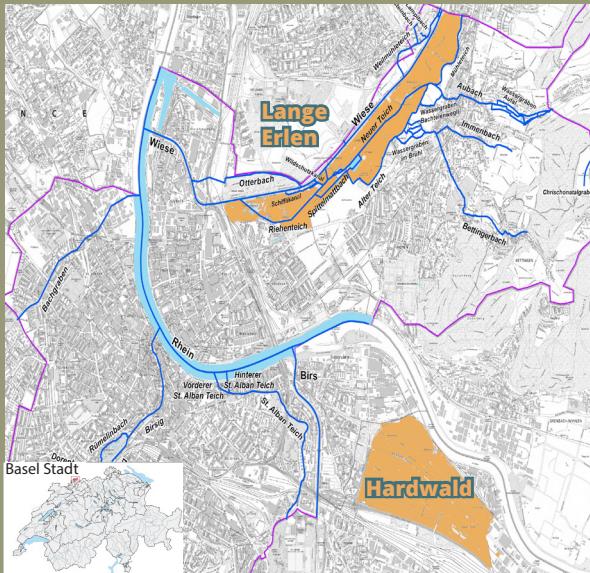


## Klimawandel Schweiz

# Auswirkungen kombinierter Klimarisiken auf urbane Systeme



## FAST FACTS



120 Jahre Messungen



18 Klimamodelle



11 Interviews



8 ExpertInnen



2 Systeme



1 Stadt



## Worum es geht

Ist es möglich, dass aufeinanderfolgende Jahre mit ausgedehnten Hitze- und Trockenperioden im Extremfall sowohl die menschliche Gesundheit als auch die Wasser- oder Energieversorgung oder andere wichtige Teilsysteme einer Stadt an die Belastungsgrenze bringen?

Um dieser Frage auf den Grund zu gehen, wurden am Beispiel der Stadt Basel die Prozessketten analysiert, welche mit diesen kombinierten meteorologischen Extremereignissen einhergehen. Urbane Systeme sind dem Risiko von Extremereignissen besonders ausgesetzt, weil sehr viele Menschen, Infrastrukturen und kritische (Versorgungs-) Systeme auf engstem Raum konzentriert sind. Extremereignisse können deshalb Kettenreaktionen auslösen bzw. verstärken. Wasserverfügbarkeit ist bei Hitze und Trockenheit ein Schlüsselement und es besteht auch eine starke Verknüpfung mit anderen Systemen wie Energie, Transport und Industrie. Deshalb werden hier die möglichen Auswirkungen exemplarisch für die stark interagierenden Systeme Wasser und Energie aufgezeigt.

Das quantitative Modellieren nie dagewesener und kombinierter Extremereignisse und deren Auswirkungen ist mit grossen Unsicherheiten behaftet. Mit dem Ziel, die kritischen Interaktionen wichtiger Systeme und mögliche «Blind Spots» zu identifizieren, wurden für diese Fallstudie quantitative Informationen aus Klimamodellen mit teilstrukturierten Interviews mit Fachpersonen aus der Verwaltung und Wissenschaft kombiniert, um plausible Szenarien und Ereignisketten zu erarbeiten. Im Folgenden werden die Schlüsselresultate vorgestellt und erläutert.



## Klima und Wasser Szenarien

Diese Studie untersuchte mögliche Auswirkungen mehrerer aufeinanderfolgender Hitze- und Trockenheitsperioden, wie sie gemäss der Schweizer Klimaszenarien CH2018 für die Zukunft plausibel sind: Sommertemperaturen von +5°C gegenüber der Referenzperiode 1981-2010 und 40% weniger Niederschlag. Für den Abfluss des Rheins wurde entsprechend mit Abflussmengen von ca. 55% gegenüber der Norm gerechnet (Tabelle 1).



## Trinkwasser

**Menge:** Die Stadt Basel verfügt mit der Grundwasserinfiltration von Rhein- und Wiesewasser im Hardwald und in den Langen Erlen über ein langjährig zuverlässiges System (Abbildung 1). Die Entnahme von 3.4-5.2 m<sup>3</sup>/s entspricht deutlich unter 1% des durchschnittlichen Rhein-Abflusses (1061 m<sup>3</sup>/s). Tabelle 1 zeigt die verbleibenden Rhein-Abflussmengen im Szenario extremer Trockenheit. Diese niedrigen Abflussmengen liegen immer noch weit über den benötigten Mengen für die Entnahme. Selbst bei extremem Niedrigwasser in den Flüssen ist die Trinkwasserversorgung trotz zukünftig starkem Rückgang von Gletscherschmelzwasser gewährleistet. Da ausschliesslich mit Grundwasser gearbeitet wird, ist die Reservoirkapazität des Versorgungssystems relativ gering und beträgt nur ca. 8 Stunden. Um Bedarfsspitzen zu decken, muss also die Kapazität der Grundwasserpumpen genügend gross sein.

**Temperatur:** Während heute Rheinwassertemperaturen über 25°C sehr selten sind (11 Tage im Extremjahr 2018), ist dies bei zukünftigen Extremereignissen an 30-50 Tagen pro Jahr zu erwarten. Dies kann zu markant höheren Bedarfsspitzen führen, da die Rheinwasserentnahme zu Kühlzwecken bei diesen Temperaturen nicht mehr gestattet ist, wodurch einige Industriebetriebe auf Trinkwasser zur Kühlung angewiesen sind. Auf das Grundwasser könnte der Klimawandel sogar einen kühlenden Effekt haben, aufgrund saisonaler Verschiebungen der Niederschläge und Zunahme von Schmelzwasser. Auch dies spricht dagegen, dass steigende Wassertemperaturen für die Wasserversorgung der Stadt Basel ein Problem sein werden.

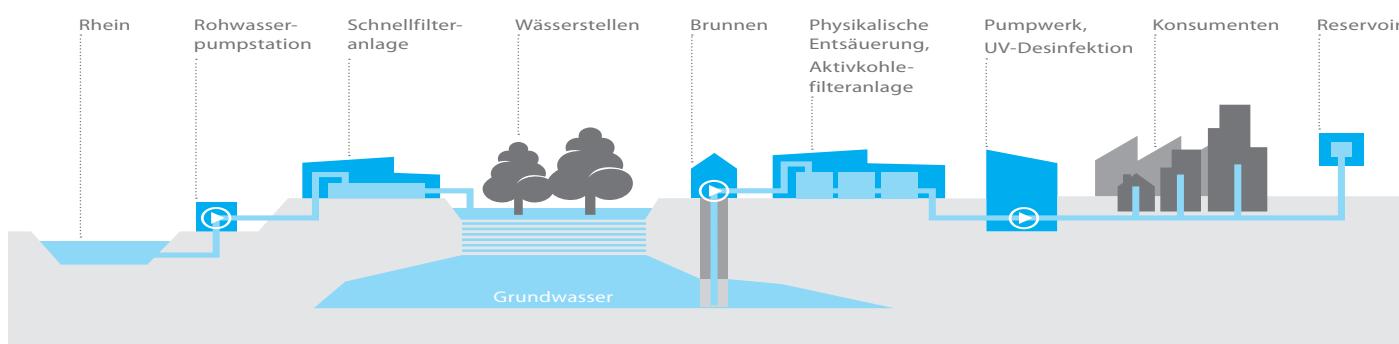


Abbildung 1: Das Trinkwassersystem von Basel Stadt mit Rheinwasserinfiltration ins Grundwasser. Quelle: IWB

**Verschmutzung:** Bei Niedrigwasser steigt die Gefahr der Wasserverschmutzung, weil dann die Verdünnung bei Schadstoffeintrag geringer ist. Bei starker Verschmutzung muss die Wasserentnahme zur Infiltration zeitweise ausgesetzt werden. Für ein Fliessgewässer wie den Rhein sind länger dauernde Verschmutzungen jedoch unwahrscheinlich. Nur wenn die Verschmutzungsquelle länger nicht identifiziert werden kann oder bei zahlreichen kleineren Verschmutzungsquellen, könnte dies zu Problemen bei der Rheinwasserzufluss führen.

Im untersuchten Szenario mit extremem Niedrigwasser von Rhein und Wiese (bzw. möglicherweise Austrocknung der Wiese) könnte die Wasserversorgung vermutlich nur durch folgende zusätzliche Ausnahmezustände gefährdet werden (S. Worst case 1-3 in Abbildung 2):

- Worst case 1: Länger dauernde Verschmutzung des Rhein- und Grundwassers
- Worst case 2: Verschmutzung des Rheins und grosse Bedarfsspitzen (Zusatzbedarf kann nicht durch Not-Entnahme von Flusswasser gedeckt werden)

- Worst case 3: Unterbruch der Energieversorgung für Pumpen (Reservoirkapazität von einigen Stunden), v.a. in Verbindung mit Bedarfsspitzen

## Ökologie und Transport

Für die Ökologie an Land und im Wasser ist beim untersuchten Ereignis mit den grössten Konsequenzen zu rechnen. Geringe Wassermengen kombiniert mit hohen Temperaturen würden den Fischbestand und andere Wasserlebewesen stark beeinträchtigen. Der Hardwald musste bereits beim Ereignis von 2018 gesperrt werden und wäre stark gefährdet, die Wasserversorgung wäre davon allerdings wenig betroffen. In der Langen Erlen ist ein intakter Baumbestand wichtiger für die Infiltration, jedoch ist dort die Vegetation auch robuster gegenüber Trockenheit.

Auch der Transportsektor wäre stark betroffen. Beim untersuchten Ereignis wäre trotz der vertieften Flussrinne mit Einschränkungen bzw. Unterbrechungen der Rheinschifffahrt zu rechnen.

Tabelle 1: Abflussmengen des Rheins heute und in Zukunft.

Abflussmenge des Rheins (m <sup>3</sup> /s)	Mittlere Messwerte 1981-2010	Abflussmenge des Rheins während des heißen und trockenen Frühling/Sommers 2018	Trockene Jahre 2021-2100
August	1130	622	486
Oktober	894	465	500
November	848	407	620

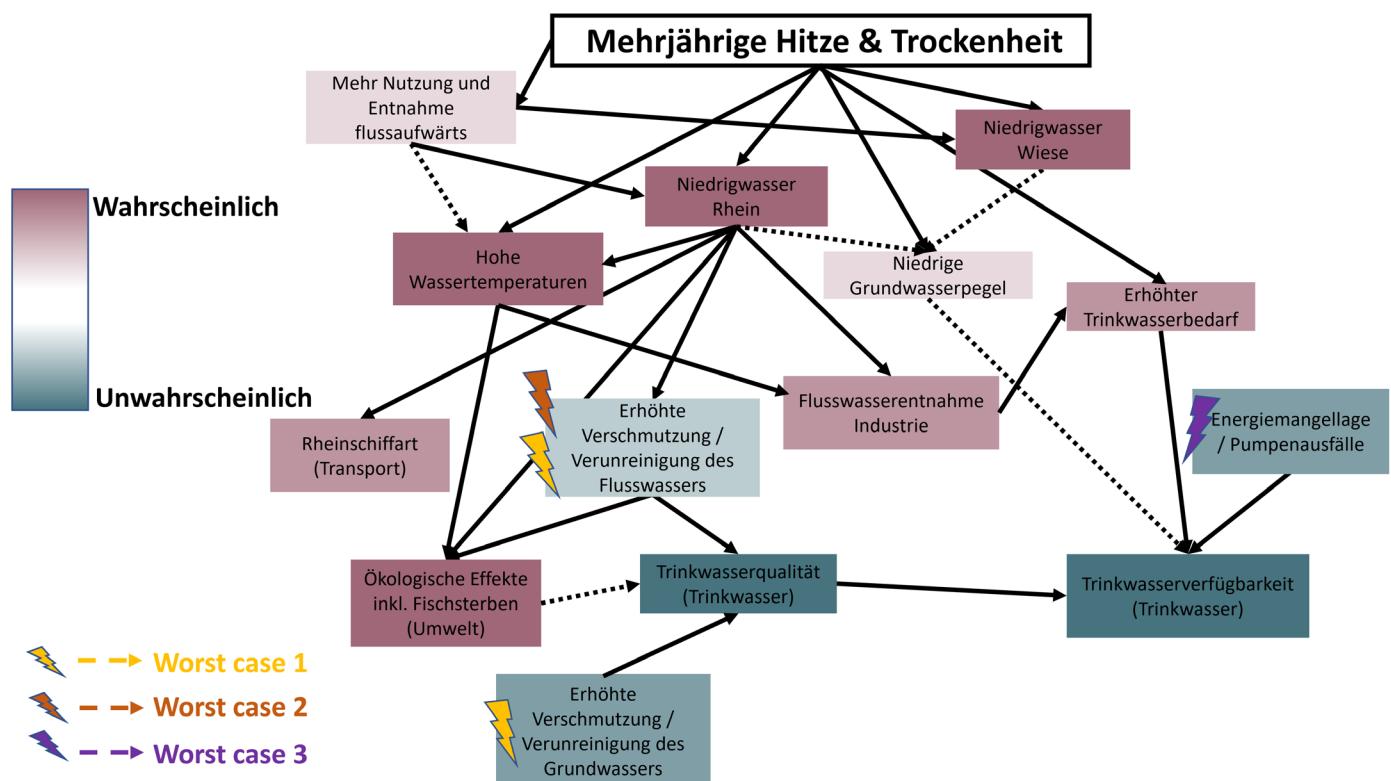


Abbildung 2: Mögliche Ereigniskaskaden im System Wasser bei einem mehrjährigen Hitze- und Trockenheitsereignis. Die Farben der Prozesse zeigen die geschätzte Eintretenswahrscheinlichkeit. Die im Text genannten Worst cases sind mit Blitzen markiert. Gestrichelte Pfeile deuten schwache, unsichere oder sekundäre Effekte an.

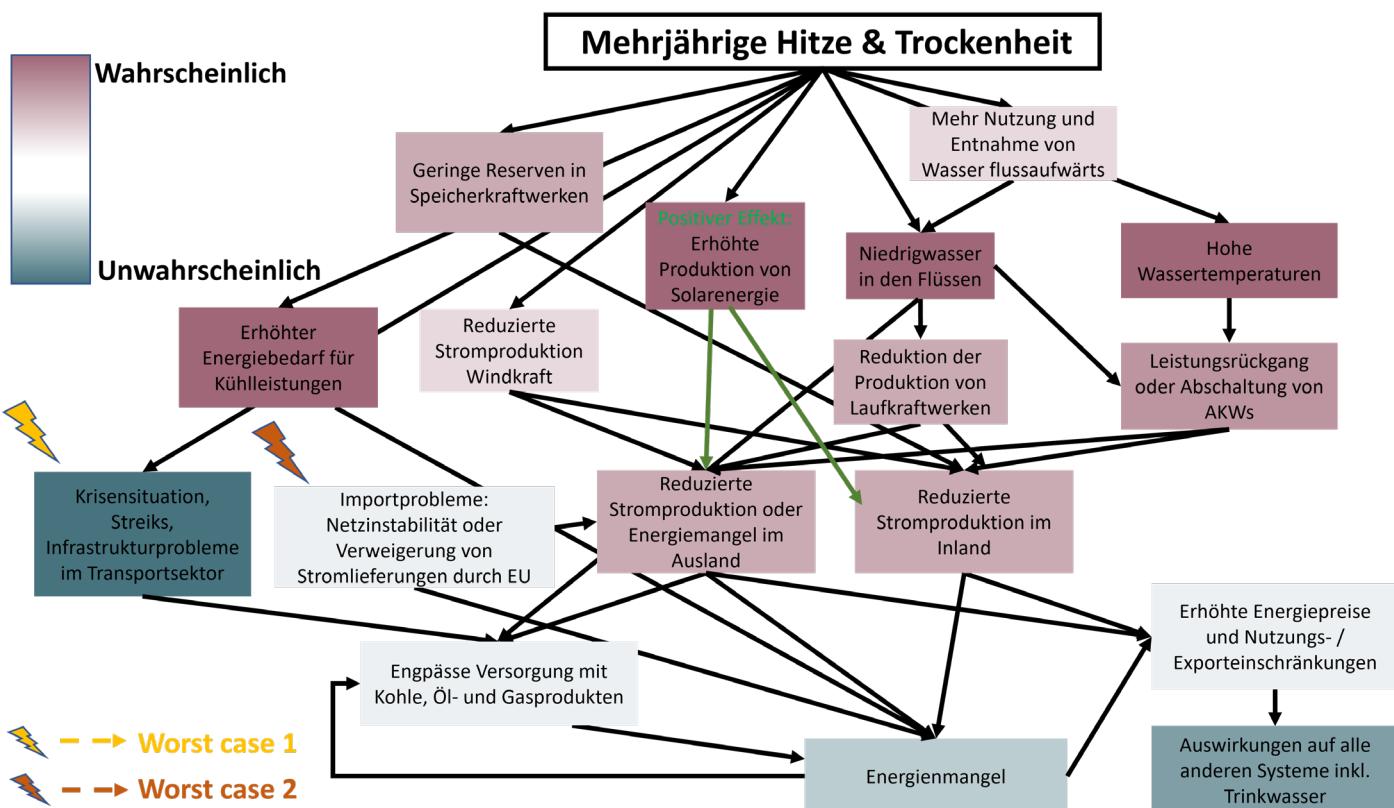


Abbildung 3: Mögliche Ereigniskaskaden im System Energie bei einem mehrjährigen Hitze- und Trockenheitsereignis. Die Farben der Prozesse zeigen die geschätzte Eintretenswahrscheinlichkeit. Die im Text genannten Worst cases sind mit Blitzen markiert.



## Energieversorgung

Ein kombiniertes Hitze- und Trockenheitsereignis kann den Energiesektor durch verschiedene Prozessketten beeinträchtigen (Abbildung 3). Aufgrund der starken Verflechtungen und saisonalen Schwankungen sind Mangellagen wahrscheinlicher als bei der Wasserversorgung. Da sich Hitze und Trockenheit jeweils grossflächig ereignen, würden Engpässe ziemlich sicher die gesamte Schweiz betreffen. Regionale Infrastrukturmängel könnten das Problem jedoch verstärken. In Kombination mit unabhängigen Ereignissen (Siehe Worst case 1 und 2 in Abbildung 3) kann die Versorgung mit fossilen Energieträgern bzw. der Stromimport gefährdet sein. Mögliche unabhängige Ereignisse sind:

- Worst case 1: Krisensituation, Streiks, Infrastrukturprobleme im Transportsektor
- Worst case 2: Importprobleme: Netzinstabilität oder Verweigerung von Stromlieferungen durch EU

Da das Energiesystem stark mit anderen Systemen gekoppelt ist, wäre bei Energiemangel eine starke Beeinträchtigung vieler Bereiche zu erwarten. Ein gleichzeitiger Trinkwassermangel wäre in einem solchen Extremfall aufgrund der geringen Reservorkapazität in Basel plausibel (s. oben).

## Möglichkeiten zur Anpassung

### Trinkwasser

Die Analyse hat gezeigt, dass das existierende System der Trinkwasserversorgung mit Flusswasserinfiltration effektiv bereits eine Anpassungsmassnahme zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit darstellt, auch im Falle langanhaltender Hitze und Dürreperioden. Einige Anfälligkeitkeiten im System wurden jedoch identifiziert, welche bei kombinierten Ereignissen zu Worst Case Szenarien führen können. In Antizipierung dieser möglichen Schwachstellen wurden folgende Anpassungs- und Notfallmassnahmen vorgeschlagen:

- Präventives Einführen höherer Spitzentarife
- Wasserentnahme direkt aus dem Rhein

### Take home message:

- Transport und Ökologie sind die am stärksten betroffenen Sektoren bei extremem Niedrigwasser.
- Die Trinkwasserversorgung ist auch bei extremem Niedrigwasser und Spitzenverbrauchszeiten gewährleistet, zumindest solange keine weiteren extremen Einflüsse von aussen auf das System einwirken.
- Worst case Szenarien, die mehrere Systeme betreffen, können jedoch einen negativen Einfluss auf die Wasserversorgung haben, so zum Beispiel länger anhaltende Verschmutzung und hohe Verbrauchsspitzen oder Unterbrüche in der Energieversorgung.
- Im Energiebereich sind vor allem Kombinationen mit Einflüssen von ausserhalb des Kantons relevant, z.B. Importprobleme und Krisensituationen.

### Zu den AutorInnen/Kontaktdaten:

#### Veruska Muccione

Leiterin der Fallstudie, Geografisches Institut, Universität Zürich, veruska.muccione@geo.uzh.ch

#### Raphael Neukom

Universität Fribourg und Universität Zürich

#### Nadine Salzmann

Universität Fribourg und WSL - SLF / Forschungszentrum CERC, Davos

#### Christian Huggel, Saied Ashraf

Vaghefi und Esther Gerber

Universität Zürich

#### Carl Love Mikael Raman Vinna

Eidg. Forschungsinstitut Eawag

#### Sabine Kleppel

Stadt Baden

#### Vincent Roth

Abteilung Klima, BAFU