

Vergangene und zukünftige Entwicklungen der Hydrosphäre an der Westküste Südamerikas

Kay Frick, Julia Murer, Linda Schilliger, Adele Blatter, Mai Tran, Aline Wüthrich

Fragestellung: Welche Auswirkungen hatten die steigenden Temperaturen aufgrund des Klimawandels in den letzten Jahrzehnten und welche werden sie in naher Zukunft auf ausgewählte Teilbereiche der Hydrosphäre an der Westküste Südamerikas haben?

Zusammenfassung

Chile erstreckt sich fast über die ganze Westküste Südamerikas und erlebt seit 2010 eine trockene Sequenz mit mittleren Niederschlagsdefiziten von 20-40%. Dies wird als Mega Drought bezeichnet, führt zu Waldbränden und nachteiligen Auswirkungen auf Wasserverfügbarkeit und Vegetation und ist im Sommer während einer La Niña Phase (ausgeprägte Hitze) aufgrund negativer Sea-Surface-Temperature (SST)- Anomalie maximal ^{1,2}. Grundwasserstandmessungen weisen einen negativen Trend auf, welche in Zukunft mit zunehmender Trockenheit und Bevölkerungswachstum weiterhin abnehmen könnten ³. Viele der urbanen Flüsse sind bereits degradiert oder haben ihre ökologische Funktion verloren. In diesem Zustand können sie keinen Beitrag zur Wasserversorgung leisten ⁴. Zudem wird mit einem Verlust von 50-90% des frischen Grundwassers bis 2100 gerechnet ⁵. Dazu beeinflusst die Versalzung den Ionenaustausch in küstennahen Aquiferen, wobei einige auch potenziell toxische Elemente aus dem Sediment in die Lösung herausgelöst werden und die Grundwasserqualität gefährden ⁶. Grundwasser mit hohem Arsen- und Fluor-Konzentration ist in Südamerika häufig anzutreffen und wird verursacht durch chemische Verwitterung und hohen Verdunstungsraten ⁷.

Die Hydrosphäre der südamerikanischen Küste wird stark durch das El-Niño-Southern-Oscillation (ENSO)-Phänomen beeinflusst und beschreibt die ca. alle sieben Jahre auftretende Meerestemperatur-Anomalie, welche hauptsächlich im Zentral- und Ostpazifik zu beobachten und auf Änderungen von atmosphärischen & ozeanischen Strömungen zurückzuführen ist. Simulationen (CESM1-Modell) prognostizieren einen klaren Anstieg der ENSO Varianz, Regularität und Amplitude, falls die globalen Temperaturen steigen ⁸. Länder wie Peru reagieren stark auf den ENSO-Effekt und die Menschen verlieren teilweise ihre gesamte Lebensgrundlage. Ganze Populationen von Jakobsmuschelbestände können durch den Temperaturunterschied ausgelöscht und nicht mehr gefangen werden und scheinen unter den Auswirkungen auch länger zu leiden ⁹.

In den letzten Jahrzehnten wurde ein deutlich negativer Einfluss der steigenden Temperaturen beobachtet. Experimente zeigen, dass viele Extremwetterereignisse durch die Erwärmung des subtropischen Südpazifiks verursacht wurden ¹⁰. Dies wird zukünftig wahrscheinlich noch grössere Auswirkungen haben und folglich ohne eine anpassende Strategie zu erschwerten Lebensbedingungen führen ¹¹.

Teilrecherche I: Versalzung des Bodens und des Grundwassers

Julia Murer

Kurzzusammenfassung

Aufgrund mangelnder Datenlage spezifisch auf die Westküste Südamerikas werden in dieser Teilrecherche vermehrt globale Grundwassertrends untersucht. Ein in Zukunft fortschreitendes Problem für die globale Bevölkerung wird die steigende Salinität im Grundwasser sein. Durch Übernutzung von Grundwasserressourcen kann es zu Salzwasserstörungen in Aquiferen kommen¹². Steigende Wassertemperatur und steigender Meeresspiegel führen zu einer landeinwärts Bewegung der Schnittfläche von frischem und salzigem Grundwasser¹³. Auch wird in Zukunft die Grundwasserneubildung in Küstengebieten gehemmt⁵, was in Zusammenhang mit steigender Salinität eine Veränderung der küstennahen Vegetation zur Folge hat¹⁴. Die Salinität des Grundwassers und des Bodens wird aber nicht nur von klimatischen Faktoren geleitet, sondern kann auch durch die Vegetation und Bodenbewirtschaftung verändert werden¹⁵.

Present state and future prospects for groundwater ecosystems¹²

Genereller Überblick über aktuelle Grundwasserlage (2003), Überblick über Veränderungen der Grundwassermenge und -qualität und deren Auswirkungen auf Menschen und Ökologie, mögliche Antworten auf die Wasserkrise; Review-Paper; Versalzung des Grundwassers gefährdet ein Viertel der globalen Landmasse; durch Übernutzung von Grundwasser kann es zu Salzwasserstörung von Aquiferen kommen.

Global scale evaluation of costal fresh groundwater resources⁵

Analyse globaler küstennahen Grundwasserressourcen; Methode: sharp interface concept und Schätzungen zu Grundwasserneubildung; Verlust von frischem Grundwasser durch Landnutzung und Versalzung und dessen Bedeutung für Gesellschaften; vor allem an Westküste Lateinamerikas wird mit bis zu 92.1% Verlust von frischem Grundwasser bis 2100 gerechnet; 50% - 90% Verlust wird an der übrigen Westküste Südamerikas erwartet; Bevölkerung an der Westküste Südamerikas wird wenig bis mittel stark von Grundwasserverlust betroffen sein, da keine grosse Bevölkerungsdichte vorhanden.

Regional patterns and controls of ecosystem salinization with grassland afforestation along a rainfall gradient¹⁵

Boden- und Grundwasserversalzung aufgrund Baumplantagen; Methoden: Messungen in Rio de la Plata und Remote Sensing; Baumplantagen verursachen stärkere Salinität des Bodens und sind jährlichen klimatischen Schwankungen stärker ausgesetzt; Vegetationswechsel kann zu Senkung des Grundwasserspiegels und somit zu Anreicherungen von Salz in Grundwasser und Boden führen.

Decadal-Scale vegetation change driven by salinity at leading edge of rising sea level¹⁴

Einfluss von Salinität des Bodens und Meeresspiegelanstieg auf küstennahe Vegetation; Langzeitstudie; Salinität im Boden beeinflusst Vegetation mehr als Meeresspiegelanstieg; Setzlinge leiden am Stärksten unter erhöhter Salzkonzentration.

Land-Ocean-Atmosphere influences on groundwater variability in the South Atlantic-Gulf region¹³

Untersucht Zusammenhang zwischen Grundwasser, Niederschlag und Meeresspiegel und Einfluss von Klimaveränderungen auf Link zwischen Meeresspiegel und Grundwasser; Meeresspiegelmessungen und Grundwasserspiegelmessungen in Florida und Modellierung (GRACE); Meeresoberflächentemperatur, Meeresspiegelanstieg und Niederschlag haben signifikanten Einfluss auf GW-Speicherung; ENSO-Phänomen widerspiegelt sich auch in GW-Schwankungen.

Teilrecherche II: Veränderungen und Auswirkungen der Spurenelemente-Zusammensetzung im Grundwasser

Adele Blatter

Kurzzusammenfassung

Eine der Folgen des Temperaturanstiegs durch den Klimawandel ist die Versalzung des küstennahen Grundwassers, was wiederum den Ionenaustausch beeinflusst, wobei einige Elemente in diesen Aquiferen aus dem Sediment in die Lösung mobilisiert und andere aus der Lösung entfernt werden. Dies ist ein Problem für die Grundwasserqualität, da potenziell toxische Elemente in Lösung mobilisiert werden⁶. Grundwasser mit hohen Arsen (As)- und Fluor (F)-Konzentrationen ist in ariden und semiariden Gebieten häufig anzutreffen und resultiert aus dem kombinierten Effekt von chemischer Verwitterung und hohen Verdunstungsraten. Ein hoher Salzgehalt verschiebt den pH-Wert zu alkalischen Werten, die der Desorption von As und F aus den Ausgangsmaterialien förderlich sind⁷. Wasser-Gestein-Wechselwirkungen sowie anthropogene Aktivitäten führen zum Vorhandensein oder Fehlen bestimmter gelöster Ionen im Grundwasser¹⁶. Grundwasser in Western Amazonien (Peru) hat Konzentrationen von Arsen (As), Mangan (Mn) und Aluminium (Al), die für die menschliche Gesundheit bedenklich sind¹⁷. Grundwasser in Meeresnähe von Ecuador hat Abwasser Infiltrationen von anthropischen Aktivitäten und zeigt Meerwasserintrusion an¹⁸.

Dynamics of major and trace elements during seawater intrusion in a coastal sedimentary aquifer impacted by anthropogenic activities⁶

Verhalten Spurenelementen von küstennahen Aquiferen (Versalzungsprozessen ausgesetzt); Probenahme, Laboranalyse, statistische Auswertung; signifikant höhere Konzentrationen solche Spurenelemente im küstennahen Aquifer (höherer Salzgehalt) im Vergleich zu Anreicherungsgebieten (Süßwasser).

Co-occurrence of arsenic and fluoride in groundwater of semi-arid regions in Latin America: Genesis, mobility and remediation⁷

Überblick über das gemeinsame Vorkommen von As und F in Trinkwasserquellen aus Mexiko, Argentinien und Chile; Vorstellung der Ergebnisse verschiedener Studien; Herkunft von As und F sind geogen und hoher Salzgehalt ist förderlich für die Desorption von As und F.

Groundwater resources and recharge processes in the Western Andean Front of Central Chile¹⁶

Regionale hydrogeologische konzeptionelle Modelle; Probenahme und Analyse, Ionenextraktion, statistische Auswertung; Gelöste Ionen durch Auflösung von Silikaten, Wasser-Gestein-Wechselwirkungen und Landwirtschaft. Arsen (As) und Nitrate (NO₃) Konzentrationsgrenzen.

Arsenic, manganese and aluminum contamination in groundwater resources of Western Amazonia (Peru)¹⁷

Untersuchung der Grundwasserqualität in West Amazonien; Probenahme, chemische Analyse, Gruppierung; Arsen (As), Mangan (Mn) und Aluminium (Al) in Konzentrationen nachgewiesen, die für die menschliche Gesundheit bedenklich sind.

Hydrochemical and Isotopic Characterization of the Waters of the Manglaralto River Basin (Ecuador) to Contribute to the Management of the Coastal Aquifer¹⁸

Grundwasser im Küsten-Aquifer mit Hilfe von Hydrochemie und stabilen Isotopen zu charakterisieren; Feldarbeit, Laboranalyse; Grundwasser in Meeresnähe: anthropische Aktivität (Abwasser infiltriert), Ca-Cl zeigt das Vorhandensein von Meerwasserintrusion an (Trockenzeit, Pumpenentnahme, Versalzung).

Teilrecherche III: Wasserversorgung der Bevölkerung

Kay Frick

Kurzzusammenfassung

Die Frischwasserversorgung in Südamerika zu untersuchen, gestaltet sich als schwierig, vor allem, weil nur begrenzte englische Literatur zur Verfügung steht. Der Druck auf die Grundwasserversorgung ist bereits heutzutage beachtlich und eine Grosszahl der Aquifere weisen einen negativen Trend auf³. Um die grossen Aquifere genauer zu untersuchen, wurden numerische Modelle verwendet, welche neue Aufschlüsse zum Guarani-Aquifer liefern¹⁹. Auch die urbanen Flüsse können eine wichtige Rolle in der Frischwasserversorgung von Städten spielen, sofern diese ausreichend vor anthropogenen Einflüssen geschützt sind⁴. Die Anden spielen eine wichtige Rolle in den hydrologischen Zyklen und im Abflussregime der Flüsse. Ein besseres Verständnis sollte Aufschlüsse über die Wasserversorgung unter veränderten klimatischen Bedingungen liefern²⁰. Bereits heute ist der Einfluss des Menschen nachweisbar und meistens ist er schädigend. Es werden Ansätze benötigt, um die Gesellschaft und Wirtschaft nachhaltiger zu gestalten²¹.

Groundwater level trends and recharge event characterization using historical observed data in semi-arid Chile³

Eine Vielzahl von Grundwasserständen wurde untersucht und eine Zeitreihe von 1969 bis 2015 betrachtet. Dabei wollte man vor allem Aussage über die zeitlichen und räumlichen Veränderungen machen. Trend Analysen zeigen, dass 80% der 73 Bohrlöcher einen negativen Trend aufweisen ohne nachweisbaren Link zur Niederschlagsmenge.

Conceptual and numerical modeling approach of the Guarani Aquifer System¹⁹

Grosse Aquifere werden nach wie vor stark genutzt und werden zukünftig einem noch stärkeren Druck unterliegen, da die Nachfrage von Landwirtschaft, Industrie und Bevölkerung nicht abnehmen. Weitere Untersuchungen zeigten, dass die aktuelle Grundwassernutzung des Guarani Aquifers nicht die regionale Einspeisung übersteigt. Auf lokaler Ebene mit hoher Populationsdichte und wachsender Bevölkerung könnte die Situation umgekehrt sein.

Urban streams in Latin America: Current conditions and research needs⁴

Grossangelegte Umfragen in Südamerika unter Professoren, Wissenschaftlern und Studenten kamen zum Schluss, dass die urbanen Flüsse stark degradiert sind. Über 60% der Antworten belegten Einflüsse von Abwasser- und anderen chemischen Spuren. Wobei über 20% des Abwassers ungereinigt in die Flüsse eingeleitet wird. Auch der Niederschlagsabfluss ist kaum geregelt. Einer Umfrage unter der Bevölkerung zufolge werden die Flüsse hauptsächlich als Mittel zur Abfallentsorgung angesehen, weniger als 10% sahen darin einen Wasserquelle.

Development and Validation of a Model to Evaluate the Water Resources of a Natural Protected Area as a Provider of Ecosystem Services in a Mountain Basin in Southern Chile²⁰

Untersucht wurden die Wasserressourcen im Conguillío Nationalpark in den Anden. Dabei wurde der Wasserkonsum der verschiedenen Sektoren und die hydrologischen Zyklen betrachtet. Das Abflussregime ist dem Alpenen sehr ähnlich. Der grösste Nutzer ist der Landwirtschaftssektor. Der Klimawandel wird einen signifikanten Einfluss auf Chile haben und man rechnet mit Niederschlagsrückgängen von 20-50%, diese würde den Druck auf diese Wasserreservoirs verstärken. Das Verständnis dieser Systeme hilft langfristige Lösungen zu gestalten.

Planting Waterscapes: Green Infrastructures, Landscape and Hydrological Modeling for the Future of Santa Cruz de la Sierra, Bolivia²¹

Das Wachstum von Städten ist ein kritischer Einfluss für die Zukunft unseres Planeten und Wasser ist dabei die wichtigste Ressource. Santa Cruz bezieht sein Wasser hauptsächlich vom Piraí Fluss und

diese Quelle ist nicht ausreichend, um dieser schnell wachsenden Stadt gerecht zu werden. Dabei wurden verschiedene Szenarien untersucht, welche sich in ihrer Umsetzung und Erfolg unterscheiden. Dabei wurde mit der Implementation von Grünerer Infrastruktur, Agroforstwirtschaft und Aufgrünung («regreening») gearbeitet.

Teilrecherche IV: Wirtschaftliche Folgen für die Bevölkerung (Fischerei etc.)

Aline Wüthrich

Kurzzusammenfassung

Die handwerkliche Meeresfischerei leistet einen wichtigen Beitrag zur Ernährungssicherheit, zum Lebensunterhalt, zu Arbeitsplätzen und zum Einkommen in Küstengemeinden weltweit¹¹. An der Westküste Südamerikas besteht eine starke Variabilität im Zusammenhang mit ENSO und dem Klimawandel. Aufgrund des El Niños sind Provinzen in Peru wie Sechura, Ica und Huaura stark betroffen und nach einem Ereignis sind meist Überschwemmungen und das Fehlen von Entwässerungssystemen das Problem, die eine nationale Teilnahme an Märkten verhindern^{9,22,23}. Zudem verändern die hohe Nachfrage und das tiefe Angebot in spezifischen Sektoren den Preis und bringen Populationen auf ein Niveau nahe dem Aussterben. Auch La Niña wird in manchen Ländern wie Kolumbien strategisch zur Herausforderung²⁴. Frühwarnsysteme würden in vielen Provinzen bereits eine grosse Hilfe darstellen. Zudem müssen aufgrund Vulnerabilitätsanalysen prioritäre Handlungsbereiche identifiziert und Anpassungsstrategien entwickelt werden, um zukünftige Ereignisse besser bewältigen zu können^{23,24}.

Coping with abrupt environmental change: The impact of the coastal El Niño 2017 on artisanal fisheries and mariculture in North Peru⁹

Untersucht Auswirkungen von El Niño (Februar & März 2017) auf Sechura, Peru auf die handwerkliche Fischerei und Aquakultur von Jakobsmuscheln (ziehen Menschen aus der Umgebung an. Schaffen viele Arbeitsplätze). Datenerhebung zwischen September 2017 und Januar 2018 mit Mixed-Methods-Ansatz (Analyse verschiedener schriftlichen Quellen, Fragebögen). Bewertung vor und nach dem Ereignis. Das Ereignis wurde als intensiv beschrieben. Aufgrund Überschwemmungen und fehlender Entwässerungssysteme waren keine nationalen Märkte möglich. Keine staatliche Unterstützung. Die Abschätzungen der Auswirkungen werden eine Grundlage für die Entwicklung von Managementstrategien bilden. Jakobsmuschelsektor scheint unter den Auswirkungen länger zu leiden. Population durch El Niño komplett ausgestorben.

El Niño Southern Oscillation driven fluctuation in the availability and abundance of artisanal fishery resources in Ica, Peru²²

Untersucht Beeinflussung durch ENSO auf die handwerkliche Fischerei in Ica, Peru. ENSO veränderte die Reichhaltigkeit der Fischereiressourcen bis zu zwei Jahre nach dem Ereignis. Fischarten sind nicht alle gleich betroffen. Fünf Arten wurden ausgewählt, die eine Bedeutung für den Fischfang darstellten. Das Modell weist darauf hin, dass die relative Bedeutung von ENSO als Umwelttreiber artspezifisch ist. Täglichen Daten der handwerklichen Fischerei zwischen 2004 und 2013 von Instituto del Mar del Peru zur Verfügung gestellt. Diese Information können genutzt werden, um Managementstrategien für kommerziell wichtige Arten im Südpazifik zu entwickeln und über die Auswirkungen von Klimaschwankungen auf die handwerkliche Fischerei zu informieren.

Current and future socio-ecological vulnerability and adaptation of artisanal fisheries communities in Peru, the case of the Huaura province²³

Wird die lokale Verwundbarkeit der Provinz Huaura, Peru untersucht, wo sich drei Fischergemeinden (Carguin, Huacho, Vegueta) mit sehr unterschiedlichen sozioökonomischen Merkmalen denselben Fischgrund teilen. Um Hauptverwundbarkeit zu ermitteln, wurde die ökologische und sozioökonomische Verwundbarkeit anhand von stattdlichen und lokal Informationen bewertet. Die Analyse wird im jetzigen Zeitpunkt und unter zwei zukünftigen Szenarien angeschaut. Vulnerabilität als Funktion von drei Komponenten: Exposition, Sensitivität und Anpassungsfähigkeit. Vulnerabilitätsanalysen sind ein Werkzeug um soziale, ökologische und ökonomische Informationen zu erfassen und zu analysieren. Diese Informationen sind für die Meeresfischerei relevant und identifizieren prioritäre Handlungsbereiche und Anpassungsstrategien.

Impact of the 2010-2011 La Niña phenomenon in Colombia, South America: The human toll of an extreme weather event ²⁴

Das Phänomen La Niña verursachte wirtschaftliche Verluste in Höhe von ca. 7.8 Mrd. US\$, die mit der Zerstörung der Infrastruktur, der Überflutung von landwirtschaftlichen Flächen und der Zahlung von staatlichen Subventionen zusammenhingen. Studie untersucht räumliche Muster der ENSO-Effekte auf menschliche Bevölkerung in Kolumbien und Beziehung zwischen solchen Mustern und physischen, geographischen und sozioökonomischen Variablen. Für räumliche Analyse wurde die Anzahl der Personen in jeder Gemeinde verwendet, die als betroffen gemeldet wurden. Stand September 2011. Vulnerabilitätsanalyse entscheidend, um zu verstehen, wie sich die Wechselwirkungen zwischen der physischen Umwelt und den Menschen über Raum und Zeit verändert.

Effects of fishing, market price and climate on two South American clam species ¹¹

Wurden die grossräumigen und langfristigen kombinierten Auswirkungen von Fischerei, Klima und wirtschaftlichen Variablen auf zwei Muschelarten untersucht, die Sandstrände im Pazifik (*Mesodesma donacium* = MD) und im Atlantik (*M. mactroides* = MM) in Südamerika bewohnen. Nachhaltigkeit in Muschelfischerei schwer zu erreichen. Viele überbeansprucht oder erschöpft. Peruanische Anlandung stark von ENSO-Ereignissen beeinflusst. Variierten je nach Breitengrad. Stetiger Preisanstieg bei niedrigen Anlandungen beschleunigte Veränderungen in der Ressourcennutzung, die durch Profit motiviert sind. Frühzeitige Warnungen können Informationen liefern, die den Menschen helfen, Sandstrand-Ökosystem zu managen.

Teilrecherche V: Veränderung der Luftfeuchtigkeit, Wind, klimatische Bedingungen generell – Auswirkungen auf Lebensqualität der Menschen

Mai Tran

Kurzzusammenfassung

Projektionen der Messung zeigen einen Temperaturanstieg überall in Chile (2001-2015) ²⁵. Chile erlebt eine Trockenheitsphase mit mittleren Niederschlagsdefiziten von 20-40% seit 2010. Diese wird als Mega Drought (MD) bezeichnet und ist das längste registrierte Ereignis mit negativen Auswirkungen auf die Wasserverfügbarkeit, Vegetation und Waldbrände, was ebenso soziale Auswirkungen hat und zu wirtschaftlichem Leid führt ². Es gibt Experimente, die zeigen, dass viele atmosphärische Anomalien durch die Erwärmung des subtropischen Südwestpazifiks verursacht wurden. Und dass diese Erwärmung Rossby-Wellen fördert, was zu trockenen Bedingungen in Zentralchile führt ¹⁰. In Ecuador wird gezeigt, dass Feuchtigkeit und Wind durch den Wechsel der Jahreszeiten beeinflusst werden. Somit hat der östliche Pazifik einen deutlichen Einfluss auf die Niederschläge in der Küstenregion und in den westlichen Anden. Während die östlichen Anden und die Amazonasregionen von den östlichen Winden und der Luftfeuchtigkeit beeinflusst werden, deren Quellen das Amazonasbecken und der Atlantik sind ²⁶. In Südamerika haben gewisse Isotope des Niederschlags einen Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit über dem Südostpazifik gezeigt, was eine Hauptdampfquelle für lokale Niederschläge darstellt ²⁷.

Investigating late Holocene variations in hydroclimate and the stable isotope composition of precipitation using southern South America peatlands: An hypothesis ²⁷

Hochmoorgebiete bieten ein ideales Archiv für die Integration spätholozäner Aufzeichnungen von Variationen des Hydroklimas und der geschätzten stabilen Isotopenzusammensetzung des Niederschlags. Moderne Messungen der mittleren monatlichen Oberflächenlufttemperatur, des Niederschlags des späten 20. und frühen 21. Jahrhunderts. δD - und $\delta^{18}O$ -Werte im Niederschlag haben ganz unterschiedliche Trends in Reaktion auf die lokale Oberflächenlufttemperatur und die Niederschlagsmenge gezeigt. Sowie ein Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit über dem Südostpazifik was eine Hauptdampfquelle für den lokalen Niederschlag ist.

The Central Chile Mega Drought (2010-2018): A climate dynamics perspective ²

Zentralchile hat seit 2010 eine ununterbrochene Folge trockener Jahre mit mittleren Niederschlagsdefiziten von 20–40% erlebt. Die sogenannte Mega Drought (MD) ist das längste Ereignis seit Bestehen und mit wenigen Analoga in den letzten Jahrtausenden. In Zukunft wird durch die scheinbar natürlichen (ozeanischen) und anthropogenen Antriebe nur eine teilweise Erholung der Niederschläge in Zentralchile erwartet. Auswirkungen auf Bevölkerung und Zukunftsrechnungen.

If the air was cleaner, would we be happier? An economic assessment of the effects of air pollution on individual subjective well-being in Chile ¹⁰

Experimente, die zeigen, dass viele atmosphärische Anomalien durch die Erwärmung des subtropischen Südwestpazifik entstanden. Und dass diese Erwärmung die atmosphärischen Rossby Wellen fördern, welche zu trockenen Bedingungen in Zentralchile führen. Ein grosser Antrieb ist anthropogenen Ursprungs (Anstieg der Treibhausgaskonzentration und Ozonabbau in der Stratosphäre) und der damit verbundene positive Trend des Southern Annular Mode, welcher auch zur Verstärkung des südpazifischen Dipols und damit zur Intensität und Langlebigkeit des MD beiträgt.

Twenty-first century regional temperature response in Chile based on empirical-statistical downscaling ²⁵

Lokale Schätzungen der Temperaturänderung im 21. Jahrhundert. Es wurden Wetterstationsdaten der Dirección Meteorológica de Chile verwendet, um großräumige Prädiktoren für lokale

Temperaturänderungen zu identifizieren und individuelle empirisch-statistische Modelle für jede Station zu erstellen. Es gibt jedoch keinen offensichtlichen Zusammenhang zwischen der Größe der Abweichungen und der Nähe zum Meer, dem Breitengrad, der Höhe oder den Jahresmitteln im Beobachtungszeitraum (2001-2015).

Virtual control volume approach to the study of climate causal flows: Identification of humidity and wind pathways of influence on rainfall in Ecuador ²⁶

Untersucht den Einfluss umgebender Klimaprozesse auf das Kontrollvolumen Ecuador. Wie beeinflusst Feuchtigkeit und Wind den Niederschlag. Der Einfluss des Pazifischen Ozeans auf die Küste und der Einfluss des Atlantischen Ozeans auf den Amazonas konnten bestätigt werden. Somit hat der östliche Pazifik einen deutlichen Einfluss auf die Niederschläge in der Küstenregion und in den westlichen Anden. Während die östlichen Anden und die Amazonasregionen von den östlichen Winden und der Luftfeuchtigkeit beeinflusst werden, deren Quellen das Amazonasbecken und der Atlantik sind.

Teilrecherche VI: Wie hat sich das ENSO-Phänomen in dieser Zeit entwickelt, welche Gefahren können sich allenfalls daraus ergeben

Linda Schilliger

Kurzzusammenfassung

Das ENSO (El Niño Southern Oscillation) Phänomen beschreibt u.a. die aktuell ca. alle 7 Jahre auftretende Meerestemperatur-Anomalie, welche v.a. im Zentral- und Ostpazifik zu beobachten und auf Änderungen von atmosphärischen & ozeanischen Strömungen zurückzuführen ist. Es wird angenommen, dass es aufgrund des Klimawandels zukünftig mehr El Niño (warme Anomalie) als La Niña Ereignisse (kalte Anomalie) geben wird und vermehrt im Zentralpazifik - weniger im Ostpazifik auftreten werden²⁸. Die CESM1 Simulation sagt einen klaren Anstieg der ENSO-Varianz, Regularität und Amplitude vorher, wenn die globalen Temperaturen steigen⁸. ENSO könnte eine Erklärung für den globalen Meererwärmungshiatu seit 2000 sein²⁹. Bei der Frage, sich in der Atacama Wüste auf Nebel als Frischwasserquelle zu fokussieren, spielt ENSO eine vernachlässigbare Rolle³⁰. Der ENSO-Effekt auf Dürren in Chile ist im Sommer während einer La Niña Phase maximal, weil es durch die negative Meeresoberflächentemperatur-Anomalie weniger Niederschlag gibt¹.

El Niño-Southern Oscillation and its impact in the changing climate²⁸

Methode: Literaturrecherche; ENSO-Veränderung bei steigenden globalen Temperaturen?; zeigt verschiedene Teleconnection-Mechanismen auf der Erde auf und weist auf Auswirkungen hin. Durch Teleconnection kann das ENSO-Signal in andere Erdteile gelangen. Die Studie besagt, dass bislang (2018, neueste Modelle) kein Konsensus herrscht, in welche Richtung höhere Temperaturen das ENSO-Phänomen treiben (häufiger oder stärker?); ENSO-Teleconnection Muster gibt es über den ganzen Globus verteilt. Sie führen zu signifikanten Temperatur- und Niederschlagsanomalien. Schlussendlich besagt das Paper dennoch, dass die tropisch-pazifischen Meeresoberflächentemperaturen im wärmeren Klima mehr El Niño-like (kalte Anomalien) sein werden und dass es wahrscheinlich mehr CP (Central Pacific) als EP (Eastern Pacific)-Typen geben wird.

Does ENSO Regularity Increase in a Warming Climate?⁸

ENSO spielt eine wichtige Rolle in der Klimavariabilität, denn das Phänomen wird mit irregulären Oszillationen von SSTs (sea surface temperatures) im tropischen Indo-Pazifik mit Perioden im 3-7-yr range in Verbindung gebracht; ENSO-Beeinflussung durch die Klimaerwärmung? Es werden Modelle an die simulierten Perioden für Vergangenheit und Zukunft gefittet. Das verwendete Modell (CESM1) sagt einen klaren Anstieg der ENSO Varianz, Regularität und Amplitude vorher. Die tropische Variabilität wird ansteigen, wenn die Temperaturen zunehmen. Die CESM1-Simulationen zeigen, dass man bei wärmeren Klimata wahrscheinlich eine bessere Vorhersagbarkeit von ENSO-Events erhalten könnte. Dies hätte einen hohen sozialen und ökonomischen Wert.

The cause of the pause²⁹

Meerestemperaturanstieg von 1975 - 2000 um 0.5°C, seit 2000 kein Anstieg mehr (Hiatus), obwohl arktisches Eis schmilzt und Meeresspiegel ansteigen --> ENSO könnte dies erklären, weil La Niña Phasen (kalte Anomalie) viel mehr auftraten als El Niño; via atmosphärische Teleconnection beeinflusst ENSO globale Durchschnittstemperaturen, nicht nur jene im Äquatorialpazifik; La Niña macht nicht nur kälter, sondern trocknet auch aus, indem sie das Pazifischen Sturmtief polwärts verschiebt (Bsp. Dürre USA während La Niña); --> offene Frage: ist dieser Trend hin zu La Niña Resultat interner Variabilität oder auf anthropogene Emissionen zurückzuführen? Modelle sprechen eher für erstes.

ENSO Influence on Coastal Fog-Water Yield in the Atacama Desert, Chile ³⁰

Nebelwasser ist eine der wichtigsten Frischwasserressourcen in küstennaher Atacama-Wüste. Die Wüste ist auf diese Wasserversorgung angewiesen, jedoch versteht man die inter-annual Variabilität der Entstehung dieser Nebelwolken und die Abhängigkeit ihres Wassergehalts nicht. Dieses Paper untersucht dazu die Rolle von ENSO. Methoden: Nebelwasser Daten von standard fog collectors; systematische monatliche Messungen; Indizes, um den Link zu ENSO herzustellen; Erkenntnisse: ENSO bringt v.a. im Sommer viel Wasser für Nebelbildung, erklärt 79% der Nebelvariabilität. Im Winter scheint ENSO nicht signifikant, aber im Winter wird 75% allen Nebelwassers in Atacama-Wüste produziert. Schlussfolgerung: Nebel als Frischwasserquelle in Zukunft zu benutzen ist nachhaltig, aber ENSO-Variabilität kann vernachlässigt werden.

Recent trends and ENSO influence on droughts in Northern Chile: An application of the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index ¹

Nord- und Zentralchile sind sehr trocken und benötigen Wasser. Dieses Paper will unter anderem den Zusammenhang von Dürren und ENSO erklären. Methoden: SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) wird angewendet, um Trockenperioden zu identifizieren. Während El Niño Events, werden positive Niederschlagsanomalien beobachtet (La Niña --> negative). Grösster ENSO-Effekt im Zusammenhang mit Dürren wurde in Chile im Sommer beobachtet bei einer La Niña Phase, weil es dann weniger Niederschlag gibt.

Quellen

1. Meza, F. J. Recent trends and ENSO influence on droughts in Northern Chile: An application of the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Weather Clim. Extrem.* **1**, (2013).
2. Garreaud, R. D. *et al.* The Central Chile Mega Drought (2010–2018): A climate dynamics perspective. *Int. J. Climatol.* **40**, (2020).
3. MacDonell, S. *et al.* Groundwater level trends and recharge event characterization using historical observed data in semi-arid Chile. *Hydrol. Sci. J. = J. des Sci. Hydrol.* **65**, 597–609 (2020).
4. Ramirez, A. Urban streams in Latin America: Current conditions and research needs. *Rev. Biol. Trop.* **68**, S13–S28 (2020).
5. Ranjan, P., Kazama, S., Sawamoto, M. & Sana, A. Global scale evaluation of coastal fresh groundwater resources. *Ocean Coast. Manag.* **52**, (2009).
6. Mora, A., Mahlkecht, J., Ledesma-Ruiz, R., Sanford, W. E. & Lesser, L. E. Dynamics of major and trace elements during seawater intrusion in a coastal sedimentary aquifer impacted by anthropogenic activities. *J. Contam. Hydrol.* **232**, (2020).
7. Alarcón-Herrera, M. T. *et al.* Co-occurrence of arsenic and fluoride in groundwater of semi-arid regions in Latin America: Genesis, mobility and remediation. *J. Hazard. Mater.* **262**, 960–969 (2013).
8. Berner, J., Christensen, H. M. & Sardeshmukh, P. D. Does ENSO regularity increase in a warming climate? *J. Clim.* **33**, (2020).
9. Kluger, L. C., Kochalski, S., Aguirre-Velarde, A., Vivar, I. & Wolff, M. Coping with abrupt environmental change: The impact of the coastal El Niño 2017 on artisanal fisheries and mariculture in North Peru. *ICES J. Mar. Sci.* **76**, 1122–1130 (2019).
10. Ahumada, G. & Iturra, V. If the air was cleaner, would we be happier? An economic assessment of the effects of air pollution on individual subjective well-being in Chile. *J. Clean. Prod.* (2020).
11. Ortega, L., Castilla, J. C., Espino, M., Yamashiro, C. & Defeo, O. Effects of fishing, market price, and climate on two South American clam species. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **469**, 71–85 (2012).
12. Danielopol, D. L., Griebler, C., Gunatilaka, A. & Notenboom, J. Present state and future prospects for groundwater ecosystems. *Environmental Conservation* vol. 30 (2003).
13. Joshi, N., Kalra, A. & Lamb, K. W. Land–ocean–atmosphere influences on groundwater variability in the South Atlantic–Gulf Region. *Hydrology* **7**, (2020).
14. Taillie, P. J., Moorman, C. E., Poulter, B., Ardón, M. & Emanuel, R. E. Decadal-Scale Vegetation Change Driven by Salinity at Leading Edge of Rising Sea Level. *Ecosystems* **22**, (2019).
15. Noretto, M. D., Jobbágy, E. G., Tóth, T. & Jackson, R. B. Regional patterns and controls of ecosystem salinization with grassland afforestation along a rainfall gradient. *Global Biogeochem. Cycles* **22**, (2008).
16. Taucare, M., Daniele, L., Viguiet, B., Vallejos, A. & Arancibia, G. Groundwater resources and recharge processes in the Western Andean Front of Central Chile. *Sci. Total Environ.* **722**, 137824 (2020).
17. de Meyer, C. M. C. *et al.* Arsenic, manganese and aluminum contamination in groundwater resources of Western Amazonia (Peru). *Sci. Total Environ.* **607–608**, 1437–1450 (2017).
18. Carrión-Mero, P. *et al.* Hydrochemical and Isotopic Characterization of the Waters of the Manglaralto River Basin (Ecuador) to Contribute to the Management of the

- Coastal Aquifer. *Water* **13**, 537 (2021).
19. Vives, L., Gomez, A., Rodríguez, L., Vives, L. & Gomez, A. Conceptual and numerical modeling approach of the Guarani Aquifer System. *Hydrol. earth Syst. Sci.* **17**, 295–314 (2013).
 20. Fernández-Alberti, S., Abarca-del-Río, R., Bornhardt, C. & Ávila, A. Development and Validation of a Model to Evaluate the Water Resources of a Natural Protected Area as a Provider of Ecosystem Services in a Mountain Basin in Southern Chile. *Front. Earth Sci.* **8**, (2021).
 21. Castelli, G. *et al.* Planting waterscapes: Green infrastructures, landscape and hydrological modeling for the future of Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. *Forests* **8**, (2017).
 22. Adams, G. D. & Flores, D. El niño Southern Oscillation driven fluctuations in the availability and abundance of artisanal fishery resources in Ica, Peru. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* **51**, 265–272 (2016).
 23. Jara, H. J. *et al.* Current and future socio-ecological vulnerability and adaptation of artisanal fisheries communities in Peru, the case of the Huaura province. *Mar. Policy* **119**, (2020).
 24. Hoyos, N., Escobar, J., Restrepo, J. C., Arango, A. M. & Ortiz, J. C. Impact of the 2010-2011 La Niña phenomenon in Colombia, South America: The human toll of an extreme weather event. *Appl. Geogr.* **39**, 16–25 (2013).
 25. Mutz, S. G., Scherrer, S., Muceniece, I. & Ehlers, T. A. Twenty-first century regional temperature response in Chile based on empirical-statistical downscaling. *Clim. Dyn.* (2021).
 26. Vázquez-Patiño, A., Campozano, L., Ballari, D., Córdova, M. & Samaniego, E. Virtual control volume approach to the study of climate causal flows: Identification of humidity and wind pathways of influence on rainfall in Ecuador. *Atmosphere (Basel)*. **11**, (2020).
 27. Daley, T. J. *et al.* Investigating late Holocene variations in hydroclimate and the stable isotope composition of precipitation using southern South American peatlands: An hypothesis. *Clim. Past* **8**, 1457–1471 (2012).
 28. Yang, S. *et al.* El Niño-Southern Oscillation and its impact in the changing climate. *National Science Review* vol. 5 (2018).
 29. Held, I. M. The cause of the pause. *Nature* **501**, (2013).
 30. Del Río, C. *et al.* ENSO influence on coastal fog-water yield in the atacama desert, Chile. *Aerosol Air Qual. Res.* **18**, (2018).