

Potenzial der Schweizer Seen und Flüsse

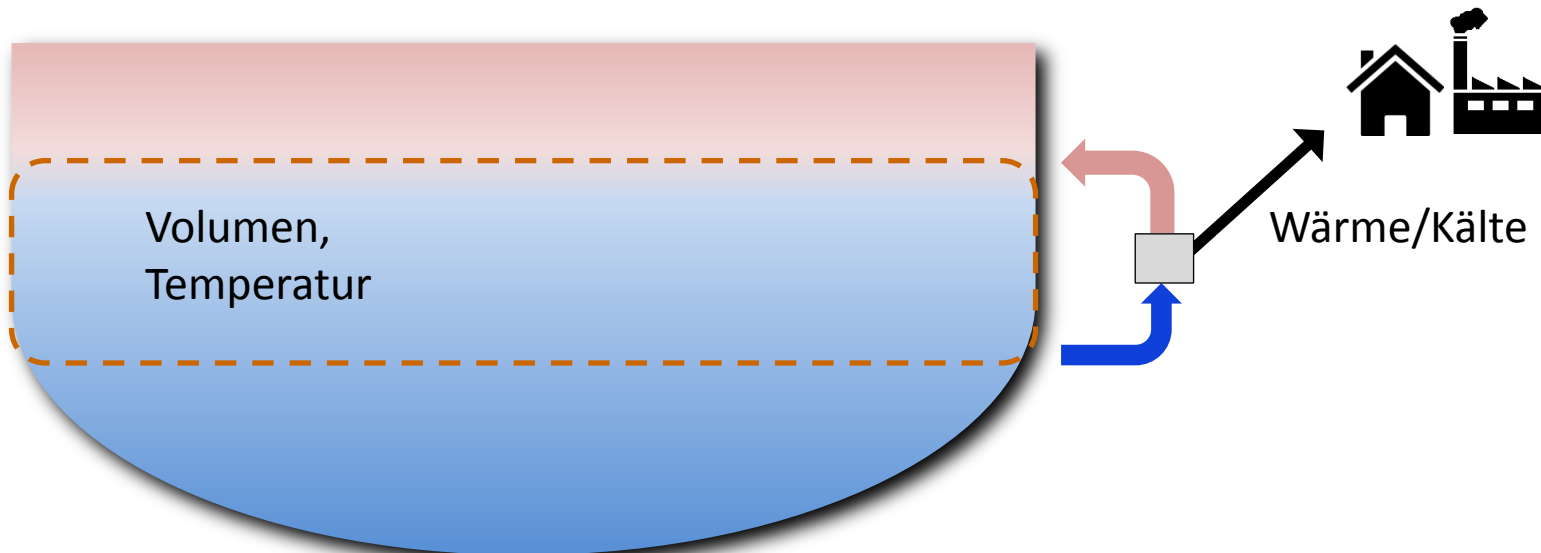
Adrien Gaudard

PEAK Kurs: Heizen und Kühlen mit Seen und Flüssen

Kastanienbaum, 8. November 2017

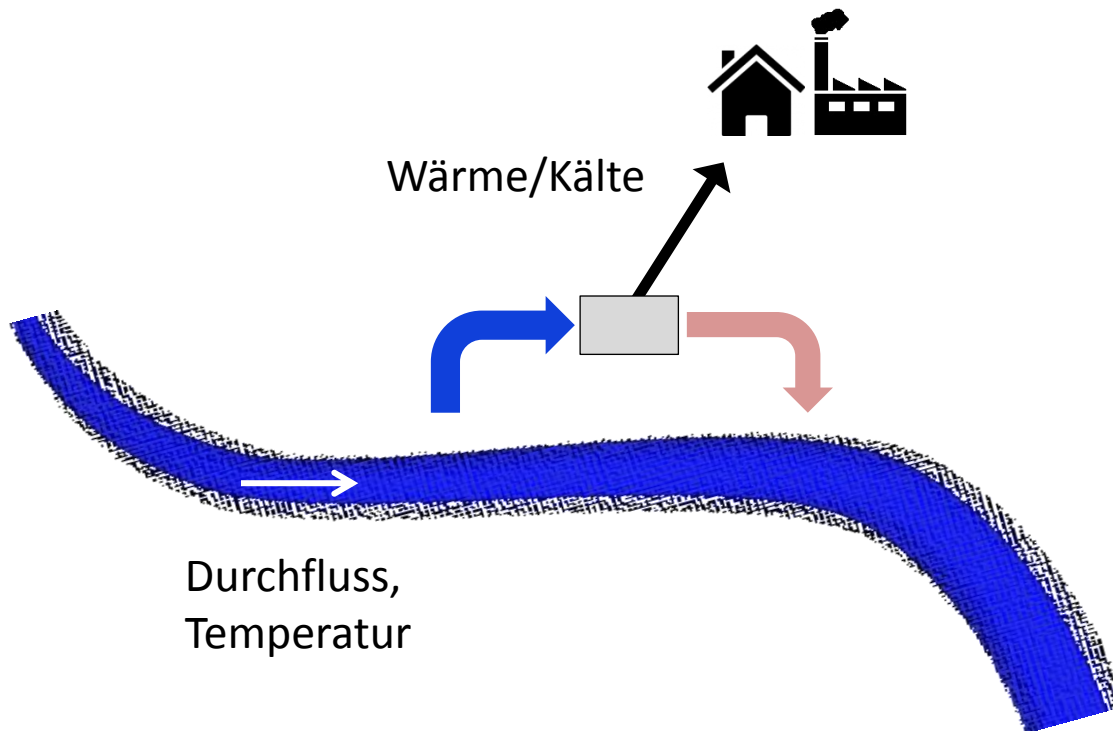
Betrachtete Gewässer

- Seen
 - Thermische Nutzung einer gewissen Menge Wasser über eine bestimmte Dauer



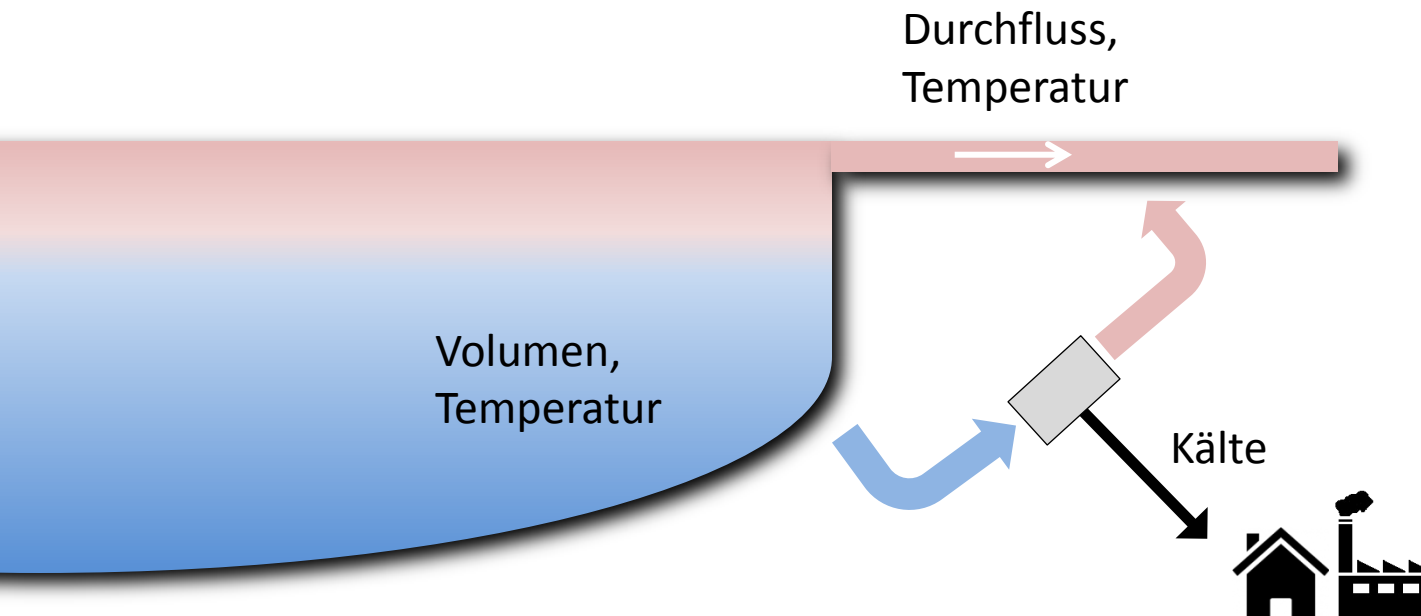
Betrachtete Gewässer

- Flüsse
 - Durchgehende thermische Nutzung eines gewissen Durchflusses

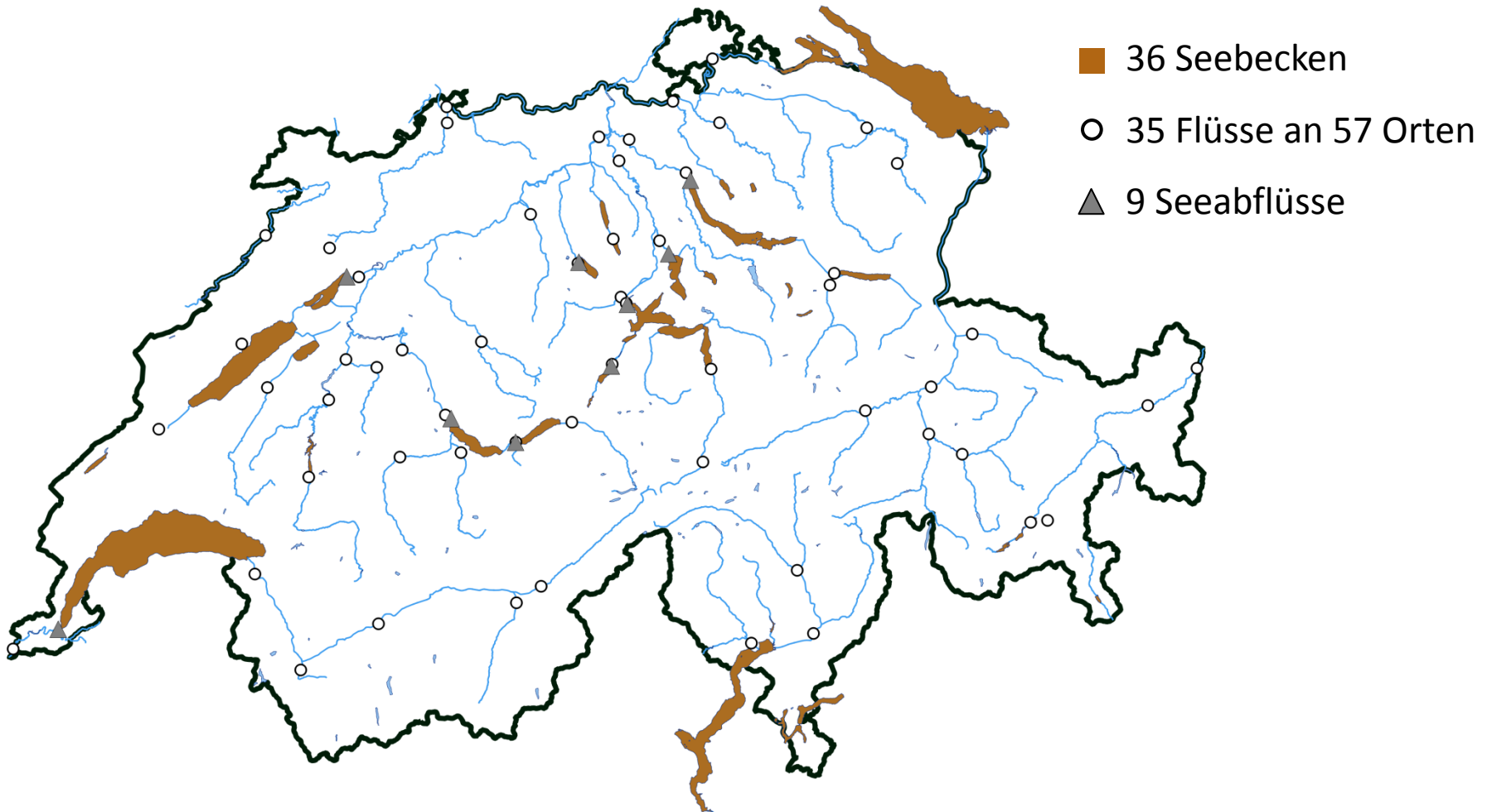


Betrachtete Gewässer

- Seeabflüsse
 - Durchgehende Kältenutzung eines gewissen Durchflusses zwischen Tiefenwasser und Seeabfluss



Betrachtete Gewässer



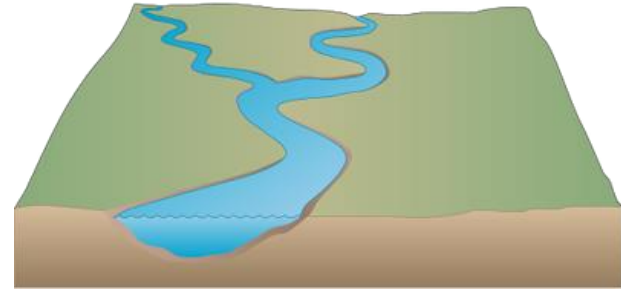
Potenzialabschätzung stammt aus vereinfachten Berechnungen. Für konkrete Nutzungen einer wichtigen Grössenordnung soll jeder See/Fluss spezifisch untersucht werden.

Abschätzung der Nachfrage

- Mittlerer Bedarf in der Schweiz
 - Wärme: 49 GJ/Jahr/Einwohner
 - Kälte: 7.8 GJ/Jahr/Einwohner
- Einwohnerzahl für jedes Gewässer
 - Seen: alle Gemeinden um den See
 - Flüsse: alle Gemeinden entlang des Flussabschnitts
 - Seeabflüsse: Stadt am Seeabfluss
- Korrektur für die Höhenlage

Potenzial: Flüsse

$$\text{Potenzial} \sim Q \cdot \Delta T$$



Wie werden Q und ΔT definiert?

↓
Mittlerer Durchfluss, der
im Oberlauf noch nicht
zugeteilt wurde

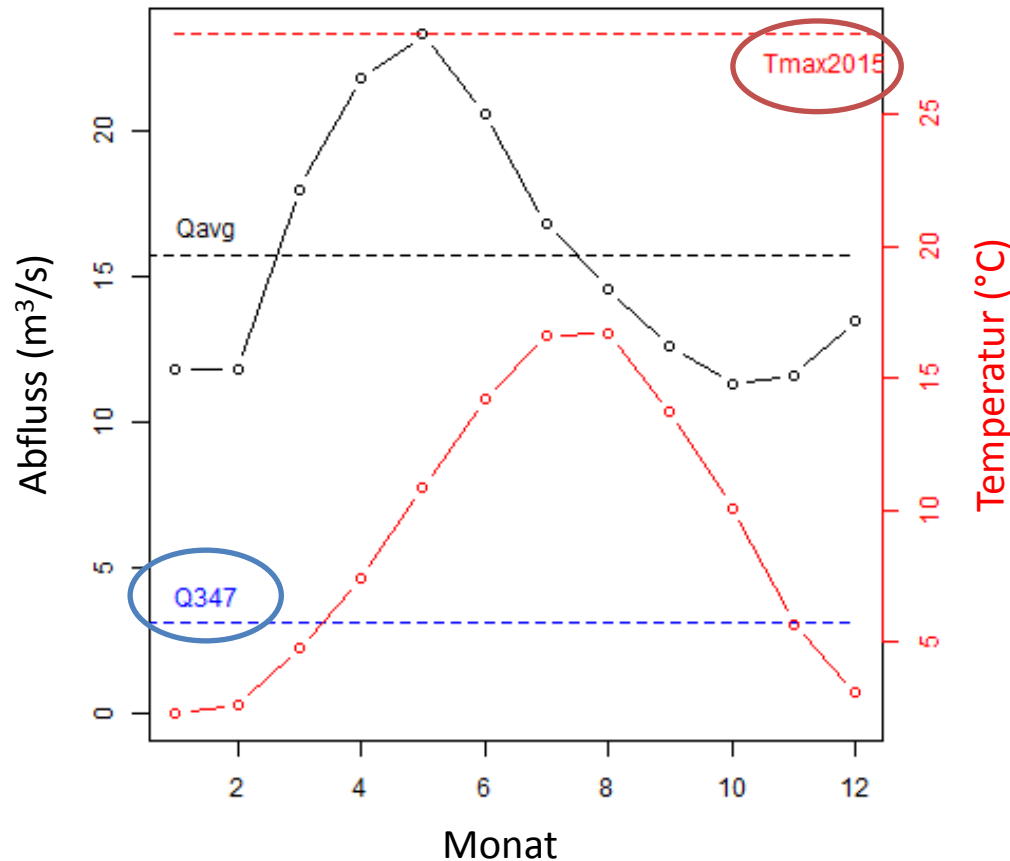
↘
Nach Gesetz: $\pm 1.5 \text{ } ^\circ\text{C}$

Potenzial: Flüsse



Potenzial: Flüsse

Kleine Emme, Emmen (1978-2014):
Mittelwerte Durchfluss und Temperatur

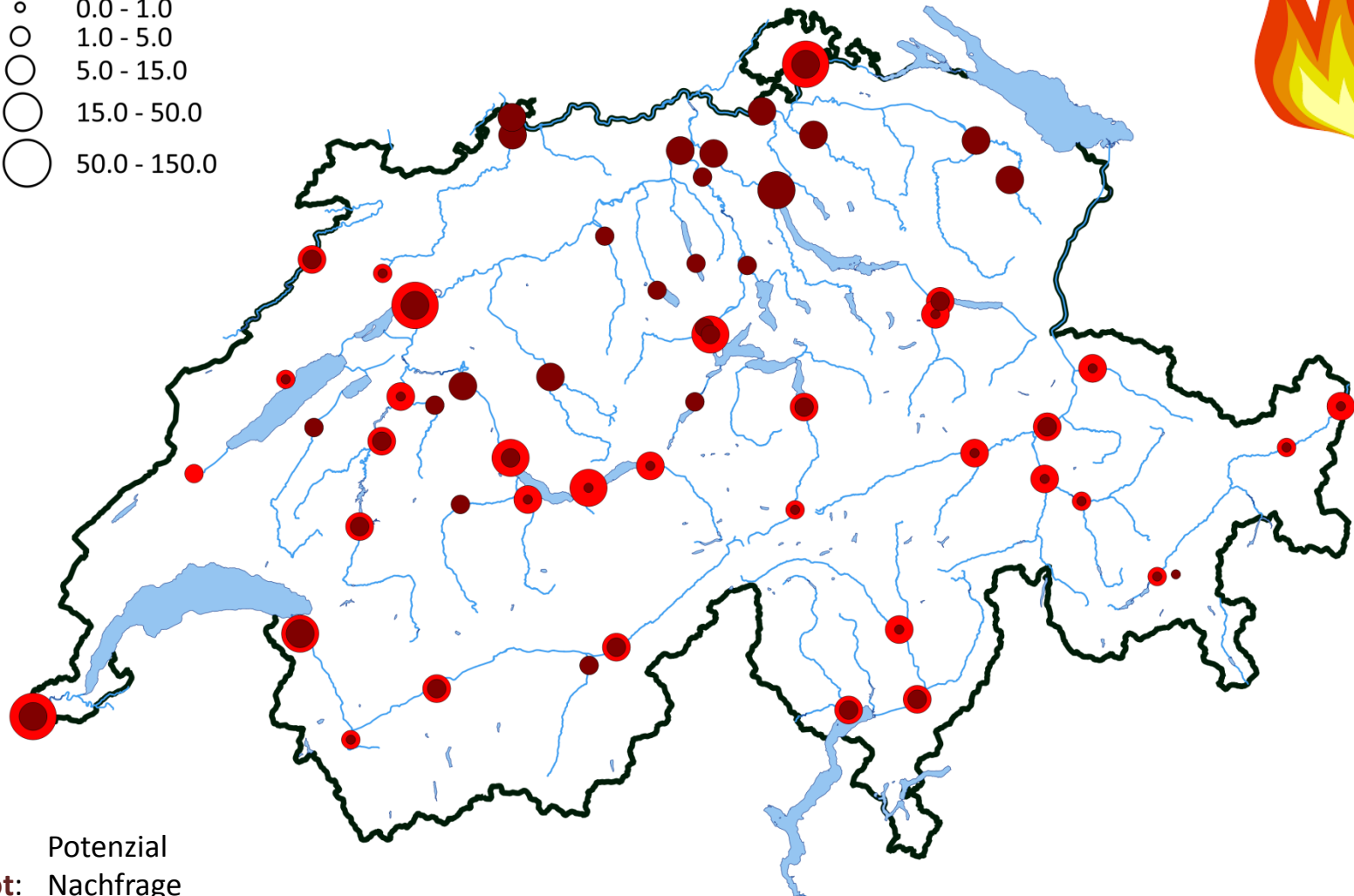
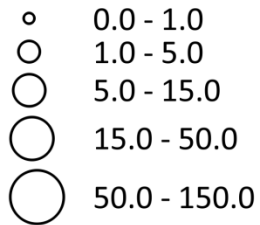


Datenquelle: BAFU

- Abfluss- und Temperaturregime
- Temperaturextreme
- Trockenperioden

Potenzial und Nachfrage: Flüsse

Wärme (PJ/Jahr)

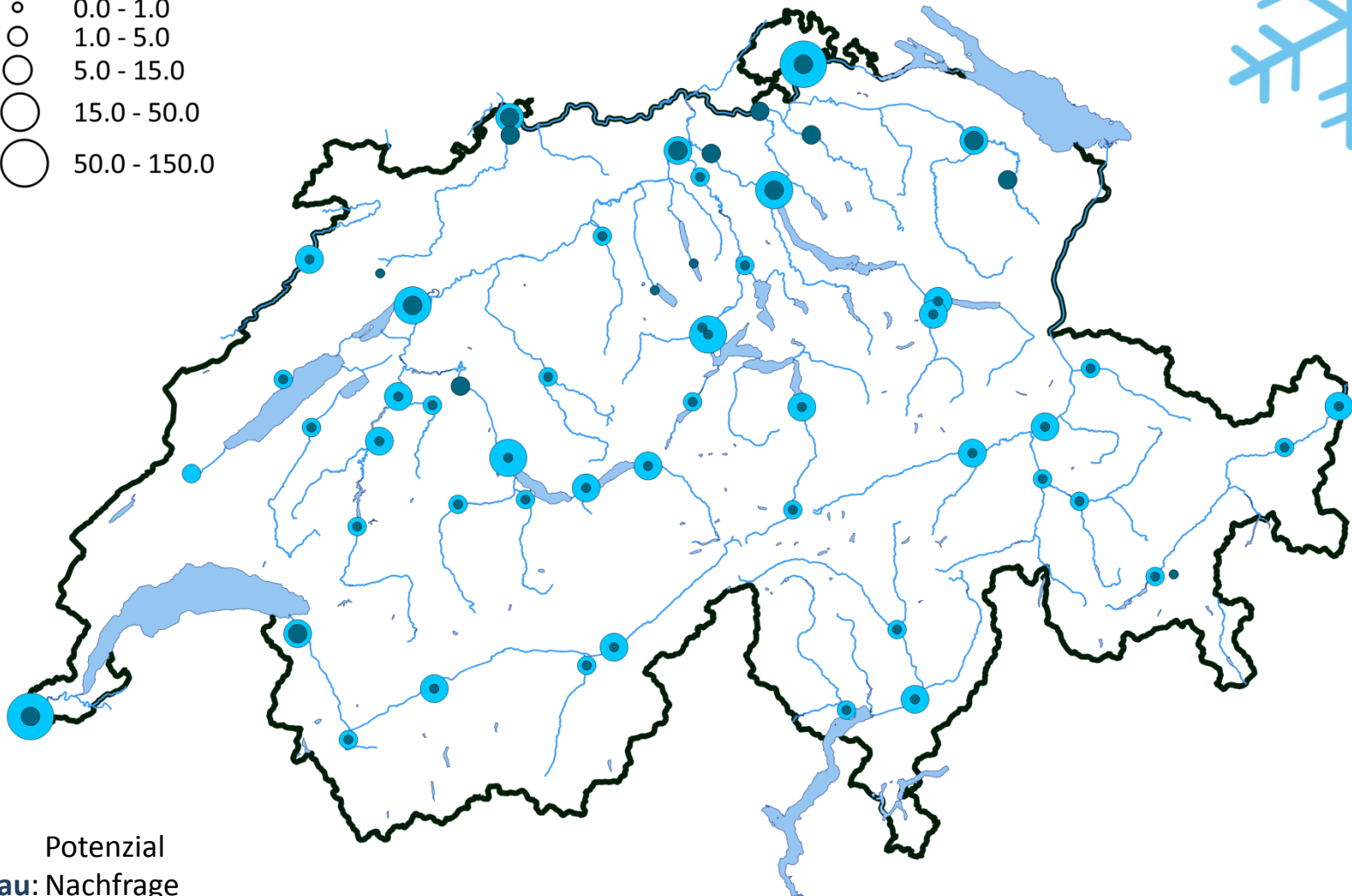
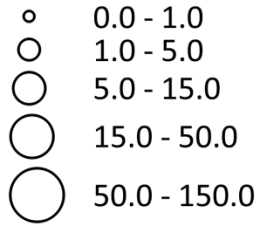


Hellrot: Potenzial
Dunkelrot: Nachfrage

Potenzial und Nachfrage: Flüsse

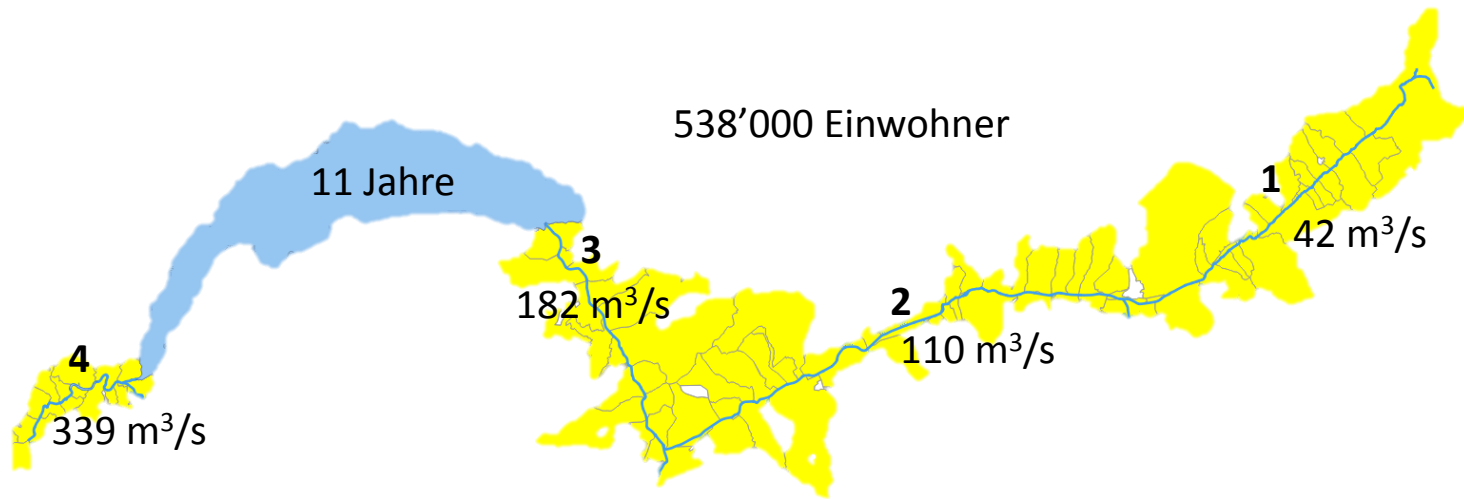


Kälte (PJ/Jahr)



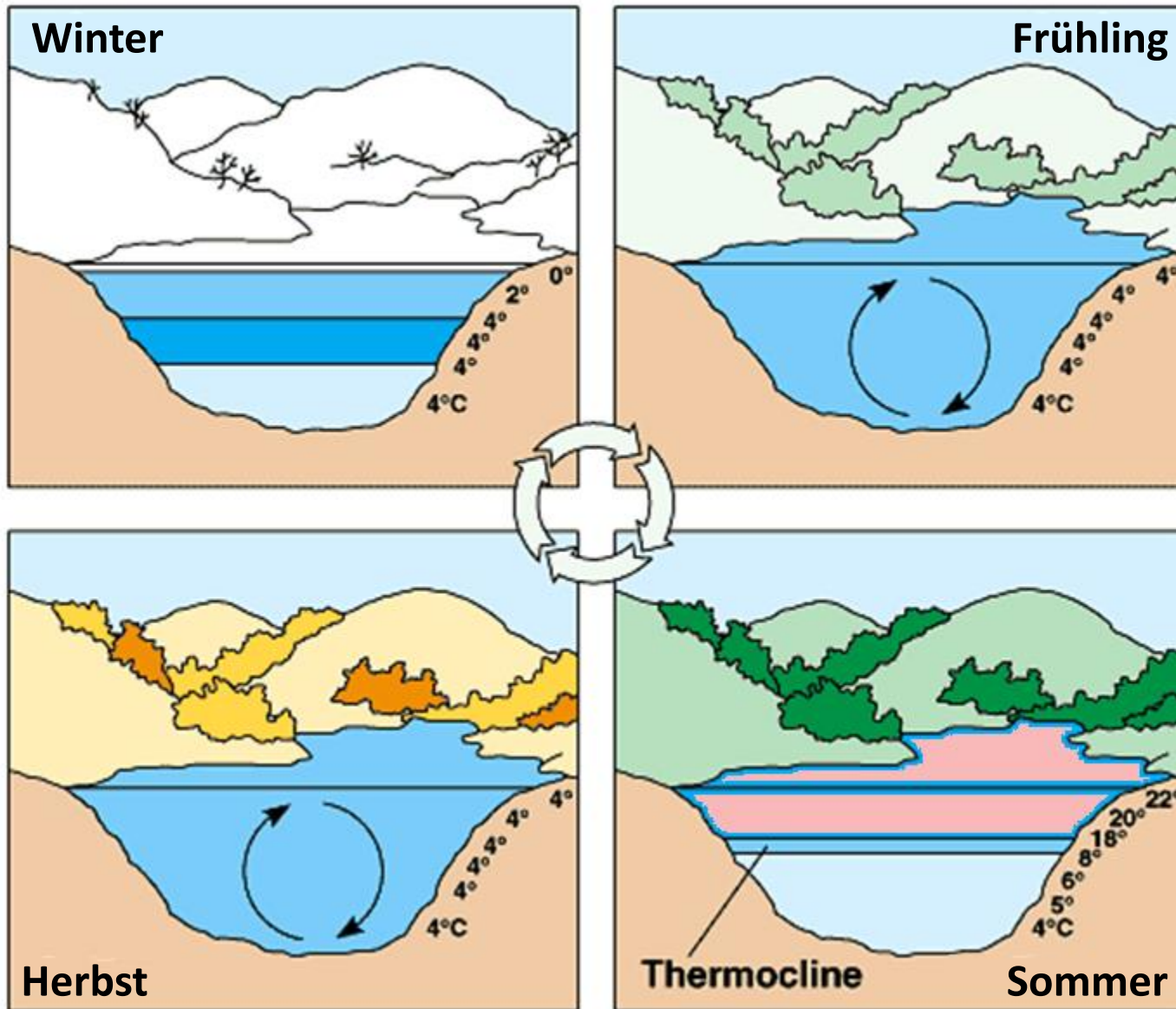
Helblau: Potenzial
Dunkelblau: Nachfrage

Beispiel: Rhône



Potenzial	1 Brig	2 Sion	3 Aigle	4 Genf	Total	Nachfrage
Heizung [PJ]	11.2	14.1	16.8	88.0	130 PJ	22.0 PJ
Kühlung [PJ]	8.2	10.4	12.2	67.0	98 PJ	5.2 PJ

Der See im Jahresverlauf

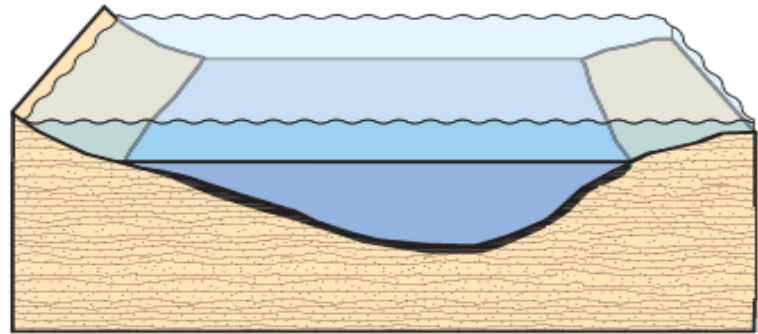


Tiefenmischung

- Vertikale Homogenisierung der Dichte
 - Wasseraustausch
 - Sauerstoffzufuhr ins Tiefenwasser
 - Oxidation von Nährstoffen und organischem Material wird ermöglicht
- Schweizer Seen: 0 bis 2 Mal im Jahr
 - Für einige grosse Seen kritisch
 - Durch Klimawandel wird Tiefenmischung reduziert

Potenzial: Seen

$$\text{Potenzial} \sim V \cdot \Delta T$$



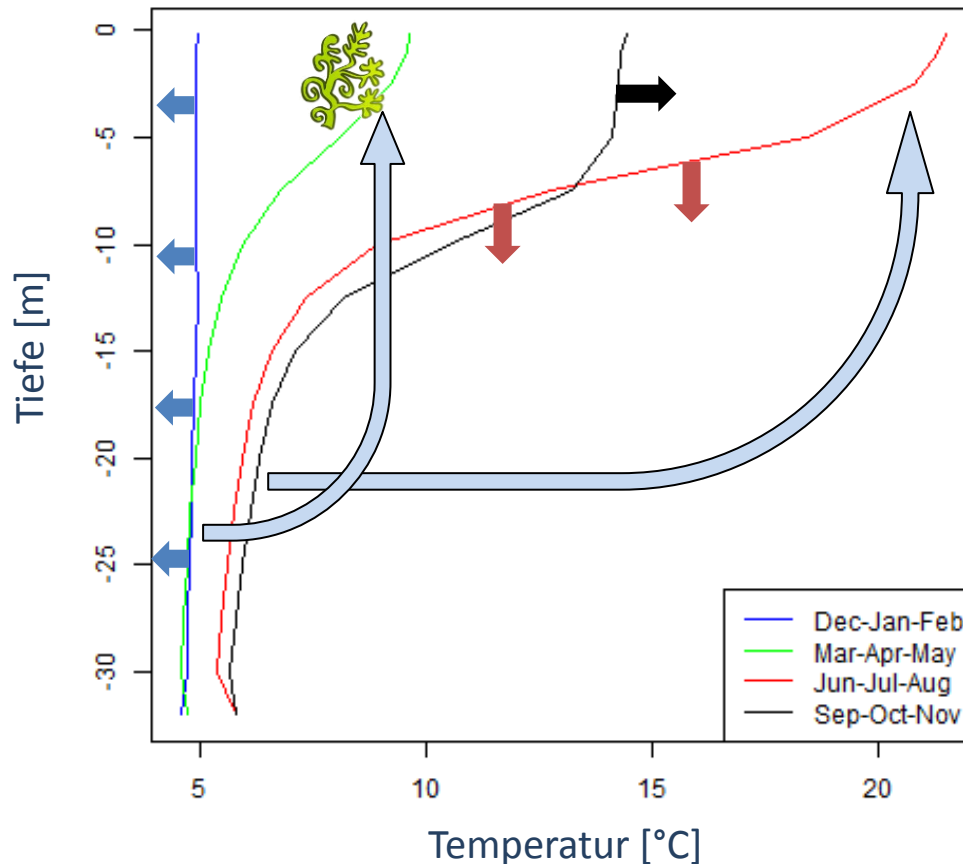
Wie werden V und ΔT definiert?

Nach Nutzung und
Eigenschaften des Sees

Wärmeextraktion: $-1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$
Wärmeeintrag: $+0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Potenzial: Seen

Greifensee (1903-2014):
mittlere Temperaturprofile

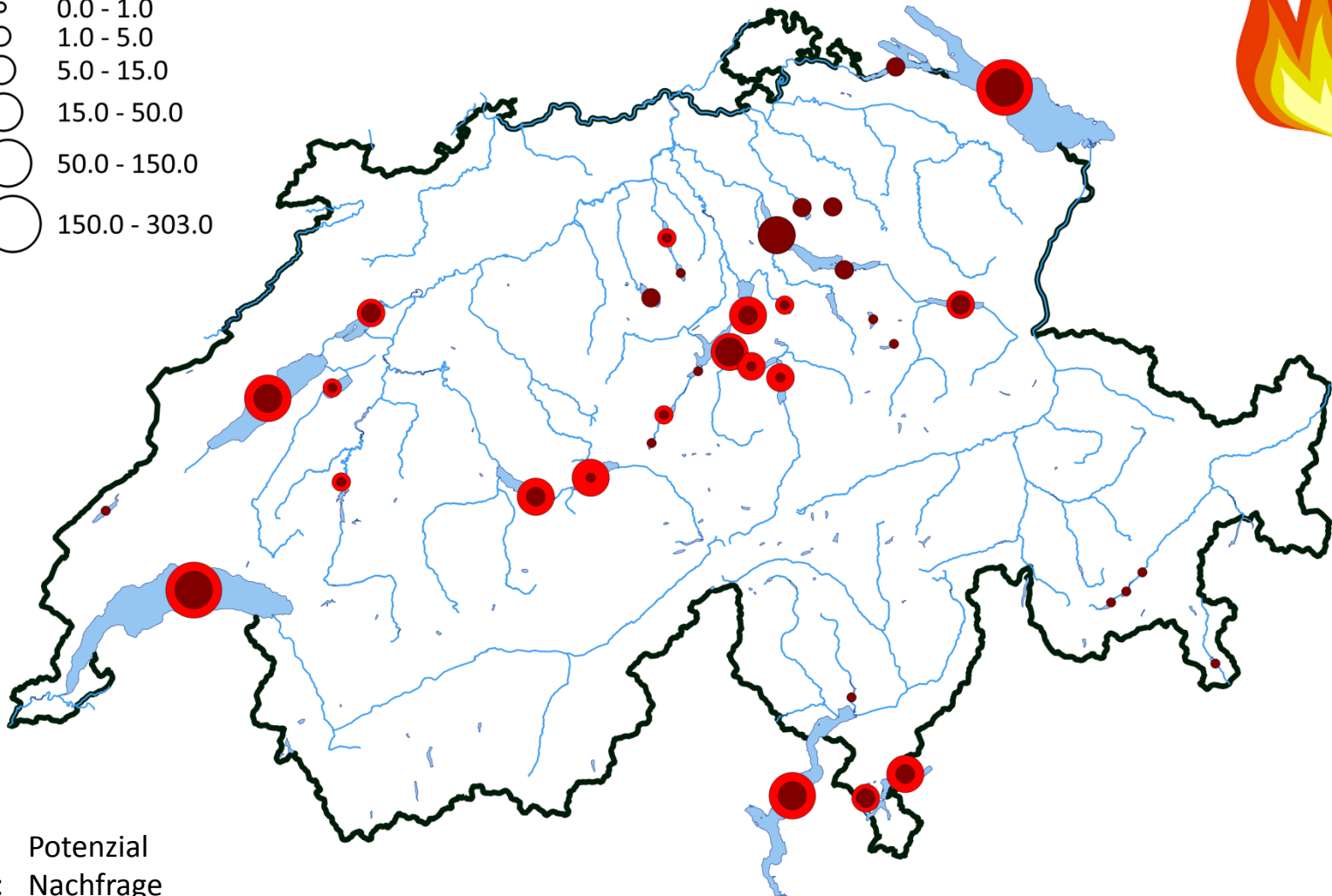
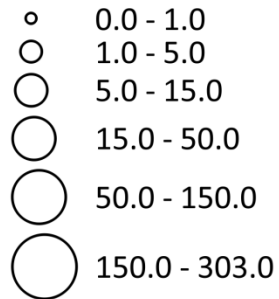


Datenquelle: AWEL (Kt. Zürich)

- Temperaturänderung im Empfangsvolumen
- Verlagerung der Thermokline
- Einfluss auf die Tiefenmischung
- Nährstoffflüsse

Potenzial und Nachfrage: Seen

Wärme (PJ/Jahr)

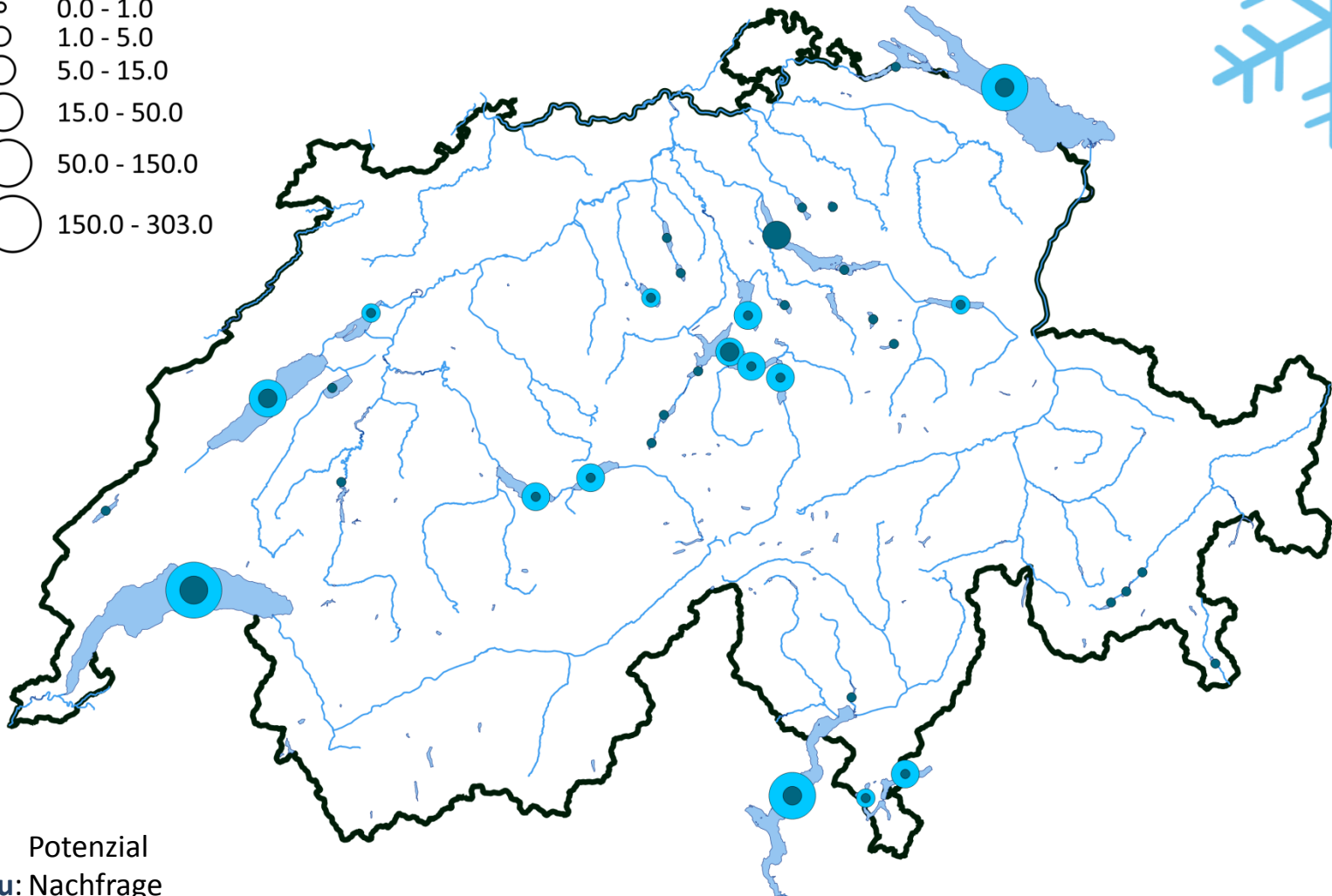
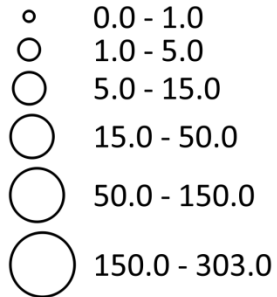


Hellrot: Potenzial
Dunkelrot: Nachfrage

Potenzial und Nachfrage: Seen



Kälte (PJ/Jahr)



Helblau: Potenzial
Dunkelblau: Nachfrage

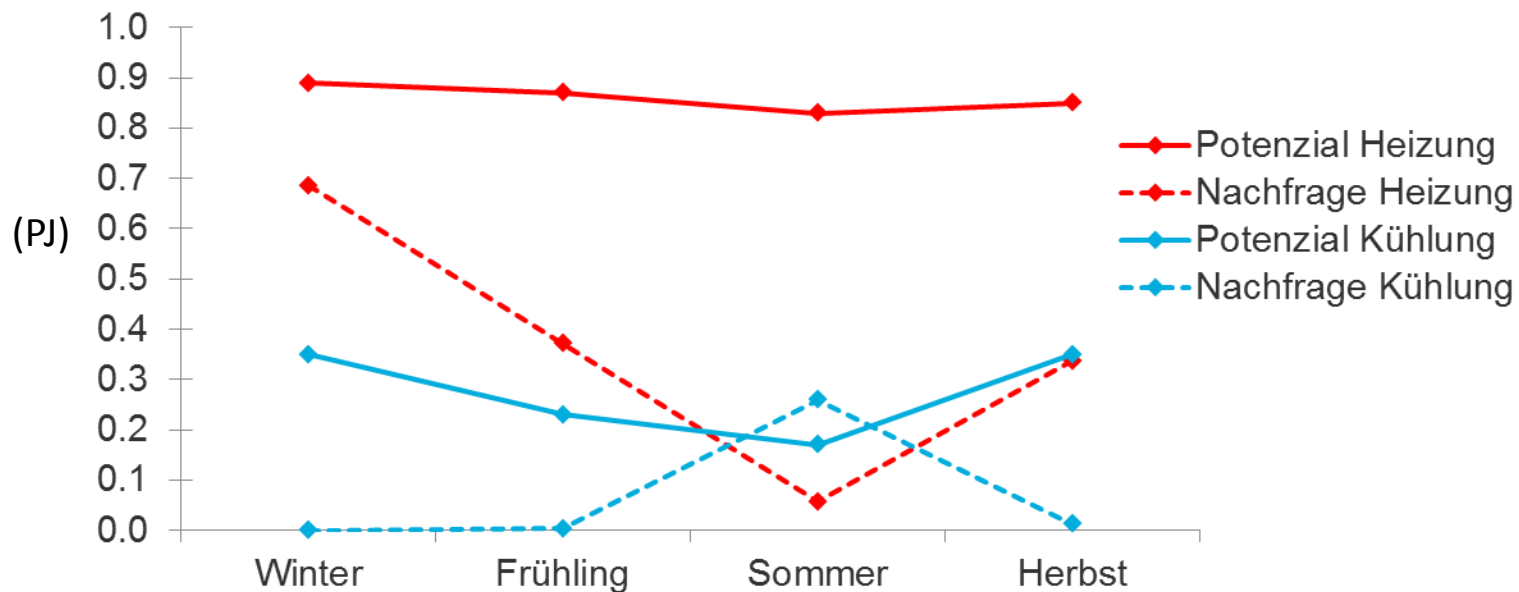
Beispiel: Sempachersee



Potenzial	Nachfrage
3.66 PJ	1.45 PJ

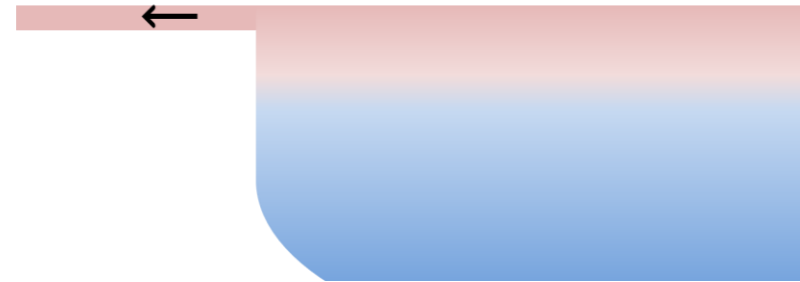


Potenzial	Nachfrage
1.10 PJ	0.27 PJ



Potenzial: Seeabflüsse

$$\text{Potenzial} \sim Q \cdot \Delta T$$



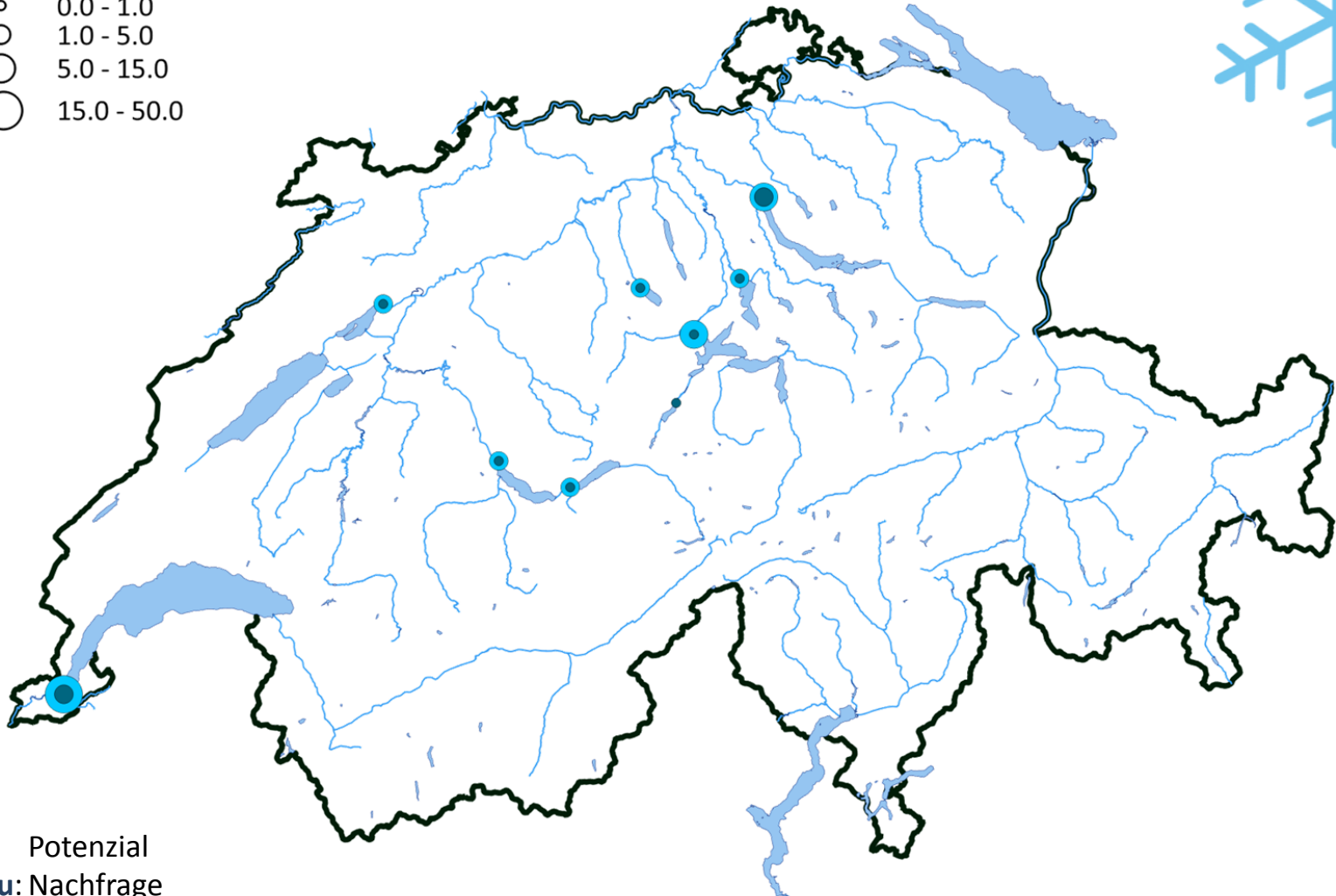
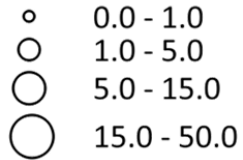
Wie werden Q und ΔT definiert?

Absenkung der Thermokline von
März bis November darf 2 m nicht
überschreiten

ΔT zwischen Tiefen- und
Oberflächenwasser, sodass
die Rückgabe nicht wärmer
als der Fluss ist

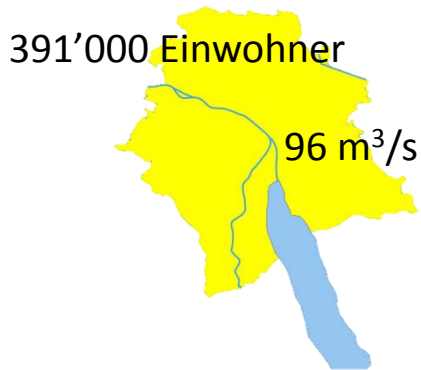
Potenzial und Nachfrage: Seeabflüsse

Kälte (PJ/Jahr)



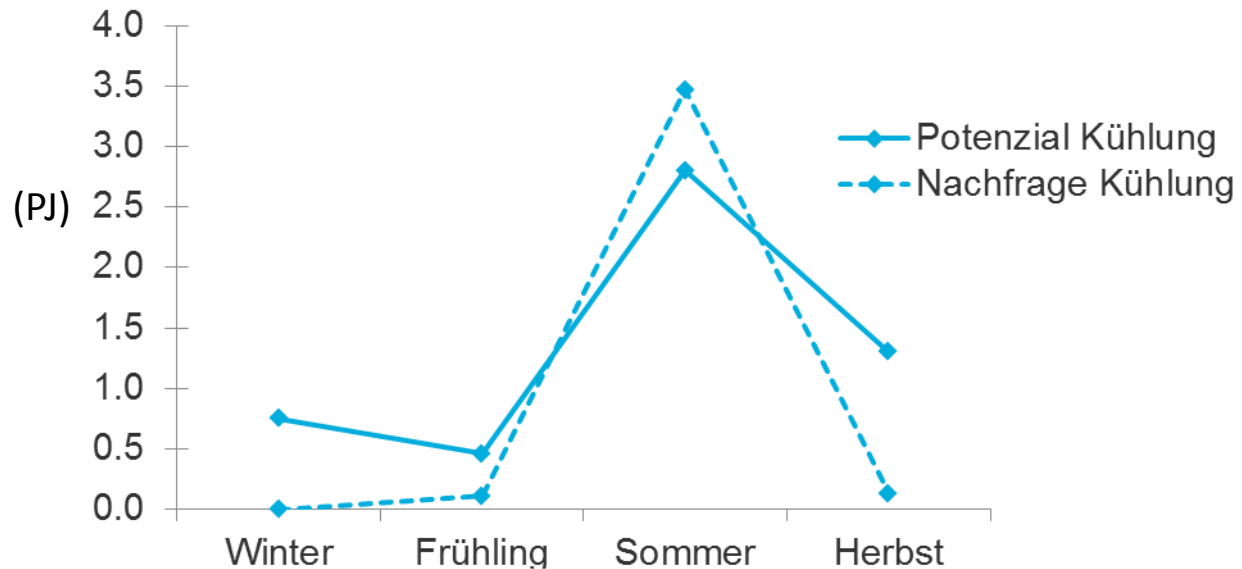
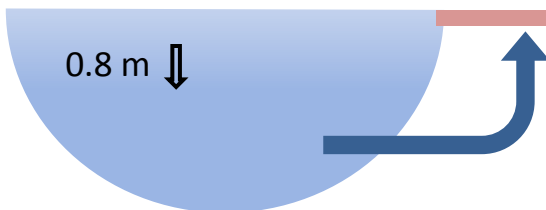
Helblau: Potenzial
Dunkelblau: Nachfrage

Beispiel: Limmat aus dem Zürichsee



Potential	Nachfrage
5.8 PJ	3.7 PJ

Begrenzung:
Verlagerung von
Wasservolumen



Zukünftige Entwicklung

	2010	2050
Bevölkerung	8 Mio	10.5 Mio
Wärmebedarf	400 PJ	300 PJ
Potenzial Wärmenutzung aus Seen und Flüssen	1500 PJ	
Kältebedarf	70 PJ	130 PJ
Potenzial Kältenutzung aus Seen und Flüssen	1000 PJ	

Datenquellen: BFS 2016, OcCC 2007,
CH2014-Impacts 2014

Herausforderungen

- Koordination
 - Zwischen Städten/Kantonen/Ländern
 - Zwischen Anbieter und Benutzer und zwischen verschiedenen Nutzungen
- Langfristige Planung, grosse Investition
- Betrieb
 - Hitzewellen und sehr kalte Perioden



Wirtschaftlichkeit

- Planung
 - Alle Wärmequellen und -bezüger (und jeweiligen Temperaturbereich) überprüfen
- Anschlussdichte (Wärmeverbund)
 - Die wichtigsten Kunden sichern
 - Erfahrungswert: > 2000 kWh/Jahr/Trassenmeter
- Richtiger Zeitpunkt
- Förderungen

Schlussfolgerungen

- Potenzial weit grösser als Nachfrage
 - Ausnahme: sehr dicht bewohnte Zonen
 - Seen und Flüsse sind die grösste erneuerbare Wärmequelle der Schweiz
 - In der Praxis sind manche Fliessgewässer nicht ganzjährig nutzbar
- Bedarf an mehr Wahrnehmung von der Öffentlichkeit und an politischem Willen