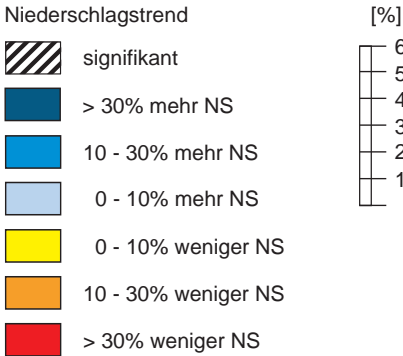
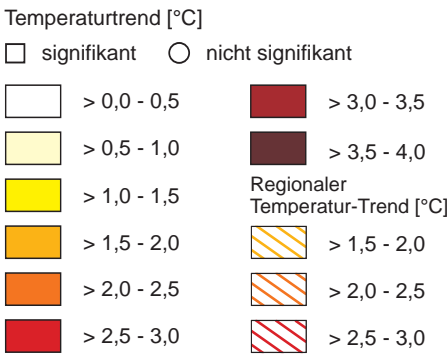


Karte 1: Linearer Temperaturtrend an ausgewählten Klimastationen im Sommer (Juni-August) 1960-2006 [°C]

Karte 2: Linearer Temperaturtrend an ausgewählten Klimastationen im Winter (Dezember-Februar) 1960-2006 [°C]

Karte 3: Relativer Niederschlagstrend an ausgewählten Klimastationen im Sommer (Juni-August) 1960-2006 [%]

Karte 4: Relativer Niederschlagstrend an ausgewählten Klimastationen im Winter (Dezember-Februar) 1960-2006 [%]



GLOBAL CHANGE ATLAS EINZUGSGEBIET OBERE DONAU

Herausgeber:
GLOWA-Danube-Projekt, Ludwig-Maximilians-Universität München

1.9 Temperatur- und Niederschlagstrends

Rastergröße: 1 x 1 km²
Maßstab: 1: 3.800.000

Datengrundlage:
Deutscher Wetterdienst DWD, Offenbach a. Main
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik ZAMG, Wien
Bayerisches Landesamt für Umwelt LfU, Referat 81,
Klimawandel, Klimafolgen und Wasserhaushalt, Hof

Autoren:
A. Reiter, R. Weidinger
Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung,
Ludwig-Maximilians-Universität München

Grafik:
V. Falck
Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung,
Ludwig-Maximilians-Universität München

1.9 Temperatur- und Niederschlagstrends - Teilprojekt Koordination

1. Einleitung

Hauptaspekt im GLOWA-Danube-Projekt ist der Einfluss des Klimawandels auf die Wasserressourcen im Einzugsgebiet der Oberen Donau. Obwohl umfangreiche Aussagen zu globalen Klimaänderungen der letzten Jahrzehnte existieren, ist es im Rahmen des Projektes von besonderem Interesse, bereits nachweisbare Änderungen in den Messwerten der wichtigsten Klimaelemente – Lufttemperatur und Niederschlag – auf der regionalen Ebene des Einzugsgebietes zu untersuchen. Das im Projekt zur Verfügung stehende Datenmaterial ermöglicht eine punktuelle Analyse des zeitlichen Verhaltens der Klimagrößen Niederschlag und Temperatur im GLOWA-Untersuchungsgebiet. Die Änderungen sind seit etwa 10 Jahren besonders in den Sommer- als auch in den Wintermonaten deutlich spürbar. Um diese Veränderungen während der letzten Jahrzehnte herauszuarbeiten, wurde eine Repräsentanz- und Trendanalyse für die beiden Jahreszeiten Sommer und Winter durchgeführt.

2. Datenaufbereitung

Als Datengrundlage wurden Stationsdaten vom DWD und der ZAMG verwendet (siehe Kapitel 1.4). Für die Analyse-Methodik müssen die Daten folgende Anforderungen erfüllen (Fliri, 1972): die Fläche und die Höhenstufen des Einzugsgebietes (EZG) müssen ausreichend abgedeckt sein und die Zeitreihen sollten einen möglichst langen Zeitraum, mindestens jedoch 30 Jahre, umfassen. Ziel dieser Untersuchung war, Zeitreihen zu verwenden, die den Zeitraum bis einschließlich 2006 abdecken. Von den insgesamt vorhandenen 377 Stationen erfüllen für die Analyse der sommer- und winterlichen Temperatur- und Niederschlagstrends jeweils 83 - zum Teil unterschiedliche - Stationen mit einer Zeitspanne von 1960 bis 2006 (47 Jahre) diese Anforderungen. Bei einer Verlängerung über den Startpunkt hinaus waren nicht mehr genügend Stationen vorhanden, die das EZG ausreichend gut abgedeckt hätten.

Für jedes Untersuchungsjahr wurde aus den Tageswerten der Temperaturmittelwert bzw. die Niederschlagssumme über die drei Sommermonate Juni, Juli und August sowie über die drei Wintermonate Dezember, Januar und Februar berechnet.

Für eine regionale Untersuchung der Temperatur- und Niederschlagstrends wurde das EZG zusätzlich in Teilregionen gegliedert, die sich an der Einteilung der Untersuchungsgebiete des Projektes KLIWA orientieren (siehe KLIWA, 2005a und 2005b und Abbildung 1.9.1). Diese Teilregionen umfassen niederschlagsklimatologisch homogene Gebiete, welche für die räumliche Repräsentanzanalyse wichtig sind (Die Benennung der Teilregionen aus KLIWA wurde beibehalten).

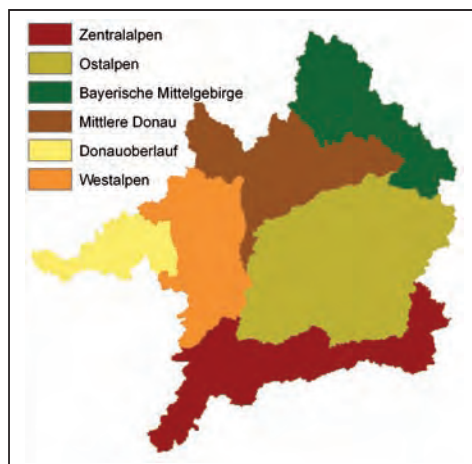


Abbildung 1.9.1: Teilregionen im EZG der Oberen Donau in Anlehnung an die KLIWA-Analyseregionen

Um zu verlässlichen Aussagen über die zeitliche Entwicklung von Temperatur und Niederschlag zu gelangen und Trend verfälschende Einflüsse weitgehend zu vermeiden, wurden statistische Methoden auf die Zeitreihen angewandt, die im Folgenden beschrieben werden.

Zunächst wurde eine Repräsentanzanalyse durchgeführt. Die Repräsentanz einer Klimagröße gibt Auskunft, inwieweit ihre zeitliche Schwankungsstruktur (also auch ihr Trendverhalten) stellvertretend für ein bestimmtes Gebiet stehen kann (Rapp & Schönwiese, 1996). Zur Erfassung der Repräsentanz wurden alle Stationszeitreihen einer Teilregion mit Hilfe des Pearson'schen Korrelationskoeffizienten r ($-1 \leq r \leq +1$)

untereinander verglichen. Verhalten sich zwei Zeitreihen in ihrer Schwankungsstruktur sehr ähnlich, ist der Koeffizient sehr hoch, also $r \approx 0.9$. Die Ergebnisse dieser Analyse sind ausschlaggebend für eine mögliche anschließende Mittelung eines Zeitreihentrends auf eine Teilregion. Die Korrelationen der Temperatur-Zeitserien sowohl in den Sommer- als auch in den Wintermonaten sind überwiegend sehr hoch und erreichen fast immer einen Koeffizienten von mehr als 0.9. Sowohl in der Teilregion Donauoberlauf als auch in den Ost- und Zentralalpen korrelieren die einzelnen Stationszeitreihen etwas weniger gut miteinander ($r \approx 0.83$). Gerade in den Ost- und Zentralalpen erscheint die geringere Korrelation von manchen Stationen aber aufgrund der Kleinräumigkeit des Reliefs und häufig auftretenden Stauwetterlagen nicht verwunderlich.

Die Korrelationen der Niederschlags-Zeitserien sind im Sommer deutlich niedriger als im Winter, da sommerliche konvektive Niederschläge räumlich begrenzt auftreten und damit innerhalb jeder Teilregion stärker variieren als winterliche Advektionsniederschläge. Als Mindestkriterium für eine allgemein ausreichend hohe Repräsentanz für den Niederschlag wird ein Koeffizient von 0.7 gefordert (Rapp & Schönwiese, 1995).

Bei den Sommerniederschlägen liegen die Korrelationskoeffizienten zwischen 0.31 und 0.86, wobei überhaupt nur ca. 30% der Zeitreihen ausreichend korrelieren. Deutlich höhere Korrelationen treten bei den Winterniederschlägen auf. Werte zwischen 0.65 und 0.98 werden in fast allen Analyseregionen erreicht. Nur im Gebiet Zentralalpen sinken die Koeffizienten mit zunehmender Höhenlage auf 0.57-0.84 (zw. 1200 m und 1600 m ü. NN) und auf 0.41-0.71 (ab 1600 m ü. NN).

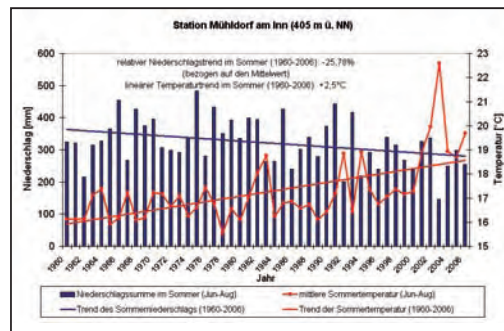


Abbildung 1.9.2: Beispiel für einen langjährigen sommerlichen Temperatur- und Niederschlagsverlauf im EZG der Oberen Donau

Um das zeitliche Verhalten der Klimagrößen bestimmen zu können, wurde anschließend für jede Station der lineare Trend der Mitteltemperaturen und der Niederschlagssummen für die jeweils 47 Sommer- bzw. Wintersaisons in Form von Regressionsgleichungen nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet.

Für die korrekte Interpretierbarkeit von einzelnen Trends muss zusätzlich eine statistische Signifikanz nachgewiesen werden, die angibt, wie „sicher“ ein berechneter Trend ist. Zu diesem Zweck wurde der Mann-Kendall-Test verwendet, der die Signifikanz eines Trends von Zeitreihen abschätzt (Salmi et al., 2000 und Schönwiese, 2000). Dieser Test eignet sich besonders für die Analyse von Temperatur- und Niederschlagstrends, da er keine Voraussetzung bezüglich der Häufigkeitsverteilung der Daten verlangt und als sehr robust gilt. Als Ergebnis liefert dieser Test pro Zeitreihe ein Signifikanzniveau (in %), das für Temperatur- und Niederschlagstrends auf mindestens 80% festgelegt wird (KLIWA, 2005a).

3. Darstellung der Ergebnisse

Aufgrund der stark variierenden Ergebnisse bei der Repräsentanz des Niederschlags wurde bei der Trendberechnung lediglich für die Temperatur ein mittlerer Trend für die Teilgebiete errechnet und in der Karte dargestellt.

3.1 Temperatur

Sommer (Karte 1): Nach Durchführung des Mann-Kendall-Tests konnte an allen 83 untersuchten Stationen im Einzugsgebiet im Zeitraum 1960 bis 2006 eine signifikante Erhöhung der Sommertemperaturen nachgewiesen werden. An fast 80% der untersuchten Stationen ist ein Temperaturanstieg von mehr als 2°C zu erkennen, lediglich an einer Station liegt der Trend unter 1°C.

Winter (Karte 2): Im Winter sind die Temperatur-

trends allgemein weniger stark ausgeprägt als im Sommer. Dennoch zeigt sich auch hier in allen 83 untersuchten Zeitreihen ein Anstieg der Temperatur, bei 63 Stationen ist der Trend signifikant. Während an 85% der signifikanten Stationen die Temperaturzunahme zwischen 1,5 und 2,5°C liegt, wird ein Temperaturanstieg von mehr als 2,5°C im Winter nur an einer einzigen Station verzeichnet (Bad Reichenhall, Deutschland).

3.2 Niederschlag

Im Vergleich zu den Temperaturtrends sind die Niederschlagstrends deutlich weniger signifikant, da Niederschläge in Raum und Zeit viel stärker variieren. Der Niederschlagstrend wird als relativer Trend angegeben, d.h. der ermittelte lineare Trend (Differenz zwischen Endwert x_n und Anfangswert x_1 der Trendgeraden) wird durch den Mittelwert \bar{x} der jeweils untersuchten Zeitreihe dividiert.

$$\text{relativer Trend} = \frac{x_n - x_1}{\bar{x}} \cdot 100\%$$

Damit wird die Veränderung in % des Mittelwertes gegenüber der Situation am Anfang des Untersuchungszeitraumes angegeben (Rapp & Schönwiese, 1996).

Sommer (Karte 3): Von 83 ausgewerteten Zeitreihen wurden im Sommer lediglich 29 als signifikant eingestuft, deren relative Trends sowohl negativ als auch positiv ausfallen (-30% bis +30%). Auch die nicht-signifikanten Zeitreihen zeigen sowohl Niederschlagsabnahmen als auch -zunahmen und somit keine eindeutige Tendenz im sommerlichen Niederschlagsverhalten der letzten 47 Jahre. Die Hälfte der 83 untersuchten Zeitreihen zeigt keinen ausgeprägten Trend (-10% bis +10%), während 26 Zeitreihen einen deutlich negativen Trend (10-30% weniger Niederschlag) und lediglich 13 einen auffallend positiven Trend aufweisen. Dabei ist eine Häufung der negativen (und hier auch signifikanten) Trends im Westen des Einzugsgebietes und der positiven Trends im Osten der Alpen und im Norden des EZG zu erkennen.

Winter (Karte 4): Bei der Analyse der 83 Zeitreihen mit Winterniederschlägen zeigen 28 Stationen nur unbedeutende Veränderungen. 21 Zeitreihen (25%) sind signifikant, diese überwiegend (16) mit Trend zu höheren Niederschlägen (im Mittel liegt der relative Trend bei 28% mehr Niederschlag), v.a. nördlich der Zentralalpen, wohingegen in den Alpen eine Tendenz zu abnehmenden Winterniederschlägen zu erkennen ist. Dabei verstärken sich die Veränderungen nach Osten hin. Auch die nicht-signifikanten Zeitreihen bestätigen diesen Trend, wobei die Tendenz zu trockeneren Wintern in den Hochlagen der Alpen, besonders im Osten (Kitzbüheler Alpen) auffallend ist.

Nach Betrachtung der vorangegangenen Untersuchungen und Ergebnisse wird abschließend darauf hingewiesen, dass Trendberechnungen immer nur Aussagen über den untersuchten Zeitraum erlauben. Selbst minimale Änderungen oder Verschiebungen des Untersuchungszeitraumes oder Extremwerte gerade am Anfang oder Ende einer Zeitreihe können den Wert eines Trends erheblich verändern oder sogar umkehren. Zukunftsprognosen, die aus Trends abgeleitet werden, sollten deshalb nur mit äußerster Vorsicht betrachtet werden.

Literatur

- Fliri, F. (1972): *Statistik und Diagramm*, Braunschweig.
- KLIWA (Hrsg.), (2005a): *Langzeitverhalten der Lufttemperatur in Baden-Württemberg und Bayern*. KLIWA-Heft 5, 76 S.
- KLIWA (Hrsg.), (2005b): *Langzeitverhalten des Gebietsniederschlags in Baden-Württemberg und Bayern*. KLIWA-Heft 6, 160 S.
- Rapp, J. & Schönwiese, C.-D. (1995): *Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland 1891-1990*. Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten Serie B – Meteorologie und Geophysik, Bd. 5, Frankfurt.
- Rapp, J. & Schönwiese, C.-D. (1996): *Niederschlag- und Temperaturtrends in Baden-Württemberg 1955-1994 und 1895-1994*. In: Lehn, H., et al. (Hrsg.): *Wasser- Die elementare Ressource*. Materialienband. Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart, Arbeitsbericht Nr. 52, 113 - 170.
- Salmi, R., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., Amnell, T. (2002): *Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's Slope estimates – the excel template application MAKESENS*. Publications on air quality, No. 31, Helsinki.
- Schönwiese, C.-D. (2000): *Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler*, Berlin.