



Einfluss der Wasserführung auf das Erscheinungsbild von Wasserfällen

1. Schweizer Landschaftskongress, Luzern
Robert Boes, ETH Zürich



Aufbau

- Motivation und Einleitung
- Restwasser an energetisch genutzten Wasserfällen in der Schweiz
- Methodik zur Bestimmung des Restwassers an Wasserfällen
- Fazit



Motivation



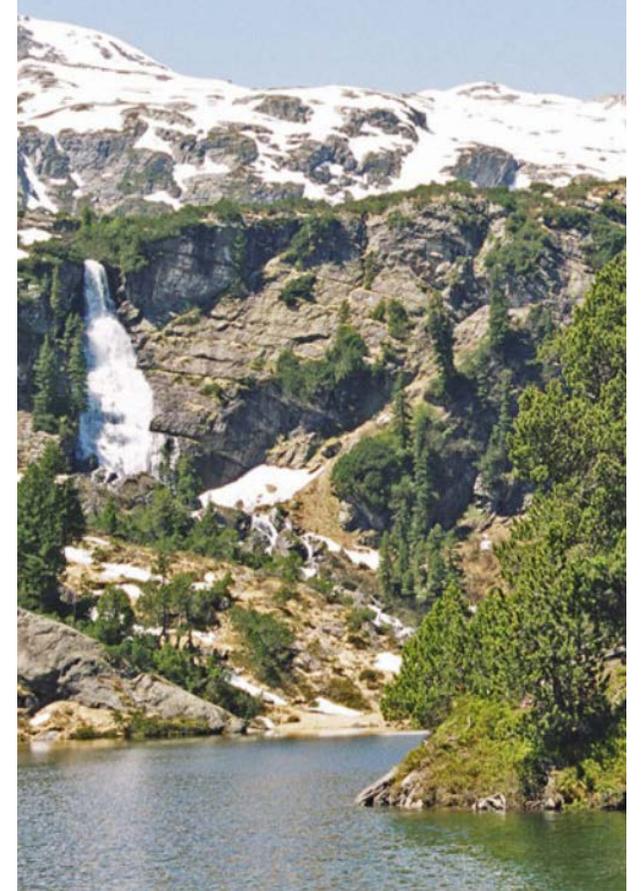
Leuenfall (waterfall.ch)



Giessenfälle (waterfall.ch)



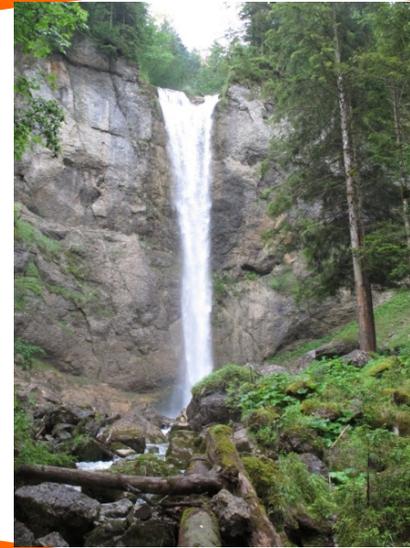
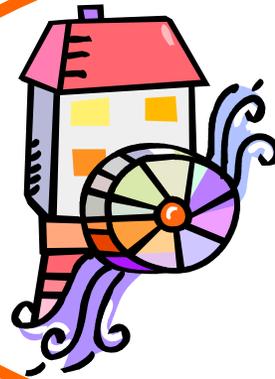
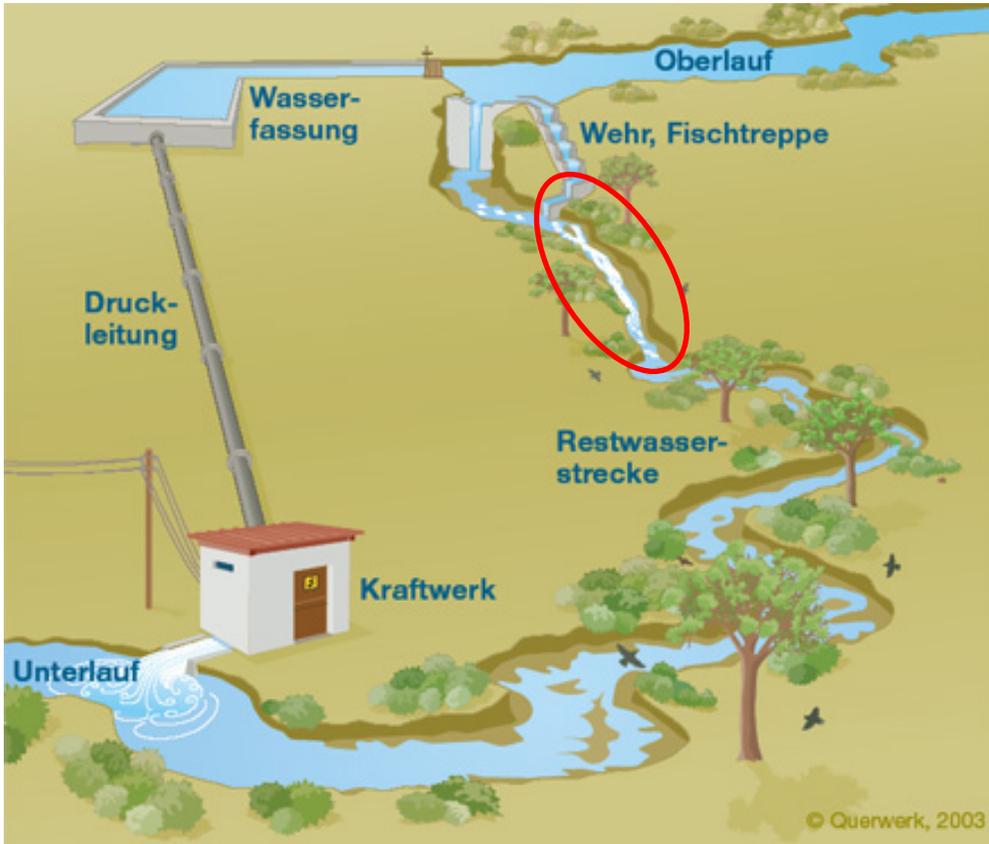
Rheinfall



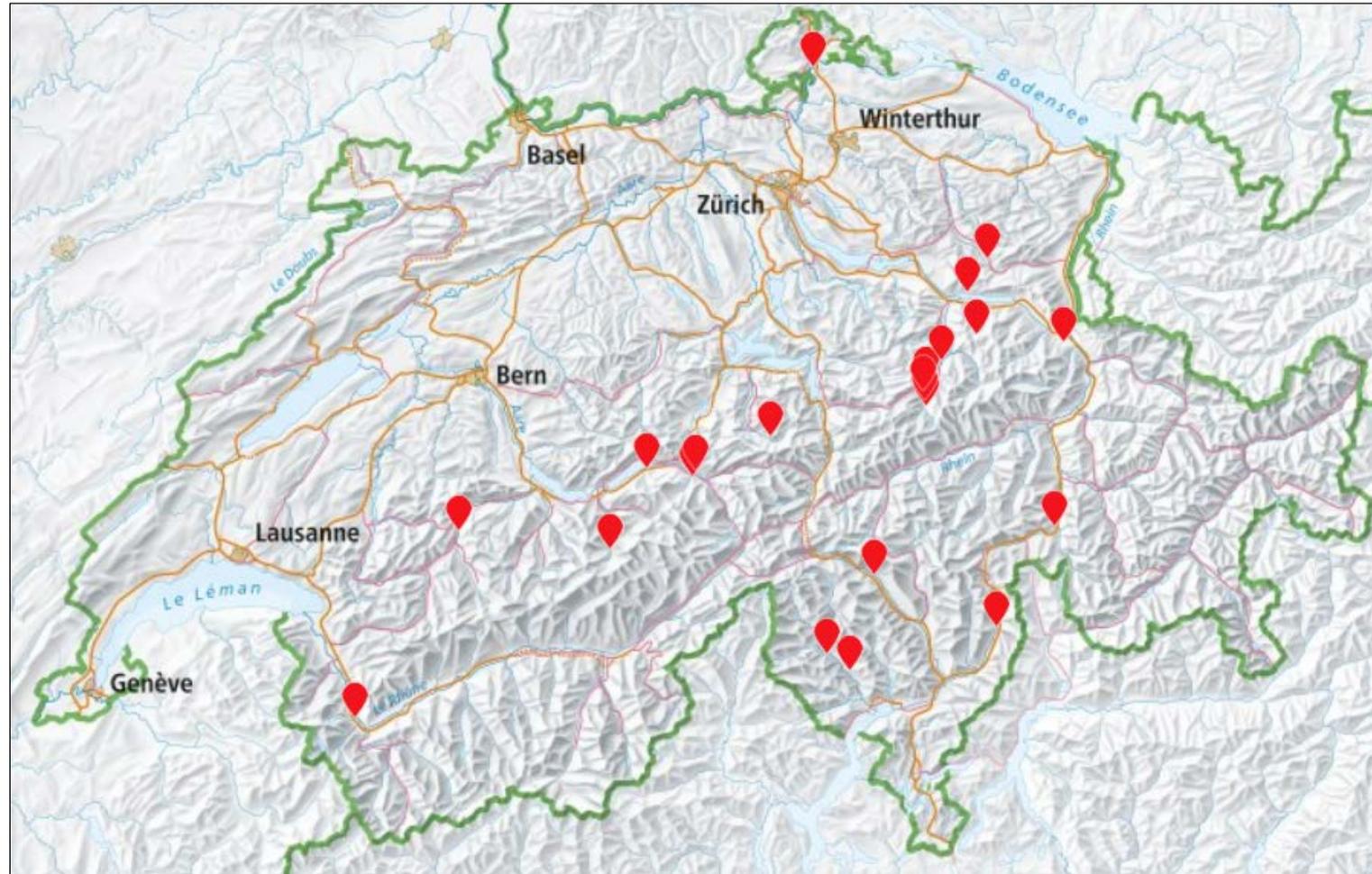
Murgbachfall (waterfall.ch)



Wasserkraftnutzung und weitere Interessenskonflikte



Durch Wasserkraft beeinflusste Wasserfälle in der Schweiz



Quelle: Zehnder, 2018 (maps.geo.admin.ch)



Sicherung angemessener Restwassermengen

- **Gewässerschutzgesetz GSchG (1991)**. Art. 31 ff des Bundesgesetzes über den Schutz der Gewässer. GschG, SR: 814 20, Bern
 - Art. 33: Erhöhung der Mindestrestwassermenge
 - ¹ Die **Behörde erhöht die Mindestrestwassermenge** in dem Ausmass, als es sich aufgrund einer **Abwägung der Interessen für und gegen die** vorgesehene **Wasserentnahme** ergibt.
 - ² **Interessen für die Wasserentnahme** sind namentlich:
 -
 - d. **die Energieversorgung**, wenn ihr die Wasserentnahme dienen soll.
 - ³ **Interessen gegen die Wasserentnahme** sind namentlich:
 - a. **die Bedeutung der Gewässer als Landschaftselement**;
 -

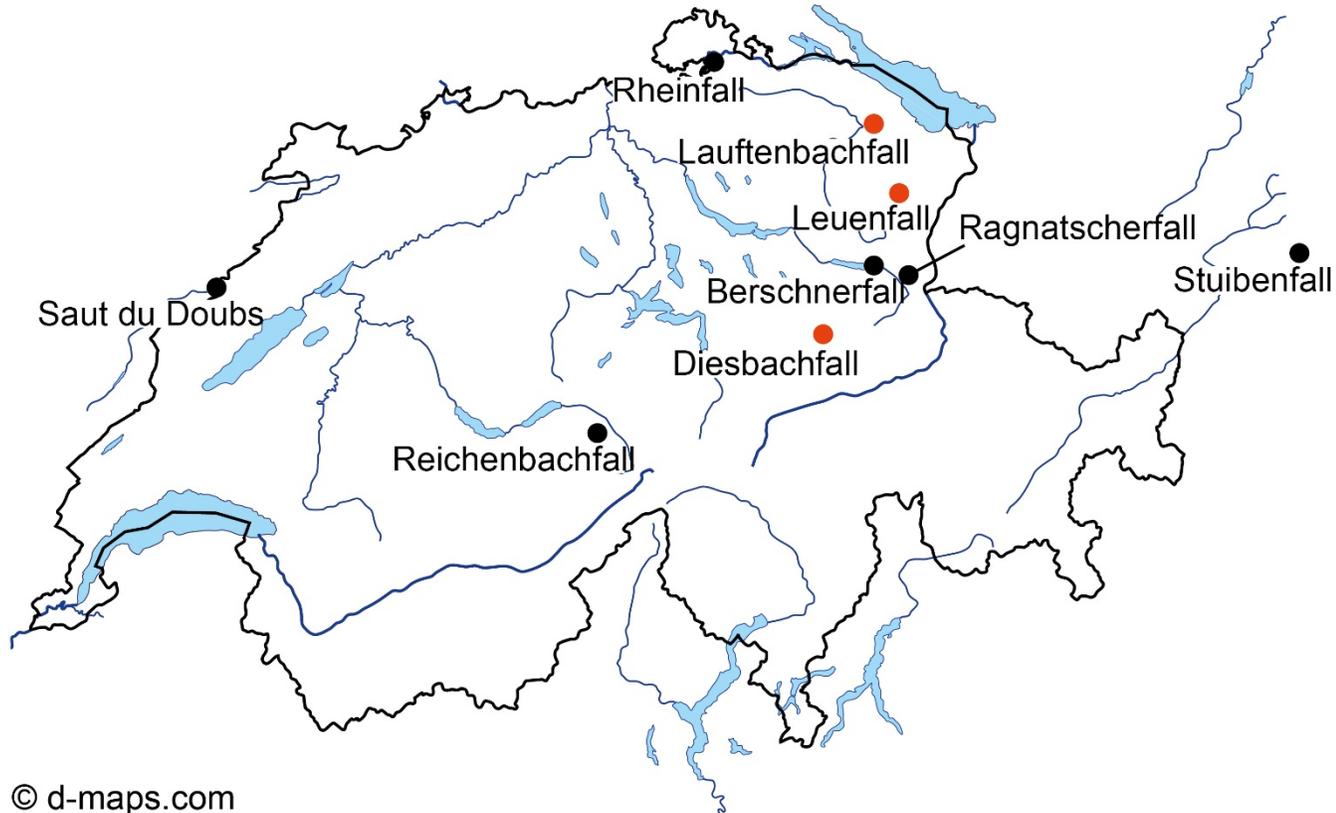


Leitfragen

- Was sind **angemessene Restwasserabflüsse** an Gewässern unterhalb von Wasserentnahmen, um das **Erscheinungsbild von Wasserfällen** nicht signifikant zu ändern?
 - Was ist eine **signifikante Änderung** des Erscheinungsbilds?
- Entwicklung einer **Methode zur Bestimmung der Restwassermenge bei Wasserfällen** in Abhängigkeit des Erscheinungsbildes (bzw. der Akustik)
(*MSc-Arbeiten* P. Hiller, Norwegian University of Science and Technology Trondheim / ETH Zürich, 2009; L. Demarchi, Uni ZH / ETH Zürich 2012; F. Arnold, ETH Zürich 2015; *Projektarbeit* G. Zehnder, ETH Zürich, 2018)



Untersuchte Wasserfälle in der Schweiz, Österreich u. Norwegen



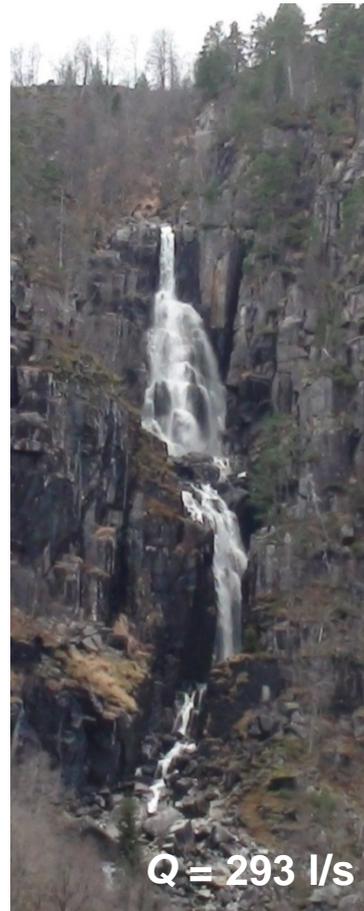
Standorte mit (•) bestehender Durchflussmessstation, (•) Durchflussmessung mittels Salzverdünnungsmethode



Methode zur Bestimmung der Restwassermenge Q_r (1)

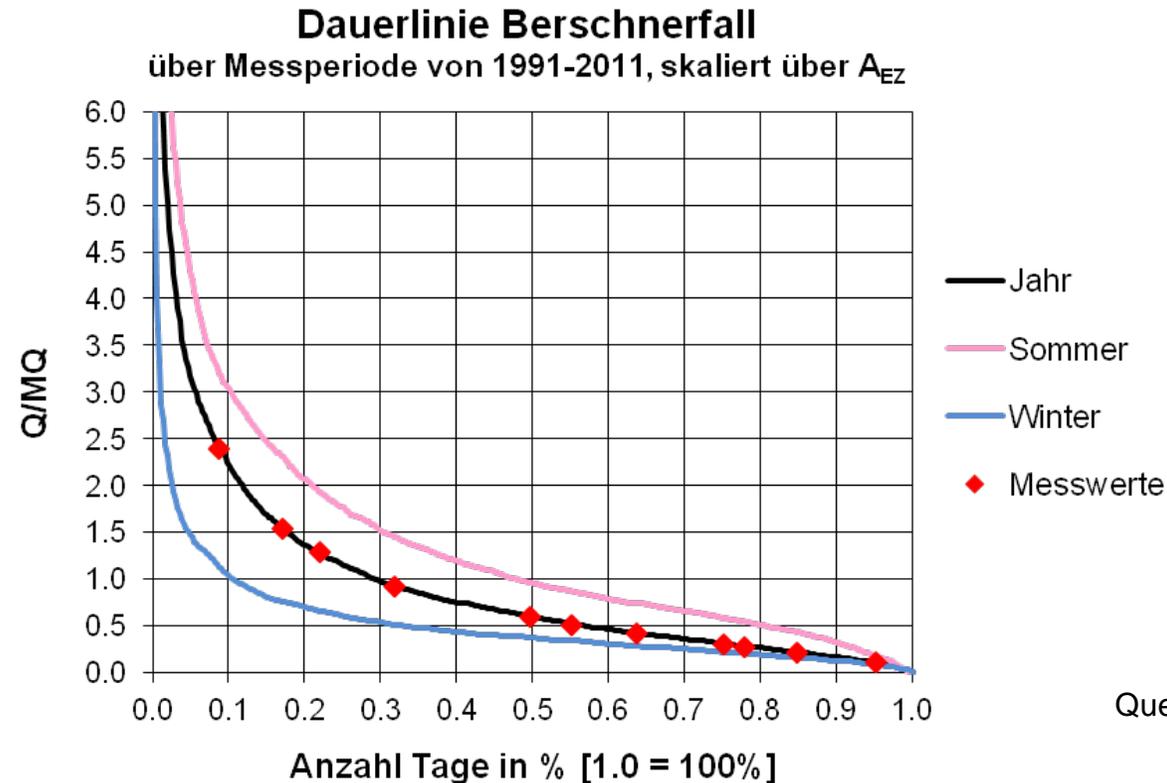
1. Datenakquisition: Aufnahme abflussgekoppelter Fotoserien des Wasserfalls

Fotoserie *Tverrgjuvlo* Wasserfall (Norwegen)



Methode zur Bestimmung der Restwassermenge Q_r (2)

2. Auswahl von Bildern verschiedener relevanter Q_i (Q_m , $Q_{50\%}$, $Q_{95\%}=Q_{347}$, etc.), mit Fokus auf Niedrigwasserabflüssen



Quelle: Demarchi et al. (2013)



Methode zur Bestimmung der Restwassermenge Q_r (3)

3. Analyse der Bilder, Bestimmung der benetzten Fläche A_i der relevanten Q_i anhand der Bilder

a) Originalfoto

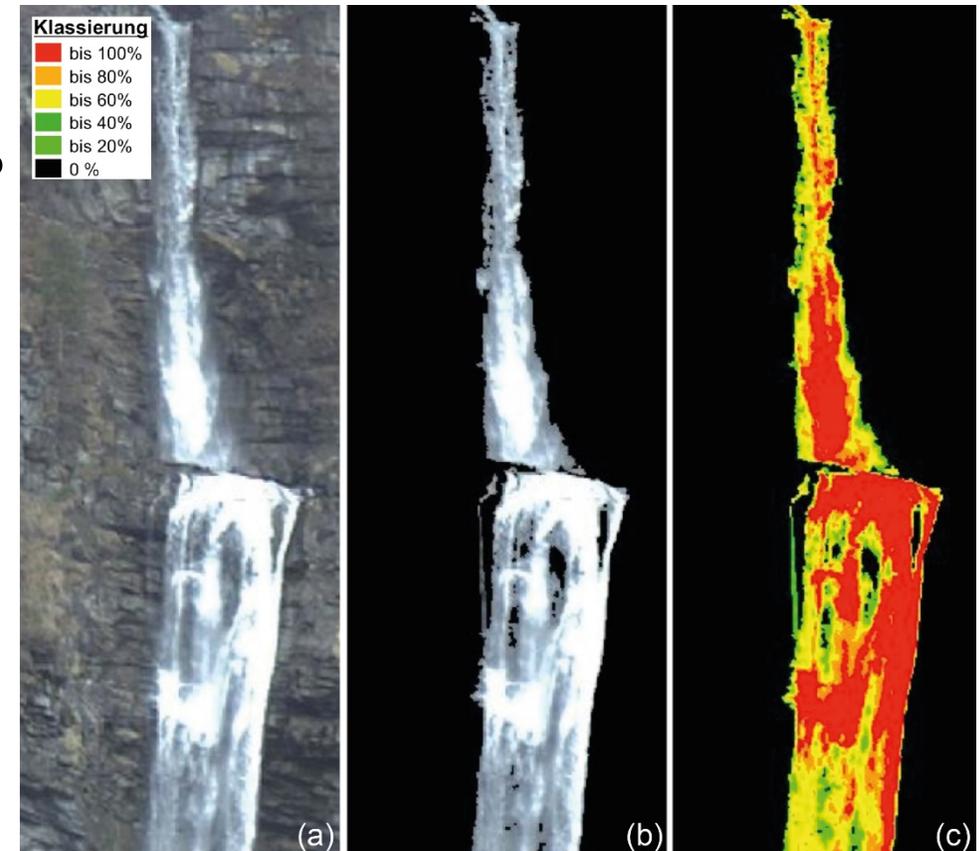
b) Foto nach Ausweisung und Klassierung der wasserbedeckten Fläche über Graustufen: 100/80/60/40/20/0%

- i. Unterscheidung Wasserfall/Nicht-Wasserfall
→ monochromes Bild
- ii. Gewichtung der Gesamtfläche
→ benetzte Fläche A_i

$$A_i (Q_i) = px_{100\%} + 0.8 \cdot px_{80\%} + 0.6 \cdot px_{60\%} + 0.4 \cdot px_{40\%} + 0.2 \cdot px_{20\%}$$

c) optische Kontrolle der Klassierung mit eingefärbtem Bild

Diesbachfall (GL)

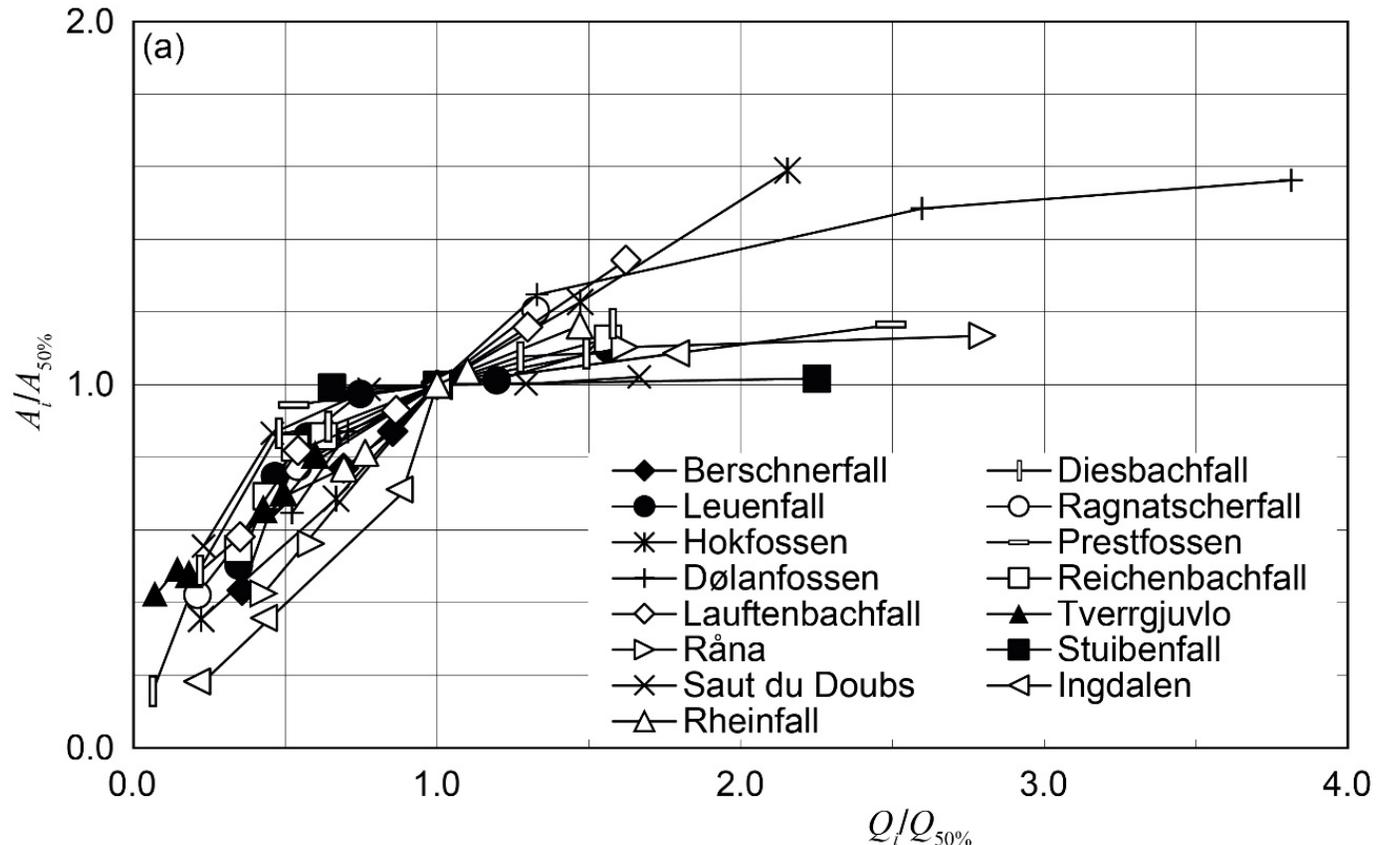


Methode zur Bestimmung der Restwassermenge Q_r (4)

Relative Änderung des Erscheinungsbilds $A_i/A_{50\%}$ als Funktion der relativen Durchflussänderung $Q_i/Q_{50\%}$

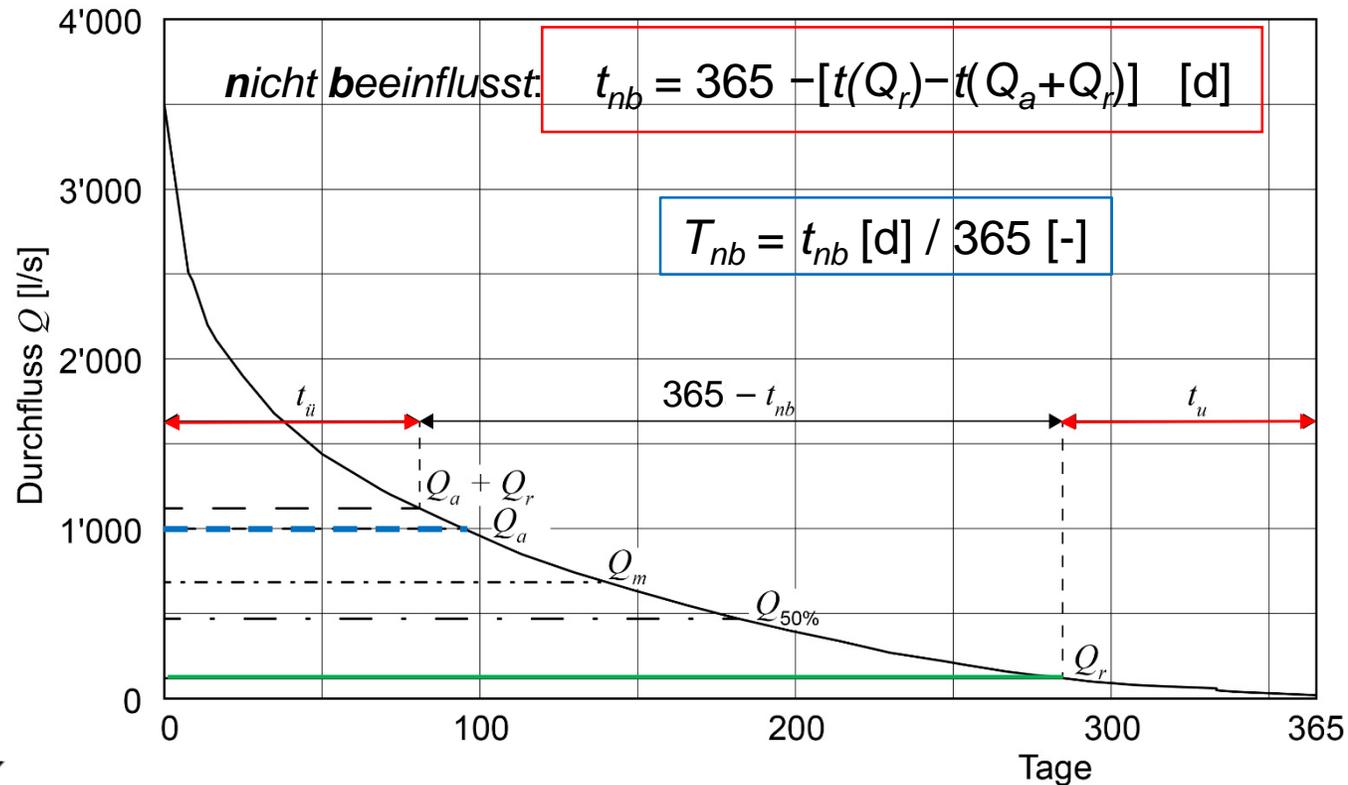
Änderung Erscheinungsbild
= f (Wasserfalltyp,
Anzahl Fließwege)

Quelle: Schalko et al. (2016)



Methode zur Bestimmung der Restwassermenge Q_r (5)

4. Bestimmung der normierten Dauer T_{nb} , bei welcher der Wasserfall nicht signifikant durch die Entnahme beeinflusst wird



Q_a = Ausbaudurchfluss des Kraftwerks

Q_r = (Mindest-)Restwasser

Q_m = Mittelwasserabfluss

t_U = Unterschreitungsdauer [d]

$t_{\bar{U}}$ = Überschreitungsdauer [d]



Methode zur Bestimmung der Restwassermenge Q_r (6)

5. Berechnung der Einwirkungsintensität E der Entnahme für verschiedene Restwasserszenarien Q_i

$$E = 1 - A_i/A_{50\%} \cdot T_{nb,i} \quad \text{für } A_i/A_{50\%} \cdot T_{nb,i} < 1$$

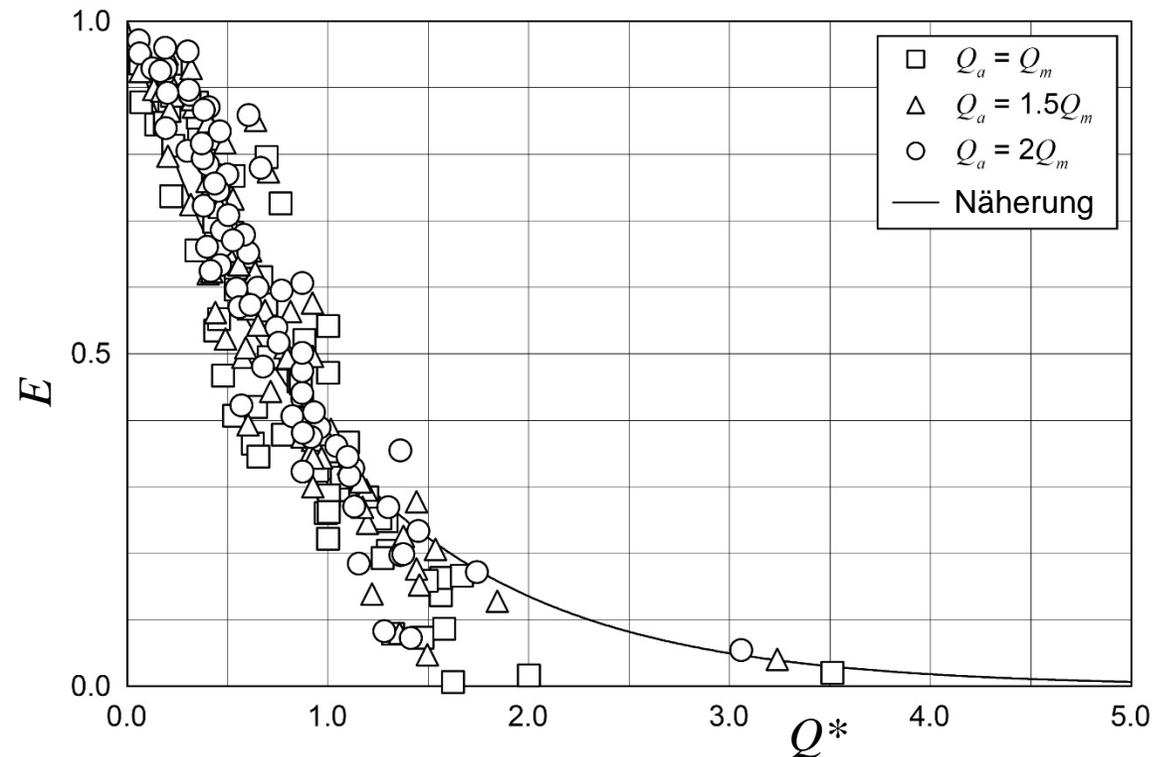
$$E = 0 \quad \text{für } A_i/A_{50\%} \cdot T_{nb,i} \geq 1$$

$A_{50\%}$ = benetzte Fläche beim
Medianabfluss $Q_{50\%}$

Näherung für $1 \leq Q_a/Q_m \leq 2$

$$E = e^{-Q^*} \quad \text{mit } Q^* = \frac{Q_r}{Q_{50\%}} \left(\frac{Q_a}{Q_m} \right)^{-0.20}$$

Quelle: Schalko et al. (2016)



Methode zur Bestimmung der Restwassermenge Q_r (7)

6. Bestimmung der Bedeutung (des «Wertes») des Wasserfalls

- mittels **Kriterienkatalogs**

- **alternativ für Schweizer Wasserfälle:**

Einstufung gemäss Schwick & Spichtig (2002) nach

- Fallhöhe,
- Durchfluss,
- Sichtbarkeit,
- Bekanntheit

in jeweils drei Kategorien (gering, mittel, hoch)

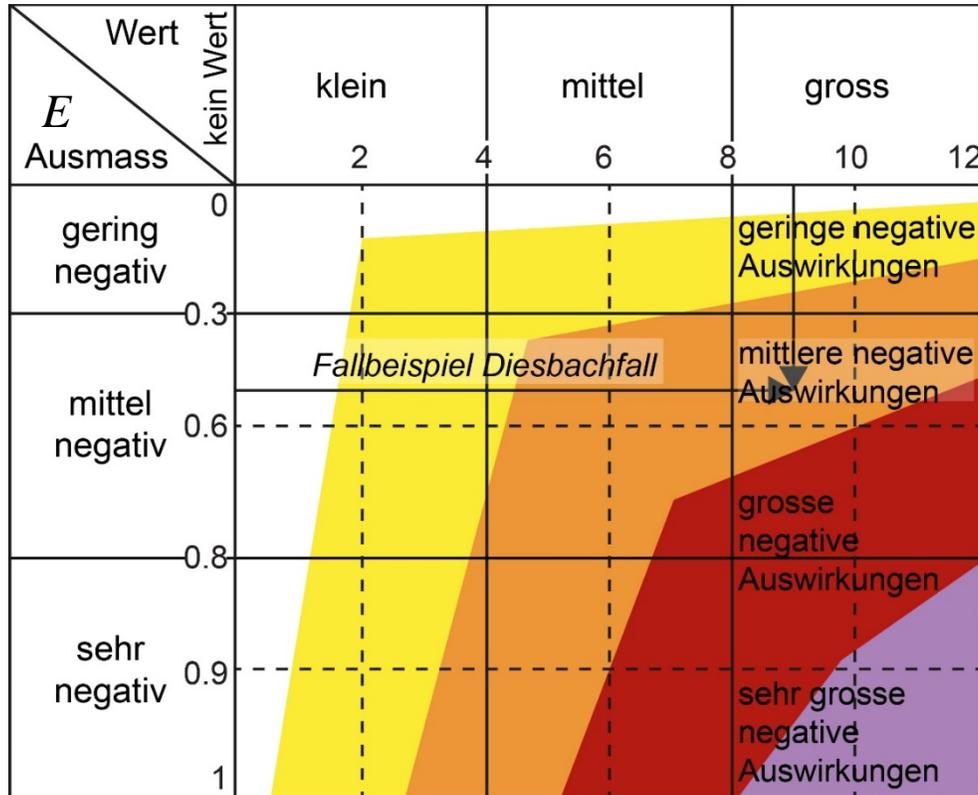


Kriterienkatalog „Bedeutung von Wasserfällen“				
Bereich	Teilbereich	Kriterium	Indikator	Einheit / Messwert
Umwelt	Landschaft	Ästhetischer Eigenwert des Wasserfalls und seine Bedeutung als Landschaftselement	Objektive visuelle Magnitude gemäss <i>Plumb (1993)</i> und <i>Beisel (2006)</i>	Klassierung
			Eigenart / Charakter	Gering, mittel, hoch
			Prägung der Landschaft	Gering, mittel, hoch
			Sichtbarkeit des Wasserfalls	Distanz in m oder km
	Gewässer	Schutzwürdigkeit des WF und der Landschaft, in welcher er sich befindet	Naturnähe der Landschaft, deren Teil der Wasserfall ist	Gering, mittel, hoch
			Inventare (BLN, Moorinventare, usw.)	Ja (Bonus) / Nein
	Biodiversität	Naturnähe	Ökomorphologie Stufe F (gemäss <i>BUWAL, 1998b</i>)	Klasse gemäss Ökomorphologie Stufe F
Wirtschaft	Tourismus	Erschlossenheit	Nähe zu Wander-, Velowegen, etc.	Distanz in m oder km
			Anzahl Besucher	Anzahl Personen pro Jahr
		Besucher / Touristen	Herkunft der Besucher bzw. Bekanntheit des WF	lokal, national, international
Gesellschaft	Kultur	Kultureller Wert	Vorkommen in erzählenden und bildnerischen Künsten (Mythen, Sagen, Literatur, Filme, Kunstwerke, etc.)	Häufigkeit

Methode zur Bestimmung der Restwassermenge Q_r (8)

7. Festlegung eines Q_r in Abhängigkeit von E_i und des Wertes eines Wasserfalls

Auswirkungs-Matrix

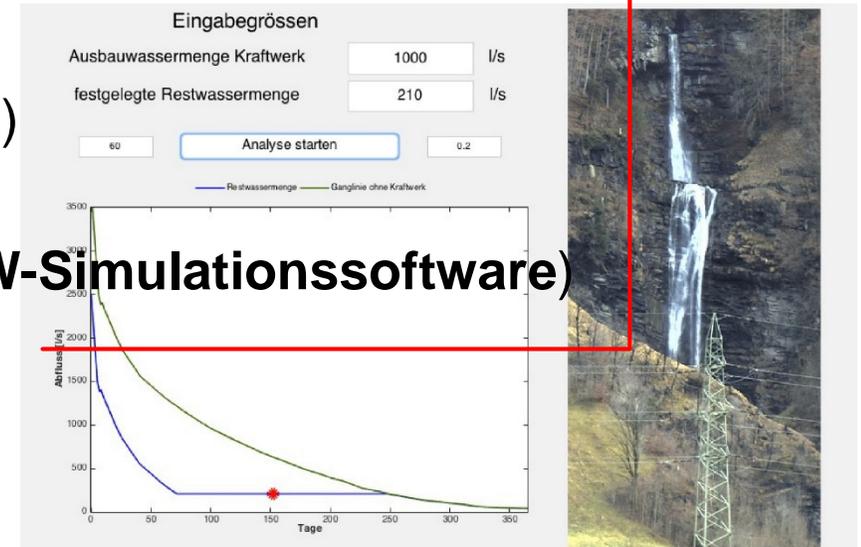


Diesbachfall (GL)



Methode zur Bestimmung der Restwassermenge Q_r (9)

1. Datenakquisition: Aufnahme abflussgekoppelter Bildserien des Wasserfalls
2. Auswahl von Bildern verschiedener relevanter Q_i (Q_m , $Q_{50\%}$, Q_{347} , etc.)
3. Analyse der Bilder, Bestimmung der benetzten Fläche A_i der relevanten Q_i anhand der Bilder
4. Bestimmung der normierten Dauer T_{nb} , bei welcher der Wasserfall nicht signifikant durch die Entnahme beeinflusst wird
5. Berechnung der Einwirkungsintensitäten E_i der Entnahme für verschiedene Restwasserszenarien Q_i
6. Bestimmung des Wertes des Wasserfalls (klein, mittel, gross)
7. Festlegung eines Q_r in Abhängigkeit von E_i
8. Kontrolle, Sensitivitätsanalyse (ggf. mit neu entwickelter **VAW-Simulationssoftware**)
 → evtl. Iteration mit neuem Q_r und/oder Q_a ab Schritt 4



Fazit

- Was sind **angemessene Restwasserabflüsse** an Gewässern unterhalb von Wasserentnahmen, um das **Erscheinungsbild von Wasserfällen** nicht signifikant zu ändern?
 - *Abflüsse, bei denen die Einwirkungsintensität ($=f(\text{Einwirkungsdauer, bedeckte Wasserfallfläche im Vergleich zum Medianwert})$) klein genug ist, um für einen gegebenen Fall höchstens mittlere negative Auswirkungen zu verursachen*
- **Neue Methode zur Bestimmung der Restwassermenge bei Wasserfällen**, welche sowohl Erscheinungsbild als auch Akustik berücksichtigt
- Neues **Software-Tool zur Simulation und Analyse der Auswirkungen von Rest- und Ausbaudurchflüssen** an Wasserkraftwerken auf das Wasserfallbild



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

