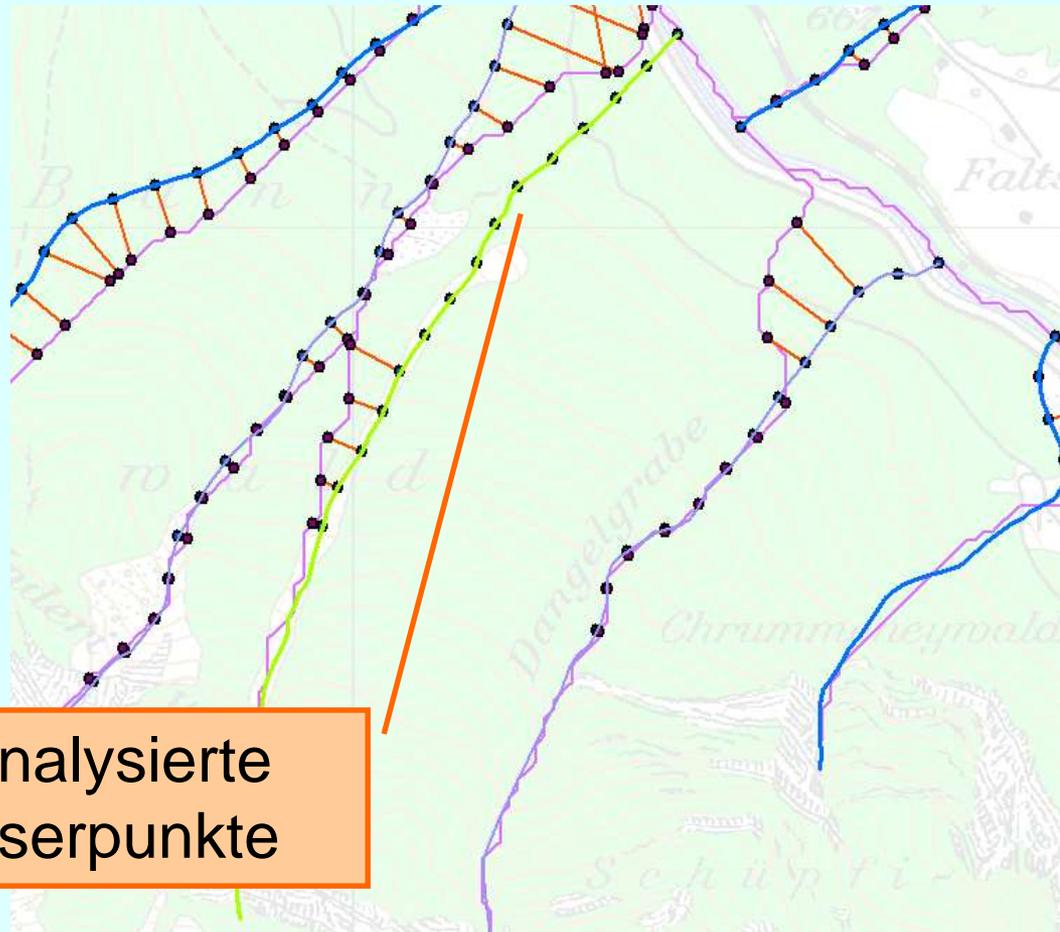


Fehlende Übereinstimmung der *Tallinie* und digitalisiertem Gewässernetz

Regionen mit schwachem Relief

Karstregionen

Veränderte Gewässerläufe



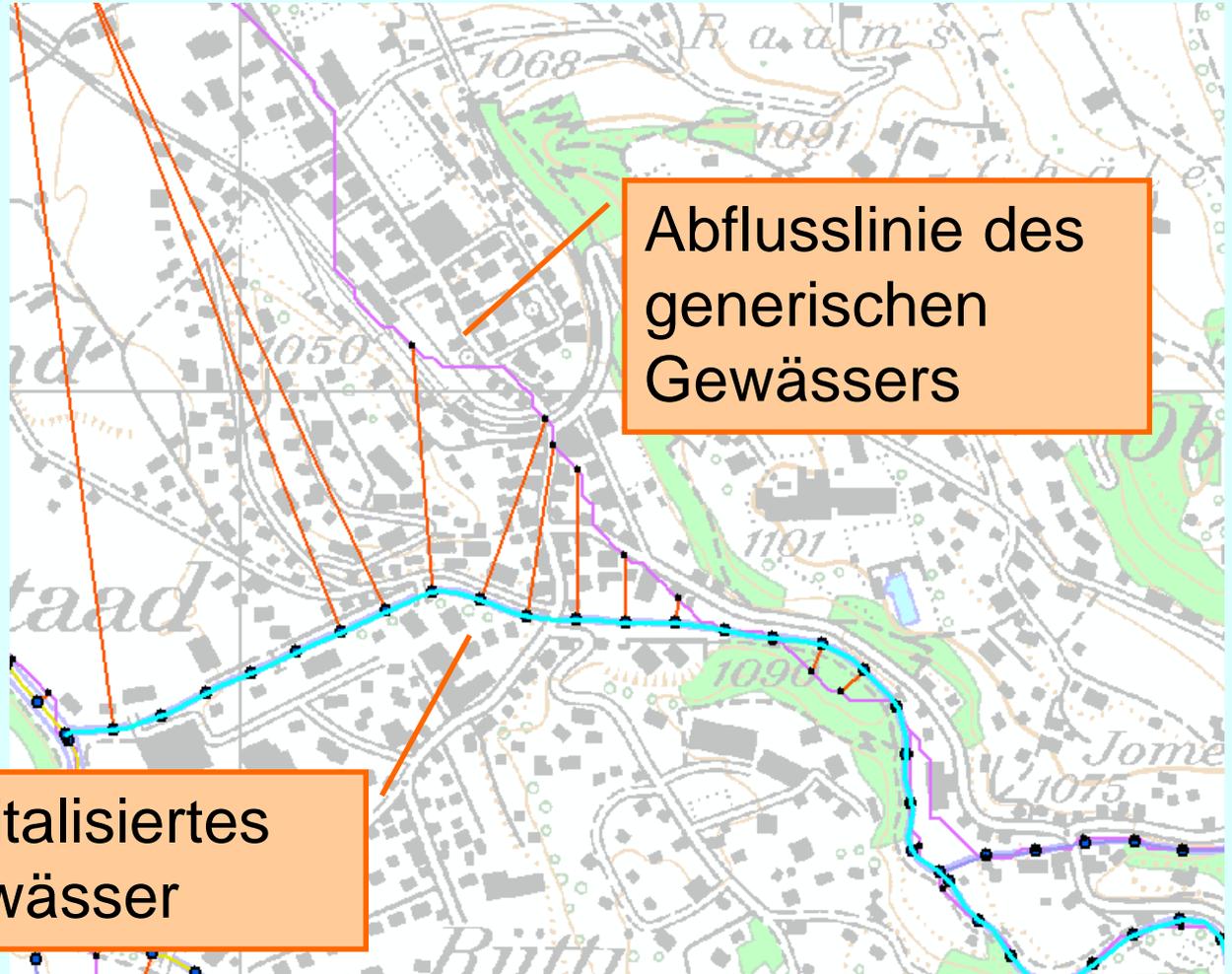
Nicht analysierte
Gewässerpunkte

Anthropogen überprägte Regionen erschweren die korrekte Berechnung von Einzugsgebieten

Kanäle und
Druckleitungen

Drainagen

Umleitungen



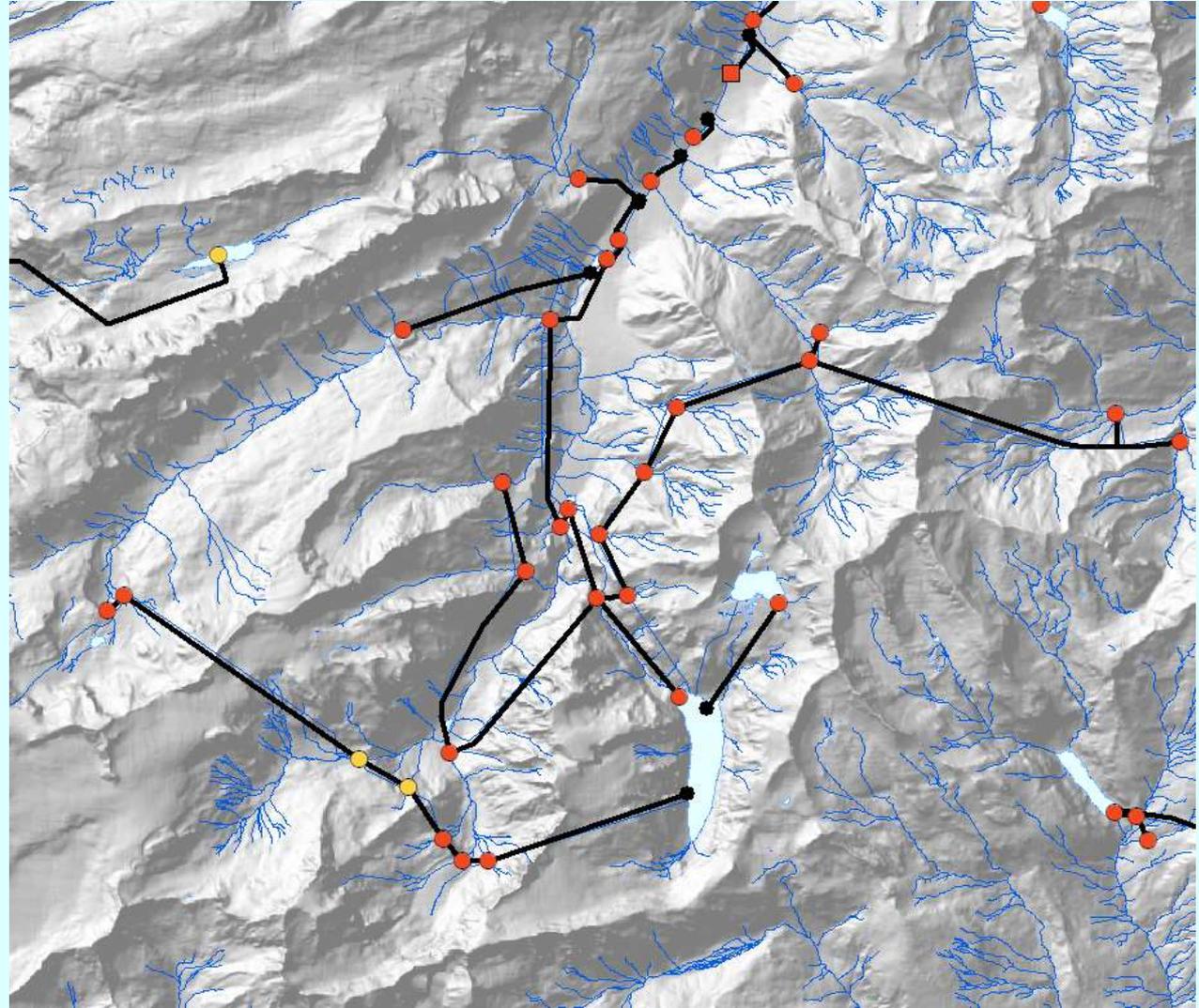
Digitalisiertes
Gewässer

Abflusslinie des
generischen
Gewässers

Regionen mit (Pump-) Speicherkraftwerke besitzen veränderte hydrologische Regimes

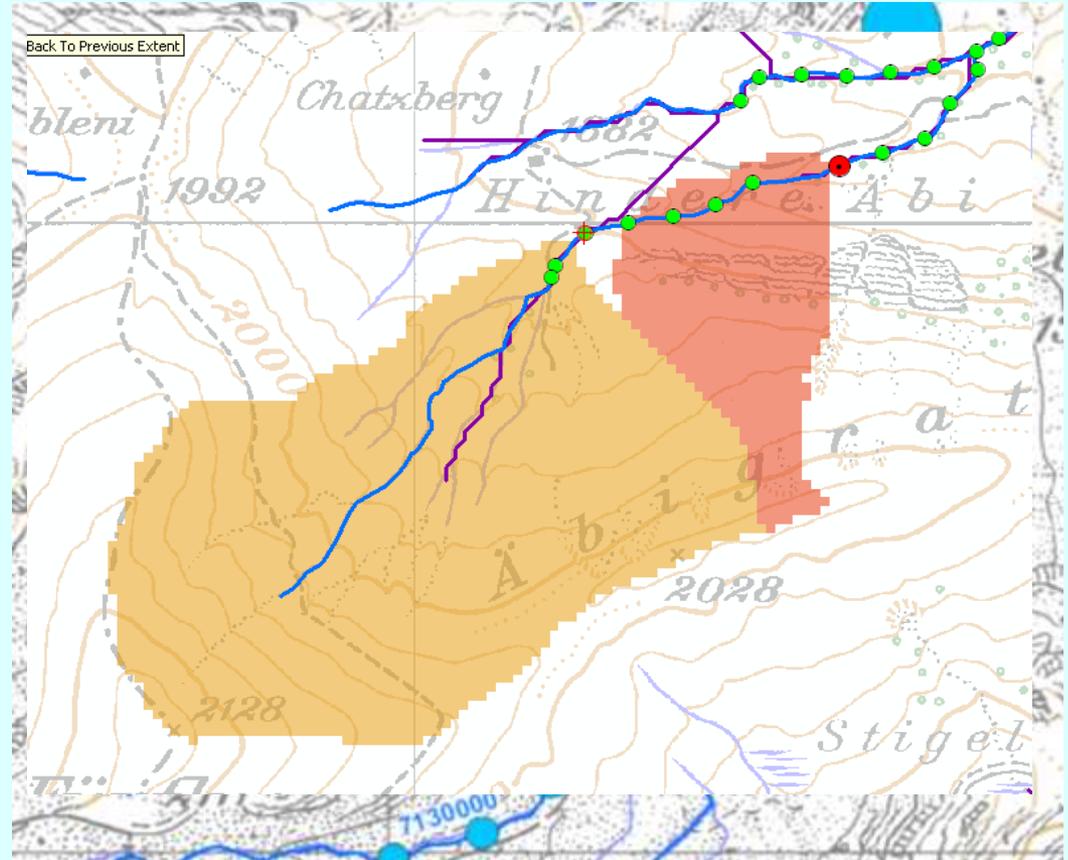
Berücksichtigung
Von Zu- und
Ableitungen

Speicherbetrieb
verändert Abfluss-
Charakteristik
eines Gebietes



Automatische und semiautomatische Prüfung der Resultate

Zwiebelschalen-
Anwachsen von
Prinzip
EZG und Abfluss



- BFE – Forschungsprojekt:
 - Erhebung des Kleinwasserkraftpotentials der Schweiz
- Potentialstudie Kanton Bern
- Sol-E suisse AG: Identifikation potentieller Standorte für Kleinwasserkraftwerke
- BAFU: Darstellung von Einzugsgebieten und Abflüssen in GEWISS
- Deutsche Mittelgebirge
- Gebirgsregionen ausserhalb Europas

Im Rahmen der weiteren Arbeiten werden verschiedenste Software- und Methodikverbesserungen vorgenommen.

- Flächendeckende Informationen mit grosser Aussagekraft
- Daten für weitere Analysen
- Problemorientierte Darstellung

- Erarbeitung der Methodik mit Industriepartner
- Praxiserprobte Methodik
- Prüfung der Resultate im Feld

Idee und Umsetzung wurden
prämiert mit dem
Swiss Mountain Water Award 2008

Python, nicht nur eine
Skriptsprache

