

Abstract

The proper design of protective measurements against floods related to heavy precipitation has long been a question of interest in many fields of study. A crucial component for such design is the analysis of extreme historical rainfall using Extreme Value Theory (EVT) methods, which provide information about the frequency and magnitude of possible future events. Characterizing an entire basin or geographical catchment requires the extension of univariate EVT methods to capture the spatial variability of the data. This extension requires that the similarity of the data for nearby stations be included in the model, resulting in more efficient use of the data.

This dissertation focuses on using statistical models incorporating spatial dependence for modeling annual rainfall maxima. Additionally, we present ways of adapting the models to capture the dependence between rainfall of different time scales. These models are used in order to pursue two aims. The first aim is to improve our understanding of the mechanisms that lead to dependence on extreme rainfall. The second aim is to improve the resulting estimates when incorporating the dependence into the models.

Two published studies make up the main findings of this dissertation. The models used in both studies involve the use of Brown-Resnick max-stable processes, allowing the models to explicitly account for the dependence on either the temporal or the spatial domain. These conditional models are compared for both cases to a model that ignores the dependence, allowing us to determine the impact of the dependence in both situations. Contributions to three other studies using the concept of dependence are also summarized.

In the first study, we assess the impact of including the dependence between rainfall series of different aggregation durations when estimating Intensity-Duration-Frequency curves. This assessment was done in a case study for the Wupper catchment in Germany. This study found that including the dependence in the model had a positive effect on the prediction accuracy when focusing on rainfall with short durations ($d \leq 10$ h) and large probabilities of non-exceedance. Therefore, we recommend using max-stable processes when a study focuses on short-duration rainfall.

In the second study, we investigate how the spatial dependence of extreme rainfall in Berlin-Brandenburg changes seasonally and how this change could impact the estimates from a max-stable model that includes this dependence. The seasonality was determined by estimating the parameters of a summer and winter semi-annual block maxima model. The results from this study showed that, for the summer maxima, the dependence structure was adequately captured by an isotropic Brown-Resnick model. On the contrary, the same model performed poorly for the winter maxima, suggesting that a change in the assumptions is needed when dealing with typical winter events, typically frontal or stratiform for this region. These results show that accounting for the meteorological properties of the rainfall-generating processes can provide useful information for the design of the models.

Overall, our findings show that including meteorological knowledge in statistical models can improve their resulting estimations. In particular, we find that, under certain conditions, using statistical dependence to incorporate knowledge about the differences in temporal and spatial scales of rainfall-generating mechanisms can lead to a positive impact in the models.

Zusammenfassung

Die richtige Auslegung von Schutzmaßnahmen gegen Überschwemmungen im Zusammenhang mit Starkniederschlägen ist seit langem eine Frage, die in vielen Studienbereichen von Interesse ist. Eine entscheidende Komponente für eine solche Planung ist die Analyse extremer historischer Niederschläge mit Methoden der Extremwertstatistik, die Informationen über die Häufigkeit und das Ausmaß möglicher künftiger Ereignisse liefern. Die Charakterisierung eines ganzen Einzugsgebiets oder einer geografischen Einheit erfordert die Erweiterung der univariaten Extremwertstatistik-Methoden, um die räumliche Variabilität der Daten zu erfassen. Diese Erweiterung erfordert, dass die Ähnlichkeit der Daten für nahe gelegene Stationen in das Modell einbezogen wird, was zu einer effizienteren Nutzung der Daten führt.

Diese Dissertation konzentriert sich auf die Verwendung statistischer Modelle, die die räumliche Abhängigkeit bei der Modellierung von jährlichen Niederschlagsmaxima berücksichtigen. Darüber hinaus werden Möglichkeiten zur Anpassung der Modelle vorgestellt, um die Abhängigkeit zwischen Niederschlägen auf verschiedenen Zeitskalen zu erfassen. Diese Modelle werden zur Verfolgung zweier Ziele eingesetzt. Das erste Ziel besteht darin, unser Verständnis der Mechanismen zu verbessern, die zur Abhängigkeit von extremen Niederschlägen führen. Das zweite Ziel besteht darin, die resultierenden Schätzungen zu verbessern, wenn die Abhängigkeit in die Modelle einbezogen wird.

Zwei veröffentlichte Studien bilden die wichtigsten Ergebnisse dieser Dissertation. Die in beiden Studien verwendeten Modelle basieren auf max-stable Brown-Resnick-Prozessen, die es den Modellen ermöglichen, die Abhängigkeit entweder auf der zeitlichen oder auf der räumlichen Ebene ausdrücklich zu berücksichtigen. Diese bedingten Modelle werden für beide Fälle mit einem Modell verglichen, das die Abhängigkeit ignoriert, so dass wir die Auswirkungen der Abhängigkeit in beiden Situationen bestimmen können. Es werden auch Beiträge zu drei anderen Studien zusammengefasst, die das Konzept der Abhängigkeit verwenden.

In der ersten Studie bewerten wir die Auswirkungen der Einbeziehung der Abhängigkeit zwischen Niederschlagsreihen unterschiedlicher Aggregationsdauern bei der Schätzung von Intensitäts-Dauer-Frequenz-Kurven. Diese Bewertung wurde in einer Fallstudie für das Einzugsgebiet der Wupper in Deutschland durchgeführt. Diese Studie ergab, dass sich die Einbeziehung der Abhängigkeit in das Modell positiv auf die Vorhersagegenauigkeit auswirkt, wenn man sich auf Niederschläge mit kurzen Dauern ($d \leq 10$ h) und großer Nichtüberschreitungswahrscheinlichkeit konzentriert. Daher empfehlen wir die Verwendung von maximal stabilen Prozessen, wenn sich eine Studie auf Regenfälle von kurzer Dauer konzentriert.

In der zweiten Studie untersuchen wir, wie sich die räumliche Abhängigkeit von Extremniederschlägen in Berlin-Brandenburg saisonal verändert und wie sich diese Veränderung auf die Schätzungen eines max-stable Modells auswirken könnte, das diese Abhängigkeit berücksichtigt. Die Saisonalität wurde durch die Schätzung der Parameter eines halbjährlichen Sommer- und Winter-Blockmaxima-Modells bestimmt. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass die Abhängigkeitsstruktur für die Sommermaxima durch ein isotropes Brown-Resnick-Modell angemessen erfasst wurde. Im Gegensatz dazu zeigte dasselbe Modell eine schlechte Leistung für die Wintermaxima, was darauf hindeutet, dass eine Änderung der Annahmen erforderlich ist, wenn es um typische Winterereignisse geht, die in dieser Region typischerweise frontal oder stratiformig sind. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Berücksichtigung der meteorologischen Eigenschaften der Niederschlagsprozesse nützliche Informationen für die Gestaltung der Modelle liefern kann.