

Der Lago Laja in Chile

Ein Beispiel für die multi-sektorale wasserwirtschaftliche Planung

Wasser ist die Grundlage allen Lebens. Steht es nur begrenzt zur Verfügung, zum Beispiel durch Dürreperioden, entstehen Verteilungs- und Interessenskonflikte.

Wissenschaftler*innen vom Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft erläutern am Beispiel eines Sees in Chile, wie wasserwirtschaftliche Planung allen Nutzer*innen gerecht werden kann.



Foto: Zoë Bovermann

Einleitung

Wasser ist die Grundlage für Nahrung, Wohlstand, Gesundheit und Artenvielfalt. Die integrierte Bewirtschaftung der Ressource Wasser berücksichtigt Kosten, Nutzen, Ökologie und Fairness bei der Verteilung. Steigende Nutzungsansprüche durch gesellschaftlichen Wandel bei gleichzeitig geringerer Wasserverfügbarkeit (zum Beispiel durch den Klimawandel) führen zu Konflikten zwischen Nutzer*innen. Auch jahreszeitlich bedingte Nutzungsansprüche können sich gegenüber Wasserkraft überlegen: Wasserkraft wird eher konstant benötigt, wäh-

rend die Landwirtschaft im Sommer Wasser zur Bewässerung der Felder benötigt. Gleichzeitig soll ein ökologischer Abfluss das gesamte Jahr über erhalten bleiben. Wassermanagement benötigt daher auch Konfliktmanagement. Wasserspeicher, die Defizitphasen ausgleichen können, stehen dabei oft im Mittelpunkt.

Wasserwirtschaftliche Lösungen „von oben“ führen jedoch in den wenigsten Fällen zu einer erfolgreichen Implementierung [1]. Daher wird in der Forschung an Lösungskonzepten gearbeitet, bei denen die Interessenvertreter*innen

(englisch: *stakeholders*) mitarbeiten.

Der Lago Laja in Chile

In Zentralchile in den Anden liegt der Lago Laja. Obwohl es sich um einen natürlichen See handelt, der durch erkaltetes Vulkangestein aufgestaut wurde, kann er wie ein Stausee genutzt werden. Seit den 1970er Jahren verbindet ein künstlicher Kanal den See mit dem Wasserkraftwerk El Toro. Neben dem Abfluss durch diesen Tunnel entweicht Wasser aus dem See, indem es durch das poröse Vulkangestein sickert. Dieses Sicker-

wasser kann nur indirekt durch den Füllstand des Sees beeinflusst werden – je höher der Füllstand, desto mehr Wasser versickert. Das Wasserkraftwerk Abanico nutzt das Sickerwasser ebenfalls zur Wasserkraftgewinnung. Unterhalb des El Toro Kraftwerkes kommen die beiden Abflüsse zusammen. Weiter flussabwärts wird Wasser abgeleitet, um landwirtschaftliche Anbauflächen zu bewässern. Dort befinden sich auch die Laja-Wasserfälle, eine wichtige touristische Attraktion Chiles. Damit die Wasserfälle aufrechterhalten werden können, muss ein kontinuierlicher Abfluss gewährleistet werden. Die Steuerung des Tunnels für El Toro kontrolliert also das verfügbare Wasser im gesamten Einzugsgebiet. Dementsprechend hoch sind die Konflikte darüber in der Region.

Verhandlungen um Wasserverteilung

Zwischen 2010 und 2020 erlebte Chile die längste jemals beobachtete Trockenperiode. Als diese eintrat, war der Lago Laja bereits stark übernutzt und es kam zu einer Wasserknappheit. Besonders sichtbar wurde die Wasserkrise als die Wasserfälle austrockneten. Das war ein Wendepunkt, da dieses Bild das Bewusstsein für den Umgang mit der Ressource Wasser schärfte. Die Bevölkerung forderte, für eine nachhaltigere Nutzung die Steuerung des Sees neu zu verhandeln. Erstmals sollten auch Interessengruppen berücksichtigt werden, die keine eigenen Wasserrechte besitzen. In diesem Fall war es der Tourismussektor rund um die Wasserfälle. Drei Jahre lang wurde zwischen den Wasserkraftbetreiber*innen, den Landwirt*innen und dem Tourismussektor sowie Vertreter*innen der Regierung über die Steuerung des Lago

Lajas verhandelt. Im Jahr 2017 wurde schlussendlich eine neue Regelung implementiert. Diese sieht vor, dass je nach Füllstand des Sees am 1. Dezember eines jeden Jahres Wasseranteile des Sees einem Sektor zugeteilt werden. Die Landwirtschaft darf jedoch nur im Sommer Wasser aus dem See entnehmen, während die Wasserkraft das Wasser ganzjährig nutzen darf [2].

Um Vertrauen und Transparenz zu schaffen und gleichzeitig die Einhaltung der neuen Regelung zu kontrollieren, publiziert die Regierung Abfluss- und Wasserstanddaten des Sees.

Der Mehrwert der Optimierung

Mit Simulationen lassen sich nicht nur verschiedene Szenarien bewerten, mithilfe von Optimierungsalgorithmen können auch faire Lösungen für Konflikte in der Wasserwirtschaft gefunden werden. Dabei ist der Optimierungsprozess ein iterativer Suchalgorithmus. So genannte evolutionäre Algorithmen schauen sich für den Suchvorgang Informationsaustausch- und Optimierungsprinzipien aus der Natur ab. Im vorliegenden Fall war es wichtig, die Differenz zwischen dem Wasserdargebot und dem Wasserbedarf der beiden Wasserkraftwerke El Toro und Abanico sowie der Landwirtschaft zu minimieren. Die Wasserkraftwerke El Toro und Abanico wurden ausgewählt, da sie gegensätzliche Interessen haben: Für El Toro ist es vorteilhaft immer möglichst viel Wasser über den Tunnel zu entlassen, damit möglichst viel Energie generiert werden kann. Umso mehr Wasser jedoch über den Tunnel entnommen wird, umso niedriger ist der Wasserstand im See und damit das Sickerwasser, was die Grundlage der Energieproduktion von Abanico ist.

Das Wasserkraftwerk El Toro kontrolliert somit das Wasserdargebot des Kraftwerks Abanico sowie der Nutzungsgruppen flussabwärts. Am Ende einer Mehrziel-Optimierung wird eine Vielzahl an Lösungen ausgegeben, auch *Pareto-optimale Front* genannt. Diese ergeben sich aus den Lösungen, bei denen jeweils der Wert eines Ziels (hier: Minimierung der Differenz zwischen Wasserdargebot und dem Wasserbedarf von El Toro/Abanico/Landwirtschaft) nicht weiter verbessert werden kann, ohne den Wert eines anderen zu verschlechtern. Mit Hilfe der Präferenzen der Nutzer*innen kann dann eine finale Lösung bestimmt werden. Oftmals wird dafür eine Rangfolge (*ranking*) berechnet. Dieses Vorgehen ermöglicht es, verschiedene optimale Szenarien zu betrachten und Unterschiede und Gemeinsamkeiten herauszuarbeiten. Beim *ranking* wurden die drei Ziele unterschiedlich gewichtet. Exemplarisch wird in diesem Artikel die beste Lösung der Pareto-optimalen Front von zwei verschiedenen Gewichtungen vorgestellt. Beim ersten Szenario wurde das Wasserkraftwerk El Toro bevorzugt ($w = 0,7$), während die anderen beide weniger Gewicht bekommen (jeweils $w = 0,15$). Beim zweiten Szenario erhält der Wasserkraftsektor 50 Prozent des Gewichts ($w = 0,25$ für beide Kraftwerke) und der Landwirtschaftssektor auch ($w = 0,5$).

Der *Abbildung 1* kann entnommen werden, dass sich vor allem in den Frühlingsmonaten Unterschiede zwischen den Strategien erkennen lassen. Dann füllt sich der Lago Laja mit Schmelzwasser aus den Bergen. Der Landwirtschaftssektor benötigt zu diesem Zeitpunkt kein Wasser. Für ihn wäre es vorteilhaft, dass Wasser im See zu speichern, damit mehr für die heißen Sommermonate zur Verfü-

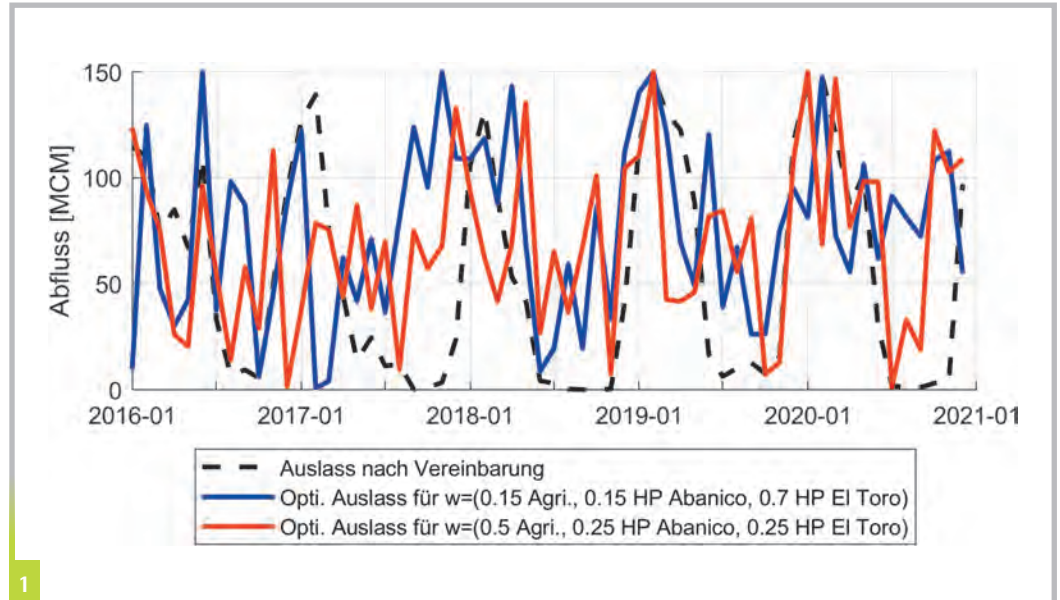


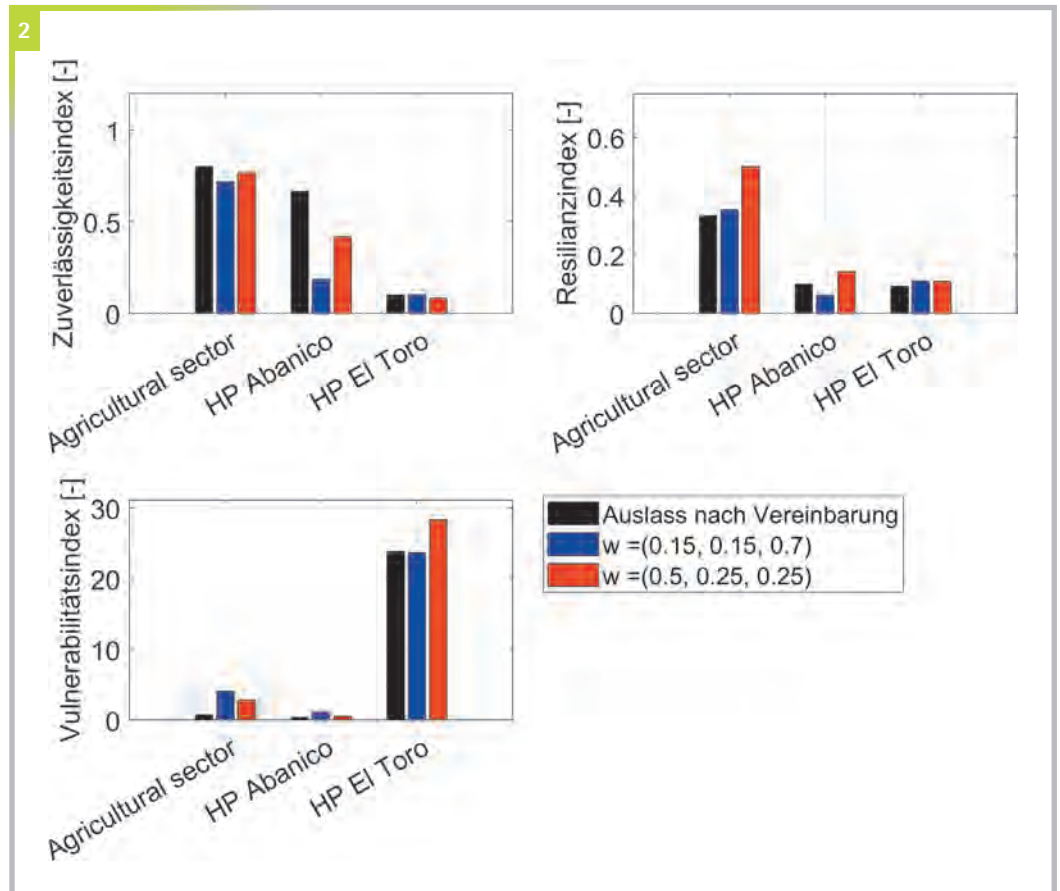
Abbildung 1
 Abflusskurven aus dem
 Lago Laja für verschiedene
 Steuerungsstrategien
 Quelle: eigene Darstellung

gung steht. Für das Wasser-
 kraftwerk Abanico wäre es
 besser, wenn generell kein
 Wasser durch den Tunnel
 entnommen wird. Jedoch ist es
 für das Wasserkraftwerk El
 Toro vorteilhaft, Wasser be-

reits in diesen Monaten zu
 entnehmen. Dies führt aber
 dann im weiteren Verlauf
 dazu, dass weniger Wasser im
 Reservoir ist und im Sommer
 der Landwirtschaft zugeteilt
 werden kann.

Als weiterer Schritt kann
 beurteilt werden, in wieweit
 die jeweilige Steuerungs-
 strategie zuverlässig Wasser
 bereitstellt und ob das System
 resilient oder vulnerabel
 ist.

Abbildung 2
 Beurteilung der Performance für
 verschiedene Interessengruppen
 und Steuerungsstrategien
 Quelle: eigene Darstellung



In *Abbildung 2* zeigt sich, dass die Verhandlungen zu einem guten Ergebnis gekommen sind. Jedoch kann die Optimierung insbesondere die Resilienz im System erhöhen. Es wird durch den Vergleich auch deutlich, dass der Landwirtschaftssektor in der getroffenen Vereinbarung gegenüber den beiden Wasserkraftwerken etwas bevorzugt wird.

Ausblick: Optimierung und Verhandlungen in der Wasserwirtschaft

Es können Simulationsmodelle mit unterschiedlichem Schwerpunkt erstellt werden und Optimierungsalgorithmen können optimale Lösungen finden. Trotzdem findet diese Technik bisher wenig Anwendung in der Praxis. Dies liegt auch am mathematisch komplexen Verfahren. Jedoch kann die Koppelung eines anspruchsvollen Optimierungsalgorithmus mit einer leicht

verständlichen ranking Methode eine gute Alternative sein. Die Optimierung birgt den Vorteil, dass sie Lösungen auch bei einer gleichzeitigen Betrachtung mehrerer Ziele finden kann. Dabei ist jedoch zu beachten, dass es schwierig ist, qualitative Ziele zu integrieren. Deshalb sollte Optimierung immer als zusätzliches Hilfsmittel und Unterstützung bei Entscheidungen herangezogen werden und nicht für sich alleine stehen.

Beim Lago Laja haben die letzten Verhandlungen drei Jahre gedauert. Aufgrund der klimatischen Änderungen kann es sein, dass die vereinbarte Regelung in der mittleren Zukunft nur noch bedingt haltbar ist. Die Nutzung moderner Techniken während der Verhandlungen kann Aushandlungsprozesse beschleunigen. Effekte für die eine oder andere Nutzungsgruppe können leicht herausgearbeitet und verschiedene Szenarien

betrachtet werden. Schlussendlich muss für eine erfolgreiche Implementierung die Regelung auch akzeptiert werden. Dies gelingt in der Regel besser, wenn die Nutzer*innen bei der Lösungsfindung beteiligt waren. Daher kann ein Optimierungs-Simulations-Modell wie hier vorgestellt eine starke Unterstützung bei der Entscheidungsfindung sein.

Literatur

- [1] Labadie, J. W. (2004). Optimal operation of multireservoir systems: State-of-the-art review. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(2), 93–111. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9496(2004)130:2(93)
- [2] Muñoz, E., Guzmán, C., Medina, Y., Boll, J., Parra, V., and Arumí, J. L. (2019). An adaptive basin management rule to improve water allocation resilience under climate variability and change – a case study in the Lake Laja Basin in southern Chile. *water*, 11(1733), 1–18. DOI: 10.3390/w11081733



Zoë Bovermann, M.Sc.

ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie. Ihre Arbeitsschwerpunkte sind Optimierung in der Wasserwirtschaft sowie die Vorhersage und das Management von hydrologischen Extremen. Kontakt: bovermann@iww.uni-hannover.de



PD Dr.-Ing. Jörg Dietrich

ist Privatdozent am Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie und leitet dort die Forschungsgruppe Wasserressourcen. Seine Arbeitsschwerpunkte sind multi-kriterielle Optimierung, Simulation und Optimierung. Kontakt: dietrich@iww.uni-hannover.de



Dr. Elahe Fallah Mehdipour

ist PostDoc am Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie. Sie beschäftigt sich mit der Simulation und Vorhersage des landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfes sowie mit Optimierungsverfahren. Kontakt: fallah@iww.uni-hannover.de