

## **HYDROLOGISCHE REGIONALISIERUNG - ERFAHRUNGEN EINES INGENIEURBÜROS**

Günter Humer, Alexander Hochhold, Wolfgang Wührer und Michael Hofer

### **1. EINLEITUNG**

Hochwässer gelten als die am häufigsten auftretenden Elementarschadensereignisse in unseren Breiten. Jedoch ist es bislang nicht wirklich gelungen, eine flächendeckende Analyse auf ein eintretendes Schadenspotential zu erstellen.

Nach dem Jahrhundert-Hochwasser des Jahres 2002, das verheerende Schäden hinterließ, wurde deutlich, dass derart große Schadenspotentiale künftig neu erfasst und bewertet werden müssen.

Für die planerische Aufarbeitung von Hochwasserschutzmaßnahmen sind die hydrologischen Daten eine wichtige Grundlage. Ein Ingenieurbüro ist oft mit der Fragestellung konfrontiert, für unbeobachtete Gebiete hydrologische Daten wie Niederschläge und Abflüsse festlegen zu müssen. Für Niederschlags- Abfluss-Modelle (NA- Modelle) sind oft auch abflusswirksame Gebietesparameter zu regionalisieren.

Das Projekt HORA (HOchwasserRisikozonierung Austria) ist ein Ansatz, flächendeckend für ganz Österreich regionalisierte Abflusswerte bereitzustellen und verdeutlicht mehr denn je die Akzeptanz eines renovierten Risikobewusstseins sowohl bei Wahrnehmung des ständig steigenden volkswirtschaftlichen Schadenspotenzials durch meteorologische Extremereignisse als auch eine daraus entstehende unübersehbare Notwendigkeit von effektiven und vorbeugenden Hochwasserschutzmassnahmen. Das Projekt an sich stellt einen wichtigen Knotenpunkt in der Zusammenarbeit zwischen öffentlicher Hand und der Privatwirtschaft dar. Europaweit einzigartig jedoch speziell für Österreich hochbedeutend konnte eine überblicksmäßige Vereinheitlichung der hydrologischen Betrachtungsweise für das gesamte Bundesgebiet erreicht werden, welche erstmals eine Form der Regionalisierung abflussbezogener Daten auf unbeobachtete Gebiete ermöglicht.

### **2. BEISPIEL PROJEKT HORA**

Steigender Siedlungsdruck und ein erhöhter Sicherheitsanspruch der Bevölkerung fordern in Österreich eine ständige Weiterentwicklung und den Einsatz neuester Technologien und Instrumente für präventiven Schutz der Menschen und des Lebens- und Kulturraumes. Ein ausgeklügeltes Risikomanagementsystem mit dem Schwerpunkt auf Hochwasserextremereignissen und deren Überflutungsbereichen steht im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses.

Als Ziel des Projektes HORA steht eine Ausweisung von Überschwemmungsflächen für Hochwasserabflüsse der Jährlichkeiten  $T=30$ ,  $T=100$  und  $T=200$  bezogen auf das

im Maßstab 1:500 000 erfasste österreichische Flussnetz (ÖK 500) mit einer Gesamtlänge von ca. 26 000 km. Eine grobe Einteilung des Projektes kann einerseits in einen hydraulischen und andererseits in einen hydrologischen Teil erfolgen. Die Arbeitsgemeinschaft TUW (Technische Universität Wien) und IGH (Ingenieurbüro DI Günter Humer, Geboltskirchen) bearbeitete die hydrologischen Verhältnisse während das Institut für Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik (IAWG, Ottobrunn, Bayern) die hydraulischen Rechenschritte des Projektes durchführte. Durch die Zusammenarbeit von universitären Instituten mit einem Ingenieurbüro konnten praktische Erfahrungen einerseits und wissenschaftliches Know How andererseits direkt in Verbindung gebracht werden und so optimale Ergebnisse für das Projekt erzielt werden.

HORA stellt für sich ein ganz neuartiges Modell dar, das, wie noch kein Projekt zuvor, mit enormen Input an Informationen, Pegeldaten und einem neuartigen Regionalisierungsprogramm eine Vielzahl von Komponenten auf einen Nenner bringt und es uns ermöglicht, eine flächendeckende Betrachtung vorzunehmen. Eine Neuorientierung in der Risikokommunikation konnte hiermit sowohl für die Bevölkerung, als auch für die Versicherungswirtschaft geschaffen werden. Die gewonnenen Informationen dienen als Ersteinschätzung des Risikos und können als Vorinformation für jedermann dienlich sein. Als Ergebnis der vorliegenden Arbeiten stehen Abflüsse als Schätzwerte mit einer sehr guten Annäherung an die geforderte Jährlichkeit. Da diese nur Erwartungswerte darstellen, können sie sehr wohl von den tatsächlichen in der Planung verwendeten Bemessungswerten abweichen.

## **2.1 PROJEKTSABLAUF**

Im Jahre 2004 wurde das Projekt HORA ins Leben gerufen und bereits im Herbst desselbigen Jahres begann man mit der Aufbereitung der nötigen Daten. Ein flussregionsspezifischer Zeitplan wurde bestimmt und nach diesem im 2 Wochen-Takt vorgegangen. Nach Einarbeitung und Datenauslese, mit den jeweiligen Landesdienststellen vor Ort abgehandelt, konnten eine flächendeckende Regionalisierung des zur Verfügung gestellten Gewässernetzes vorgenommen werden. Nach über einjähriger intensiver Arbeit konnten im Jänner 2006 die letzten Flussgebiete nach hydrologische Ausarbeitung abgegeben werden.

## **2.2 EINARBEITUNG**

Wichtige Arbeitsschritte wurden diskutiert und eine genaue Vorgehensweise bei der Verfahrensabwicklung abgesprochen zwischen der Arbeitsgemeinschaft und seitens des Auftraggebers. Speziell die Größe des Projektgebietes und die enorme Mengen an zu verarbeitenden Daten waren eine große Herausforderung für die Mitarbeiter und die Rechenleistung der EDV Anlage musste den Anforderungen angepasst werden. Das Bearbeitungsgebiet wurde zwecks Überschaubarkeit auf drei Sachbearbeiter aufgeteilt, die sich ständig über die Arbeitsschritte austauschten. 2,5 Mannjahre von Seiten des IGH sind nötig gewesen, um das Projektes zu bearbeiten.

### 2.3 PEGELABSTIMMUNG

Als primäre Datenbasis für das Projekt wurden die Pegelmessstellen der hydrographischen Dienste verwendet. Jede einzelne Messstelle wurde auf Plausibilität und Verwendbarkeit geprüft. Insgesamt wurden Hochwasserscheitelwerte von 948 Pegeln für die statistische Auswertung herangezogen, wobei 19 Pegel vom Bayerischen Amt für Wasserwirtschaft und der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, 19 Landespegel der Steiermärkischen Landesregierung und 910 Messpegel der hydrographischen Landesdienste und der Wasserstraßendirektion verwendet wurden. Die Länge der einzelnen Pegelreihen variierte sehr stark, wonach man sich einigte, eine Mindestlänge von 5 Jahren festzulegen. Dadurch, dass es während der Bearbeitung des Projektes wiederum zu Hochwasserextremereignissen kam - speziell im Westen - wurden auch Datenreihen aktualisiert oder historische Werte berücksichtigt. Teilweise konnten hydrographische Landesdienststellen sehr gute alte Reihen zur Verfügung stellen, aber auch anthropogene Einflüsse wurden beachtet und die Reihen dadurch qualitativ bewertet. Lage und Einzugsgebiet sowie Evidenzdaten zu den Pegeln wurden ebenfalls herangezogen. In der Phase des sogenannten Präprozessing wurden die Pegelreihen mit jeder zuständigen Landesdienststelle besprochen und mit Hilfe von Spendendiagrammen auf Plausibilität überprüft. Auch Zusatzinformation, welche in den Datenreihen des Hydrographischen Zentralbüros (HZB) nicht vorhanden waren, konnten in die Bearbeitung einfließen.

Anhand eines Beispiels der beobachteten Pegelreihen kann man oftmals die schwierige Situation zur Bewertung oder Gewichtung eines Ausreißers aufzeigen. Man vergleiche hier die Beobachtungsreihe von Zwettl am Kamp einmal mit und einmal ohne Hochwasserereignis des Jahres 2002 und beachte das Verhalten der verschiedenen Verteilungsfunktionen. Die von HORA verwendete GEV Verteilung (Generalised Extreme Value mit 3 Parametern) liefert mit Extremwert ca.  $300\text{m}^3/\text{s}$ , ohne Extremwert etwa  $147\text{m}^3/\text{s}$ .

Die Pegelabstimmung bestand aus folgenden Schritten:

- Sortieren und zuordnen der Pegel
- Verifizieren der Daten und auf Plausibilität prüfen
- Daten verbessern, nötigenfalls Reihen trennen oder verbinden
- Erheben zusätzlicher Informationen (Daten v. Landes HD aktualisieren, alte Beobachtungen im Kollektiv erweitern)
- Anthropogenen Einfluss berücksichtigen (Ausleitungen, Wehre, etc.)
- Pegelreihen unter 5 Jahre Beobachtungszeitraum konnten nicht berücksichtigt werden
- Extreme Beobachtungen (Ausreißer) wurden hinterfragt und wenn nötig angepasst.

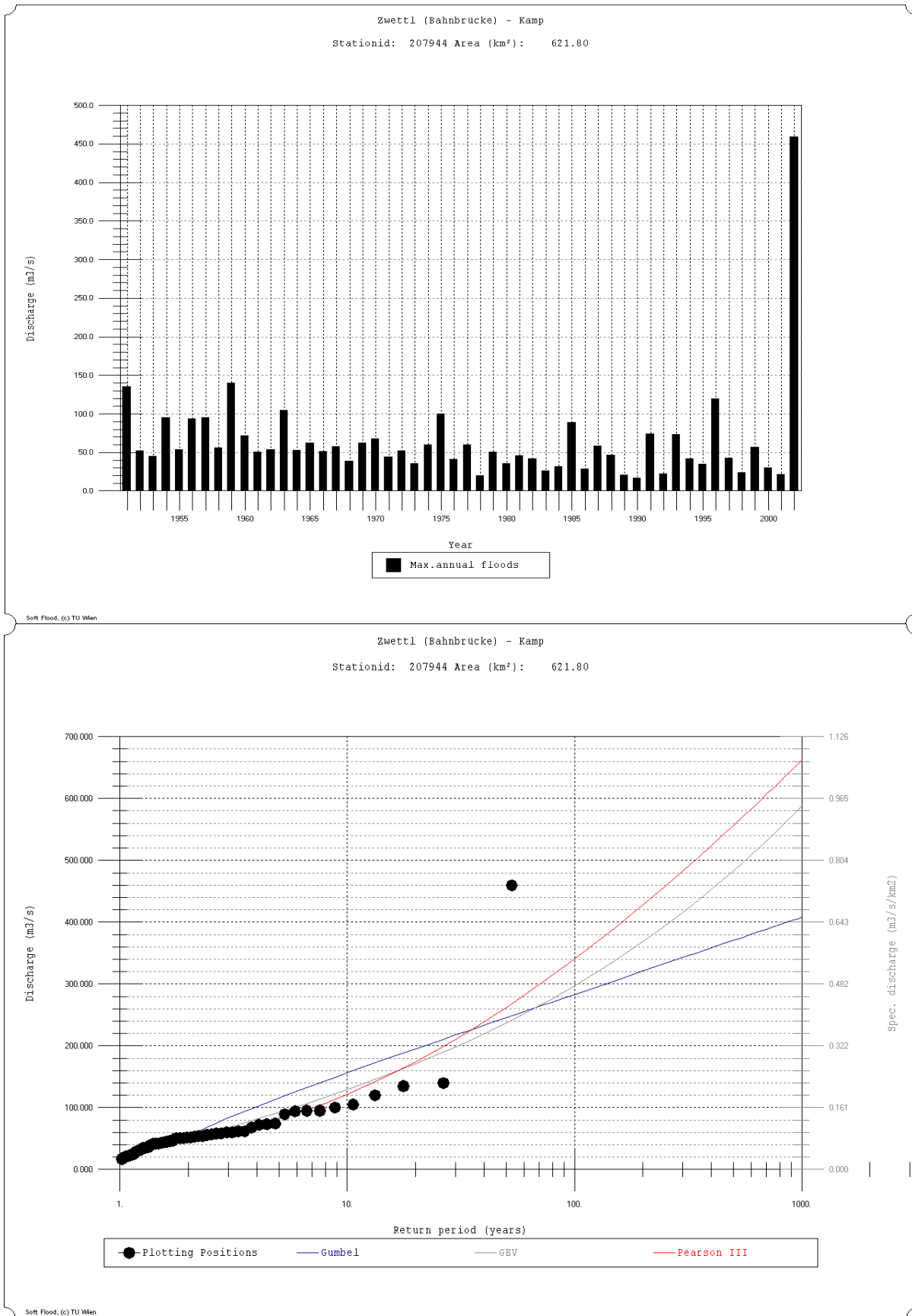


Abb. 1: Pegel Zwettl (Bahnbrücke) mit Ereignis von 2002

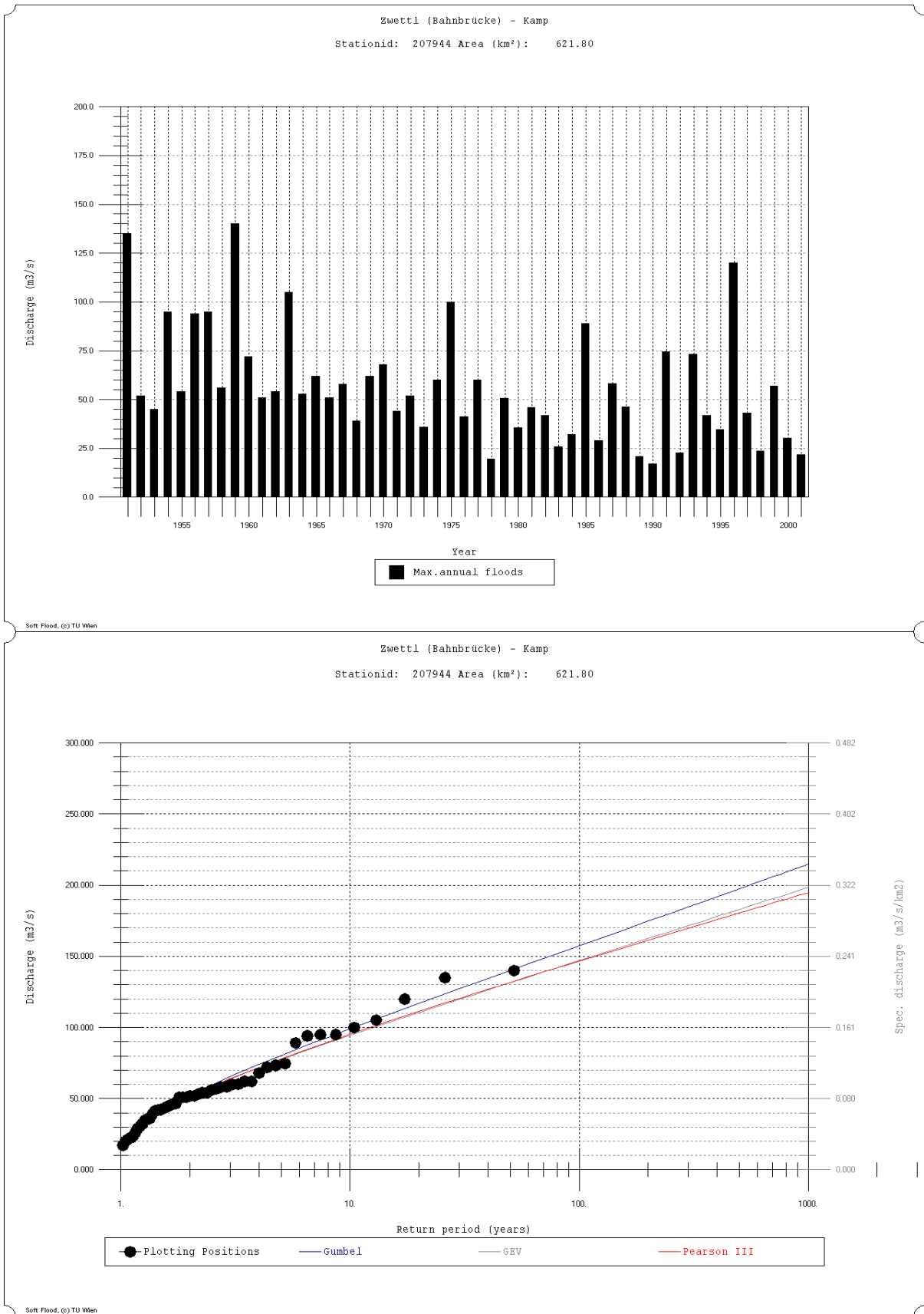


Abb. 2: Pegel Zwettl (Bahnbrücke) ohne Ereignis von 2002

Äußerst wichtig war die wertvolle Erfahrung der Sacharbeiter der einzelnen Landesdienststellen, sowohl der gleichzeitige Austausch von wichtiger landesspezifischer Information, welche direkt als wertvoller Input eingearbeitet werden konnte, als auch die Vergabe von unterschiedlichen Sicherheitszuschlägen innerhalb der Bundesländer und deren Einschätzungen waren neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Hydrologie. Die hervorragende Kooperation zwischen den Landesdienststellen und den Projektbearbeitern des Büros oder des Instituts für Wasserbau ermöglichte eine qualitative Steigerung der Ergebnisse. Erst nachdem alle Landesdienststellen besucht worden waren, konnte mit den ersten Regionalisierungsschritten begonnen werden.

## 2.4 REGIONALISIERUNG

Die Abschätzung von Hochwasserabflüssen einer bestimmten Jährlichkeit für Gebiete ohne Abflussmessungen erfolgte unter Verwendung regionaler Informationen aus benachbarten Gebieten bzw. Pegelreihen und gebietsspezifischer Größen.

Nachdem die Pegeldaten weitgehend aufgearbeitet waren und eine gute Datenbasis geschaffen worden war, konnte mit dem regionalen Abgleich der Gewässerstrecken begonnen werden. Mit Hilfe eines automatischen Verfahrens, dem sogenannten ‚Top-Kriging‘ konnte eine räumliche Korrelation auf unbeobachtete Gewässerstrecken übertragen werden. Das zur Verfügung stehende Modell errechnete Hochwasserabflusswerte von ca. 7700 Knotenpunkten ohne Pegelstellen.

Ein neues Rechenprogramm wurde von der Technischen Universität Wien extra dafür entwickelt. Die Regionalisierung mit Hilfe geostatistischer Verfahren unter Berücksichtigung von Zusatzinformationen erzielt hierbei die besten Ergebnisse. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass eine Gewichtung der Momente vorgenommen wird abhängig von der Distanz und Länge der Pegelreihe. Die Relationen von Ober- und Unterlieger konnten so korrekt berücksichtigt werden, was bei anderen Verfahren nicht möglich ist.

Wichtige Parameter, die bei der automatischen Berechnung noch einfließen, waren u.a.

- der mittlere Jahresniederschlag, welcher ein Indikator für die Abflussbereitschaft von Gebieten ist
- der sogenannte ‚FARL‘- Index, der speziell das Retentionsverhalten von Seen und Speicher automatisch berücksichtigt, wobei der Faktor zwischen 0 und 1 liegt; Seefläche, Seeinzugsgebietsfläche und Einzugsgebietsfläche wurden für die Berechnung benötigt.
- geologischen Gegebenheiten
- der Bewaldungs- und Bebauungsgrad
- die Geländeform und ihr potentiell Retentionsverhalten.

Zur Anwendung kam auch das ‚Gradex-Verfahren‘, das eine grobe Einschätzung des Extrapolationsverhaltens erlaubt. Der Ansatz dieses Verfahrens besteht aus einer

Kombination einer Niederschlagsstatistik mit einer Hochwasserstatistik durch ein einfaches Niederschlags-Abflussmodell. Hilfreich war das Gradex Verfahren vor allem bei kurzen bzw. unsicheren Reihen, wo es galt einen Variationskoeffizienten als Maß für die Neigung der Verteilungskurve festzulegen. Ein weiterer Aspekt, um hydrologische Gebietseigenschaften zu definieren, war die Schaffung von Regionen mit homogenen Eigenschaften. Nach intensiven Diskussionen konnte man sich schließlich auf 28 Regionen einigen, welchen in erster Linie die meteorologische Charakteristik zu Grunde liegt.

Ein Beispiel soll zeigen, wie komplex im alpinen Gebiet geologische Verhältnisse und Niederschlag, aber auch Nordstaulagen oder vergletscherte Gebiete auf die hydrologischen Bedingungen Einfluss nehmen können.

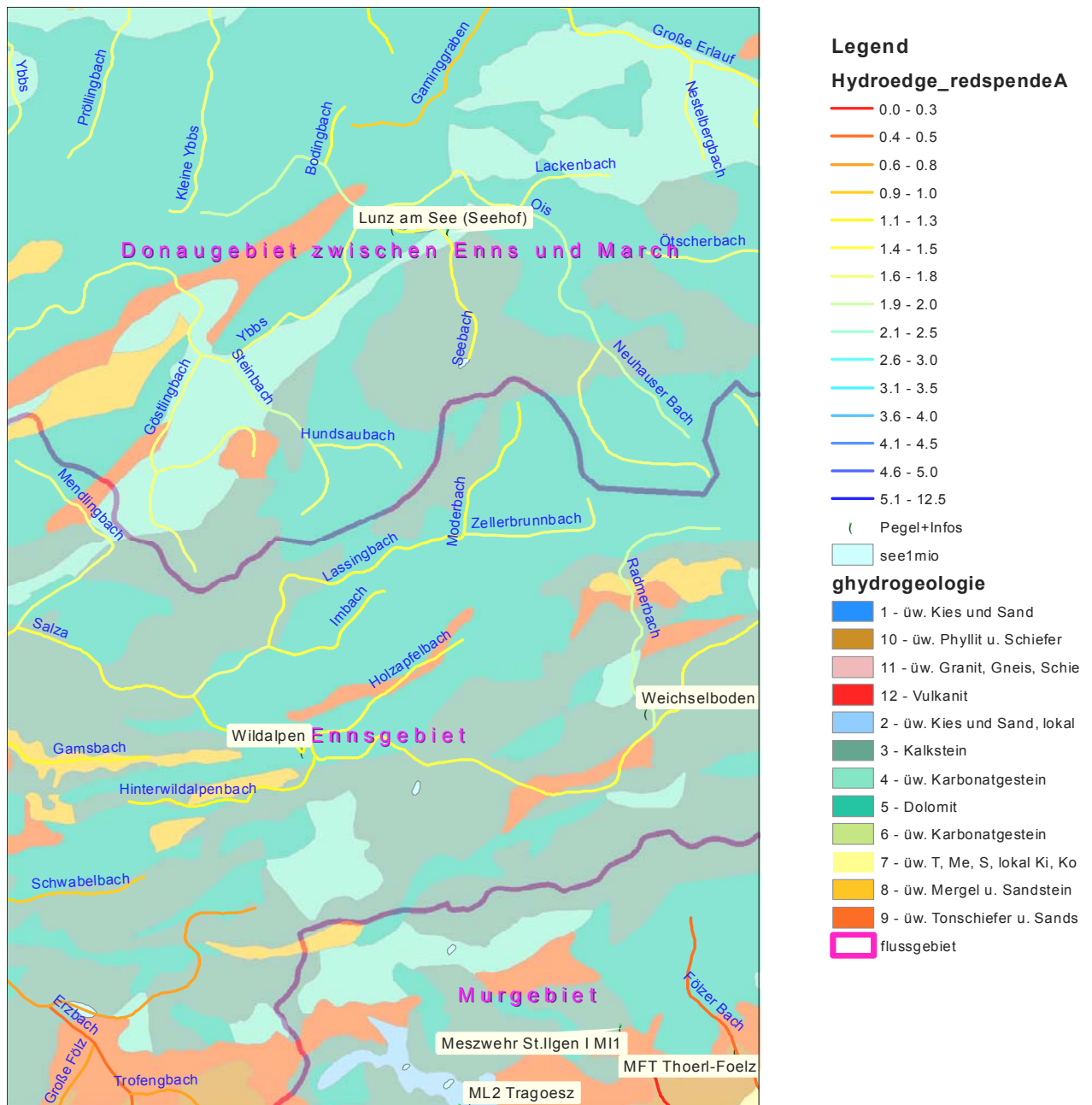
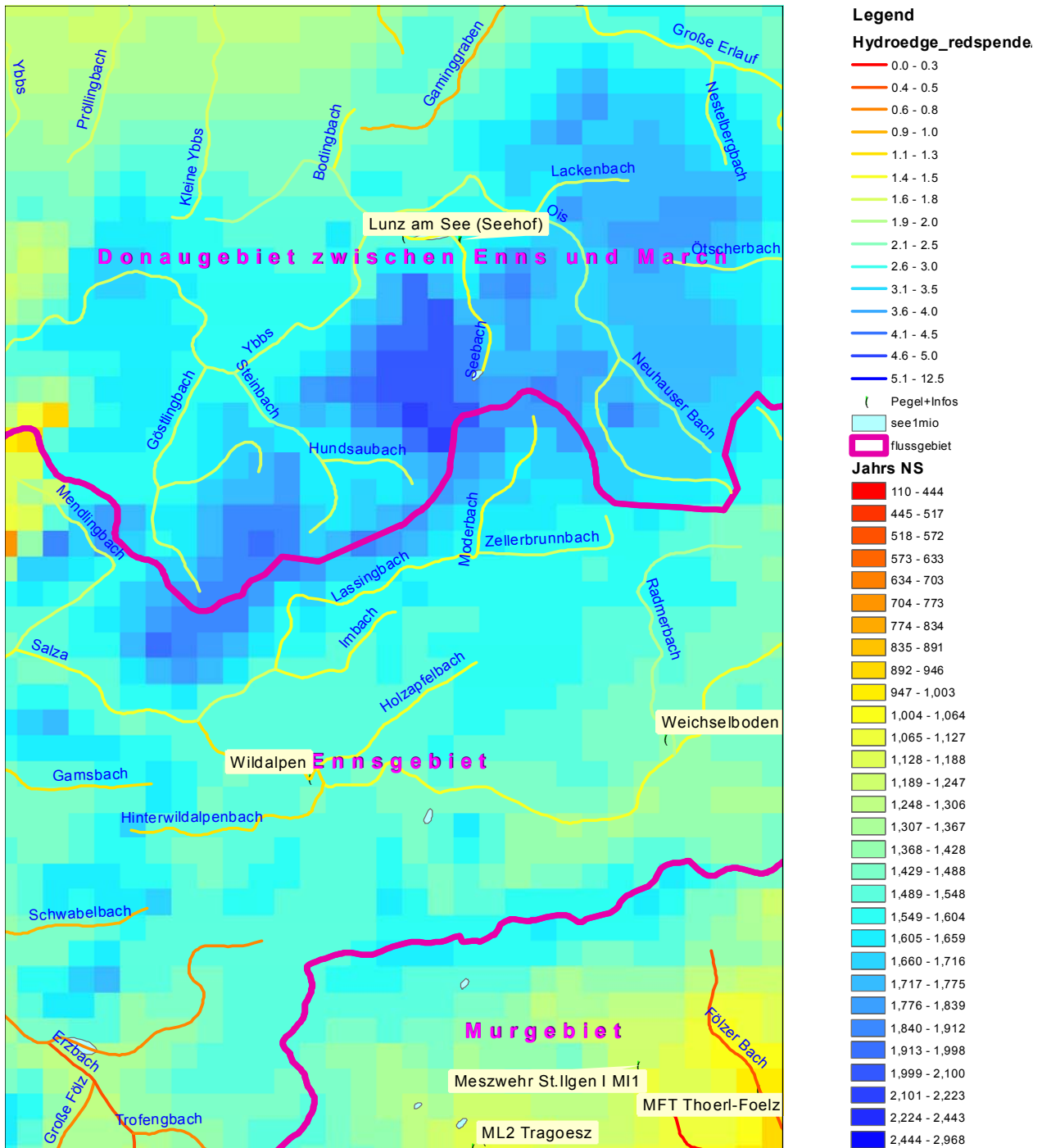


Abb. 3: Beispiel im Bereich des Hochkar für Heterogenität in der Geologie



**Abb. 4:** Beispiel des selben Gebietes für Heterogenität des mittleren Jahresniederschlags

Es lässt sich dadurch leicht anschaulich machen, dass sich durch solche Inhomogenitäten und spezifische regionale Abweichungen der Einsatz von fachlichen Sachbearbeitern und manuellen Eingriffen ins Modell für Optimierungszwecke unverzichtbar ist. Doch nichts desto trotz können hier die Vorzüge eines automatisierten Berechnungsverfahrens, welche das Handling von solch enormen Datenmengen erst erlauben, und dem regionalen bis lokalen Expertenwissen zu einem beispiellosen Projekt vereint werden.



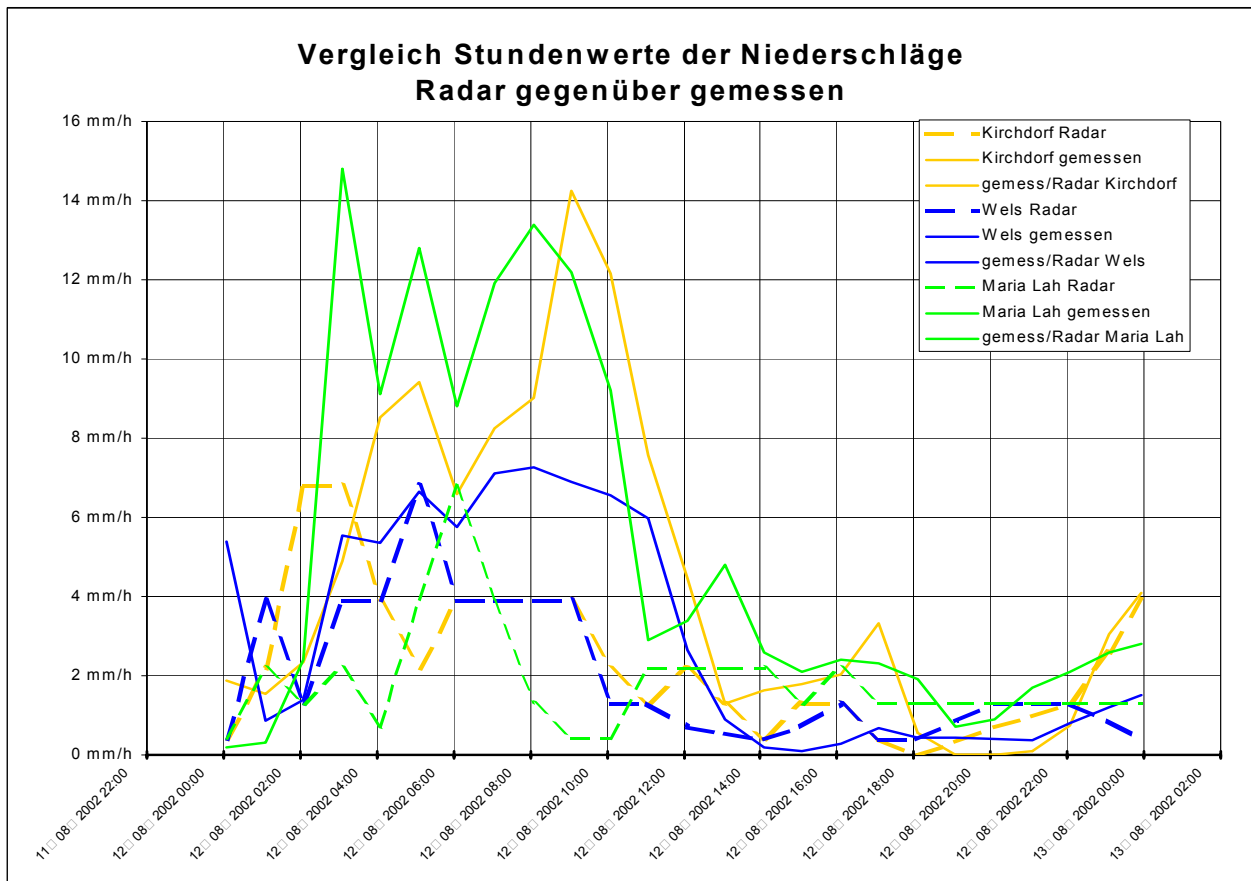
### 3. REGIONALISIERUNG VON GEBIETSPARAMETERN FÜR NA-MODELLE

In letzter Zeit wird im Hochwasserschutz sehr stark auf Rückhaltebecken gesetzt. Rein lineare Maßnahmen wie Regulierung, Ufermauer usw. werden aus ökologischen Gründen nicht mehr als zeitgemäß angesehen und daher auf nicht anders schützbar dicht verbaute Siedlungsbereiche beschränkt.

Bei der Planung von Rückhaltebecken wird oft das ganze Abflusssystem eines Einzugsgebietes untersucht, wofür als Werkzeug ein NA- Modell verwendet wird. In Österreich werden hauptsächlich die Programmpakete des IHW Karlsruhe (Vertrieb: Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, TH Karlsruhe) und HEC-HMS (Vertrieb: Scisoftware) bzw. WMS (Vertrieb: Scisoftware) verwendet. Alle Pakete bieten verschiedene Hydrologische Verfahren für die Einzelnen Teilschritte an. Je nach Verfahren werden unterschiedliche Parameter Flächendeckend benötigt. Das reicht von einem CN- Wert für das SCS- Verfahren über 3 Werte (verfügbares Porenvolumen, Saugspannung und gesättigte  $K_f$ - Wert) beim Green & Ampt Verfahren (G&A) bis zu 12 Parametern für ein Bodenfeuchtemodell. CN- Werte gibt es nicht flächig, für das G&A- Verfahren liegen ebenfalls keine regionalisierten Werte vor, für das Bodenfeuchtemodell schon gar nicht. Möchte man die Verdunstung bei längeren Zeitabschnitten berücksichtigen, wird die Datenlage noch trauriger.

Für das G&A- Verfahren konnten wir aus der digitalen Bodenkarte Information über die Böden ableiten. Die einzelnen Bodentypen haben wir klassifizierten Typen zugewiesen, für welche die 3 Bodenkennwerte des G&A- Verfahrens tabelliert vorliegen. Über GIS- Auswertungen wurden diese Parameter auf Teileinzugsgebiete umgerechnet. Es zeigte sich bei der Kalibrierung allerdings, dass die Werte sehr stark manuell anzupassen sind. Automatische Anpassungsroutinen in HEC- HMS versagten bei einer größeren Anzahl von Teileinzugsgebieten (in diesem Fall 20 für Teilanschnitte des Einzugsgebietes). Für unbeobachtete Gebiete wären die resultierenden Abflüsse grob falsch gewesen. Das Bodenfeuchtemodell würde zwar die physikalischen Vorgänge relativ gut abbilden, aber die große Zahl von Modellparametern macht die Anwendung fast unmöglich. Der Schluss daraus ist, dass für die Modellierung unbeobachteter Gebiete oft nur der Vergleich mit ähnlichen benachbarten Gebieten bleibt. In Bayern ist man den Weg gegangen, anhand gemessener Hochwasser Gebietsparameter rückzurechnen und zu regionalisieren. So liegen zumindest CN- Werte und Kennwerte für das Lutz- Verfahren vor.

Eine zweite wichtige Inputgröße für NA- Modelle ist der Regen. Wir hatten gehofft, für ein Modell der Krems mit 350 km<sup>2</sup> Einzugsgebiet die Daten des Regenradars verwenden zu können, um „künstliche Regenschreiber“ kreieren zu können. Leider stellte sich heraus, dass an den beobachteten Stationen keine Übereinstimmungen zwischen Schreibern und Radardaten bestand.



**Abb. 5:** Divergenz zwischen Regendaten der Schreiberstation (durchgezogene Linie) und der Radarauswertung (strichlierte Linie) für die Intensität in mm/h.

Zusätzliche Hindernisse für die Verwendung der Radardaten sind, dass...

- die Regenintensitäten nur als Klassenwerte und nicht als kontinuierliche Messgrößen vorliegen
- die Sensitivität der Messung mit der Entfernung von der Radarstation abnimmt
- Abschattungseffekte durch Gebirge und Höhenrücken bestehen
- die Stationsdichte für hydrologische Auswertungen zu klein ist.

Wenn man sich bei Branchenkollegen umhört, wird man bemerken, dass die Herangehensweise an NA- Modelle und die verwendeten Verfahren und Wahl der Parameter sehr unterschiedlich ist. Vermutlich würden verschiedene Büros zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen für unbeobachtete Gebiete kommen.

#### 4. ZUSAMMENFASSUNG

Als Grundlage für Regionalisierung von Hochwasserabflüssen stellt das Projekt HORA eine enorme Weiterentwicklung für ein bundesweit einheitliches Verfahren dar, bei dem große Datenmengen und Expertenwissen zusammenfließen. Leider ist bei vielen anderen hydrologischen Größen der Schritt in eine Regionalisierung noch nicht

gemacht, der Hydrologische Atlas von Österreich und HORA stellen zumindest große Schritte in diese Richtung dar.

## 5. AUSBLICK

Es wäre wünschenswert, dass der hydrologische Teil von HORA von Zeit zu Zeit mit den neuen Abflussdaten aktualisiert wird und die Verfahrensentwicklung weiter durchgeführt werden kann.

Es wäre weiterst wünschenswert, dass für die Verwendung von NA- Modellen

- für Österreich brauchbare Verfahren entwickelt oder vorhandene angepasst werden
- Empfehlungen für eine „homogene“ Anwendung herausgegeben werden
- die benötigten Parameter regionalisiert bereit gestellt werden
- die Qualität der Regenradardaten für die hydrologische Anwendung verbessert wird.

Die Regionalisierung bezogener Abflusseigenschaften von Einzugsgebieten kann somit als Ziel zukünftiger Forschungstätigkeit gesehen werden, um zufriedenstellende Ergebnisse von den bereits vielfach verwendeten NA-Modellen erhalten zu können oder für Österreich angepasste Verfahren einsetzen zu können.

## 6. LITERATUR

Becker, M. und Rosemann, H.-J. (1995) Regionalisierung von Hochwasserabflüssen für kleine Einzugsgebiete in Bayern — ein Beitrag zur Bereitstellung hydrologischer Planungsgrundlagen, TU München, Fachgebiet und Laboratorium für Hydromechanik, Heft 61/1995.

Blöschl, G., Piock-Ellena, U. und Merz, R. (2000) Abflußtypen-Klassifizierung als Basis für die Regionalisierung von Hochwässern. Endbericht an die Österreichische Akademie der Wissenschaften, (HÖ-12/97), Feb. 2000, Institut für Hydraulik, TU Wien.

Merz, R. (2002) Understanding and estimating flood probabilities at the regional scale. Wiener Mitteilungen, Wasser - Abwasser - Gewässer, Band 181, Wien, ISBN 3-85234-072-3; 198 pages.

**Anschrift der Verfasser:**

Dipl.-Ing. Günter Humer

Alexander Hochhold

Dipl.-Ing. Wolfgang Wührer

Dipl.-Ing. Michael Hofer

Dipl.-Ing. Humer, Ingenieurbüro für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft

4682 Geboltskirchen 70

Tel.: 07732 - 4146, Fax DW - 22

E - Mail: [office@ib-humer.at](mailto:office@ib-humer.at)