



Thermalflüge für Monitoring und Management von Kaltwasserrefugien in einem sich erwärmenden Klima

Diego Tonolla (ZHAW & eQcharta)
Manuel Antonetti (ZHAW)
Thilo Herold (BAFU)

Haus der Kantone, Bern – 29. März 2023

Inhalt

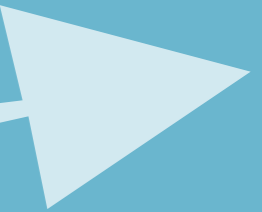
Kontext &
Methode



Anwendungen



Fazit & Ausblick





KONTEXT

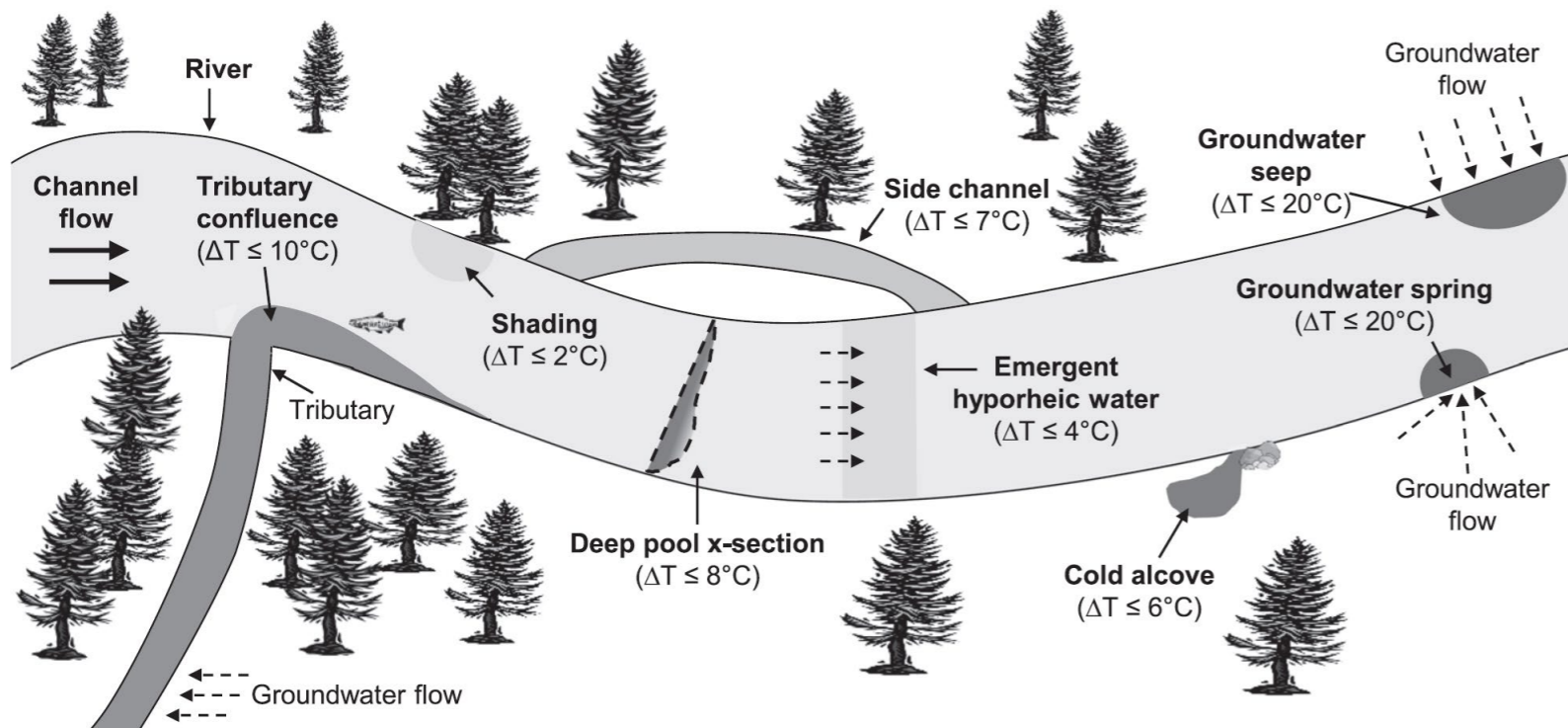
&

METHODE

T-Heterogenität ist entscheidend

Wichtigkeit thermische Heterogenität

Entscheidender Lebensraumfaktor: Ausbreitung, Verhalten, Überleben von Fischen (Buisson et al., 2008; McCullough et al., 2009) & hohe Bedeutung für Biodiversität (Webb 1996; Caissie 2006)



Kurylyk et al. (2015)

Kalt- & Warmwasserbereiche

- Seitengewässer
- Grundwasser
- Bestockung/Beschattung
- Hydrologie/Hydraulik
- Anthropogene Beiträge

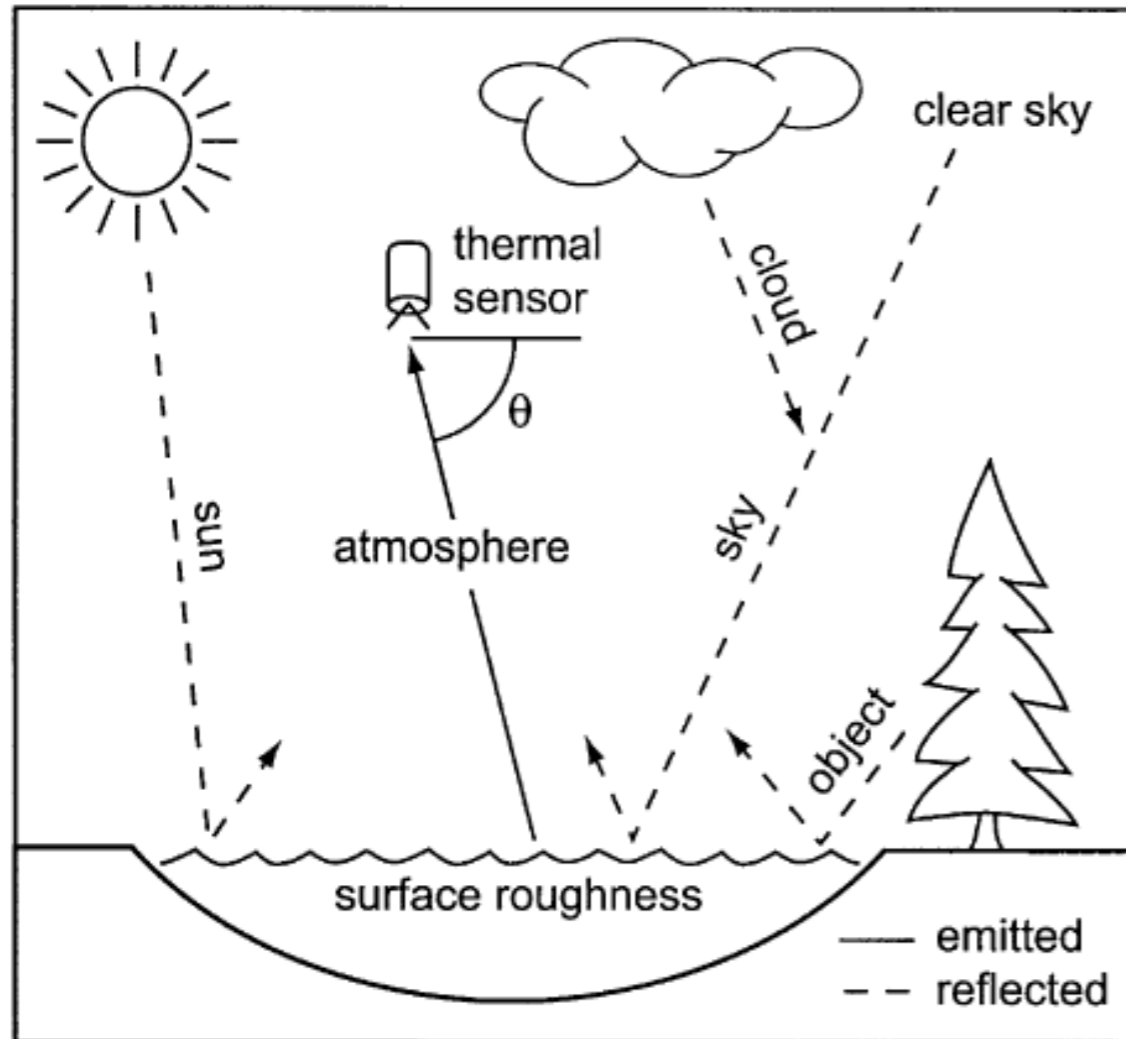
Erfassung

- Punktuelle *in-situ* Methoden (z.B. T-Sonden, faseroptisch) -> schwer, räumlich sehr beschränkt
- Alternative: thermales Infrarot (TIR; Wärmebilder)



Was ist “thermales infrarot (TIR)”?

TIR als Methode zur Erfassung und Monitoring räumlicher Temperaturheterogenität



Torgersen et al. (2001)

Strahlungstemperatur (T_r)

- Emittierte/reflektierte Wärmestrahlung (3-5 & 7-14 μm Wellenbereich)
- Erste 0.1 mm Oberfläche

Haupteinflussfaktoren

- Atmosphärische Absorption & Emission
- Umwelt TIR Reflektion
- Emissionsgrad (Wasser: 0.98)
- Oberflächencharakteristik
- «Misch-Pixel»
- Wasser: vertikale Schichtung

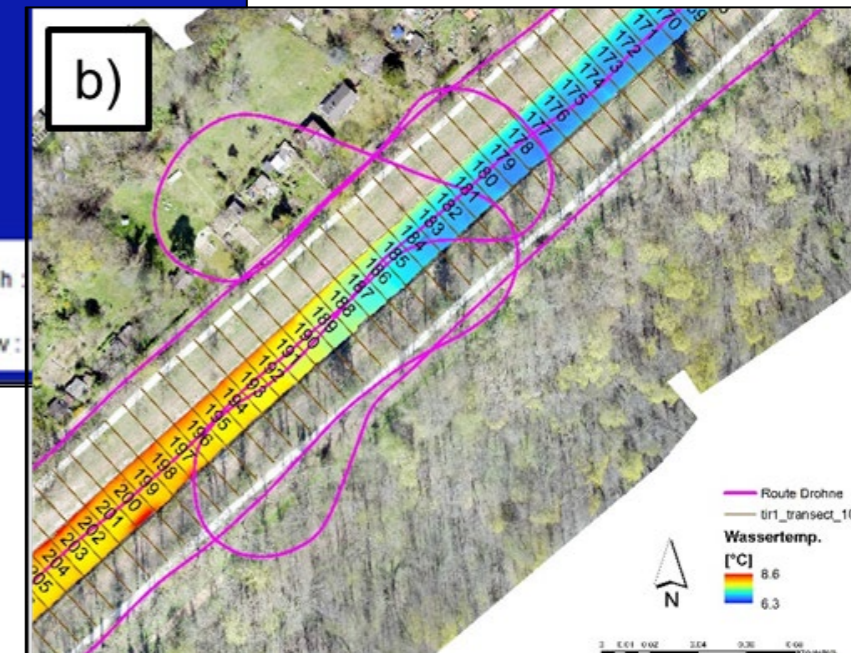
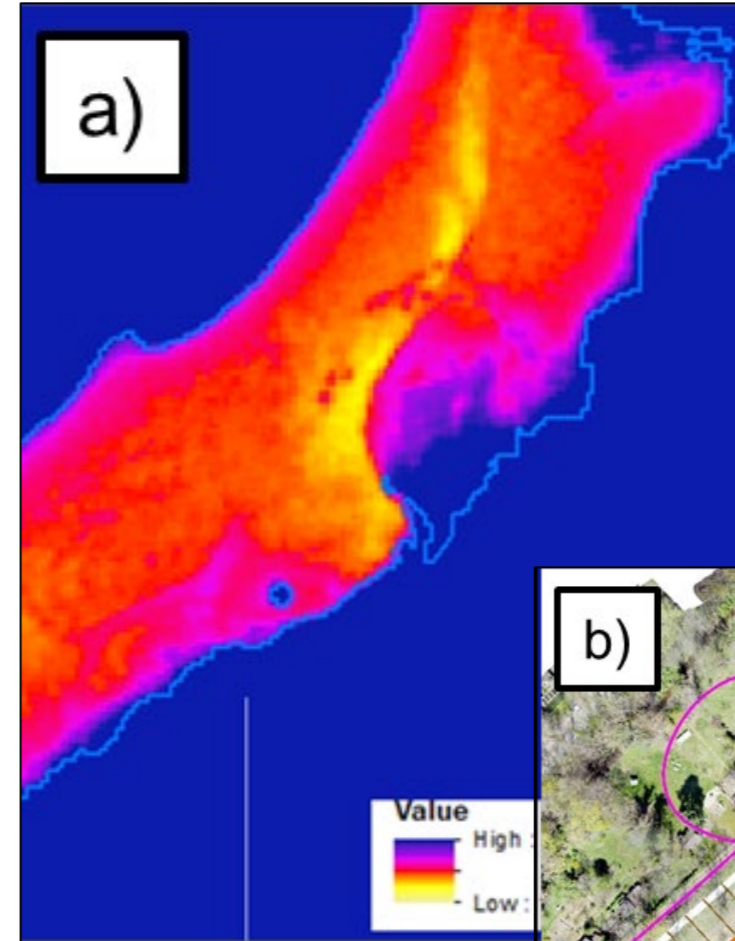


Schwäche alte/klassische Methoden

Schwächen alte/klassische Methoden

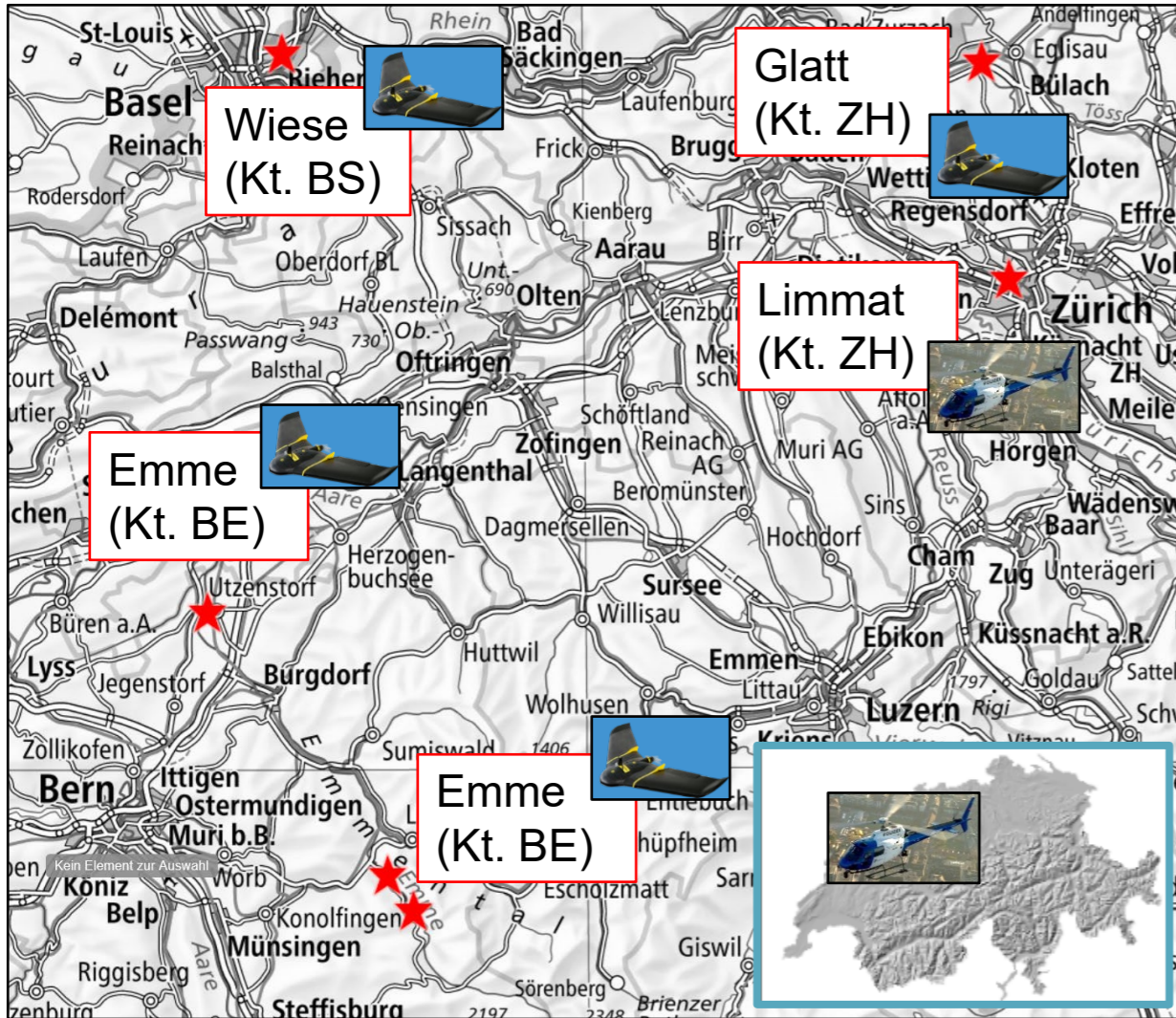
- «Black-Boxes»: automatisch zusammengesetztes T-Mosaik
- Keine Info über die Streuung/Unsicherheiten der Temperaturen
- Oft sind Artefakte vorhanden, die eine Auswertung und Interpretation erschweren bzw. verfälschen können

Notwendigkeit einen zuverlässigen und aussagekräftigen Nachbearbeitungsablaufs!!!





Projekte (Bund & Kanton): 2018-2023



Glatt (Kt. ZH), 1km

Pilotprojekt I 2018; BAFU – ZHAW

Obere Emme (Kt. BE), 2x3 km

Pilotprojekt II 2020 – 2021; BAFU – ZHAW

Wiese (Kt. BS), 2x1.2 km

Projekt 2020; Kt. BS – eQcharta/ZHAW

Untere Emme, 1 km

Projekt 2022; Kt. BE – eQcharta/ZHAW

(Limmat (Kt. ZH), 3 km

Testflug 2022, Swisstopo)

Besprechungen mögliche Projekte 2023 –

Kt. BE (Aare), Kt. ZG/ZH (Sihl), Kt. OW (Sarneraa)

Schweiz (500-5000 km): Projektentwicklung; weitere Schritte 2023; BAFU-ZHAW, Swisstopo



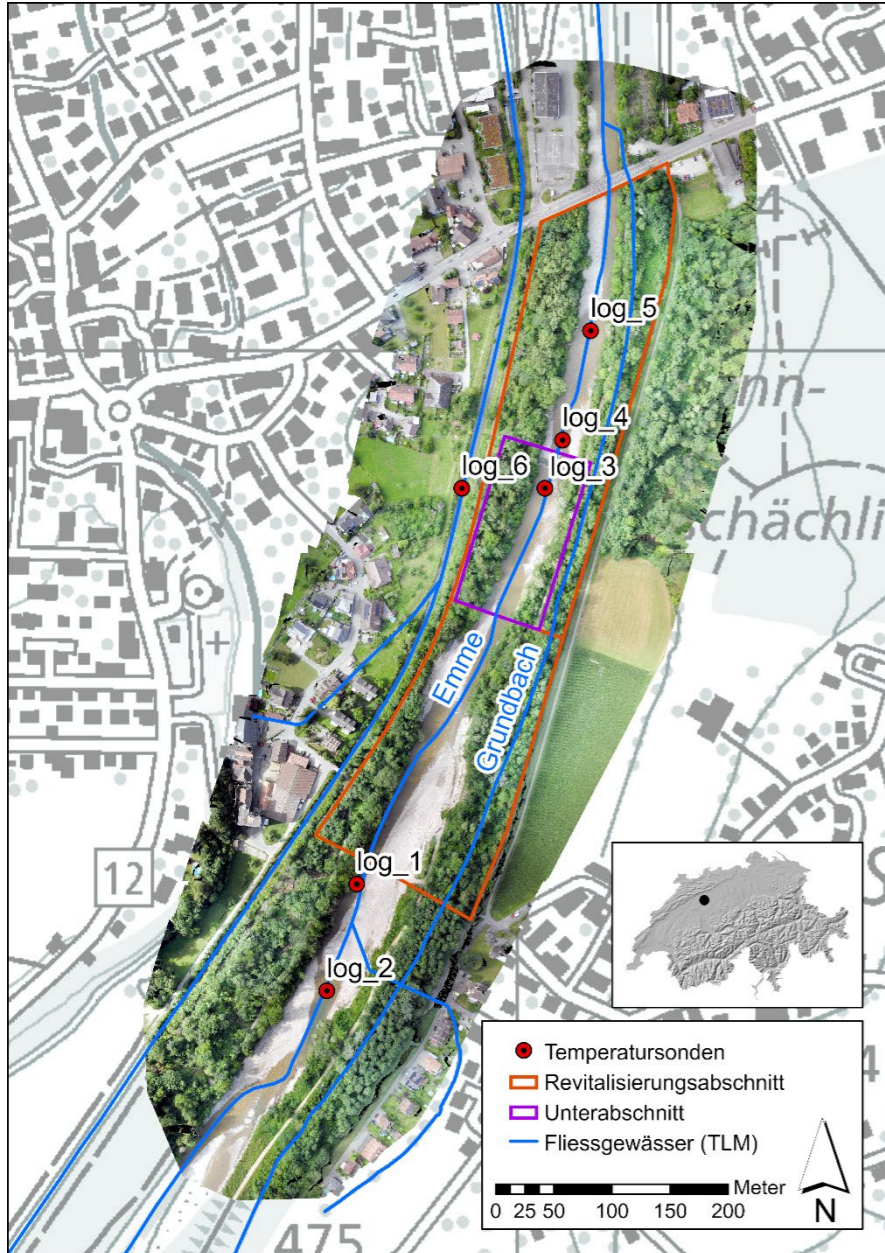
ANWENDUNGEN

BSP. UNTERE EMME

(KT. BE)



Auftraggeber & Aufnahmen

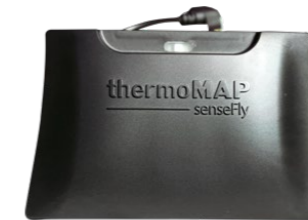


Auftraggeber

- RenF, Fischereiinspektorat, Kt. BE

Aufnahmen

- Emme bei Utzenstorf / Bätterkinden / Schachen
- 13.07.2022. Optimale Bedingungen: heiss (30.2 °C) & wenig Abfluss (1.2 m³/s)
- 1 Abschnitt, ca. 1 km lang
- Starrflügler-Drohnen system ebee Plus™
- 1 TIR Flug (thermoMAP™)
- 1 RGB Flug (S.O.D.A.™)
- *In situ*: 6 T-Sonden (HOBO Water Temp Pro v2)





3 Arbeitsschritte

Zuverlässige qualitative und quantitative Charakterisierung!

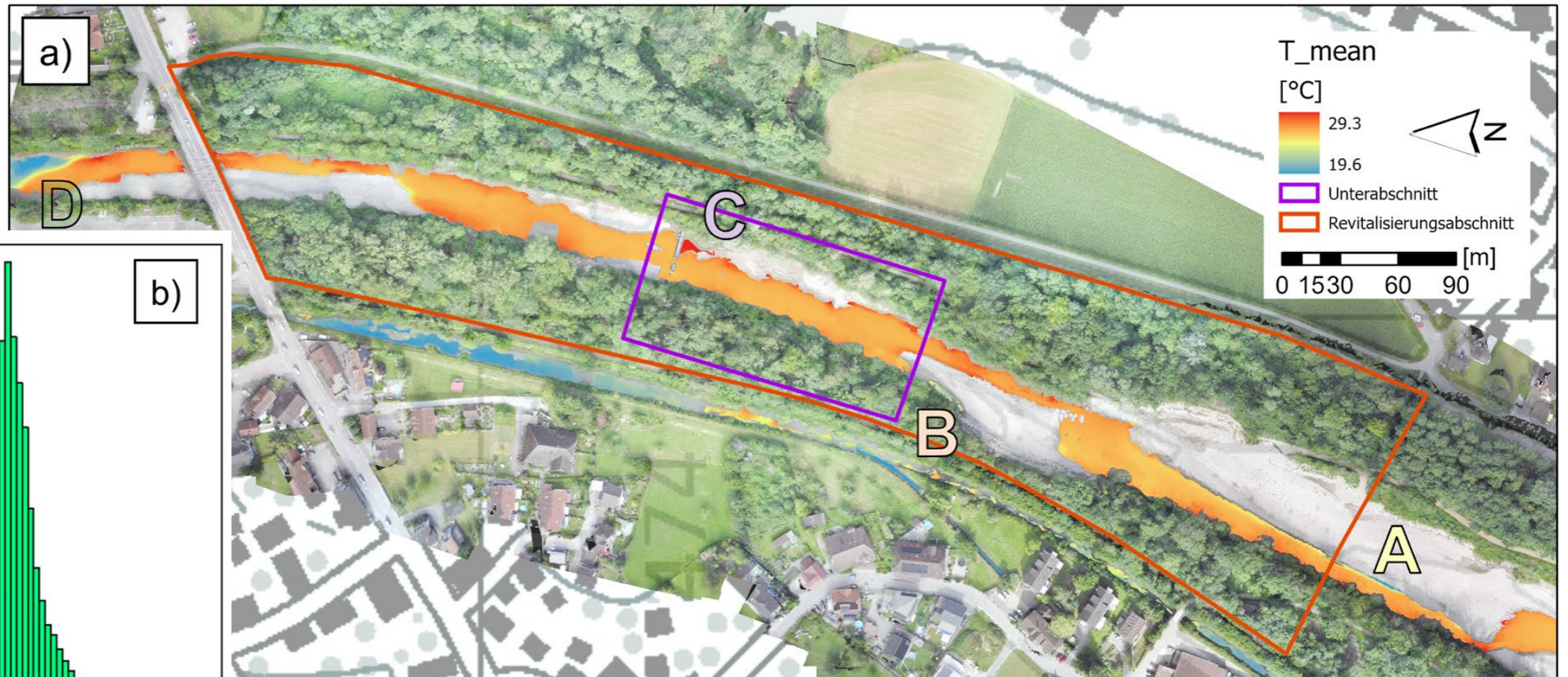
1. Drohnenflüge (TIR, RGB) & Messung *in-situ* Temperaturdaten (Kalibrierung & Validierung)
2. Prozessierung Drohnenbilder mit einem **selbstentwickelten Nachbearbeitungsablauf**: Einzelbilderanalyse, Flug-Transekt-basierte Korrektur der Temperatur, Abschätzung der Unsicherheiten -> **korrigiertes T-Mosaik**
3. Anwendung **selbstentwickelten Analysemethoden** (2018-2022): Detektion von longitudinalen und transversalen Temperaturgradienten & thermisch heterogenen Bereichen (z.B. Grundwasser-Exfiltrationsstellen) -> **qualitative und quantitative Charakterisierung**



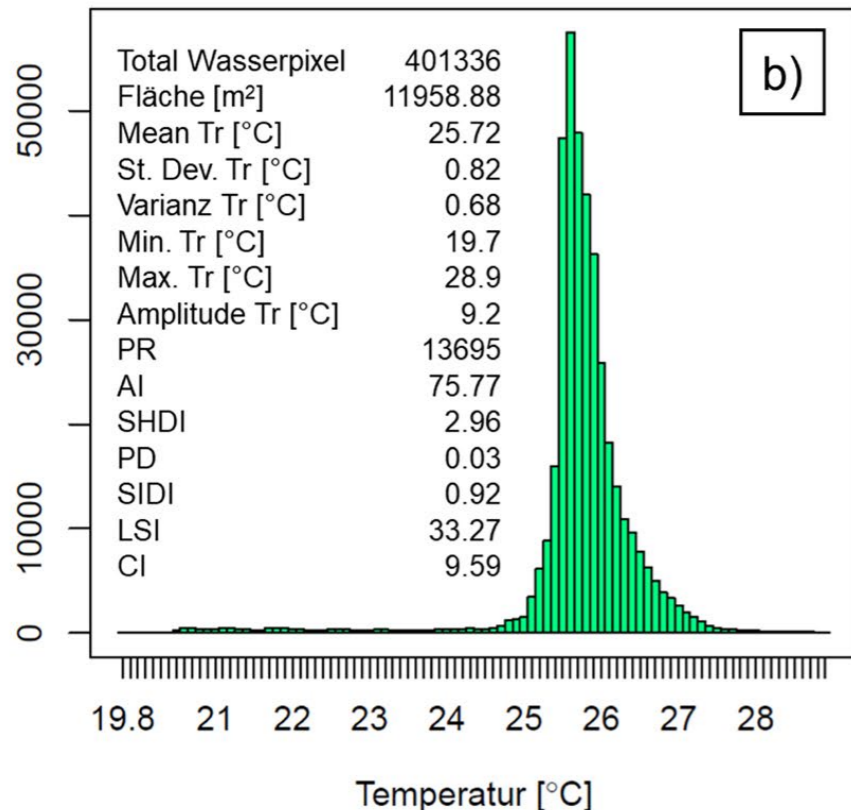
Thermische Heterogenität

Überblick der räumliche thermische Heterogenität!

Einfache räumliche Statistiken



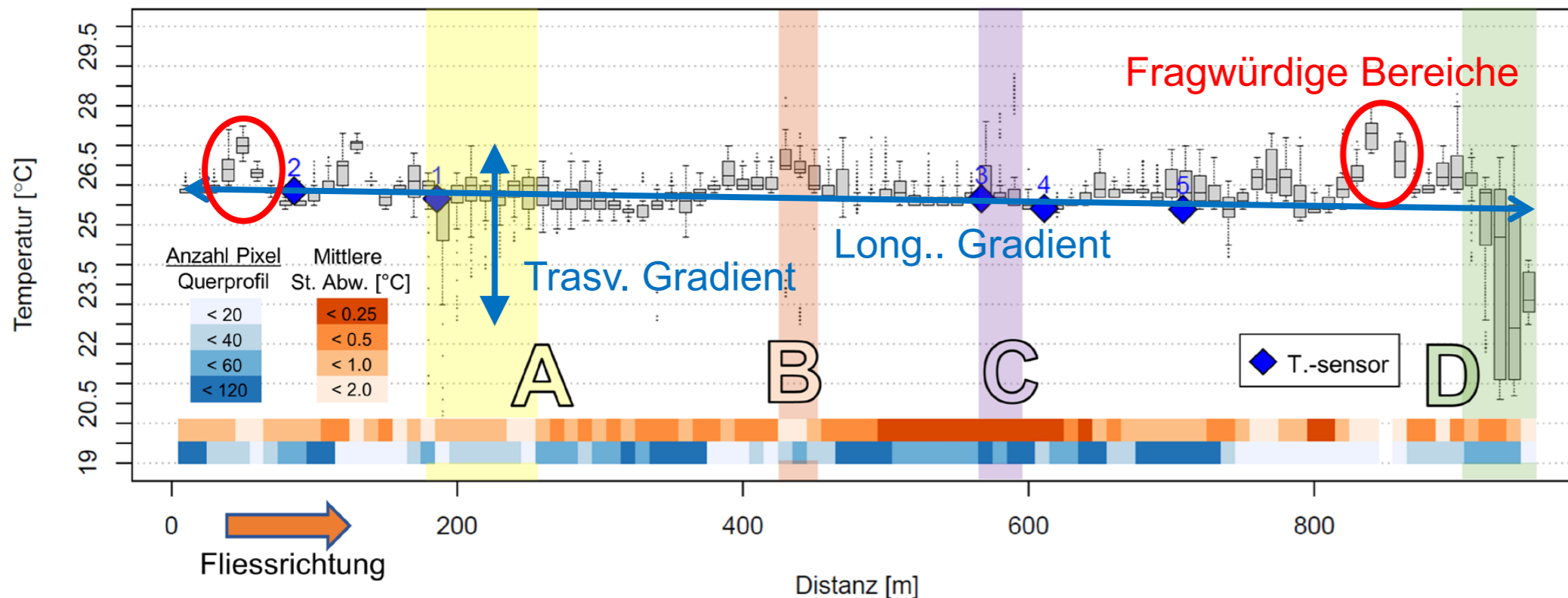
Korrigiertes Mosaik der mittleren Temperaturen
Emme bei Bätterkinden



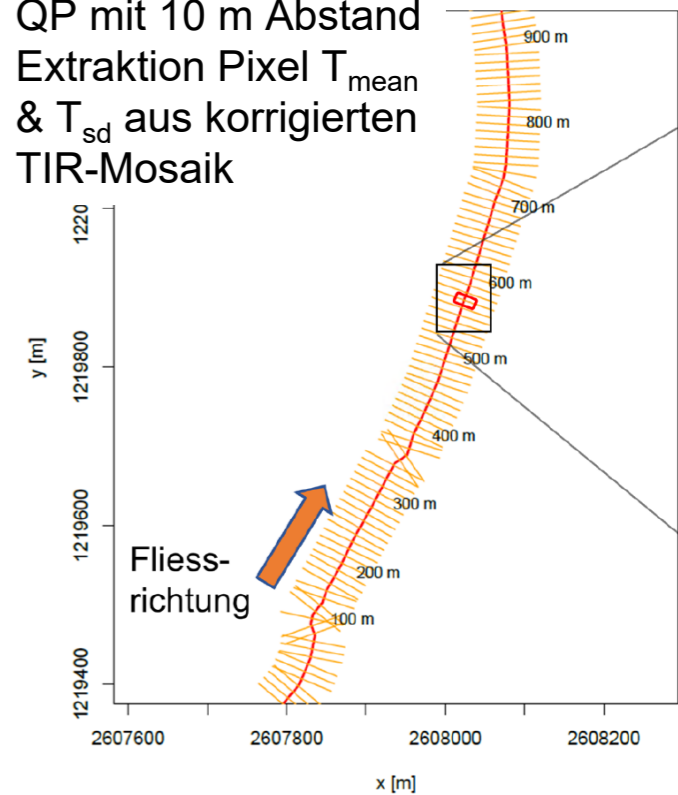


T-Gradienten & Kalt-/Warmwasserbereiche

Zuverlässige Zuordnung der Messdaten!



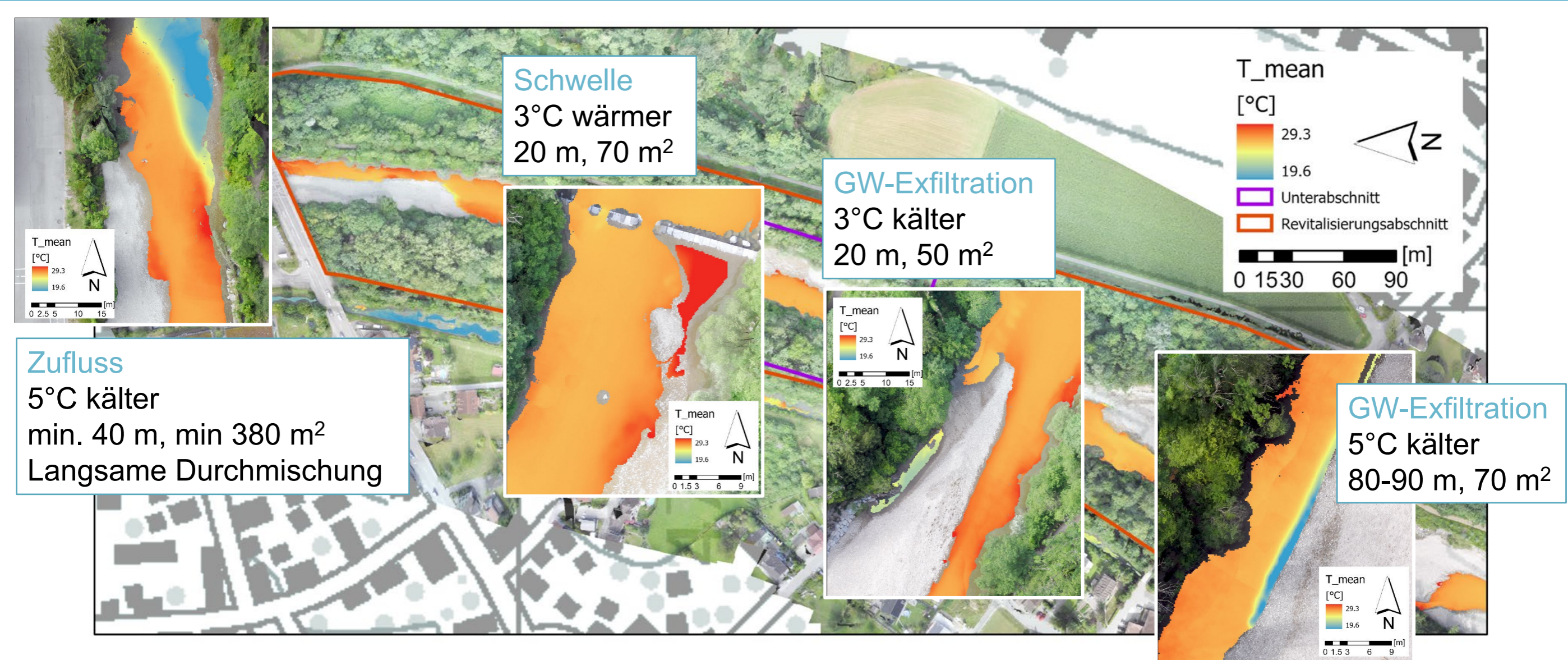
QP mit 10 m Abstand
Extraktion Pixel T_{mean}
& T_{sd} aus korrigierten
TIR-Mosaik



- Boxplots aus T_{mean} : je ausgedehnter desto T-heterogener das QP (transv. T-Gradient)
- Longitudinale thermische Gradienten entlang der Flussmittellinie
- 2 Qualitätskriterien (Abschätzung der Unsicherheiten): Repräsentativität der QP, Genauigkeit (Übereinstimmung der T_r -Werte aus den Einzelbilder)



Kalt-/Warmwasserbereiche



Zuverlässige Ergebnisse und sehr gute absolute Genauigkeit (± 0.2 °C)!



Grundwasserexfiltration



**Auch kleinräumige
GW-Exfiltrations-
stellen können
detektiert werden!**



FAZIT & AUSBLICK



Fazit aus BAFU- & Kanton-Projekte

Thermalflüge (Wärmebilder) passende alternative bzw. ergänzende Methode zu T-Sonden

- **Zuverlässiger Nachbearbeitungsablauf erfolgreich entwickelt:** Nachbearbeitung der Rohdaten aufwändig, nach 4 Jahren Entwicklung (2018-2022) zuverlässige Ergebnisse
-> Unterscheidung zwischen realen T-Unterschiede & künstlichen Artefakten, gute absolute ($\pm 0.2 - 0.5 \text{ } ^\circ\text{C}$) und relative ($< 0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$) Genauigkeit
- **Darauf aufbauende Analysemethode führt zu:** aussagekräftige Detektion & Charakterisierung der longitudinalen und transversalen T-Gradienten sowie Kalt- und Warmwasserbereiche (z.B. Grundwasser, Zuflüsse) inkl. Quantifizierung möglichen Unsicherheiten (2 Qualitätskriterien: Repräsentativität und Übereinstimmung)
- **Vorteile gegenüber T-Sonden:** flächendeckende Erfassung, Charakterisierung und Monitoring der Wassertemperatur (evtl. auch Trockenheit), insb. der räumliche Temperaturheterogenität sowie Kalt- und Warmwasserbereiche
- **Besonders zu beachten:** «snap-shot in time»; Abflussmenge (Stationarität, Persistenz); Aufnahmezeitpunkt (Sommer: höchste T, Zuflüsse; Winter: GW, Vegetation)
- **Empfohlen:** saisonale Flüge, Monitoring bzw. Vor- & Nacherhebung bei (Wasserbau)projekten



Viele Synergien & grosses Interesse

Mit starkem Bezug zu	Grosses Interesse von
<ul style="list-style-type: none">▪ GSchG/GSchV: Ökologische Ziele & Anforderungen an Wasser-T▪ Aktionsplan zur Strategie Biodiversität & Ökologische Infrastruktur: z.B. wo befinden sich Kaltwasserbereiche als Hotspot der Biodiversität?▪ Anpassungsstrategie des Bundes an den Klimawandel: z.B. wo kann der kantonale- bzw. Bundessmessnetz optimiert werden?▪ Revitalisierungsplanung der Kantone: z.B. wo machen morphologischen Massnahmen und/oder Bestockung thermisch Sinn?▪ Sanierung Wasserkraft: z.B. wie wird die thermische Heterogenität durch Schwall-Sunk und Restwassermengen verändert/beeinflusst?	<ul style="list-style-type: none">▪ Bund<ul style="list-style-type: none">– Abteilung Hydrologie– Abteilung Wasser– Swisstopo▪ Kantone<ul style="list-style-type: none">– Kanton BE (A. Knutti, Fischereiinspektorats)– Kanton BS (G. Derungs, Tiefbauamt)– Kanton ZH (C. Marti, AWEL)– Kanton TI (T. Putelli, UCP)– Weitere Kantone (ZG/ZH, OW)?– Workshop BAFU & JFK (29.03.2023; eingeladen)▪ Verbände<ul style="list-style-type: none">– Schweizerischer Fischereiverband (D. Bittner, SFV-FSP)



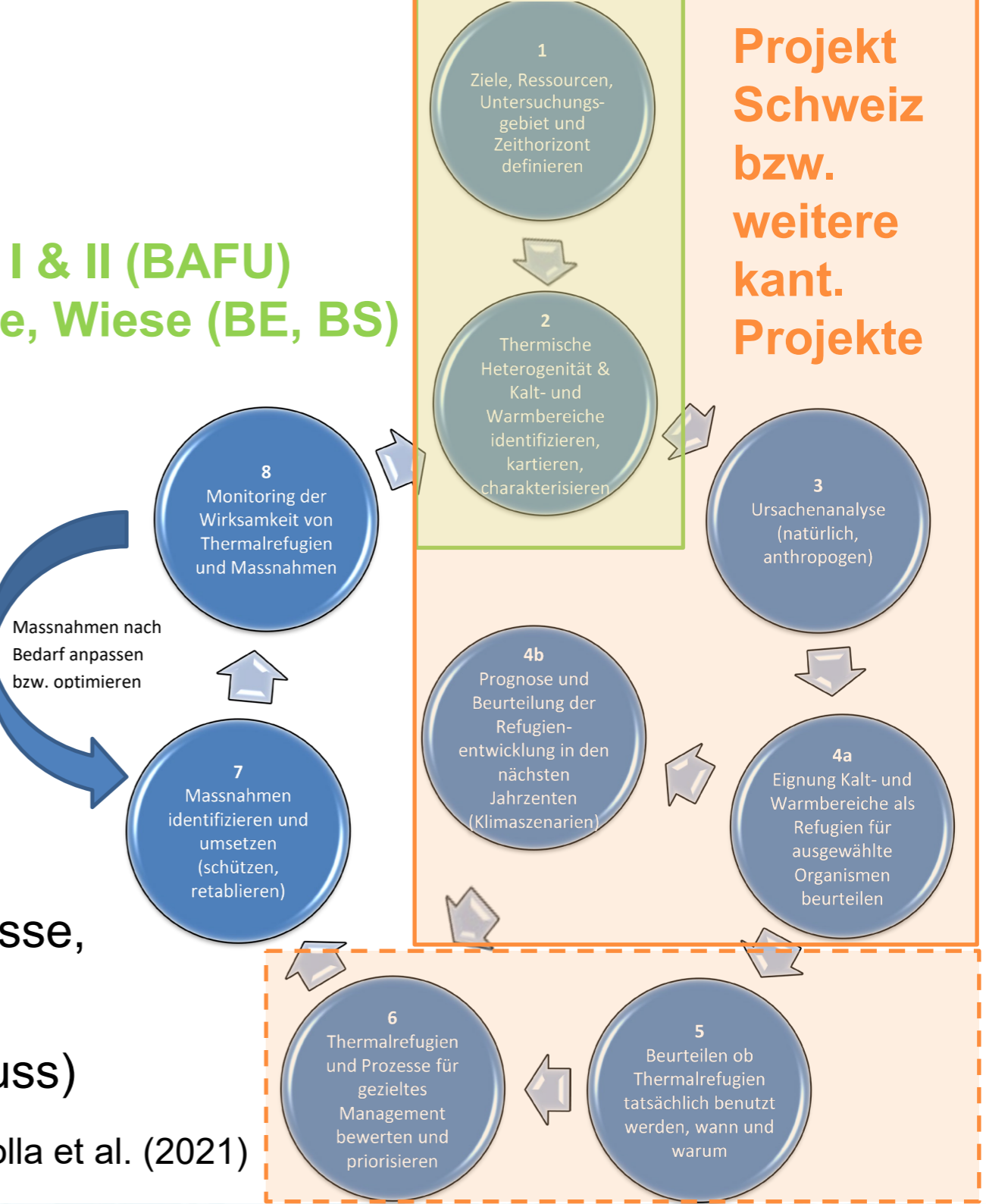
Grosses Potenzial

Pilotprojekte I & II (BAFU)
Projekt Emme, Wiese (BE, BS)

Projekt Schweiz bzw. weitere kant. Projekte

Thermalflüge: eine robuste Methode

für die Erfassung, Charakterisierung und Monitoring der räumlichen Temperaturheterogenität von Fließgewässern und insbesondere von Kalt- und Warmwasserbereichen (bzw. Refugien) im Rahmen des erwarteten Klimawandels (BAFU, 2021; IPCC, 2021) und der Zunahme an anthropogenen Gewässernutzungen (z.B. Kühlung, Bewässerung, ARA, Stromgewinnung)



Erfassung & Charakterisierung: Standort, Art, Grösse, Dichte, Vernetzung, usw.

Ursachenanalyse: Faktoren (z.B. Bestockung, Abfluss) und Prozessen (z.B. GW Austausch)

Bereiche sind nicht Refugien

4a
Eignung Kalt- und
Warmbereiche als
Refugien für
ausgewählte
Organismen
beurteilen

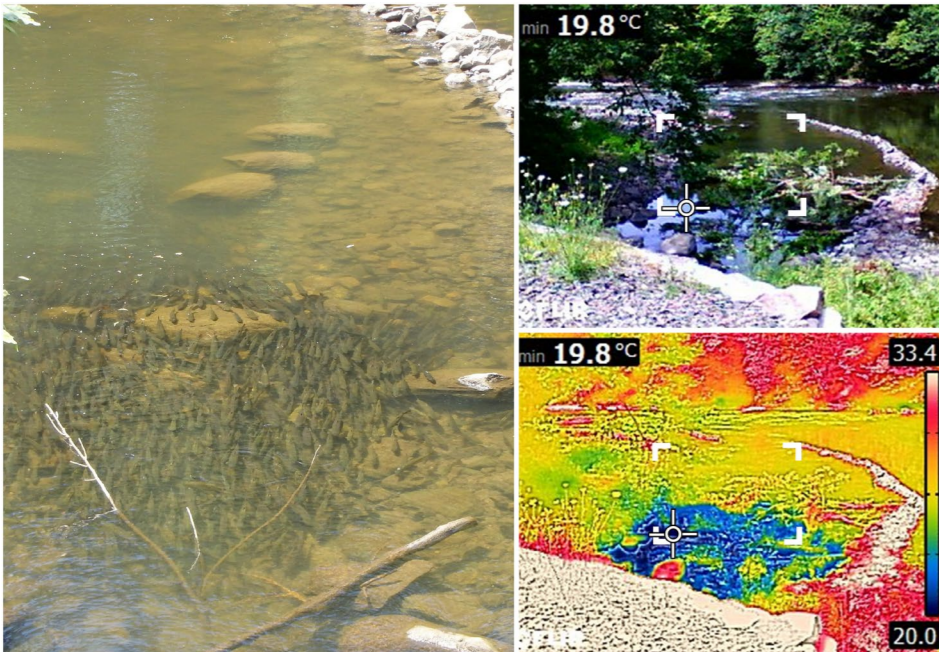
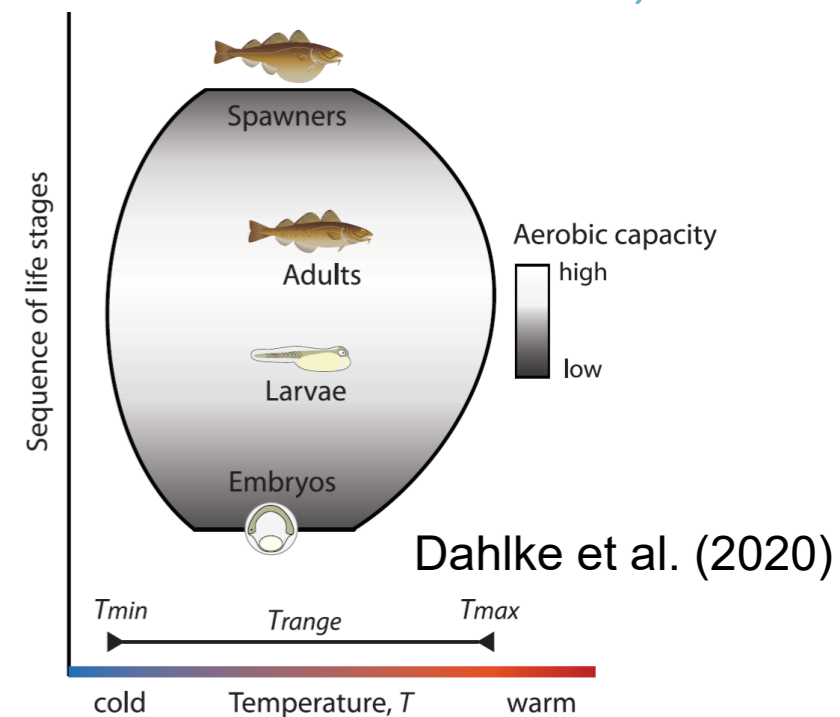
Methode zur flächendeckenden Erfassung und zum Schutz heutiger und zukünftiger T-Refugien für Zielfischarten (z.B. Forelle, Äsche)!

“Cold water refuges (CWR): Discrete cold patches of water used by cold-water species when experiencing high temperatures. CWR provide thermal relief and short-term survival for heat-stressed individuals (Oregon State; Sullivan et al., 2021)

Refugium für wen und wann
(Taxon, Lebensstadium)?

Sind Kaltwasserbereiche als Refugien nutzbar? Hinsichtlich:

- ΔT , Fläche
- Suffizienz (Anzahl und Qualität)
- Persistenz (zeitliche Komponente)
- Erreichbarkeit (Vernetzung/Konnektivität)



Sullivan et al. (2021)

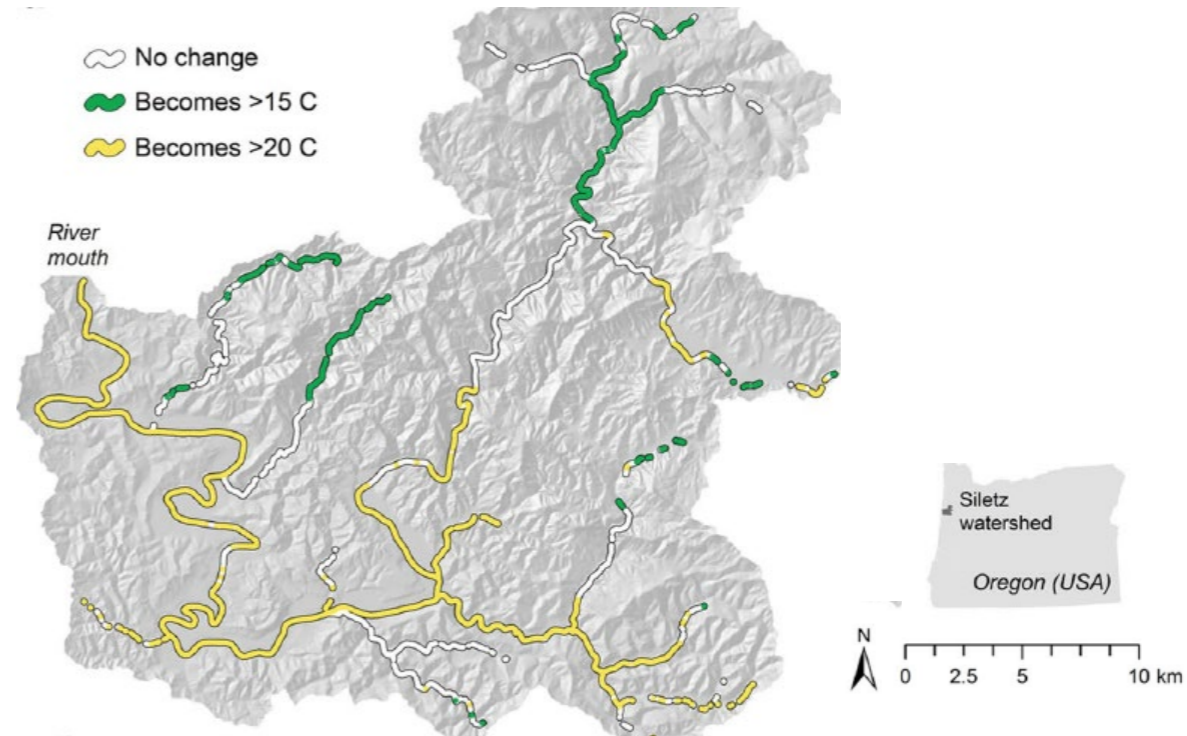
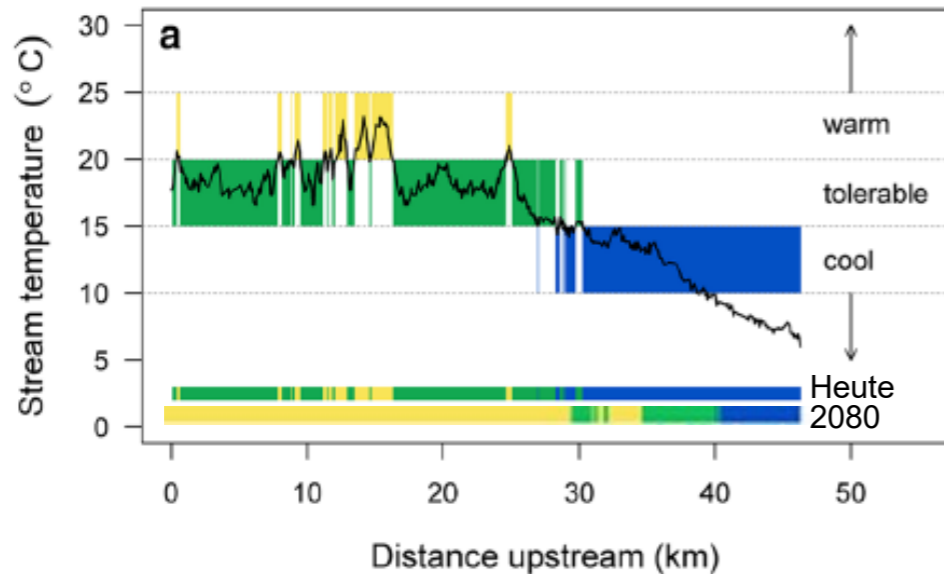
Klimawandel besser verstehen

4b

Prognose und Beurteilung der Refugienentwicklung in den nächsten Jahrzehnten (Klimaszenarien)

Chance zum besseren Verständnis der heutigen und zukünftigen räumlichen Auswirkungen des Klimawandels -> Priorisierung von Gewässern und Massnahmen!

Fullerton et al. (2018)



- Wo könnten sensible Fließgewässerabschnitte (thermische Rückzugsmöglichkeiten) zukünftig verloren gehen?
- Welche Fließgewässerabschnitte (bzw. welche Prozesse) sollten zukünftig prioritär erhalten, geschützt oder renaturiert/wiederhergestellt werden?



**Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit!**

Diego Tonolla (ZHAW & eQcharta)
Manuel Antonetti (ZHAW)
Thilo Herold (BAFU)

Für Fragen und Anregungen
Dr. Diego Tonolla
ZHAW, FG Ökohydrologie
diego.tonolla@zhaw.ch
058 934 52 41 / 078 716 17 15