

Ein Expertengutachten über die bahnbrechenden Forschungen von Prof. Dr. Sonia Seneviratne und ihre mögliche Anwendbarkeit auf die landwirtschaftliche und klimatische Widerstandsfähigkeit im Nordosten Oregons

CLIMATE BREAKDOWN Reports audio playlist

<https://soundcloud.com/cliff-crego/sets/climate-breakdown-reports>

Composed with **GEMINI AI...** by **Cliff CREGO** crego@picture-poems.com
VII.1.2025

LOSS?

The most insidious
of all losses is the loss
of something vitally important
for which we do not yet
have a name.

Cliff CREGO
The **WALLOWAS, OREGON**

1. Zusammenfassung

Die zunehmende Häufigkeit und Intensität von Klimaextremen wie Dürren und Hitzewellen stellt eine erhebliche Bedrohung für Ökosysteme, Landwirtschaft und menschliche Gesellschaften dar. Ein wesentlicher, oft unterschätzter Faktor in der Dynamik dieser Extremereignisse ist die Wechselwirkung zwischen dem Land und der Atmosphäre, insbesondere die Rolle der Bodenfeuchte. Die wegweisende Forschung von Prof. Dr. Sonia I. Seneviratne vom Departement für Umweltwissenschaften der ETH Zürich beleuchtet diese kritischen Zusammenhänge auf bahnbrechende Weise. Ihre Studien haben die entscheidende Bedeutung der Bodenfeuchte für die Entstehung und Verstärkung von Klimaextremen demonstriert und einen methodischen Rahmen für deren Untersuchung geschaffen.

Dieser Bericht evaluiert das Potenzial, Seneviratnes Forschungsprinzipien auf die spezifischen klimatischen und agrarwirtschaftlichen Gegebenheiten im Nordosten Oregons zu übertragen. Die Analyse zeigt, dass die Region, die sich durch Trockenfeldbau, weite Temperaturschwankungen und eine hohe Anfälligkeit für Bodenerosion auszeichnet, ideale Bedingungen für die Anwendung dieser Forschungsmethodik bietet. Das von Seneviratne mitentwickelte Schweizer Bodenfeuchte-Experiment (SwissSMEX) dient als ein bewährtes Modell für die Integration von hochpräzisen In-situ-Messungen mit großflächigen Satelliten- und Modellierungsdaten, wodurch Unsicherheiten in Klimaprognosen erheblich reduziert werden können.

Die Übertragung dieses Modells auf Oregon sollte nicht als direkter, sondern als synergetischer Prozess erfolgen, der auf den bestehenden, gut etablierten US-amerikanischen Messnetzwerken wie SNOTEL und SCAN aufbaut. Der Bericht schließt mit der Empfehlung, eine strategische Initiative im Nordosten Oregons zu starten, um ein dichtes, In-situ-basiertes Bodenfeuchte-Messnetzwerk zu etablieren. Eine solche Initiative würde nicht nur die lokale landwirtschaftliche Resilienz stärken, sondern auch die Genauigkeit von regionalen Wasserprognosen verbessern und einen wichtigen Beitrag zur nationalen und regionalen Wasserwirtschaft und Klimaanpassung leisten.

2. Einleitung: Prof. Dr. Sonia Seneviratne und die Dynamik von Land-Klima-Systemen

Prof. Dr. Sonia I. Seneviratne ist eine der führenden Klimaforscherinnen weltweit, deren Arbeit sich auf das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Land und Klima sowie auf die Ursachen und Auswirkungen von Klimaextremen konzentriert. Geboren 1974 in Lausanne, Schweiz, absolvierte sie eine umfassende akademische Ausbildung, die sie zunächst an der Universität Lausanne und später an der ETH Zürich in den Bereichen Biologie und Umweltphysik absolvierte. Ihr Masterabschluss in Umweltphysik (1999) und ihre Promotion in Klimawissenschaften (2003) erwarb sie beide an der ETH Zürich. Während dieser Zeit sammelte sie auch internationale Erfahrung als Gaststudentin am Massachusetts Institute of Technology (MIT) und als Gastforscherin am NASA/Goddard Space Flight Center in Maryland. Diese frühe Auseinandersetzung mit der amerikanischen Forschung, insbesondere bei Institutionen wie der NASA, unterstreicht die globale Relevanz und Anwendbarkeit ihrer wissenschaftlichen Fragestellungen.

Als ordentliche Professorin am Departement für Umweltwissenschaften der ETH Zürich und Leiterin des Instituts für Atmosphäre und Klima hat sie maßgeblich die Forschung in den Bereichen Land-Klima-Prozesse, Dürren, Hitzewellen und der anthropogenen Klimaveränderung vorangetrieben. Ihr methodischer Ansatz ist interdisziplinär und kombiniert anspruchsvolle Klimamodell-Experimente mit statistischer Datenanalyse, die auf Beobachtungen vom Boden und von Satelliten beruhen.

Der Einfluss ihrer Forschung geht weit über den akademischen Bereich hinaus. Prof. Seneviratne hat als Leitautorin an mehreren Berichten des Weltklimarats (IPCC) mitgewirkt, darunter am Sonderbericht über eine globale Erwärmung von $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ und am sechsten Sachstandsbericht. Ihre Nennung auf Platz 9 der "Hot List" der einflussreichsten Klimaforscher von Reuters im Jahr 2021 und ihre zahlreichen Auszeichnungen, wie die Hans-Oeschger-Medaille der Europäischen Geowissenschaftlichen Union, untermauern ihre herausragende Rolle. Diese internationale Anerkennung und ihre direkte Beteiligung an der globalen Klimapolitik beweisen, dass die von ihr entwickelten Forschungsmethoden und die daraus gewonnenen Erkenntnisse von höchster Relevanz und politischem Gewicht sind. Die Anwendung ihrer Prinzipien, die in der Schweiz verfeinert wurden, auf eine andere Region wie den Nordosten Oregons, ist daher nicht nur eine wissenschaftliche Übung, sondern ein strategischer Schritt zur Stärkung der regionalen Resilienz gegenüber dem Klimawandel.

3. Grundlagenforschung: *Der Einfluss von Bodenfeuchte auf globale und regionale Klimaextreme*

Die zentrale These der Forschung von Prof. Dr. Sonia Seneviratne ist, dass die Bodenfeuchte eine entscheidende, doch oft unterschätzte Variable ist, die die Dynamik von Wetter und Klima, insbesondere von Extremereignissen, maßgeblich beeinflusst. Die Wechselwirkungen zwischen Land und Atmosphäre finden an der unteren Grenze der Atmosphäre statt und umfassen den Austausch von Energie, Wasser und chemischen Verbindungen wie Kohlendioxid. In Regionen, in denen die Verdunstung durch die Verfügbarkeit von Bodenfeuchte begrenzt ist, spielen diese Interaktionen eine besonders wichtige Rolle für die Energie- und Wasserbilanz des Landes.

Die Forschung identifiziert einen kritischen Rückkopplungsmechanismus, die sogenannte **Bodenfeuchte-Temperatur-Rückkopplung**. Dieser Mechanismus beschreibt, wie ein initialer Temperaturanstieg, beispielsweise aufgrund der globalen Erwärmung, die atmosphärische Feuchtigkeitsnachfrage erhöht. Dies führt zu einer Austrocknung des Bodens, was wiederum die Verdunstungskühlung (den latenten Wärmestrom) verringert und die atmosphärische Erwärmung durch den sensiblen Wärmestrom verstärkt. Diese Verstärkung kann die anfängliche Temperaturerhöhung weiter antreiben, was die Entstehung und Intensität von Hitzewellen und Dürren signifikant erhöht.

Zusätzlich zu dieser thermischen Rückkopplung beeinflussen Änderungen in der Bodenfeuchte auch Niederschlagsmuster, indem sie die Feuchtigkeitszufuhr in die Atmosphäre modifizieren und damit die Wahrscheinlichkeit von Regenereignissen verändern. Seneviratne und ihre Kollegen haben gezeigt, dass die Unsicherheiten in globalen Klimamodellen (GCMs) bei der Projektion von Temperaturextremen in Mitteleuropa um etwa 20% gesenkt werden können, wenn die Modelle mit beobachteten Daten über die Wechselwirkungen zwischen Bodenfeuchte und Temperatur "eingeschränkt" werden. Dieses Erkenntnis ist von entscheidender Bedeutung:

Sie zeigt, dass die Verbesserung der Datenbasis die Präzision von lokalen Prognosen erheblich steigern kann, was für eine gezielte regionale Klimaanpassung unerlässlich ist.

Diese Rückkopplungsmechanismen sind in sogenannten **Übergangsklimazonen** am stärksten ausgeprägt. Diese Zonen liegen typischerweise zwischen ariden und feuchten Regionen und sind durch eine zeitweise, aber nicht permanente, Wasserknappheit gekennzeichnet, bei der die Verdunstung durch die Bodenfeuchte begrenzt ist. Diese wissenschaftliche Einsicht liefert eine direkte Begründung für die Anwendbarkeit in bestimmten geografischen Regionen. Da Regionen wie der Nordosten Oregons durch ihre ariden bis semi-ariden Bedingungen per Definition wasserlimitiert sind, stellen sie ein klassisches Beispiel für eine solche Übergangszone dar. Die Erkenntnis, dass genau hier der stärkste Effekt auftritt, verleiht der Anwendung der von Seneviratne entwickelten Forschungsmethoden eine hohe wissenschaftliche Dringlichkeit und einen potenziell hohen Nutzen.

4. Fallstudie: *Das Schweizer Bodenfeuchte-Experiment (SwissSMEX) Netzwerk*

Das Schweizer Bodenfeuchte-Experiment (SwissSMEX) ist ein Forschungsprojekt, das von der ETH Zürich geleitet und von Prof. Seneviratne mitgestaltet wurde. Das Netzwerk wurde zwischen 2008 und 2010 installiert und dient als wegweisendes Beispiel für ein regionales In-situ-Messsystem, das speziell zur Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Bodenfeuchte, Vegetation und Klima konzipiert wurde.

Das Netzwerk besteht aus 12 aktiven Graslandstationen, die über das Schweizer Mittelland verteilt sind. An diesen Standorten werden In-situ-Sensoren eingesetzt, um den volumetrischen Bodenwassergehalt in verschiedenen Tiefen des Bodenprofils zu messen. Besonders relevant ist die Messung bis zu einer Tiefe von 50 cm, die als entscheidender Indikator für die im Wurzelbereich der Pflanzen verfügbare Wassermenge dient. Die gesammelten Datenreihen erstrecken sich über 15 Jahre und sind für die Erforschung langfristiger klimatischer Trends von unschätzbarem Wert.

Die Auswertung der SwissSMEX-Daten hat bereits wichtige Erkenntnisse geliefert. So zeigen die Messungen einen zunehmenden Trend zur sommerlichen Bodenaustrocknung in der Schweiz. Ein besonders wichtiger Befund für die Übertragbarkeit der Methode ist die hohe Übereinstimmung der SwissSMEX-Daten mit unabhängigen, großflächigen Datensätzen. Die In-situ-Messungen korrelieren sehr gut mit dem ERA5-Land-Reanalyseprodukt und den Satellitendaten der European Space Agency (ESA) Climate Change Initiative, mit Korrelationskoeffizienten von 0.85 oder höher. Dies beweist die Machbarkeit eines Multi-Sensor-Ansatzes, bei dem präzise, aber punktuelle In-situ-Messungen als "Ground Truth" dienen, um die Genauigkeit von großflächigen, aber weniger detaillierten, Satelliten- und Reanalysedaten zu validieren und zu verbessern. Ein solches Netzwerk wird damit zu einem strategischen Gut für die gesamte regionale Dürre- und Wasserwirtschaft.

Ein weiterer entscheidender Aspekt, der aus dem SwissSMEX-Projekt hervorgeht, ist die Notwendigkeit von langfristigen Datenreihen. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass die 15 Jahre an gesammelten Daten in vielen Fällen noch nicht ausreichen, um statistisch signifikante

Trends robust zu belegen. Dies unterstreicht, dass der Aufbau eines solchen Netzwerks eine langfristige, strategische Investition sein muss, die über mindestens ein Jahrzehnt hinweg kontinuierlich finanziert und betrieben wird, um robuste und belastbare Daten für nachhaltige Managemententscheidungen zu generieren.

5. Komparative Analyse: Klimatische und hydrologische Bedingungen im Nordosten Oregons

Der Nordosten Oregons, geografisch als Klimazone 8 definiert, umfasst die Countys Wallowa, Baker und Union sowie Teile von Umatilla und Grant. Die Region ist durch eine vielfältige Topografie mit ausgedehnten Tälern und Gebirgsketten gekennzeichnet, die zu einem kontinentalen Klima mit großen jährlichen Temperaturschwankungen führen. In den Tälern liegen die durchschnittlichen Jahrestemperaturen in den Sommermonaten bei über 27°C (80°F), mit kühlen Nächten, die einen Durchschnitt von $4,4^{\circ}\text{C}$ (40°F) aufweisen. Der Niederschlag ist in den Tälern mit durchschnittlich unter 20 Zoll pro Jahr spärlich, während er in höheren Lagen, wie in den Wallowa Mountains, über 100 Zoll pro Jahr erreichen kann, größtenteils in Form von Schnee.

Die landwirtschaftlichen und bodenbezogenen Herausforderungen in der Region sind beträchtlich. Der Trockenfeldbau, insbesondere der Anbau von Weizen und Gerste, ist weit verbreitet. Landwirte stehen vor Problemen wie Bodenerosion, die den organischen Anteil des Bodens von ehemals 3-4% auf 1-2% reduziert hat. Dieser Verlust an organischem Material hat direkte Konsequenzen für die Wasserhaltekapazität des Bodens, da Humus wie ein Schwamm wirkt, der Wasser speichert. Ein geringerer organischer Anteil führt zu einer geringeren Wasserretention, was die Anfälligkeit der Böden für Austrocknung erhöht und landwirtschaftliche Erträge gefährdet. Invasive Unkräuter wie die Russische Distel verschlimmern das Problem, da sie um die begrenzte Bodenfeuchte konkurrieren.

Die Bodentypen im Nordosten Oregons sind so vielfältig wie seine Topografie. Während der Staat offiziell den Jory-Boden als „State Soil“ benannt hat, der für seine hohe Ton- und Eisenkonzentration bekannt ist, dominieren im Osten des Bundesstaates andere Gegebenheiten. Die Böden in Zentral- und Ost-Oregon werden oft als grobkörnig und sandig beschrieben, mit geringer Wasserspeicherkapazität. Dennoch gibt es in den Tälern auch fruchtbare alluvionale Böden. Diese Bodenvielfalt erfordert ein differenziertes Messkonzept. Die klimatischen Bedingungen im Nordosten Oregons positionieren die Region als einen idealen Kandidaten für die Anwendung der von Seneviratne erforschten Prinzipien. Die ariden bis semi-ariden Bedingungen, die großen Temperaturschwankungen und die Wasserknappheit machen sie zu einer klassischen "Übergangsklimazone". Hier sind die von Seneviratne beschriebenen Rückkopplungsmechanismen zwischen Bodenfeuchte und Temperatur besonders relevant und beeinflussen die Häufigkeit und Schwere von Dürren und Hitzewellen maßgeblich.

Vergleichsmerkmale



Schweizer Hochebene
(SwissSMEX)



Nordost-Oregon



Klimaregime:

feucht, mit gelegentlichem Übergang semi-arid bis kontinental



Hochebene, Hügel

Topografie:



Flachland, Gebirge



> 1000 mm

Jahresniederschlag:

< 500 mm



lehmhaltig

Bodentypen:

sandig



Bodenaustrocknung



Bodenerosion

Tabelle 1: Klimatische und bodenbezogene Eigenschaften im Vergleich: Schweizer Hochebene vs. Nordost-Oregon

6. Potenzielle Anwendbarkeit des SwissSMEX-Modells im Nordosten Oregons

Die Übertragung der SwissSMEX-Prinzipien auf den Nordosten Oregons bietet eine strategische Möglichkeit, die Klimaresilienz der Region zu stärken. Die Prinzipien, die aus der SwissSMEX-Fallstudie abgeleitet werden, sind nicht an einen spezifischen geografischen Standort gebunden, sondern sind universell anwendbar. Sie umfassen die Notwendigkeit von hochpräzisen In-situ-Messungen als "Ground Truth" für regionale Klimamodelle, einen Multi-Sensor-Ansatz zur Erfassung unterschiedlicher Bodentypen und topografischer Bedingungen sowie die Nutzung von lokalen Daten zur Kalibrierung und Verbesserung der Genauigkeit von großflächigen Satelliten- und Reanalysedaten.

Eine wesentliche Herausforderung ist der geographische Maßstab. Während die Schweiz ein relativ kleines, dicht besiedeltes Land ist, erstreckt sich der Nordosten Oregons über eine viel größere, dünn besiedelte Fläche. Eine direkte, flächendeckende Umsetzung eines dichten Netzwerks wäre unpraktisch und teuer. Die Lösung liegt in einer synergetischen Herangehensweise, die auf bestehenden US-amerikanischen Infrastrukturen aufbaut.

Die USA verfügen bereits über eine Reihe von Bodenfeuchte- und Klimamessnetzwerken, darunter das SNOTEL-Netzwerk (Snow Telemetry), das Soil Climate Analysis Network (SCAN) sowie Satellitensysteme wie NASA SPoRT-LIS und GRACE. SNOTEL, das ursprünglich für die Schneemessung und Wasserprognose im Westen der USA entwickelt wurde, hat seit den späten 1990er Jahren begonnen,

Bodenfeuchtesensoren zu integrieren. Deren Daten sind von hoher Qualität und werden stündlich zur Verfügung gestellt. Ein entscheidender Befund ist jedoch, dass die kumulierte historische Datenmenge noch nicht ausreicht, um die Bodenfeuchte offiziell in die Prognosemodelle einzubeziehen.

Hier zeigt sich das größte Potenzial für eine strategische Zusammenarbeit. Das SwissSMEX-Modell, das die Notwendigkeit robuster, langfristiger Datenreihen demonstriert, könnte direkt dazu beitragen, diese Datenlücke zu schließen. Die Integration von Bodenfeuchtebeobachtungen in Abflussprognosen hat nachweislich die Genauigkeit der Vorhersagen verbessert. Eine gezielte Initiative im Nordosten Oregons, die nach den Prinzipien von Seneviratnes Forschung hochwertige In-situ-Daten sammelt, könnte die notwendige Grundlage schaffen, um die Integration von Bodenfeuchte in die offiziellen SNOTEL-Prognosen zu beschleunigen.

Für die praktische Umsetzung wird ein Pilotprojekt vorgeschlagen. Dieses Pilotnetzwerk sollte an ausgewählten Standorten eingerichtet werden, die die topografische und landwirtschaftliche Vielfalt der Region repräsentieren – von Trockenfeldbauflächen und bewaldeten Gebieten bis hin zu Tälern mit Bewässerungslandwirtschaft. Die Einrichtung eines solchen Netzwerks würde eine interinstitutionelle Partnerschaft erfordern, an der Bundesbehörden wie der USDA Natural Resources Conservation Service (NRCS) und lokale Forschungseinrichtungen wie das Oregon Climate Change Research Institute (OCCRI) beteiligt sind. Solch eine Zusammenarbeit würde

nicht nur die wissenschaftliche Fundierung des Projekts sichern, sondern auch dessen Relevanz für landwirtschaftliche Praktiken und politische Entscheidungsträger gewährleisten.

System	Messmethode	Räumliche Abdeckung	Primärer Fokus	Schlüsselstärke	Einschränkung
SwissSMEX	In-situ (Sensoren)	12 Stationen, Schweizer Hochebene	Grundlagenforschung, Klimadynamik	Hohe Präzision, dient als "Ground Truth"	Begrenzte geografische Abdeckung; benötigt 10+ Jahre für Trends
SNOTEL	In-situ (HydraProbe-Sensoren)	>800 Stationen, Westliche USA	Schnee-, Wasser- und Abflussprognosen	Weitreichende etablierte Infrastruktur; hohe Datenqualität	Unzureichende Langzeit-Bodenfeuchtedaten für offizielle Prognosen
GRACE	Satellit (Fernerkundung)	Global	Terrestrielle Wasserspeicherung, globale Dürreindizes	Großflächige Abdeckung; erfasst Gesamtwassersäule	Grobe räumliche Auflösung; weniger geeignet für detaillierte lokale Analysen
SPoRT-LIS	Modell (Datenassimilation)	Regionale Abdeckung, US-zentriert	Wetter- und Dürreprognosen	Hohe räumliche Auflösung (3 km); tägliche Aktualisierung	Modell-basiert; muss durch In-situ-Daten validiert werden

Tabelle 2: Funktionsvergleich: SwissSMEX und bestehende US-Bodenfeuchtemesssysteme

7. Schlussfolgerung und Ausblick

Die Forschung von Prof. Dr. Sonia Seneviratne bietet eine fundierte Erklärung für die Entstehung von Klimaextremen in wasserlimitierten Regionen und stellt eine bewährte methodische Blaupause zur Bewältigung dieser Herausforderungen dar. Die von ihr mitentwickelten Prinzipien des SwissSMEX-Netzwerks, insbesondere die komplementäre Nutzung von hochpräzisen In-situ-Messungen zur Validierung von Satelliten- und Modellierungsdaten, haben sich als äußerst wirksam erwiesen.

Die vorliegende Analyse hat dargelegt, dass die klimatischen und agrarwirtschaftlichen Bedingungen im Nordosten Oregons die Region zu einem idealen Kandidaten für die Anwendung dieser Prinzipien machen. Die Region leidet unter den genau jenen Bedingungen – Trockenheit, hohe Temperaturschwankungen und Boden degradation – die die von Seneviratne identifizierten Rückkopplungsmechanismen verstärken. Ein strategisches Bodenfeuchte-Messnetzwerk, das als Erweiterung und Stärkung der bestehenden US-Infrastruktur konzipiert ist, könnte entscheidende, fehlende Daten liefern. Dies würde nicht

nur die Vorhersagekapazitäten für Dürren und Abflüsse verbessern, sondern auch konkrete Erkenntnisse für die Stärkung der landwirtschaftlichen Resilienz, die Verbesserung der Bodengesundheit und das nachhaltige Wassermanagement liefern. Die erfolgreiche Umsetzung eines solchen Projekts im Nordosten Oregons könnte als Modell für die Klimaanpassung in ariden und semi-ariden Regionen im ganzen Land dienen.

Works cited

1. Prof. Dr. Sonia I. Seneviratne | ETH Zurich,
<https://usys.ethz.ch/en/people/profile.sonia-seneviratne.html>
2. Sonia SENEVIRATNE | Full Professor | PhD in Atmospheric and Climate | ETH Zurich, Zürich | ETH Zürich | Department of Environmental Systems Science | Research profile - ResearchGate, <https://www.researchgate.net/profile/Sonia-Seneviratne>
3. Varying soil moisture–atmosphere feedbacks explain ... - ESD,
<https://esd.copernicus.org/articles/9/1107/2018/>
4. The Role of Land-Atmosphere Interactions for Climate Variability in Europe - ResearchGate,
https://www.researchgate.net/publication/227135114_The_Role_of_Land-Atmosphere_Interactions_for_Climate_Variability_in_Europe
5. Hot days induced by precipitation deficits at the global scale - PMC - PubMed Central,
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3411978/>
6. Sonia Seneviratne - SNSF Data Portal, <https://data.snf.ch/grants/person/542160>
7. Recent summer soil moisture drying in Switzerland based ... - ESSDD,
<https://essd.copernicus.org/preprints/essd-2025-416/>
8. Recent summer soil moisture drying in Switzerland based on measurements from the SwissSMEX network - ResearchGate,
https://www.researchgate.net/publication/395224997_Recent_summer_soil_moisture_drying_in_Switzerland_based_on_measurements_from_the_SwissSMEX_network
9. The Climate of Oregon Climate Zone 8 Northeast Area,
<https://ir.library.oregonstate.edu/downloads/gf06g3759>
10. Oregon - Climate, Rainfall, Coast - Britannica,
<https://www.britannica.com/place/Oregon-state/Climate>
11. Improving soil health in arid E. Oregon - Capital Press,
<https://capitalpress.com/2018/05/04/improving-soil-health-in-arid-e-oregon/>
12. Digging Into Our Top Five Soil Facts - Deschutes Land Trust,
<https://www.deschuteslandtrust.org/news/blog/2024-blog-posts/digging-into-soil-facts>
13. Oregon's State Soil - Jory - Natural Resources Conservation Service,
<https://www.nrcs.usda.gov/state-offices/oregon/oregons-state-soil-jory>
14. Soil Testing in Portland, Oregon,
<https://alluvialsoillab.com/blogs/news/soil-testing-in-portland-oregon>
15. Snow and Water Interactive Map | Natural Resources Conservation ...

<https://www.nrcs.usda.gov/resources/data-and-reports/snow-and-water-interactive-map>

16. Drought and Soil Moisture Data | Drought.gov, <https://www.drought.gov/topics/soil-moisture>

17. Soil moisture sensors - Stevens Water Monitoring Systems,
<https://www.stevenswater.com/wp-content/uploads/MTI-Sep-2018-Article.pdf>

18. does including soil moisture observations improve operational streamflow forecasts in snow-dominated watersheds?1 - Natural Resources Conservation Service,
<https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2023-03/DOES%20INCLUDING%20SOIL%20MOISTURE%20OBSERVATIONS%20IMPROVE%20OPERATIONAL%20STREAMFLOW%20FORECASTS%20IN%20SNOW-DOMINATED%20WATERSHEDS.pdf>

19. www.cakex.org,
<https://www.cakex.org/community/directory/organizations/oregon-climate-change-research-institute-oregon-climate-service#:~:text=The%20Oregon%20Climate%20Change%20Research,affiliated%20federal%20and%20state%20labs>

20. Oregon Climate Change Research Institute - Oregon Climate Service | CAKE: Climate Adaptation Knowledge Exchange,
<https://www.cakex.org/community/directory/organizations/oregon-climate-change-research-institute-oregon-climate-service>