

Diss. ETH No. 13911

**THE ALPINE PRECIPITATION CLIMATE**  
**EVALUATION OF A HIGH-RESOLUTION ANALYSIS SCHEME USING**  
**COMPREHENSIVE RAIN-GAUGE DATA**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of  
DOCTOR OF NATURAL SCIENCES

presented by  
MANFRED SCHWARB  
dipl. Natw. ETH  
born February 27, 1970  
citizen of Eiken (AG)

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. C. Schär, examiner  
Prof. Dr. C. Daly, co-examiner  
Dr. C. Frei, co-examiner

Zurich, 2000

## Abstract

Spatially high-resolution precipitation data are essential for numerous tasks in civil engineering, for validation of climate and weather forecasting models as well as in hydrology. In this context a climatology of mean annual and mean monthly precipitation for the years 1971-1990 for a greater region of the European Alps ( $2^{\circ}\text{E}$ - $18^{\circ}\text{E}$  /  $42.75^{\circ}\text{N}$ - $48^{\circ}\text{N}$ ) is presented. For analyzing precipitation, the interpolation scheme PRISM (Parameter-elevation Regression on Independent Slope Model) has been modified, parameterized and applied on a grid of 1.25 minutes ( $\sim 2$  km) mesh width, using a uniquely comprehensive dataset of 6090 stations.

Particular emphasis was given to make best possible use of rain gauge series, even if they did not cover the full time period 1971-1990. These partial time series were extended to the full time period, and the mean values were augmented to achieve bias-free extended time series using a statistical optimal method. Validation showed very accurate reconstructed means, justifying these augmentation procedures.

The prediction intervals of the PRISM regression analyses showed distinct dependencies between network density and prediction interval. Regions with a sparse network revealed larger prediction intervals than regions with a dense network. In sparsely gauged regions, an improvement in the certainty of PRISM's regression calculation could be achieved by adding additional stations. This finding is especially true for some high mountain areas as the Jungfrau Massif as well as for the Piemonte region in Italy.

The crossvalidation of PRISM for the tuning domain  $7^{\circ}\text{E}$ - $10^{\circ}\text{E}$  /  $45^{\circ}\text{N}$ - $48^{\circ}\text{N}$  yields a bias of  $-1.2$  mm/a, a MAE (mean absolute error) value of 132 mm/a and a RMSE (root mean square error) value of 214 mm/a. The respective relative measures are 1.6% for MRE (mean relative error), 10% for MARE (mean absolute relative error) and 15.6% for RMSRE (root mean squared relative error). Relative to the MAD (mean absolute deviation of the mean) value of 333 mm/a of the data set, the MAE value is at 40%. Therefore, most of the precipitation variability resolved by the station network can be explained by the interpolated precipitation field.

Comparisons of PRISM to a detrended kriging interpolation and a detrended quadrant method, both using an uniform, optimized height gradient of 0.4 (mm/a)/m, were performed. Analyses separated for different height zones showed for the entire height range better results of PRISM and detrended kriging than the detrended quadrant method. PRISM displayed very small bias values for all but the topmost height zone compared to detrended kriging, which is important for model validations and water balance calculations. For a height range 250-1000 m the detrended kriging interpolation exhibited slightly better MAE values than PRISM, but at higher altitudes PRISM performed best. PRISM seems to produce more extreme outliers than kriging which yields rather mediocre RMSE values. Looking at the results of the subdomain validations, PRISM showed better results in regions with a relatively sparse station network than the other methods.

In regions with a very comprehensive station network and large horizontal as well as vertical gradients, PRISM did not perform as well. PRISM showed its power especially in regions which are difficult to model because the influence of topography on precipitation was only partly represented in station data. For these situations PRISM performed considerably better than a detrended kriging interpolation.

Water balance investigations did not lead to unambiguous performance differences between interpolation methods, as the uncertainty in determining the water balance seemed to be bigger than the differences between different interpolation schemes. When applying correction values for gauge biases to precipitation as cited in literature, there was a general tendency to get more areal mean precipitation than the sum of runoff and evapotranspiration, leading to unbalanced water balances.

Experiments with progressively thinned station networks showed distinct differences between PRISM, detrended and non-detrended kriging. Two sets of experiments were conducted, one set with unchanged settings as derived for the full data set; for the second set all considered methods were tuned for a much sparser station network. In these experiments PRISM and detrended kriging showed comparable performance at the various thinning levels provided the parameters of the methods were adapted to the respective station densities. For both experiments, the non-detrended kriging variant performed much worse than PRISM and detrended kriging, which indicates that the good performance of the detrended kriging is only an effect of the unchanged detrending scheme. In the second experiment, a much more robust parameterization could be achieved for PRISM compared to the original setting which tries to smooth noisy data and to achieve stable regression lines. Compared to the real density variations in the Alpine station network which is infrequently sparser than at a thinning of 5 grid cells, the flexibility of PRISM is satisfactory.

Spatially high-resolution precipitation analyses were produced using a very comprehensive dataset. These gridded precipitation fields, spanning national boundaries, can be used for comparing precipitation regimes across the whole Alpine range, calculating water balances and validating numerical climate and weather forecasting models.

## Zusammenfassung

Räumlich hochaufgelöste Niederschlagsdaten sind essenziell für zahlreiche Aufgaben im Bauingenieurwesen, für die Validierung von Klima- und Wettervorhersage-Modellen wie auch für hydrologische Fragestellungen. In diesem Kontext wird eine Klimatologie der mittleren jährlichen und mittleren monatlichen Niederschläge für den europäischen Alpenraum ( $2^{\circ}\text{E}$ - $18^{\circ}\text{E}$  /  $42.75^{\circ}\text{N}$ - $48^{\circ}\text{N}$ ) und für die Zeitperiode 1971-1990 präsentiert. Für die Niederschlagsanalyse wurde das Interpolationsverfahren PRISM (Parameter-elevation Regression on Independent Slope Model) modifiziert, parametrisiert und für einen einzigartig dichten Datensatz auf einem Gitter von 1.25 Minuten ( $\sim 2$  km) angewendet.

Ein spezieller Schwerpunkt wurde auf eine bestmögliche Verwendung der Niederschlagsdaten gelegt, die vielfach nicht die ganze Periode 1971-1990 abdecken. Diese partiellen Zeitreihen wurden auf die volle Referenzperiode verlängert und die Mittelwerte wurden mittels einer statistisch optimalen Methode erwartungstreu gemacht. Die Validierung zeigte präzise rekonstruierte Mittelwerte, was diese Mittelwert-Anpassung rechtfertigt.

Die Vorhersage-Intervalle der PRISM-Regressionsanalysen zeigten deutliche Abhängigkeiten zwischen der Dichte des Stationsnetzes und dem Vorhersage-Intervall. Regionen mit dünnem Stationsnetz zeigten grössere Vorhersage-Intervalle als Regionen mit einem dichten Stationsnetz. In dünnen Stationsnetzen kann demnach durch die Hinzunahme von zusätzlichen Daten eine Verbesserung der Regressionsberechnung von PRISM erwartet werden, was sich vorallem für gewisse Hochgebirgsregionen wie das Jungfrau-Massif oder für das Piemont auswirken würde.

Die Kreuzvalidierung von PRISM für das Eichungsgebiet  $7^{\circ}\text{E}$ - $10^{\circ}\text{E}$  /  $45^{\circ}\text{N}$ - $48^{\circ}\text{N}$  zeigt einen mittleren Fehler von  $-1.2$  mm/a, einen MAE (Mittlerer absoluter Fehler) Wert von 132 mm/a und einen RMSE (Wurzel des mittleren quadrierten Fehlers) Wert von 214 mm/a. Die entsprechenden relativen Fehlermassen sind 1.6% für MRE (mittlerer relativer Fehler), 10% für MARE (mittlerer absoluter relativer Fehler) und 15.6% für RMSRE (Wurzel des mittleren quadrierten relativen Fehlers). Relativ zum MAD (Mittlere absolute Abweichung vom Mittel) der Stationswerte von 333 mm/a ist der MAE-Wert nur 40%. Somit kann der grösste Teil der Variabilität der Stationsdaten durch das interpolierte Niederschlagsfeld erklärt werden.

Vergleiche wurden durchgeführt zwischen PRISM und einer detrended Kriging-Interpolation sowie einer detrended Quadrant-Interpolation, welche beide einen uniformen, optimierten Höhengradienten von  $0.4$  (mm/a)/m verwenden. In verschiedene Höhenzonen aufgeteilte Analysen zeigten für den gesamten Höhenbereich bessere Resultate für PRISM und für die detrended Kriging-Interpolation als für die detrended Quadranten Methode. PRISM wies sehr kleine mittlere Fehlerwerte auf verglichen mit der detrended Kriging-Interpolation, ausgenommen für die oberste Höhenzone, was wichtig für Modell-Validierungen und Wasserbilanzberechnungen ist. Für den Höhenbereich 250-

1000 m zeigte die detrended Kriging-Interpolation leicht bessere Resultate, jedoch für grössere Höhenstufen wies PRISM die besten Resultate auf. PRISM scheint mehr extreme Ausreisser zu produzieren, was zu eher mittelmässigen RMSE-Werten führte. In der Validierung in einzelnen Untergebieten zeigte PRISM in Gebieten mit relativ dünnem Stationsnetz bessere Resultate als die anderen Methoden. Für Regionen mit sehr dichtem Stationsnetz und grossen horizontalen wie auch vertikalen Gradienten waren die Resultate von PRISM nicht ganz so gut. PRISM zeigte seine Stärke vor allem in Gebieten, die deswegen schwierig zu modellierenden sind, weil der Topographie-Einfluss nur teilweise in den Stationsdaten abgebildet ist. In solchen Situationen wies PRISM deutlich bessere Resultate auf als die detrended Kriging-Interpolation.

Wasserbilanz-Untersuchungen führten nicht zu eindeutigen Unterschieden in den Resultaten der einzelnen Interpolationsmethoden, weil die vermutete Unsicherheit in der Bestimmung der Wasserbilanz grösser war als die Unterschiede zwischen den Methoden. Wenn man Niederschlagskorrekturen anwendete wie sie in der Literatur beschrieben sind, war der mittlere Gebietsniederschlag im allgemeinen grösser als die Summe von Abfluss und Evapotranspiration, was zu unausgeglichenen Wasserbilanzen führte.

Experimente mit zunehmend ausgedünnten Stationsnetzen zeigten ausgeprägte Unterschiede zwischen PRISM, detrended Kriging-Interpolation und non-detrended Kriging-Interpolation (Kriging ohne detrending). Zwei Experiment-Reihen wurden durchgeführt, die eine mit unveränderter, aus dem vollem Datensatz abgeleiteter Parametrisierung; für das andere Experiment wurden die verglichenen Methoden für ein stark ausgedünntes Stationsnetz optimiert. In beiden Experimenten schnitten PRISM und detrended Kriging für die einzelnen Ausdünnungsstufen ähnlich gut ab, sofern ihre Parameter an die jeweilige Stationsdichte angepasst waren. Die non-detrended Kriging-Interpolation zeigte in beiden Experimenten viel schlechtere Resultate, was darauf hinweist, dass das gute Abschneiden der detrended Kriging-Interpolation nur dem detrending Schema zu verdanken ist. Im zweiten Experiment konnte für PRISM eine deutlich robustere Parametrisierung erreicht werden verglichen zur originalen Parametrisierung, welche versucht, die Daten zu glätten und stabile Regressionsgeraden zu garantieren. Verglichen mit realen Variationen der Stationsdichte im Alpenraum, welche nur selten dünner als für die Ausdünnungsstufe von 5 Gitterzellen ist, ist die Flexibilität von PRISM befriedigend.

Es wurden räumlich hochaufgelöste Niederschlagsanalysen mittels eines umfangreichen Datensatzes produziert. Diese länderübergreifenden Niederschlagsfelder können für Vergleiche von Niederschlagsregimen über den ganzen Alpenbereich, für die Berechnung von Wasserbilanzen und für die Validierung von Klima- und Wetterprognose-Modellen verwendet werden.