



lebensministerium.at

# Mitteilungsblatt

des Hydrographischen Dienstes  
in Österreich

Nr. 87





# NACHHALTIG FÜR NATUR UND MENSCH SUSTAINABLE FOR NATURE AND MANKIND

## Lebensqualität / *Quality of life*

Wir schaffen und sichern die Voraussetzungen für eine hohe Qualität des Lebens in Österreich.

*We create and we safeguard the prerequisites for a high quality of life in Austria.*

## Lebensgrundlagen / *Bases of life*

Wir stehen für vorsorgende Verwaltung und verantwortungsvolle Nutzung der Lebensgrundlagen Boden, Wasser, Luft, Energie und biologische Vielfalt.

*We stand for a preventive preservation and responsible use of the bases of life, soil, water, air, energy, and biodiversity.*

## Lebensraum / *Living environment*

Wir setzen uns für eine umweltgerechte Entwicklung und den Schutz der Lebensräume in Stadt und Land ein.

*We support an environmentally benign development and the protection of living environments in urban and rural areas.*

## Lebensmittel / *Food*

Wir sorgen für die nachhaltige Produktion insbesondere sicherer und hochwertiger Lebensmittel und nachwachsender Rohstoffe.

*We provide for the sustainable production in particular of safe and high-quality foodstuffs and of renewable resources.*



# **MITTEILUNGSBLATT**

**DES HYDROGRAPHISCHEN DIENSTES  
IN ÖSTERREICH**

**NR. 87**

Wien, 2011



lebensministerium.at

## IMPRESSUM

**Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft  
Abt. VII 3 Wasserhaushalt (Leitung: MR Dipl.-Ing. R. Godina)  
A-1030 Wien, Marxergasse 2**

Redaktion: MR Dipl.-Hydr. Dr. Gabriele Müller  
Fachbeirat: MR Dipl.-Ing. R. Godina, MR Dipl.-Ing. G. Fuchs, MR Dipl.-Ing. P. Lorenz, MR Dr. V. Weilguni  
Technische Mitarbeit: ADir. Ing. J. Wurth

Redaktionsanschrift: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft  
Abt. VII 3 Wasserhaushalt, A-1030 WIEN, Marxergasse 2

Tel: ++43 1 71100 6942 Fax: ++43 1 71100 6851

E-mail: [Wasserhaushalt@bmlfuw.gv.at](mailto:Wasserhaushalt@bmlfuw.gv.at)

Foto Titelblatt: Oberer Seebach, Dr. G. Singer, WasserCluster Lunz

Hergestellt im BMLFUW

Gedruckt auf umweltschonend hergestelltem Papier mit  
Pflanzenöl-Druckfarben.

©BMLFUW, Wien, 2011 - Alle Rechte vorbehalten



# INHALTSÜBERSICHT

<b>ORIGINALARBEITEN</b>	<b>Seite</b>
Ermittlung extremer Grundwasserstände J. Fürst, A. Bichler und F. Konecny	1
ExtremAqua: Auswirkungen extremer Witterungsereignisse auf aquatische Ökosysteme P. Chiffard, T.J. Battin, Th. Hein und M. Kainz	45
Blockgletscherinventar Tirol K. Krainer und M. Ribis	67
Eisbeobachtungen an Tiroler Fließgewässern W. Gattermayr	89
 <b>BERICHTE UND MITTEILUNGEN</b>	
Das Wasserportal Burgenland K. Maracek	101
1910 und 2010 – zwei Hochwasserjahre in Österreich G. Müller	112
Österreichische Gesellschaft für Hydrologie – Überblick über die Aktivitäten im Zeitraum 2009 - 2011 G. Müller	126
Gemeinsame Tagung der Österreichischen Gesellschaft für Hydrologie und der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft R. Godina und N. Emerstorfer	128
Personalien der Hydrographischen Dienststellen	133
Verzeichnis der staatlichen Hydrographischen Dienststellen in Österreich mit Internet-Adressen für aktuelle hydrographische Informationen	136
Hinweise der Redaktion	138



# Ermittlung extremer Grundwasserstände

## Estimation of extreme groundwater tables

Josef Fürst, Andrea Bichler, Franz Konecny

**Stichworte:** Grundwasser, Grundwasserstand, Extremwertstatistik, Regionale Frequenzanalyse, Partielle Reihen, L-Moments

**Keywords:** groundwater, groundwater table, statistics of extreme values, regional frequency analysis, peaks over threshold series, L-moments

### ***Zusammenfassung***

Hochwassergefährdungen werden meist als Überflutungen durch Ausuferungen von Oberflächengewässern wahrgenommen, obwohl große Schäden auch durch hohe Grundwasserstände verursacht werden. Während die Anwendung extremwertstatistischer Methoden in der Hydrologie der Oberflächengewässer sehr verbreitet ist, gibt es derzeit noch relativ wenige Arbeiten, die auch die speziellen Bedingungen von Grundwassersystemen berücksichtigen. Inhalt der vorliegenden Arbeit ist die Anpassung und Entwicklung von Methoden zur Angabe von extremen Grundwasserständen. Ausgehend von einer Klassifikation der Grundwassermessstellen werden L-Moments basierte Schätzverfahren an den Messstellen und die Methode der regionalen Frequenzanalyse untersucht. Es wurden Software-Tools entwickelt, die bei den Hydrographischen Diensten installiert und verwendet werden.

### ***Summary***

Perception of flood hazards is often restricted to inundation from rivers and streams, although large damage is also caused by high groundwater tables. While the statistical analysis of extreme values is widely used in surface hydrology, there are currently only few publications that also consider the specific properties of extreme groundwater tables. Based on a classification of groundwater monitoring sites the applicability of the method of L-moments for at-site and regional frequency analysis of extreme groundwater tables is investigated. Software tools have been developed to be installed and used by the Hydrological Service.

# **1 Einleitung und Zielsetzung**

## **1.1 Problemstellungen**

Hochwassergefährdungen werden meist als Überflutungen durch Ausufern von Oberflächengewässern wahrgenommen, obwohl große Schäden auch durch hohe Grundwasserstände verursacht werden. Diese können eine direkte Folge von Hochwasserereignissen sein, wenn das Grundwasser (GW) in engem Zusammenhang mit dem oberflächlichen Abfluss in einem Gerinne steht. Die Schwankungen der Wasserführung des Oberflächengewässers setzen sich, gedämpft und zeitlich verzögert, im Grundwasser fort. Vor allem durch lang anhaltende flächenhafte Grundwasserneubildung infolge von Niederschlag und/oder Schneeschmelze kann es darüber hinaus auch ohne sichtbaren Zusammenhang mit einem Hochwasserereignis zu Grundwasserhochständen kommen.

Von besonderer Bedeutung ist ein möglicher hoher Grundwasserstand überall dort, wo Gebäudeteile erreicht oder überschritten werden können. Das bedeutet, Schäden können bereits eintreten, lange bevor eine oberflächliche Überflutung auftritt.

Alleine an den Hydrographischen Dienst in Oberösterreich kommen beispielsweise pro Jahr ca. 200 Anfragen betreffend die Angabe des höchsten Grundwasserstandes im Zusammenhang mit Bauvorhaben (auch kleinere Wohnbauten), aber auch im Zuge der Bewilligung von Schottergruben (Nass- oder Trockenbaggerung). Die Qualität der Angabe des maßgeblichen Grundwasserstandes ist in den entsprechenden Rechtsmaterien und Regelwerken allerdings nicht präzise vorgegeben. Aus dem Wasserrechtsgesetz könnte am ehesten die Angabe eines  $HGW_{30}$  abgeleitet werden. Die Ö-Norm B2506-1 Versickerungsanlagen schreibt ein Freibord von 1-1.5 m über dem maßgeblichen Grundwasserstand vor (entweder höchstmöglicher oder höchster bisher gemessener). Die Richtlinien für Schottergruben und Kies- und Sandabbau schreiben ein Freibord über dem höchsten zu erwartenden GW-Stand (HHGW) vor. Vorschriften unterschiedlicher Art gibt es auch noch bei den Schutz- und Schongebieten.

Die Praxis jedoch wünscht sich die Angabe des höchstmöglichen Grundwasserstandes, damit etwaige Gefährdungen von Einbauten genau abgeschätzt werden können. Falls z. B. Tiefgaragen in das GW eintauchen, wäre auch eine ungefähre Überschreitungswahrscheinlichkeit (z. B.  $HGW_{30}$  oder  $HGW_{100}$ ) von Interesse.

## **1.2 Bisherige Vorgangsweisen beim Hydrographischen Dienst**

Die oben genannten Anfragen werden bisher i. Allg. mittels lokaler GW-Schichtenpläne aufgrund der bisher beobachteten höchsten GW-Stände (HHGW) beantwortet.

In den gut beobachteten, größeren Porengrundwassergebieten wird in dieser Vorgangsweise

fachlich kein Problem gesehen, in den dicht verbauten Stadtgebieten, wo auch durch eine Reihe von anthropogenen Maßnahmen (Entnahmen, Wasserhaltungen, Großbauten) Beeinflussungen des GW-Standes erfolgen, wird das allerdings kritisch beurteilt.

Einige Bundesländer (z. B. Steiermark, Niederösterreich) haben in den letzten Jahren für die größeren Porengrundwasserkörper Karten mit den Grundwasser-Extremwerten erstellen lassen. Ausgehend von extremwertstatistischen Analysen der vorhandenen Ganglinien des GW-Standes wurden diese Karten für 30-, 50- und 100-jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeiten als Schichtenpläne erstellt (FANK & FUCHS, 1999).

Diese Vorgangsweise stößt allerdings in der praktischen Anwendung an mehrere Grenzen:

- Die Voraussetzungen für die Anwendbarkeit der Extremwertstatistik, insbesondere die Homogenität der Reihen und die Unabhängigkeit der Jahreshöchstwerte, sind in vielen Fällen nicht gegeben, weshalb entweder viele Messstellen auszuschließen sind oder die statistische Aussage verzerrt wird.
- Die GW-Stände verschiedener Messstellen in einem GW-Körper sind über relativ große Distanzen miteinander korreliert. Eine unabhängige Schätzung von Extremwertverteilungen an den Messstellen nützt daher die in den Daten der Nachbarstationen enthaltene Information nicht. Deren Einbeziehung durch z. B. eine regionale Frequenzanalyse (HOSKING & WALLIS, 1997) könnte die Zuverlässigkeit der erzielten Aussagen verbessern.
- Hydrogeologisch bedingte Grenzen der GW-Extremwerte, wie z. B. das Erreichen einer GW-Deckschicht, die Überschreitung der Geländeoberkante oder die Wirkung eines Vorfluters werden durch Anpassung einer Extremwertverteilung nicht ausreichend abgebildet.
- Die Schichtenpläne der  $HGW_x$  sind aus stationsbezogenen Werten interpolierte Erwartungswerte, die auf unterschiedlich langen und unterschiedlich dynamischen Reihen basieren. Die Konfidenzintervalle für die angegebenen  $HGW_x$ -Werte weisen daher regional sehr große Unterschiede auf, die für die Angabe eines  $HGW$  als Bemessungswert jedenfalls zu berücksichtigen wären.

Während die Anwendung extremwertstatistischer Methoden in der Hydrologie der Oberflächengewässer sehr verbreitet ist und durch eine Vielzahl von wissenschaftlichen Arbeiten und auch Softwarepakete unterstützt wird, gibt es derzeit noch relativ wenige Arbeiten, die auch die speziellen Bedingungen von Grundwassersystemen berücksichtigen.

### **1.3 Entwicklung verbesserter Methoden zur Angabe von extremen GW-Ständen**

Ziel des in diesem Beitrag vorgestellten Projektes ist die Anpassung und Entwicklung von

Methoden zur Angabe von extremen GW-Ständen, die den o. a. Problemen besser gerecht werden. Es wird eine schrittweise, aufbauende Vorgangsweise eingeschlagen:

1. Angabe von extremen GW-Ständen an den GW-Messstellen
2. Flächenhafte Ausweisung (Regionalisierung)
3. Entwicklung bzw. Bereitstellung angepasster Software-Tools

Die Bearbeitung erfolgte im Rahmen von aufeinander abgestimmten Projektaufträgen von BMLFUW, Abteilung VII/3 (HZB) und den Hydrographischen Diensten der Länder Oberösterreich und Steiermark.

Spezielle Berücksichtigung finden die im Hydrographischen Dienst (HD) verwendeten Datenmanagementsysteme für Stammdaten, Zeitreihen und GIS-Daten. Als geeignete Softwareumgebung wurde eine Einbindung in das beim HD verwendete Produkt VB-Surfer (FUCHS & HÖRHAN, 2008) gewählt. Der Vorteil von VB-Surfer liegt in der direkten Anbindung an das Datenbanksystem Hydams des HD, weiters könnten die dort schon implementierten Interpolationsprozeduren mit geringen Adaptierungen (Parameter, Gebietsabgrenzungen) auch für die Regionalisierung der Extremwerte verwendet werden. Daher wurde die Implementierbarkeit in VB-SURFER grundsätzlich für alle Tools vorgesehen und deren Umsetzung unterstützt.

Wesentliches Kriterium dieses Projektes ist die Anwendbarkeit der Methoden zur Aktualisierung der extremen Grundwasserstände in den genannten Grundwassergebieten. Grundsätzlich sind Methodik und Tools auf beliebige Grundwassersysteme anwendbar.

Für die vorhandenen GW-Messstellen sollen Kennwerte für extreme GW-Stände angegeben werden, in Anlehnung an die Praxis bei Oberflächengewässern als  $HGW_{30}$ ,  $HGW_{100}$  und RHHGW. Die statistischen Voraussetzungen für extremwertstatistische Analysen sind bei Grundwasserständen allerdings, abhängig von der Dynamik des GW-Systems, häufig nicht gegeben. Insbesondere gibt es bei größeren Grundwassergebieten oft mehrjährige Absenkungsphasen, wodurch die einzelnen Jahreshöchstwerte nicht voneinander unabhängig zu behandeln sind. Weiters können GW-Stände durch Deckschichten oder die Geländeoberkante nach oben begrenzt oder stark von Randbedingungen wie Oberflächengewässern abhängig sein.

Untersuchte Lösungsansätze:

- Klassifikation der GW-Messstellen hinsichtlich Voraussetzungen/Anwendbarkeit verschiedener Methoden („klassische“ Extremwertstatistik auf Jahreshöchstwerte angewandt; partielle Reihen (peaks over threshold – POT), Verwendung von Ersatzreihen wie höchste Anstiege; geohydraulische Modellansätze)
- Anpassung statistischer Verfahren für die verschiedenen Klassen von Messstellen
- Verbesserung der statistischen Aussage durch Einbeziehung ähnlicher Nachbarstationen (regionale Frequenzanalyse)

## **2 Methodische Grundlagen**

Das Ziel der Berechnung besteht darin, das Ausmaß eines Grundwasserextremwertes an einer Messstelle bzw. an einem bestimmten Ort mit der zukünftigen Häufigkeit oder der Wahrscheinlichkeit seines Eintretens in Beziehung zu setzen. Die wichtigsten Annahmen, die eine Interpretation der Häufigkeiten als Wahrscheinlichkeiten ermöglichen, sind: a) zeitliche Unabhängigkeit der Elemente des analysierten Datenkollektivs und b) statistische Homogenität (z. B. Freiheit von Trends und Sprüngen) der Daten.

### **2.1 Anthropogene Eingriffe in den Grundwasserhaushalt und deren Berücksichtigung in der Extremwertstatistik**

Ausgangsdaten für die statistische Analyse sind Zeitreihen der Grundwasserstände (i.d.R. Tagesmittelwerte). Extreme Grundwasserstände, die aus diesen Reihen ausgewählt werden, haben folgende Kriterien zu erfüllen: 1. Statistische Stationarität, 2. Homogenität und 3. Unabhängigkeit. In der Realität bleiben solche idealen Datensätze die Ausnahme, da zumeist diverse Beeinflussungen vorhanden sind und diese in geeigneter Weise berücksichtigt werden müssen.

Anthropogene Eingriffe betreffen im Wesentlichen die Stationarität der Daten und sind vor der Extremwertanalyse zu identifizieren. Durch Sichtung und visuelle Beurteilung der Zeitreihen entsteht zunächst ein genereller Überblick über das Grundwassergebiet und mögliche beeinflusste Messstellen werden herausgefiltert. Durch Recherche, Vergleich mit natürlichen Randbedingungen (Niederschlag und Wasserstand der Vorfluter) und Rücksprache mit dem Hydrographischen Dienst sind die Annahmen über die Beeinflussung der Reihen zu verifizieren. Dabei sind im Wesentlichen der Zeitpunkt des Auftretens bzw. des Abklingens, die räumliche Ausdehnung und die temporäre oder permanente Wirksamkeit der Beeinflussung zu klären.

Temporäre oder permanente Änderungen des Systems werden im Hydrographischen Dienst durch die Angabe sogenannter Reihenunterbrechungen berücksichtigt. Bei temporären Unterbrechungen (z. B. lokale Absenkungen im Rahmen von Baumaßnahmen) wird der betroffene Zeitabschnitt aus der Untersuchung ausgeschlossen, bei quasi permanenten Veränderungen (Bsp. Flusskraftwerk) wird nur jener Teil der Zeitreihe verwendet, der nach der Systemänderung liegt. Ist das natürliche Regime von Störungen zu stark beeinflusst, so sind die jeweiligen Messreihen von der Extremwertanalyse gänzlich auszuschließen.

Bei der Interpolation der Grundwasserstände zu einem flächendeckenden Grundwasserspiegel sind feste Randbedingungen, wie z. B. Drainagen oder Oberflächengewässer zu beachten. Sind die maximal möglichen Wasserstände bekannt, so können diese direkt in die

Interpolation integriert werden.

## **2.2 Extremwertstatistik für Jahresreihen**

### **2.2.1 Auswahl der Reihen**

Als Ausgangsdaten dienen i. Allg. die jährlichen Höchstwerte des Grundwasserstandes innerhalb einer Beobachtungsreihe (Jahresreihen). Die Erstellung der Jahresreihen ist einfach in der Handhabung und liefert gut brauchbare Ergebnisse, wenn mindestens 20 - 30 Jahre an Beobachtungen vorliegen. Sind nur wenige Jahre an Beobachtungen vorhanden oder besteht der Verdacht, dass die jährlichen Maxima nicht ausreichend repräsentativ für die aufgetretenen Extremwerte sind, empfiehlt es sich, alle unabhängigen Ereignisse über einem bestimmten Schwellenwert zu verwenden (partielle Reihe, siehe Kap. 2.3).

### **2.2.2 Wahrscheinlichkeitsverteilungen**

Die Verteilung von Extremwerten kann durch eine Vielzahl an Verteilungsfunktionen beschrieben werden, wobei eine theoretische Begründung, für welche Größen welcher Verteilungstyp zu wählen ist, i. Allg. nicht möglich ist. Häufig werden sie drei Familien zugeordnet: Typ 1 (Gumbel, GUM), Typ 2 (Fréchet) und Typ 3 (Weibull). Diese drei Verteilungen können als spezielle Fälle der allgemeinen Extremwertverteilung (GEV) betrachtet werden. Weiters finden die Pearson Typ 3 Verteilung (PE3), die allgemeine Logistische Verteilung (GLO), die drei-parametrische Log-Normalverteilung (GNO oder LN3), die verallgemeinerte Pareto-Verteilung (GPA) oder die Wakeby Verteilung (WAK) Anwendung.

Die Gumbel-Verteilung wird durch zwei Parameter spezifiziert, die übrigen genannten Verteilungen haben drei, die Wakeby Verteilung sogar fünf Parameter. Je mehr Parameter eine Verteilung aufweist, desto mehr Eigenschaften können abgebildet werden. Zwei Parameter ermöglichen die Anpassung von Lage und Maßstab, der dritte Parameter beschreibt die Asymmetrie (Schiefe), der vierte die Wölbung (Kurtosis) usw. Allerdings hängen die Parameter von Momenten zunehmend höherer Ordnung ab und ihre Schätzung wird daher vor allem bei kleinen Stichproben unsicher. Eine scheinbar bessere Anpassung durch eine Verteilungsfunktion mit mehreren Parametern kann daher irreführend sein und das damit erstellte Modell für die Schätzung von Quantilen möglicherweise ungeeignet.

### **2.2.3 Parameterschätzung**

Die Aufgabe besteht darin, an die vorhandene Reihe, also die empirische Stichprobe, eine theoretische Verteilungsfunktion durch Schätzung ihrer Parameter anzupassen. Die bekanntesten Schätzverfahren verwenden die Momentenmethode, Maximum-Likelihood-Methode,

wahrscheinlichkeitsgewichtete Momente oder L-Moments. Die in dieser Arbeit verglichenen Verfahren Momentenmethode und L-Moments werden in der Folge kurz charakterisiert.

### 2.2.3.1 Momentenmethode

Bei Verwendung der Momentenmethode werden die Parameter der Wahrscheinlichkeitsverteilungen durch deren Momente ausgedrückt. Für die Schätzung werden die Momente der Grundgesamtheit den entsprechenden Momenten der Stichprobe gleichgesetzt. In der praktischen Anwendung werden meist Mittelwert, Standardabweichung und Schiefekoeffizient verwendet.

Die mit der Momentenmethode geschätzten Parameter sind zumindest asymptotisch erwartungstreu und die Schätzung ist insbesondere für unsymmetrische Verteilungen auch nicht effizient.

### 2.2.3.2 L-Moments

L-Moments können als Weiterentwicklung der wahrscheinlichkeitsgewichteten Momente verstanden werden und lassen sich auch direkt durch diese ausdrücken. Während in konventionelle Momente der Ordnung  $n$  die Quantilfunktion  $x(u)$  mit der Potenz  $n$  eingeht, gehen in die wahrscheinlichkeitsgewichteten Momente nur die Wahrscheinlichkeiten  $u$  bzw.  $1 - u$  mit der Potenz  $n$  ein. Vor allem Momente höherer Ordnung sind dadurch bei kleinem Stichprobenumfang wesentlich robuster.

Konventionelle Momente:

$$E(X^r) = \int \{x(u)\}^r du$$

Wahrscheinlichkeitsgewichtete Momente:

$$\beta_r = \int x(u)u^r du$$

L-Moments lassen sich nun durch die wahrscheinlichkeitsgewichteten Momente ausdrücken:

$$\lambda_1 = \beta_0$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0$$

Es ist zweckmäßig, dimensionslose Formen der L-Moments einzuführen, indem die Momente höherer Ordnung durch den Skalenfaktor  $\lambda_2$  dividiert werden. Die *L-moment ratios* sind dann:

$$\tau_r = \frac{\lambda_r}{\lambda_2}, \quad r = 3, 4, \dots \quad \text{und der L-CV } \tau = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

Der L-CV ist analog zum gewöhnlichen Variationskoeffizienten definiert, sollte aber besser als „Koeffizient der L-Variation“ bezeichnet werden.

Die wichtigsten Begriffe in der praktischen Anwendung:

$\lambda_1$  L-Lageparameter (= Mittelwert der Verteilung)

$\lambda_2$  L-Streuung

$\tau$  L-CV (Koeffizient der L-Variation)

$\tau_3$  L-Skewness (Schiefe)

$\tau_4$  L-Kurtosis (Wölbung)

Die Parameter von Wahrscheinlichkeitsverteilungen lassen sich als Linearkombinationen der L-Moments eindeutig ausdrücken. Für die Gumbel-Verteilung sind diese Ausdrücke sehr einfach darstellbar:

Verteilungsfunktion:  $F(x) = e^{-e^{-\frac{x-\xi}{\alpha}}}$

Parameter:  $\alpha = \frac{\lambda_2}{\log 2}$ ,  $\xi = \lambda_1 - 0.5772 \cdot \alpha$

Für andere Verteilungen ergeben sich etwas komplexere Ausdrücke oder gute Näherungsfunktionen. Eine umfangreiche Darstellung der L-Moments, deren Schätzung aus endlichen Stichproben und deren Anwendung findet sich in HOSKING et al. (1993) und HOSKING und WALLIS (1997), Softwareimplementierungen der Algorithmen in HOSKING (2000; 2009).

### 2.2.4 Anpassungstest

Ein Anpassungstest oder auch Goodness-of-fit Test (GOF Test) ist in der schließenden Statistik ein Hypothesentest, der prüfen soll, ob eine vorliegende Stichprobe aus einer Verteilung mit einer bestimmten Verteilungsfunktion stammt. Die Hypothese  $H_0$ : „Die vorliegende Stichprobe entstammt einer Verteilung vom Typ X mit den Parametern  $p_i$ “ kann anhand des Testergebnisses mit einer vorher festgelegten Irrtumswahrscheinlichkeit verworfen werden, aber nie positiv bestätigt werden. Anders formuliert, wenn ein Anpassungstest von einer bestimmten Verteilung „bestanden“ wird, schließt das noch nicht aus, dass die Stichprobe auch aus anderen Verteilungsfunktionen stammen könnte.

Wenn mehrere Verteilungsfunktionen an eine Stichprobe angepasst werden und anhand eines GOF-Tests nicht zu verwerfen sind, hängt es sehr von der Art des Entscheidungsproblems ab, welche Verteilung als „maßgebliches Modell“ für die Schätzung der gesuchten Quantile gewählt wird. Dabei muss es sich nicht um die am „besten passende“ Verteilung handeln. Die Stichprobe könnte aus jeder der passenden Verteilungen stammen. Wenn es darum geht, einen „ungünstigsten Fall“ heranzuziehen, kann es sogar sein, dass  $HGW_{30}$  mit einer anderen Verteilung als  $HGW_{100}$  zu schätzen ist.

Gängige Tests sind der Chi-Quadrat-Anpassungstest, der Kolmogorow-Smirnow-Anpassungstest (KS Test) und der Anderson-Darling-Anpassungstest (AD Test).

Während der Chi-Quadrat-Test für größere Stichproben geeignet ist, wenn empirische Häufigkeiten in einer Histogrammauswertung vorliegen, eignen sich der KS Test und der AD Test auch für die kleinen Stichproben in der Extremwertstatistik.

#### 2.2.4.1 Kolmogorow-Smirnow-Anpassungstest

Von einer stetigen Zufallsvariablen  $X$  liegen  $n$  Beobachtungen  $x_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) vor. Von diesen Beobachtungen wird die Summenhäufigkeit (empirische Verteilungsfunktion, relative Summenfunktion)  $S(x_i)$  ermittelt. Diese empirische Verteilung wird nun mit der entsprechenden hypothetischen Verteilung der Grundgesamtheit verglichen: Es wird der Wert der Wahrscheinlichkeitsverteilung an der Stelle  $x_i$  bestimmt:  $F_0(x_i)$ . Wenn  $X$  tatsächlich dieser Verteilung gehorcht, müssten die beobachtete Häufigkeit  $S(x_i)$  und die erwartete Häufigkeit  $F_0(x_i)$  in etwa gleich sein.

Es wird also für jedes  $i$  die absolute Differenz

$$d_{oi} = |S(x_i) - F_0(x_i)| \text{ und auch } d_{ui} = |S(x_{i-1}) - F_0(x_i)|$$

berechnet. Sodann wird die absolut größte Differenz  $d_{\max}$  aus allen Differenzen ermittelt. Wenn  $d_{\max}$  also einen kritischen Wert  $d_\alpha$  übersteigt, wird die Hypothese  $H_0$  bei einem Signifikanzniveau  $\alpha$  abgelehnt.

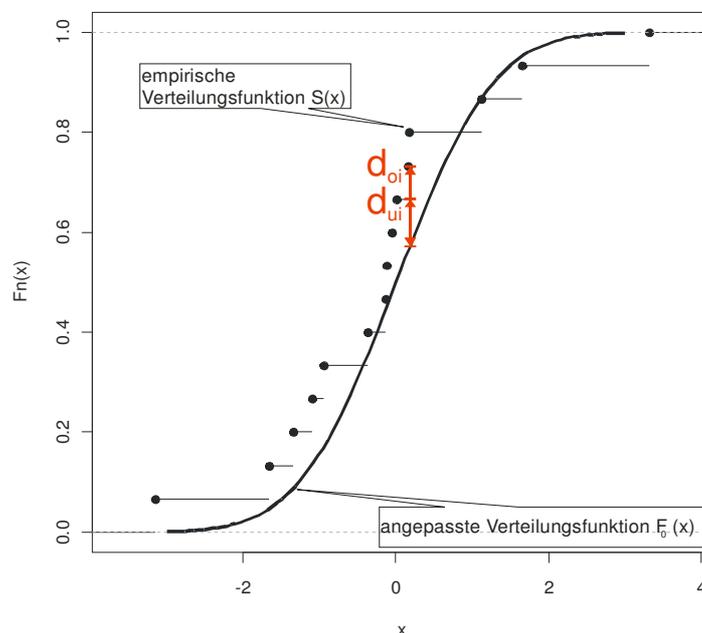


Abbildung 1: Kolmogorow-Smirnow-Test

Der KS Test hat den Nachteil, dass er im Bereich des Medians am sensitivsten ist, während die Sensitivität im Bereich der Extreme geringer ist. Soll die angepasste Verteilung zur Schätzung von Quantilen geringer Überschreitungswahrscheinlichkeit verwendet werden, ist

ein Test zu bevorzugen, der die Anpassung in diesen Bereichen stärker berücksichtigt. Eine solche Modifikation des KS Tests ist der Anderson-Darling-Test (2.2.4.2).

#### 2.2.4.2 Anderson-Darling-Test

Der Anderson-Darling-Test (AD Test) (ANDERSON & DARLING, 1954) ist sensitiver hinsichtlich Abweichungen an den Extremen der Verteilung und eignet sich daher speziell für extremwertstatistische Fragestellungen. Er kann auf beliebige Verteilungen angewandt werden, allerdings sind Tabellen der kritischen Werte nicht so leicht zu finden.

Die Prüfgröße  $A^2$  berechnet sich mit

$$A^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(2i-1) [\ln(w_i) + \ln(1-w_{n-i+1})]]$$

Darin ist  $n$  der Stichprobenumfang und  $w$  die Verteilungsfunktion. Für kleine  $n$  sind leider Modifikationen notwendig, die von der Verteilungsfunktion abhängen. Ebenso hängen die kritischen Werte der Prüfgröße für gegebene Irrtumswahrscheinlichkeiten von der Verteilungsfunktion ab. Die Nullhypothese, dass die gegebene Stichprobe aus der geprüften Verteilung stammt, ist zu verwerfen, wenn  $A_m^2 > A_{crit,\alpha}^2$ .

Um die Schwierigkeiten mit dem Aufsuchen passender Tabellen für die kritischen Werte zu vermeiden, wurde folgende Vorgangsweise gewählt, die auf einer von MARSAGLIA & MARSAGLIA (2004) beschriebenen Näherung für die Verteilung der Anderson-Darling-Verteilung und der Angabe eines Wahrscheinlichkeitswertes (p-Value) für die Überschreitung der aus der Stichprobe berechneten AD-Prüfgröße beruht. Die Nullhypothese ist zu verwerfen, wenn  $p < \alpha$  (z. B. 10%) ist. Für eine im Intervall  $[0,1]$  gleichverteilte, aufsteigend sortierte Stichprobe  $x_1 < x_2 < \dots < x_n$  wird die Prüfgröße  $A_n$  wie folgt berechnet:

$$A_n = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i-1) \ln[x_i * (1-x_{n-i+1})]$$

Die Wahrscheinlichkeit  $Pr(A_n < z)$ , dass dieser Wert von einer gleichverteilten Stichprobe unterschritten wird, wird nach MARSAGLIA & MARSAGLIA (2004) näherungsweise berechnet.

Diese Prozedur testet allerdings nur, ob die Stichprobe im Intervall  $[0,1]$  gleichverteilt ist. Um den Test für eine beliebige Verteilung anzuwenden, wird eine Transformation der Stichprobe auf eine Gleichverteilung vorgenommen und die transformierte Stichprobe auf Gleichverteilung getestet. Die Transformation kann einfach über die Verteilungsfunktion vorgenommen werden (BELLOSTA, 2009): Entstammen  $x_1, x_2, \dots, x_n$  einer Verteilung mit der Dichtefunktion  $f$  und der Verteilungsfunktion  $F$  mit den Parametern  $p_1, p_2, \dots$ , dann sind  $y_i = F(x_i)$  gleichverteilt in  $[0,1]$ . Es muss darauf hingewiesen werden, dass die Transformation auf eine Gleichverteilung von den wahren Parametern der Verteilung abhängig ist, während hier vereinfach-

chend mit den geschätzten Parametern gerechnet wird.

### 2.2.5 Lokale Schätzung von Quantilen

Unter „lokaler Schätzung“ wird hier die Schätzung der Quantile ausschließlich unter Verwendung der Daten an der Messstelle (ohne Einbeziehung benachbarter Messstellen) verstanden. Es sei  $F(x)$  die Verteilungsfunktion. Ihre inverse Funktion  $x(F)$ , die Quantilfunktion, gibt die Größe eines Ereignisses als Funktion der Unterschreitungswahrscheinlichkeit  $F$  an.  $F$  ergibt sich aus dem Wiederkehrintervall  $T$  durch  $F = 1 - 1/T$ .

Die übliche „händische“ Vorgangsweise, um den Extremwert  $x_T$ , der im Mittel nur alle  $T$  Jahre erreicht oder überschritten wird, zu schätzen, verwendet die hydrologische Grundgleichung:

$$x_T = \bar{x} + K \cdot s_x$$

$K$  ist darin ein Häufigkeitsfaktor, der von der gewählten Verteilung, dem Wiederkehrintervall  $T$  und dem Stichprobenumfang abhängt. Für die Gumbel-Verteilung rechnet sich  $K$  wie folgt:

$$K = \frac{y_T - \bar{y}_n}{s_n}$$

Darin sind  $\bar{y}_n$  und  $s_n$  die Parameter der reduzierten Gumbel-Verteilung, die in Abhängigkeit von der Anzahl der Beobachtungen zu berechnen bzw. aus Tabellen zu entnehmen sind. Für andere Verteilungsfunktionen sind entsprechende Berechnungsgänge für „händische“ Ermittlungen in der Literatur dokumentiert.

Die graphische Lösung der Anpassung einer theoretischen Extremwertverteilung an eine empirische Stichprobe beruht auf so genannten Wahrscheinlichkeitspapieren, deren Achsen so skaliert sind, dass die Wahrscheinlichkeitsfunktion als Gerade dargestellt wird. Im Fall der Gumbel-Verteilung ist also die Wahrscheinlichkeitsachse doppelt-logarithmisch, die Werteachse linear geteilt. Die empirischen Unterschreitungswahrscheinlichkeiten (oder Wiederkehrintervalle), mit denen die Ereignisse im Wahrscheinlichkeitspapier eingetragen werden (*plotting positions*) ergeben sich, indem die Extremwerte zunächst der Größe nach geordnet werden. Das größte aus  $N$  Ereignissen einer Jahresreihe hätte demnach etwa ein Wiederkehrintervall  $T$  von  $N$  Jahren. Um unverzerrte Ergebnisse zu erzielen, sind diese empirischen Wahrscheinlichkeiten zu korrigieren. Die gebräuchlichsten Formeln sind jene nach Weibull (CUNNANE, 1978) und, optimiert für die Gumbel-Verteilung, die *plotting positions* nach Gringorten (1963):

$$\text{Weibull: } P_i = \frac{i}{N+1} \qquad \text{Gringorten: } P_i = \frac{i-0.44}{N+0.12}$$

Darin sind  $i$  die Rangzahl und  $N$  der Stichprobenumfang.

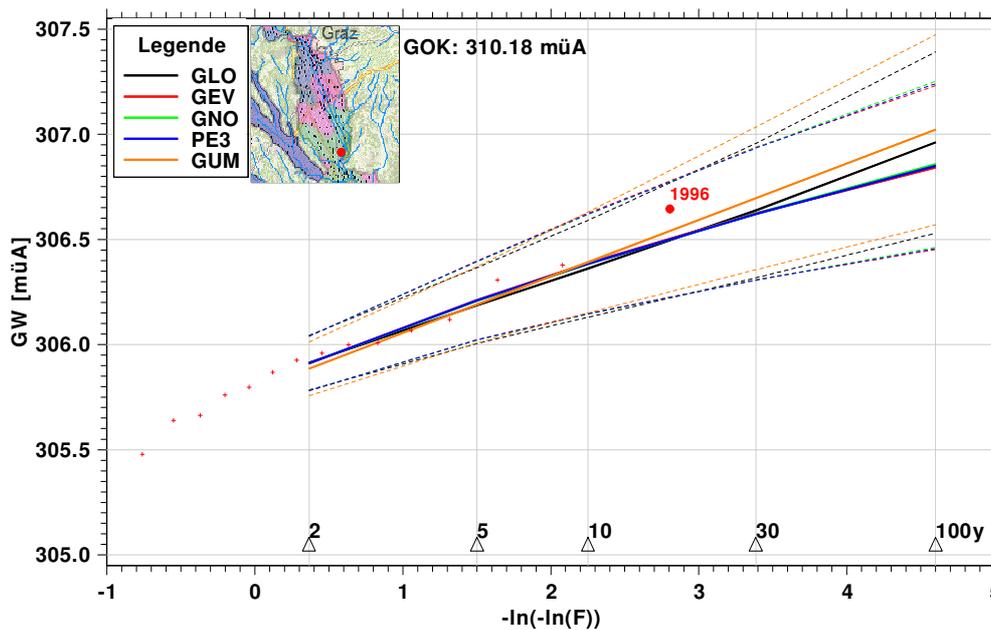


Abbildung 2: Wahrscheinlichkeitsplot für eine Messstelle im Grazer Feld (die durchgezogenen Linien sind die angepassten Verteilungsfunktionen, die gepunkteten Linien geben das 90% Konfidenzintervall an.)

Die graphische Auswertung hat keine Bedeutung mehr für die eigentliche Anpassung der Verteilung und die Ermittlung der gesuchten Quantile. Die graphische Darstellung der empirischen Stichprobe gemeinsam mit den angepassten Verteilungsfunktionen und den Konfidenzgrenzen (Wahrscheinlichkeitsplot) ist allerdings für die visuelle Beurteilung der Güte sehr wertvoll. Da in einem Wahrscheinlichkeitspapier nicht mehrere Verteilungen gleichzeitig als Gerade abgebildet werden können, ist die übliche Praxis, für die graphische Darstellung von mehreren angepassten Wahrscheinlichkeitsverteilungen die Abszisse doppelt logarithmisch und die Ordinate linear zu skalieren. Die Gumbel-Verteilung erscheint dann als Gerade, andere Verteilungen weisen einen gekrümmten Verlauf auf. Die *plotting positions* für die empirische Stichprobe werden nach Weibull ermittelt. In Abbildung 2 ist ein Wahrscheinlichkeitsplot für eine Messstelle im Grazer Feld als Beispiel dargestellt. Laut Anderson-Darling Test ist die Nullhypothese bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 10% für die fünf angeführten Verteilungen nicht abzulehnen, d. h. die Stichprobe kann aus jeder dieser Verteilungen stammen. Nur für die Verallgemeinerte Pareto Verteilung (GPA) war die  $H_0$  in diesem Beispiel abzulehnen.

#### 2.2.5.1 Unsicherheit, Vertrauensbereich

Für das geschätzte Ereignis  $x_T$  ist der zugehörige Schwankungsbereich  $\Delta x$  anzugeben. Es wird angenommen, dass die aus verschiedenen Stichproben derselben Grundgesamtheit extrapolierten Werte um  $x_T$  normal verteilt sind. Für die Gumbel-Verteilung gilt bekanntlich (KITE, 1977):

$$\Delta x = u(1 - \alpha/2) \cdot s_E \quad \text{mit} \quad s_E = \beta_T \cdot \frac{s_x}{\sqrt{n}} \quad \text{und} \quad \beta_T = \sqrt{1 + 1,14K + 1,1K^2}$$

mit  $\alpha$  Irrtumswahrscheinlichkeit  
 $u(1-\alpha/2)$  1-  $\alpha/2$ -Quantil der standardisierten Normalverteilung  
 $(P(|Z|>u)=\alpha/2, \text{ z. B.: } u(1-0.1/2) = u(0.95) = 1,645 \text{ f\u00fcr den 90\% Vertrauensbereich})$

Das Intervall  $[x_T - \Delta x, x_T + \Delta x]$  \u00fcberdeckt mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% den wahren Wert  $x_T$ .

F\u00fcr andere Verteilungsfunktionen kann der Standardfehler  $s_E$  n\u00e4herungsweise mittels folgender Beziehung gesch\u00e4tzt werden (DVWK, 1999):

$$s_E = \frac{s_x}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{(1 + Kq_3 + 0.25K^2(q_4 - 1))} \quad \text{mit} \quad K = \frac{x_T - \bar{x}}{s_x}$$

$q_3$  und  $q_4$  sind die erwartungstreuen Zentralmomentenquotienten 3. bzw. 4. Ordnung.

Die letztgenannte N\u00e4herungsformel liefert f\u00fcr die Gumbel-Verteilung im Durchschnitt etwas gr\u00f6\u00dfere Vertrauensbereiche als die explizite Angabe f\u00fcr die Gumbel-Verteilung. Dadurch dass in die N\u00e4herungsformel die Momente bis zur 4. Ordnung eingehen, kommen bei Stichproben mit Ausreißern auch deutlich gr\u00f6\u00dfere Konfidenzintervalle zustande.

Grunds\u00e4tzlich ist noch festzustellen, dass die Berechnung der Konfidenzintervalle auch von der Methode der Parametersch\u00e4tzung abh\u00e4ngt. Die genannten Ausdr\u00fccke gelten streng genommen nur, wenn die Parametersch\u00e4tzung mittels der konventionellen Momentenmethode erfolgte. Werden die Parameter wie in diesem Projekt durchwegs mit der L-Moments Methode gesch\u00e4tzt, stehen leider keine entsprechenden Ausdr\u00fccke zur Verf\u00fcgung. Hosking empfiehlt die Anwendung eines Bootstrap Verfahrens, d. h. ein relativ rechenintensives Resampling-Verfahren. F\u00fcr die Fallstudien in diesem Projekt wurden die Konfidenzintervalle mit o. a. N\u00e4herungsmethoden gesch\u00e4tzt. Man liegt damit i. Allg. auf der sicheren Seite, da die L-Moments Methode robuster ist und daher engere Konfidenzintervalle ergibt.

## 2.2.6 Regionale Frequenzanalyse mittels L-Moments

### 2.2.6.1 Hintergrund

Vor allem bei Reihen mit wenigen Werten nimmt die Unsicherheit der gesch\u00e4tzten Quantile f\u00fcr gr\u00f6\u00dfere Wiederkehrintervalle rasch zu. Die regionale Frequenzanalyse (RFA) beruht auf der Annahme, dass sich die Extremwerte benachbarter Messstellen in einem Gebiet (= „Region“) statistisch \u00e4hnlich verhalten und dass es eine regionale Verteilungsfunktion gibt, die f\u00fcr eine Messstelle nur durch eine geeignete Skalierung anzupassen ist. In die Sch\u00e4tzung der regionalen Verteilungsfunktion gehen alle Beobachtungen der als homogen identifizier-

ten Region ein, sodass durch die wesentlich größere Stichprobe die Zuverlässigkeit der Aussagen deutlich verbessert wird. Eine „Region“ kann als geographisch zusammenhängendes Gebiet, aber auch nur durch bestimmte gemeinsame Kriterien definiert sein.

Eine exakte Homogenität einer Region kann in der Praxis nicht erwartet werden. Daher vergrößert die immer bis zu einem gewissen Grad vorhandene statistische Inhomogenität die Unsicherheit der an der Messstelle geschätzten Quantile. Es ist in der Anwendung abzuschätzen, wie viel einerseits die in die RFA eingehende zusätzliche Information die Zuverlässigkeit verbessert und wie viel andererseits die Heterogenität der Region an Unsicherheit einbringt. An Messstellen mit langen Reihen wird die Zuverlässigkeit einer lokalen Extremwertanalyse besser sein, während die RFA an Messstellen mit kurzen Reihen Vorteile bringt.

### 2.2.6.2 Transformation der Reihen

Die Anwendung der RFA in der Hydrologie begann in der Hochwasserstatistik mit sogenannten „Index flood“ Prozeduren. Angenommen, es gibt beobachtete Abflussscheitel  $Q_{ij}$ ,  $j = 1, \dots, n_i$  an  $N$  Pegeln mit jeweils  $n_i$  Beobachtungsjahren. Sei  $Q_i(F)$ ,  $0 < F < 1$ , die Quantilfunktion der Verteilung an der Messstelle  $i$ . Die Grundannahme der Index-flood Prozeduren ist dann, dass die  $N$  Messstellen eine homogene Region bilden, d. h. dass die Verteilungen der  $N$  Messstellen identisch sind, abgesehen von einem messstellenspezifischen Skalierungsfaktor, der Index-flood.

Das gesuchte Quantil  $Q$  an einer Messstelle  $i$  ergibt sich dann durch Skalierung der regionalen Verteilung  $q$ :

$$Q_i(F) = \mu_i q(F) \quad i = 1, \dots, N$$

worin  $\mu_i$  die sogenannte Index-flood ist, die naheliegender durch  $\hat{\mu}_i = \bar{Q}_i$ , den Mittelwert der Stichprobe, geschätzt wird.

Die Reihen extremer Grundwasserstände können nicht einfach durch einen multiplikativen Skalierungsfaktor skaliert werden, da die relative Angabe zum Nullpunkt (m. ü. A.) eine willkürliche additive Konstante darstellt. Vor Anwendung der RFA werden die Jahresreihen der Grundwasserstände daher wie folgt transformiert:

$$x_{i,j} = \frac{G_{i,j} - G_{i,\min}}{G_{i,\max} - G_{i,\min}}, \quad i = 1, \dots, N \quad j = 1, \dots, n_i$$

Es wird also eine regionale Verteilung der relativen Schwankungen der Grundwasserhöchststände gesucht. Nach (regionaler) Schätzung der Quantile der transformierten Variablen  $x$  erfolgt eine Rücktransformation zu den eigentlichen Grundwasserständen  $G$ .

### 2.2.6.3 Schätzung der Parameter einer regionalen Verteilung

HOSKING und WALLIS (1997) empfehlen, die Parameter  $\hat{\theta}_k^{(i)}$  der gewählten Verteilungsfunktion für jede Messstelle  $i$  zu schätzen. Die Parameter  $\hat{\theta}_k^R$  der regionalen Verteilung werden dann als gewichtetes Mittel der Parameter für die einzelnen Messstellen gebildet:

$$\hat{\theta}_k^R = \frac{\sum_{i=1}^N n_i \hat{\theta}_k^{(i)}}{\sum_{i=1}^N n_i}$$

### 2.2.6.4 Vorgangsweise der Schätzung von Quantilen

Die Vorgangsweise der Anwendung der RFA auf extreme Grundwasserstände folgt i. W. der Darstellung in HOSKING und WALLIS (1997). Die Implementierung der Prozeduren erfolgte mittels VB.Net, aufbauend auf den Fortran-Prozeduren von J. R. M. Hosking, wie sie in HOSKING (2000; 2009) publiziert wurden.

1. Zuordnung jeder Messstelle zu einer „Region“, ausgehend von einer Clusteranalyse und manuell angepasst aufgrund hydrogeologischer und hydrologischer Überlegungen.
2. Auswahl der Jahresreihen einer Region aus den Reihen der Tagesmittel der Grundwasserstände, wie sie vom HD bereitgestellt werden. In den Ganglinien werden markante Veränderungen, wie Sprünge und andere Reihenunterbrechungen, identifiziert. Für die RFA werden nur die Jahre nach den letzten Veränderungen herangezogen.
3. Transformation der Reihen (2.2.6.2)
4. Berechnung der Stichproben-L-Moments und der gewichteten regionalen L-Moments sowie eines Diskordanzmaßes  $D$  für jede Messstelle.  $D$  ist ein Maß, wie weit eine Messstelle im Hinblick auf die L-Moment-Verhältnisse L-CV, L-Skewness und L-Kurtosis von den übrigen Messstellen der Region abweicht.
5. Berechnung von Maßzahlen für die Homogenität bzw. Heterogenität einer Region.
6. Anpassung von geeigneten Verteilungen. Den Empfehlungen in HOSKING und WALLIS (1997) folgend, werden die verallgemeinerte logistische Verteilung (GLO), die verallgemeinerte Extremwertverteilung (GEV), die verallgemeinerte Normalverteilung (GNO) und die Pearson-3 Verteilung (PE3) angepasst.
7. Durchführung von Anpassungstests (goodness of fit). In der vorliegenden Arbeit wird ein auf Monte Carlo Simulation basierender Test verwendet, wie er in (HOSKING & WALLIS, 1997) beschrieben ist.
8. Schätzung der gesuchten (transformierten) Quantile mithilfe jener regional angepassten Verteilungen, die den Anpassungstest bestanden haben.

$$\hat{x}_i(F) = \hat{\mu}_i \hat{x}(F) \quad i = 1, \dots, N$$

9. Rücktransformation zur Angabe der  $HGW_T$

$$HGW(F)_i = G_{i,\min} + \hat{x}_i(F) \cdot (G_{i,\max} - G_{i,\min}) \quad i = 1, \dots, N$$

### 2.2.6.5 Unsicherheit, Vertrauensbereich

Ergebnisse statistischer Analysen sind naturgemäß unsicher, daher ist die Angabe dieser Unsicherheit unabdinglich für deren sinnvolle Anwendung. In der konventionellen Statistik werden solche Angaben durch Konstruktion von Konfidenzintervallen für geschätzte Parameter und Quantile erzielt. Vorausgesetzt wird dabei i. Allg., dass alle Annahmen und Voraussetzungen für das gewählte statistische Modell exakt zutreffen.

In der Praxis sind solche Konfidenzintervalle vor allem dann von begrenztem Nutzen, wenn man sich nicht sicher sein kann, dass alle Voraussetzungen strikt eingehalten wurden. Als eine der Stärken der RFA gilt, dass sie auch gute Ergebnisse liefert, wenn nicht alle Voraussetzungen streng zutreffen. Daher gibt es allerdings auch keine einfache Schätzmöglichkeit des Vertrauensbereiches analog zu 2.2.5.1. Als geeignete Vorgangsweise bietet sich hier die Monte Carlo Simulation an. Es wird eine große Anzahl von Regionen gleicher Messstellenanzahl und mit gleicher Reihenlänge wie die Beobachtungen aus den an den Messstellen angepassten Verteilungen simuliert. Die Korrelation zwischen den Messstellen wird dabei berücksichtigt. Auf jede dieser simulierten Regionen wird der regionale L-Moment Algorithmus angewendet, um damit die Quantile zu schätzen. Aus der empirischen Verteilung (Histogramm) dieser Quantile lässt sich ein z. B. 90% Vertrauensbereich abschätzen.

## 2.3 Extremwertstatistik für partielle Reihen

In der Extremwertanalyse kommen unterschiedliche Methoden zur Erzeugung der Stichprobe aus einer Zeitreihe zum Einsatz. Wie bereits im vorigen Kapitel 2.2 erläutert, wird in der Regel die Block Maxima Methode verwendet. Dabei wird die Zeitreihe in Abschnitte gleicher Länge unterteilt und das jeweilige Maximum eines Blockes als Extremwert behandelt. Das Ergebnis ist z. B. eine jährliche Reihe von Maximalwerten, bei der die Anzahl der Extremwerte direkt abhängig von der Länge der Zeitreihe und der Größe der gewählten Blöcke ist. Der einfachen Handhabung stehen allerdings einige Nachteile entgegen:

1. die Stichprobengröße ist bei kurzen Zeitreihen für die Extremwertanalyse oftmals nicht ausreichend
2. bei kleinen Blöcken ist u. U. die Unabhängigkeit der Maxima untereinander nicht mehr gegeben
3. der größte Wert eines Abschnittes ist nicht zwingendermaßen ein Extremwert
4. liegen mehrere Extremwerte in einem Block, wird nur der größte berücksichtigt und die Information der anderen Spitzenwerte geht verloren

Eine weitere Option stellen partielle Reihen dar: dieser Ansatz berücksichtigt alle voneinander unabhängigen relativen Extremwerte, die einen vorab definierten Schwellenwert überschreiten (Peaks Over Threshold, POT). Der Wahl einer geeigneten Schwellenhöhe kommt

zentrale Bedeutung zu: liegt sie zu nieder, gelten die gleichen Einschränkungen wie unter 2., liegt sie zu hoch, werden nicht alle Extremwerte erfasst. Bei einer passenden Schwelle hat diese Methode allerdings den Vorteil, dass einerseits tatsächlich nur Extremwerte aus der Zeitreihe gefiltert werden (LANG *et al.*, 1999), und andererseits eine größere Stichprobe erzielt werden kann.

Für die Zeitreihen der extremen Grundwasserstände erscheinen vor allem folgende Aspekte interessant:

1. Die Jahreshöchstwerte sind in manchen Jahren an zahlreichen Grundwassermessstellen keine echten Grundwasserhochstände.
2. Vor allem bei kurzen Reihen sollte die in die Extremwertschätzung einbezogene Stichprobe deutlich größer werden und die Schätzung dadurch zuverlässiger.

### **2.3.1 Erstellung partieller Reihen**

So einfach die Aufgabe zunächst scheinen mag, ergeben sich doch für eine zuverlässige automatisierte Bearbeitung von mehreren hundert Zeitreihen alleine in den bisher bearbeiteten Fallstudien eine Reihe von Schwierigkeiten. Erstaunlicherweise existieren zwar aus den Gebieten der Signalverarbeitung Algorithmen dafür und auch zugängliche Software, die sich aber nicht gut für Maxima-Erkennung in den Grundwasserzeitreihen eignen. Die Aufgabe wurde in zwei Schritte aufgelöst. Im ersten Schritt werden alle unabhängigen Spitzen identifiziert, im zweiten Durchgang erfolgt die Festlegung eines Schwellenwertes und die entsprechende Auswahl der partiellen Reihe.

#### *2.3.1.1 Identifikation unabhängiger Spitzen*

Die entwickelte Prozedur zur Identifikation von unabhängigen Spitzen geht von den Tagesmitteln der Grundwasserstände aus. Bei manuell beobachteten Messstellen enthalten diese zahlreiche zeitlich interpolierte Werte, darunter auch immer wieder Folgen von über mehrere Tage numerisch exakt gleichen Werten. Wenn diese Folgen als lokale Maxima oder Minima zu erkennen sind, werden in einem ersten Durchgang in der Mitte der Folge kleine Beträge (z. B. 3 mm) addiert bzw. subtrahiert, um einen Extremwert exakt lokalisieren zu können.

Die Unabhängigkeit aufeinander folgender Spitzen wird durch die Wahl eines Mindestzeitintervalls zwischen zwei aufeinander folgenden Spitzen erreicht. Dieser Wert ist für jede Gruppe von Grundwassermessstellen festzulegen, die in einem Durchgang bearbeitet werden. In den bisher bearbeiteten Gebieten wurden generell mit einem Abstand von 60 Tagen befriedigende Ergebnisse erzielt, bei deutlich trägeren Systemen könnte allerdings durchaus ein größeres Intervall notwendig sein (Abbildung 3).

Dieselbe Routine liefert zusätzlich zur Reihe der Spitzen auch die zugehörigen Ausgangs-

Grundwasserspiegel, die als Minimum zwischen zwei aufeinander folgenden Spitzen definiert wurden. Diese Information kann zu einer Extremwertanalyse der Grundwasseranstiege herangezogen werden.

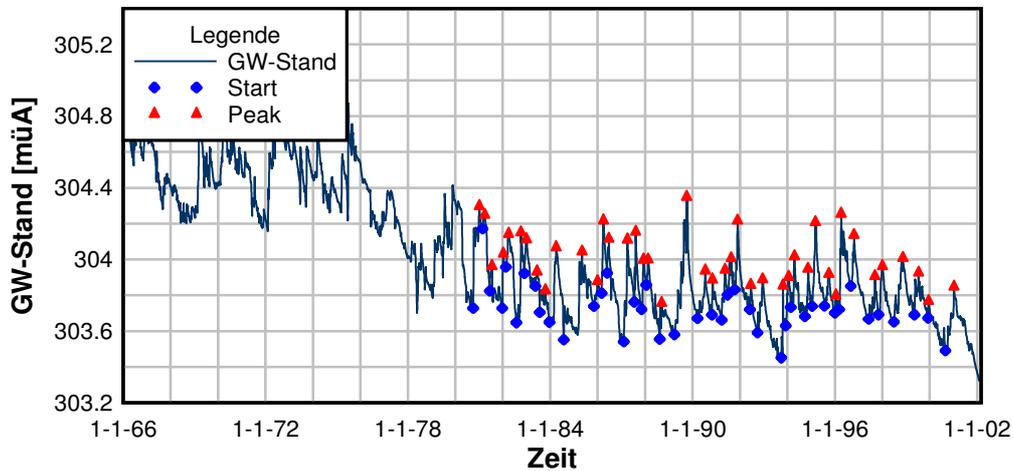


Abbildung 3: Reihe unabhängiger Scheitelwerte nach der Reihenunterbrechung 1.6.1980

In Abbildung 4 sind als Beispiel in grüner Farbe die Scheitelwerte einer Zeitreihe hervorgehoben. Diese Werte bilden eine Vorselektion der Maxima, aus der entsprechend der Schwellenhöhe in einem zweiten Schritt die tatsächlichen Extremwerte gewählt werden.

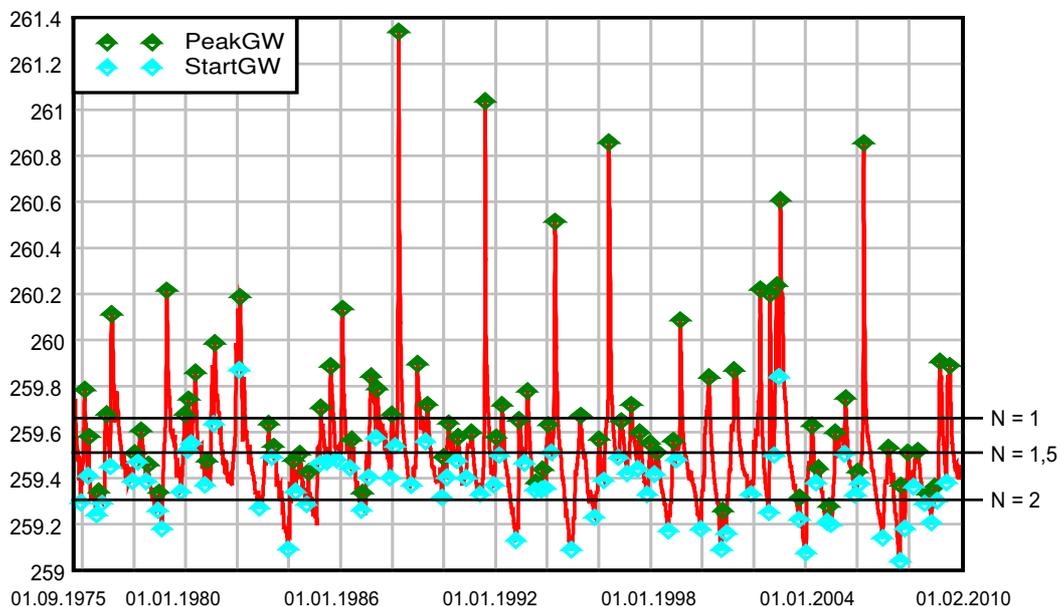


Abbildung 4: Spitzen der Grundwassertagesmittel der Messstelle 323550 (südliches Linzer Feld) und Schwellen in Abhängigkeit vom Stichprobenumfang

### 2.3.1.2 Erstellung der partiellen Reihen

Nachdem unabhängige Spitzen identifiziert wurden, ist ein Schwellenwert zu wählen. Alle

Spitzen, die größer sind, bilden die partielle Reihe. Für Abflussreihen von Oberflächengewässern gibt es Empfehlungen für die Festlegung des Schwellenwertes, die allerdings nicht direkt auf Grundwasserreihen anwendbar sind.

Um den Einfluss der Schwellenhöhe auf die Schätzung der Extremwerte zu untersuchen, wurden einige typische Zeitreihen aus verschiedenen Grundwassergebieten ausgewählt und aus jeder der Zeitreihen drei partielle Reihen mit unterschiedlicher Stichprobengröße erzeugt. Ausgehend von der Beobachtungsdauer jeder Messreihe ( $J$  = Anzahl der Beobachtungsjahre) wurden die Höhen der Schwelle so gesetzt, dass an jeder Messstelle drei Stichproben von unterschiedlicher Größe  $n = N * J$  relativ zur Zeitreihenlänge  $J$  gebildet wurden. Die partielle Reihe mit dem höchsten Schwellenwert enthält genauso viele Werte  $n$  wie Jahresmaxima ( $N = 1$ ), jene mit der nächst kleineren eineinhalb mal so viele ( $N = 1,5$ ) und die Reihe mit der niedrigsten Schwelle exakt die doppelte Anzahl ( $N = 2$ ).

In der Abbildung 4 sind drei unterschiedliche Schwellenniveaus in der Ganglinie eingezeichnet. In den weiteren Untersuchungen wird nur an jene Werte eine Extremwertverteilung angepasst, die als Spitze (grün) ausgewiesen sind und eine der Schwellen überschreiten.

### 2.3.1.3 Beurteilung der Schwellenhöhe mithilfe der mean residual life function

Die Festlegung der Schwellenhöhe ist eine zentrale Fragestellung in der Anwendung der POT Methode ein. Hinweise für eine geeignete Schwellenwahl kann die mean residual life function (MRLF, auch mean excess function, mittlere Restlebenszeit) bieten (COLES, 2003; REISS & THOMAS, 1997). Im Wesentlichen wird der Mittelwert der Überschreitungen (mean excess) als Funktion der Schwellenhöhe ( $u$ ) ausgedrückt (siehe Abbildung 5).

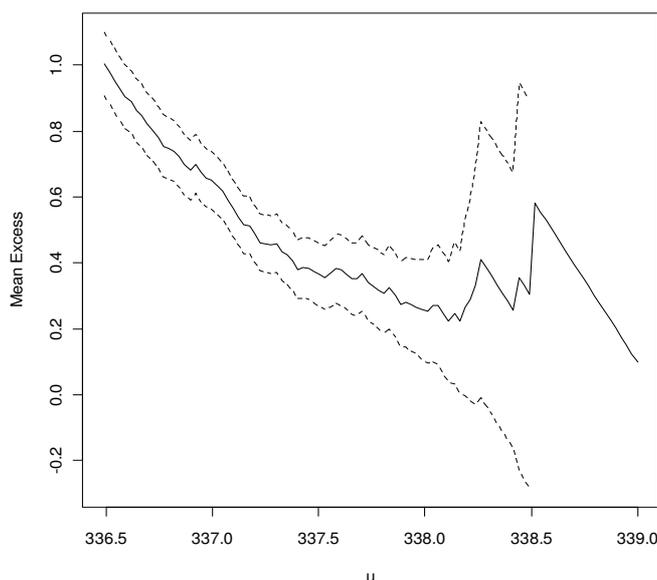


Abbildung 5: Mean residual life plot von HZBNR 315234

Die vollständige Herleitung der mean residual life function für die GPA ist in COLES (2003) zu finden. Der lineare Bereich der mean residual life function kann als gültiger Bereich für die Extremwertanalyse (EWA) interpretiert werden, die Schwelle sollte demnach aus diesem Abschnitt gewählt werden. So sollte beispielsweise in der Abbildung 5 die Schwelle einen Wert von etwa 338 m nicht überschreiten. In der vorliegenden Fallstudie dient diese Funktion primär zur visuellen Kontrolle der vorab gewählten Schwellenwerte, da eine automatisierte Wahl des Schwellenwertes auf der Grundlage der mean residual life function nicht (oder nur mit großem Software-Entwicklungsaufwand) möglich ist.

Als praktikable und automatisierbare Vorgangsweise empfiehlt es sich, für ein konkretes Grundwassergebiet einige Zeitreihen auszuwählen und die Schwellenwerte anhand der mean residual life function zu wählen. Aus diesen Schwellenwerten schließt man auf die mittlere Anzahl von Extremwerten pro Jahr zurück und verwendet diesen Wert in der automatischen Bearbeitung für alle Reihen eines Gebietes.

### **2.3.2 Wahrscheinlichkeitsverteilungen**

Wenn die Block Maxima (Jahresreihe) einer Variablen einer der Verteilungen aus der GEV Familie entstammen, dann kann die Verteilung der Überschreitungen über einem Schwellenwert (exceedances) durch die verallgemeinerten Pareto Verteilung (GPA) zu beschreiben (COLES, 2003).

In der hydrologischen Praxis werden auch an partielle Reihen die bisher genannten Extremwertverteilungen angepasst. Allerdings weisen die Häufigkeitsverteilungen partieller Reihen oft einen exponentiellen Verlauf auf, wodurch die Anpassung an die glockenförmigen Verteilungsfunktionen schwieriger sein kann. Die Parameterschätzung für partielle Reihen kann analog zu den Jahresreihen durchgeführt werden.

### **2.3.3 Lokale Schätzung von Quantilen**

Auch die lokale Schätzung von Quantilen wird zunächst gleich wie bei Jahresreihen vorgenommen, allerdings ist eine Korrektur der Wahrscheinlichkeiten proportional zum Verhältnis zwischen Anzahl der Jahre  $J$  und Stichprobenumfang  $n$  vorzunehmen. Für das gesuchte Wiederkehrintervall  $T_R$  ist also das Quantil für die Wahrscheinlichkeit  $P_p$  zu berechnen:

$$P_p = 1 - \left( \frac{1}{N \cdot T_R} \right) \text{ mit } n = N \cdot J \quad (\text{siehe 2.3.1.2})$$

## 2.4 Klassifikation der GW-Messstellen

Es ist davon auszugehen, dass extreme GW-Stände abhängig von der Lage und den maßgeblichen Einflussgrößen für die GW-Schwankungen mit unterschiedlichen Methoden zu schätzen sind. Die Kriterien für eine Klassifikation sind u. a.: auslösende Prozesse (Niederschlag, Hochwasser im Vorfluter), hydrogeologisch bedingte Schwellenwerte (Deckschicht, Geländekote, Vorfluter), zeitliche Dynamik (unabhängige Jahreshöchstwerte oder mehrjähriges „Gedächtnis“).

Das Ziel der Klassifikation der Messstellen ist die Identifikation von Gruppen mit homogenen standörtlichen Charakteristika und hydrologischen Eigenschaften. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass Messstellen mit ähnlichen Standorteigenschaften wie dem Abstand vom Gewässer, der Höhenlage, der Amplitude der Grundwasserschwankungen etc., auch in der statistischen Verteilung ihrer Messwerte bzw. Extremwerte ähnlich sind.

Der Vorgang der Klassifikation erfordert eine sorgfältige hydrogeologische und hydrologische Analyse der Messstellen. Eine Clusteranalyse kann in einem ersten Schritt helfen, eine geeignete Zonierung der Grundwassermessstellen zu finden.

### 2.4.1 Clusteranalyse

Die Klassifikation der Grundwassermessstellen wird mittels eines zweistufigen Verfahrens nach HOSKING und WALLIS (1997) durchgeführt. Zur Anwendung kommen die Clusteranalyse nach Ward und der k-Means Algorithmus.

### 2.4.2 Anforderungen an die Kriterien

Die Auswahl der Kriterien, nach denen Messstellen in homogene Gruppen zusammengefasst werden, basiert auf der Annahme, dass Messstellen, die hydrogeologisch und morphologisch ähnlich gelegen sind, auch einer ähnlichen statistischen Verteilung ihrer Messreihen unterworfen sind. Diese Kriterien haben nach HOSKING und WALLIS (1997) folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Die Attribute sollten untereinander möglichst unabhängig sein.
- Die Attribute sollten möglichst keine statistischen Parameter enthalten. Dies gilt insbesondere für Parameter, aus denen die Statistiken zum Test der Homogenität der Zonen berechnet werden. Werden die gleichen Daten zur Klassifizierung und zur Überprüfung herangezogen, verlieren die Tests ihre Gültigkeit.
- Außerdem sollten die Attribute aus vorhandenen Daten direkt übernommen bzw. leicht ableitbar sein. So wird gewährleistet, dass die Klassifikation nachvollziehbar und wiederholbar bleibt. Weiters sind Parameter, die Standortseigenschaften charakterisieren, gegenüber jenen zu bevorzugen, die aus den gemessenen Daten gewonnen werden.

### **2.4.3 Angewandte Kriterien der Clusteranalyse**

In der vorliegenden Studie fanden folgende Kriterien zur Klassifikation der Messstellen Anwendung. Die endgültige Festlegung der Klassifikationskriterien wird modifiziert, wenn sich aus der statistischen Extremwertanalyse Hinweise auf weitere Heterogenitäten ergeben.

- rangeGW: Die Schwankungsbreite wird aus der Differenz des maximalen und minimalen Grundwasserstandes berechnet.
  - dist\_Gew: Abstand der Grundwassermessstelle zum dominierenden Vorfluter, soweit identifizierbar. Die Anwendung zeigte allerdings, dass Schwankungsbreite rangeGW und Entfernung zum Vorfluter häufig eng korrelieren und dass in diesen Fällen die Schwankungsbreite das geeignetere der beiden Kriterien ist.
  - minFLAB: Der minimale Flurabstand entspricht der Differenz zwischen Geländeoberkante und maximalem Grundwasserstand. Unter Berücksichtigung dieses Attributes sollen jene Messstellen gruppiert werden, an denen der maximale Grundwasserstand bis nahe an die Geländeoberfläche steigt und welche daher besonders relevant für die vorliegende Fragestellung sind. Generell sind geringere Flurabstände meist in unmittelbarer Gewässernähe (Auzone) zu finden.
  - mFLAB: Der mittlere Flurabstand entspricht der Differenz von Geländeoberkante und mittlerem Grundwasserstand und kann als Alternative zum minimalen Flurabstand betrachtet werden.
  - GWmax: Höchster gemessener Grundwasserstand, gemessen in absoluter Höhe
- Sämtliche Informationen über die Grundwasserstände werden direkt aus den Zeitreihen der Messstellen abgeleitet.

## **2.5 Flächenhafte Darstellung (Interpolation)**

Die Ermittlung extremer Grundwasserstände an den Messstellen beantwortet im Allgemeinen noch nicht die konkrete Fragestellung nach dem extremen Grundwasserstand am Ort einer geplanten Maßnahme, z. B. eines geplanten Schotterabbaus. Dafür ist ein extremer Grundwasserstand durch Interpolation der Grundwasserstände benachbarter Stationen zu ermitteln.

Es stehen zahlreiche Interpolationsverfahren zur Verfügung, die meist aus unregelmäßig verteilten Stützpunkten einer Variablen auf ein beliebig fein aufgelöstes Raster interpolieren. Eine einfache und weit verbreitete Methode beruht auf einer inversen Distanzgewichtung (IDW), die allerdings auch sehr häufig keine zufriedenstellenden Ergebnisse liefert. Der sogenannte Fettageneffekt ist gerade für Grundwasseroberflächen eine störende Eigenschaft. Geostatistische Verfahren wie das Kriging betrachten die zu interpolierende Variable als Re-

alisierung eines Zufallsprozesses, dessen Charakteristik durch vorausgehende Analyse der räumlichen Korrelation „optimal“ für die Interpolation verwendet wird. Aber auch ohne sorgfältige Analyse wird meist ein gutes Interpolationsergebnis erzielt. Der in Grundwasseroberflächen grundsätzlich vorhandene Trend kann durch erweiterte Varianten des Krigings, z. B. Universal Kriging, berücksichtigt werden. Selbst erfahrene Geostatistiker warnen allerdings davor, in der Praxis allzu viel Mühe in eine komplexe Trendmodellierung zu investieren. Es wird der einfachere, robuste Ordinary Kriging Algorithmus mit der Wahl eines geeigneten Suchradius empfohlen (DEUTSCH & JOURNAL, 1992).

Die Erfahrungen aus den bisher durchgeführten Fallstudien der Grundwasserextremwertermittlung legen auch nahe, die flächenhafte Interpolation mittels Ordinary Kriging unter Annahme eines näherungsweise geschätzten Semivariogramms durchzuführen. Methoden, bzw. Unterprogramme zur Variogrammschätzung und Interpolation mittels Ordinary Kriging wurden auf der Grundlage der GSLIB Routinen (DEUTSCH & JOURNAL, 1992) implementiert, stehen aber auch im Softwarepaket Surfer zur Verfügung, das vom HD verwendet wird.

### 2.5.1 Ordinary Kriging

Ordinary Kriging (OK) setzt Stationarität voraus, d. h., der Erwartungswert der Schätzung  $E[Z_v]$  entspricht dem Erwartungswert der umgebenden Punkte  $E[Z(x)]$  und die Kovarianz  $C$  ist ausschließlich von der Distanz  $h$  abhängig:

$$E[Z(x)] = m = E[Z_v]$$

$$E[(Z(x+h) - m)(Z_v - m)] = C(h)$$

Ist der Mittelwert  $m$  unbekannt, spricht man von Ordinary Kriging. Der OK Schätzer  $Z_v^*$  ist der mit  $\lambda_i$  gewichtete (gleitende) Mittelwert der umgebenden Datenpunkte  $Z(x_i)$ :

$$Z_v^* = \sum_{i=0}^n \lambda_i Z(x_i)$$

Der mittlere Schätzfehler  $[Z_v^* - Z_v]$  ist:

$$E \left[ \sum_{i=0}^n \lambda_i Z(x_i) - Z_v \right] = \sum_{i=0}^n \lambda_i m - m = m \left[ \sum_{i=0}^n \lambda_i - 1 \right]$$

Um die vorher genannten Bedingungen zu erfüllen, ist der mittlere Fehler 0 und die Summe der Gewichte beträgt 1.

Ordinary Kriging wird in den gängigen Softwareprodukten in einem gleitenden Suchbereich angewandt, die berücksichtigten Messstellen (und in der Folge auch deren Mittelwert) sind damit vom Ort der Schätzung abhängig. Das impliziert, dass es sich bei dieser Form des OK um einen quasi instationären Algorithmus handelt, bei dem der Mittelwert eine Funktion des Ortes ist, die Kovarianz aber nur vom Abstand zwischen zwei Punkten abhängt. So können

auch globale Trends (z. B. GW-Spiegelgefälle) berücksichtigt werden, ohne diese eigens ins Modell integrieren zu müssen. Der Größe des Suchradius kommt daher eine entscheidende Rolle im Kompromiss zwischen Homogenität und Stichprobendichte zu: 1. er ist ausreichend klein zu wählen, um innerhalb des Suchradius stationäre Verhältnisse zu gewährleisten, d. h. lokale Schwankungen/Fluktuationen dominieren über einem regionalen Trend und 2. muss er genügend groß sein, um eine ausreichende Stichprobengröße zu ermöglichen (ARMSTRONG, 1998; DEUTSCH & JOURNEL, 1992).

## **2.5.2 Spezielle Anforderungen an die Interpolation von Grundwasserständen**

Bei der Anwendung von Kriging zur Interpolation von extremen Grundwasserständen sind einige Besonderheiten zu beachten. So wird der Grundwasserspiegel von unterschiedlichen Randbedingungen beeinflusst bzw. begrenzt, die auch in der Interpolation berücksichtigt werden müssen. Im Allgemeinen ist darauf zu achten, dass jene Messstellen, die in die Schätzung einfließen auch tatsächlich in direktem Kontakt zueinander stehen und nicht durch einen Vorfluter oder andere hydrogeologische Barrieren voneinander getrennt sind.

### *2.5.2.1 Natürliche hydrogeologische Grenzen*

Als hydrogeologische Grenze ist z. B. ein Vorfluter zu betrachten, der mit dem Grundwasserkörper kommuniziert. Der Wasserstand im Gewässer kann direkt in die Interpolation aufgenommen werden. Ist dieser unbekannt, ist der Vorfluter aber in jedem Fall als Barriere zu behandeln, über die hinaus nicht interpoliert werden darf.

Ähnliches gilt auch für andere hydrogeologische Grenzen wie Engstellen etc. im Grundwasserkörper. Hier ist ebenfalls die Interpolation über diese natürlichen Grenzen nicht zulässig und muss ggf. durch eine Anpassung/Verkleinerung des Suchradius verhindert werden.

### *2.5.2.2 Künstliche Randbedingungen - Drainagen*

Drainagen, Brunnen zur Wasserhaltung etc. als punktuelle oder flächenhafte Absenkungen sollten ebenfalls, soweit die Absenktiefe bekannt ist, in die Interpolation integriert werden.

### *2.5.2.3 Zonengrenzen der regionalen Frequenzanalyse*

Die Extremwerte der regionalen Frequenzanalyse können über die Zonen, in denen die Extremwertschätzung durchgeführt wurde, interpoliert werden. Abhängig von der Fragestellung können auch Extremwerte unterschiedlicher Verteilungen aus regionaler und/oder lokaler Schätzung miteinander kombiniert werden. In jedem Fall sind aber die Einschränkungen aus den hydrogeologischen Randbedingungen (2.5.2.1) zu beachten.

### **3 Analyse extremer Grundwasserstände in ausgewählten Grundwassergebieten**

Als Testgebiete für die Methodenentwicklung wurden bisher folgende Grundwassergebiete bearbeitet.

- Grazer Feld
- Leibnitzer Feld
- Nördliches Linzer Feld
- Südliches Linzer Feld
- Rheintal
- Wiener Teil des Marchfeldes

Die nachfolgenden Erläuterungen und Empfehlungen zur Anwendung statistischer Methoden zur Extremwertschätzung beruhen auf den Erfahrungen, die in der Bearbeitung dieser Gebiete gewonnen wurden. Die Verschiedenheit der gewählten Gebiete gewährleistet eine Übertragbarkeit der Methoden und Arbeitsabläufe auf die meisten österreichischen Grundwassergebiete.

#### **3.1 Arbeitsschritte**

Das Arbeitsprogramm gliedert sich in folgende Arbeitsschritte:

- Datenaufbereitung in Arbeitsdatenbanken
- Identifikation von anthropogenen Eingriffen in das Grundwasserregime der Untersuchungsgebiete und deren Berücksichtigung in den Zeitreihen (Reihenunterbrechungen)
- Ermittlung der Extremwerte für jährliche und partielle Reihen mittels lokaler Schätzmethoden
- Anwendung und Analyse unterschiedlicher Anpassungstests
- Regionale Klassifikation der GW-Messstellen
- Ermittlung der Extremwerte mittels regionaler Frequenzanalyse
- Interpolation der Messstellenextrema zu Isolinienkarten des extremen Grundwasserspiegels und –flurabstandes
- Implementierung der Methoden in einem Softwarepaket

#### **3.2 Arbeitsdatenbank und Datenschnittstellen**

Für die Ermittlung extremer Grundwasserstände in den ausgewählten Grundwassergebieten konnten folgende Daten einbezogen werden:

- Zeitreihen der GW-Stände von allen verfügbaren Messstellen über die gesamte Beo-

bachtungsdauer. Soweit vorhanden, konnten Tageswerte verwendet werden, die allerdings in vielen Fällen durch Interpolation der Einzelwerterhebungen entstanden waren. Die Bereitstellung erfolgte durchwegs im HZB/Hydams-Format.

- Messstellenkarten als GIS-Datensätze
- Digitales Höhenmodell in der besten vorhandenen Auflösung (i. Allg. 10 x 10 m)
- Topographische Karten (ÖK50) digital als Hintergrund für Kartendarstellungen
- Gewässernetz: Es steht überall das Berichtsgewässernetz des Bundes zur Verfügung, die gewünschten Längenschnitte und maßgeblichen Wasserstände konnten allerdings in keinem Gebiet bereitgestellt werden
- Hydrogeologische Informationen (Stauerkoten, Deckschichtkoten,  $k_f$ -Werte, Speicherkoeffizienten – soweit vorhanden). Die Qualität und Informationsdichte variiert zwischen den Gebieten.
- Flächenwidmungs- und/oder Bebauungspläne. Diese Informationen wurden nicht in dieser Form bereitgestellt, allerdings konnten die benötigten Informationen über die Landbedeckung bzw. Verbauung in ausreichender Auflösung aus anderen GIS-Datensätzen (z. B. Realnutzung Wien, CORINE Land Cover) abgeleitet werden.

### **3.3 Lokale Extremwertanalyse an den Messstellen**

Lokale Extremwertanalyse an den Messstellen bedeutet, dass nur die Beobachtungen an der jeweiligen Messstelle – keine Nachbarstationen – herangezogen werden. Die Aufgabe gliedert sich in folgende Schritte:

1. Auswahl einer identisch und unabhängig verteilten Stichprobe von Extremwerten. Es kommen sowohl Jahresreihen als auch partielle Reihen der Grundwasserstände in Frage. Im Falle eines „mehrjährigen Gedächtnisses“ des Grundwasserstandes können als Ersatzreihen auch die (jährlichen) Grundwasseranstiege modelliert werden.
2. Schätzung der Parameter der anzupassenden Extremwertverteilungen
3. Anpassungstest
4. Schätzung der gesuchten Quantile und deren Konfidenzintervalle

#### ***3.3.1 Auswahl einer identisch und unabhängig verteilten Stichprobe von Extremwerten***

Sowohl bei der Verwendung von Jahresreihen als auch bei partiellen Reihen ist es wichtig, nur jenen Zeitraum heranzuziehen, der den aktuellen und für den Prognosezeitraum gültigen Bedingungen entspricht (siehe Kap. 2.1). Insbesondere größere anthropogene Eingriffe in den Grundwasserhaushalt, wie dauernde Entnahmen, veränderte Randbedingungen durch Baumaßnahmen usw., sind zu identifizieren und es kann nur der Teil der Zeitreihe verwendet

werden, der nach diesen Eingriffen beobachtet wurde.

Obwohl statistische Verfahren zur Identifikation von Sprüngen und Trends existieren, ist es praktisch zielführender, anhand guter Gebietskenntnis und visueller Beurteilung der Gangelnien die maßgeblichen Reihenunterbrechungen festzustellen. Die Kennzeichnung von Reihenunterbrechungen erfolgte in den jeweiligen Basistabellen eines Gebietes durch Angabe des Datums von Beginn und Ende (im Falle einer temporären Maßnahme) einer Beeinflussung. In die Extremwertstatistik geht der Teil der Zeitreihe ab dem Ende der letzten Unterbrechung ein.

Es obliegt dem Bearbeiter, zu beurteilen, ob diese Reihe geeignet ist, die maßgeblichen Extremwerte für eine bestimmte Entscheidung zu schätzen.

### 3.3.2 Parameterschätzung der angepassten Verteilungen

In Kapitel 2.2.3 wurden die konventionelle Momentenmethode und die Methode der L-Moments zur Parameterschätzung dargestellt. In den Ergebnissen können durchaus deutliche Unterschiede entstehen, wobei die Methode der L-Moments, wie erläutert, robustere Ergebnisse liefert. Abbildung 6 zeigt den Vergleich für eine Messstelle im Grazer Feld, wo bereits die 2-parametrische Gumbelverteilung sichtbar unterschiedlich geschätzt wird.

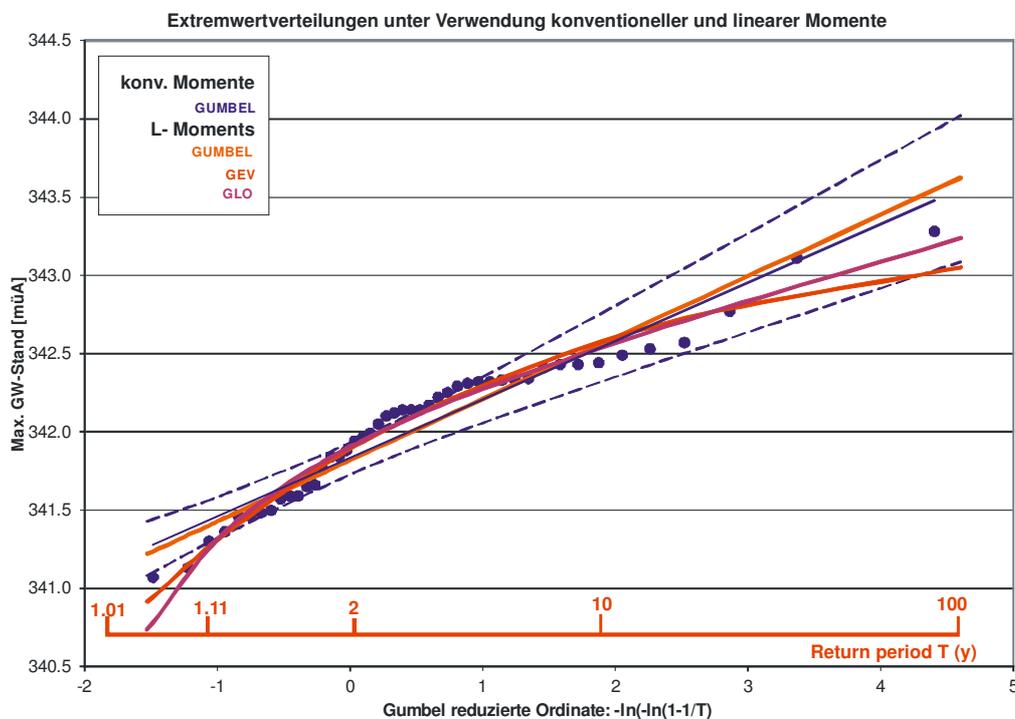


Abbildung 6: Vergleich der Methoden zur Parameterschätzung: konventionelle Momente und L-Moments

Bei 3-parametrischen Verteilungen bedingt das Moment dritter Ordnung bereits größere Unsicherheiten. Zudem sind die Ausdrücke zur Berechnung der Parameter aus den konventionellen Momenten teilweise kompliziert oder nur iterativ lösbar (DVWK, 1999). Die Methode der L-Moments ist für alle herangezogenen Verteilungstypen einfach anwendbar, sie ist die Grundlage der regionalen Frequenzanalyse (Kap. 2.2.6) und wird daher auch für die lokale Extremwertschätzung angewendet.

### **3.3.3 Anpassungstest: Vergleich von Anderson-Darling- und Kolmogorow-Smirnow-Test**

Obwohl der Kolmogorow-Smirnow-Test (KS Test) sehr häufig – wegen seiner einfachen Durchführbarkeit – auch in der Extremwertstatistik angewendet wird, ist er nicht optimal dafür geeignet, da er eher auf Abweichungen im mittleren Bereich als in den Extremen sensitiv ist. Eine Alternative stellt hier der Anderson-Darling-Test (AD Test) dar. Da seine Anwendung nicht so weit verbreitet ist wie jene des KS Tests, wurde ein ausführlicher Vergleich durchgeführt.

In den folgenden Abschnitten werden die Unterschiede zwischen dem AD und KS Test am Beispiel der jährlichen Reihen in den untersuchten Gebieten erläutert. Beide Tests kommen ebenso bei den partiellen Reihen zur Anwendung und werden in den jeweiligen Berichtsteilen detailliert behandelt. Wie in den folgenden Kapiteln noch gezeigt wird, treten auch bei den partiellen Reihen sehr ähnliche Ergebnisse/Unterschiede auf. Die relativen Angaben beziehen sich auf die absolute Anzahl der Messstellen pro Gebiet, an denen Zeitreihen zur Verfügung stehen.

#### *3.3.3.1 Anzahl der akzeptierten Verteilungen je Messstelle*

Zunächst wurde untersucht, wie viele der sechs ausgewählten Extremwertverteilungen (EWV) an eine Zeitreihe angepasst werden können. Entsprechend dem AD Test kann an 633 (63%) Messstellen zumindest eine der genannten Verteilungen angepasst werden, d. h. die Nullhypothese ist nicht zu verwerfen. Entscheidet man anhand des KS Tests, ist das an 814 Messstellen (81%) möglich. Nach dem KS Test werden an der Hälfte der Messstellen (aus allen Gebieten) sämtliche Verteilungsfunktionen akzeptiert und bei etwas mehr als zwei Drittel mindestens fünf.

Der AD Test akzeptiert hingegen äußerst selten alle sechs Typen an einer Messstelle. In den meisten Fällen ist für vier bzw. fünf EWV pro Messstelle die Nullhypothese nicht zu verwerfen, oftmals werden aber auch alle Verteilungen verworfen (Wien, Linz). Der AD Test wirkt sich weitaus restriktiver als der KS Test aus und zeigt auch gebietsabhängig größere Unterschiede.

### 3.3.3.2 Vergleich der akzeptierten Verteilungen nach dem Verteilungstyp

Die Auswahl der angewandten Verteilungsfunktionen (GUM, GLO, GEV, GNO, PE3, GPA) erfolgte ohne spezifische Begründung der Eignung für Grundwasserstände. Es stellt sich die Frage, ob eine oder mehrere davon besonders häufig bzw. besonders selten geeignet sind, extreme Grundwasserstände zu modellieren. So könnte die Auswahl in den bereitgestellten Softwaretools gezielt reduziert werden. In Abbildung 7 ist graphisch dargestellt, mit welcher Häufigkeit jede Verteilung, unterschieden nach den beiden Teststatistiken, zur Modellierung der Grundwasserextremwerte geeignet ist.

Nach dem KS Test sind die dreiparametrischen Verteilungen GLO, GEV, GNO, PE3 relativ gleichrangig an 75 – 78% der Reihen anpassbar, während die GPA mit 70% deutlich schlechter abschneidet. Die Gumbel Verteilung (GUM) wird durch den KS Test an nur 56% der Messstellen akzeptiert und ist die am häufigsten abzulehnende Verteilung. Nach dem AD Test ist die GPA am häufigsten, nämlich an 89% der Messstellen, zu verwerfen und bei etwa 80% die GUM. Die übrigen Verteilungen werden in Summe bei etwa der Hälfte der Zeitreihen nicht abgelehnt.

Die einzelnen Gebiete unterscheiden sich untereinander nur in ihrer generellen Eignung zur Extremwertschätzung. So werden z. B. im Rheintal grundsätzlich bei beiden Tests mehr Verteilungen akzeptiert, in Wien insgesamt deutlich weniger.

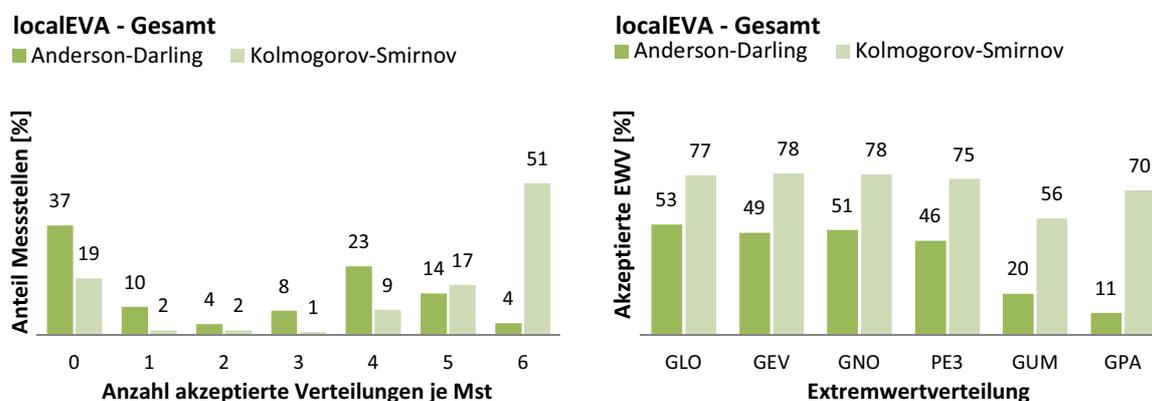


Abbildung 7 Anzahl der akzeptierten Verteilungen je Messstelle (links) und Häufigkeit der Verteilungstypen (rechts) in Abhängigkeit vom Anpassungstest

### 3.3.4 Partielle Reihen mit unterschiedlichem Stichprobenumfang

#### 3.3.4.1 Wahl der Schwellenhöhe

Wie in Kapitel 2.3.1 beschrieben, wurden in einem zweistufigen Verfahren aus allen Zeitreihen die Scheitelwerte ausgewählt und durch Anpassung einer Schwelle die Stichproben für die EWA generiert. Soweit die Reihenlänge bzw. die Anzahl der Scheitelwerte dies zulassen, entstehen somit für jede der Messstellen unterschiedlich große Stichproben. Eine lokale Ex-

tremwertschätzung mittels der POT ist an etwa der gleichen Anzahl der Zeitreihen möglich, wie durch die Block Maxima (Jahresreihen). Im Mittel können aus 830 Zeitreihen partielle Reihen erzeugt werden (vgl. Jahresreihen: 832). Die mean residual life function (MRLF, Kap. 2.3.1.3) kann zur Überprüfung der Schwellenhöhe verwendet werden. Eine visuelle Überprüfung anhand der MRLF von mehreren ausgewählten Messstellen ergab, dass bei Stichprobengrößen von 1, 1,5 oder 2 mal der Anzahl der Beobachtungsjahre die Schwellenhöhen durchwegs im linearen Bereich der MRLF liegen.

#### *3.3.4.2 Auswirkungen auf die Anzahl akzeptierter Verteilungen*

Der Einfluss der unterschiedlichen Schwellenwerte und der beiden Testverfahren ist in *Tabelle 1* und *Tabelle 2* für die Stichprobengrößen mit dem gleichen und doppelten Umfang der Jahresreihen (N=1 und N=2) zusammengefasst. Im folgenden Text beziehen sich die in Klammer und kursiv formatierten Angaben auf den Stichprobenumfang N=2.

Der KS Test akzeptiert an 77% (*82%*), der AD Test an 58% (*61%*) der Zeitreihen zumindest eine der Extremwertverteilungen. In Summe werden die dreiparametrischen Verteilungen mit Ausnahme der GPA, unabhängig vom Testverfahren, bei der größeren Stichprobe etwas öfter akzeptiert (+5%), die GPA werden um -20% häufiger abgelehnt.

Eine Schätzung der Extremwerte aus partiellen Reihen ist in allen Gebieten möglich, die Vergrößerung des Stichprobenumfanges bewirkt in der Regel eine häufigere Akzeptanz der Verteilungen.

Die Unterschiede zwischen AD und KS Test zeigen sich auch bei den partiellen Reihen mit einer deutlich geringeren Akzeptanz der Schätzungen durch den AD Test. Die größten Unterschiede sind bei der GUM und der GPA mit doppeltem Stichprobenumfang zu finden.

Die dreiparametrischen Verteilungen mit Ausnahme der GPA werden in allen Gebieten in etwa gleichem Ausmaß akzeptiert, wobei die höchsten Werte durch die GEV und GNO, gefolgt von der PE3 und zuletzt der GLO, erzielt werden. Mit deutlichem Abstand dazu, insbesondere nach dem AD Test, liegt die GUM. Die GPA wird ähnlich oft, zumeist noch öfter als die GUM verworfen. Besonders restriktiv zeigt sich hier der AD Test bei der GPA mit doppelter Stichprobengröße, sie ist für 85% (Linzer Felder), bzw. in Summe über alle Gebiete für 89% der Zeitreihen zu verwerfen.

Tabelle 1: Häufigkeiten der akzeptierten Verteilungen nach Verteilungstyp, POT mit N=1

POT	N = 1	Anderson-Darling Test						Kolmogorow-Smirnow Test					
		GLO	GEV	GNO	PE3	GUM	GPA	GLO	GEV	GNO	PE3	GUM	GPA
Linz	# abs	118	140	132	92	51	97	204	215	219	198	141	228
343	% rel	34	41	38	27	15	28	59	63	64	58	41	66
Graz	# abs	90	113	114	104	70	59	148	159	162	163	141	162
225	% rel	40	50	51	46	31	26	66	71	72	72	63	72
Leibnitz	# abs	79	94	95	76	53	51	127	130	128	122	110	127
172	% rel	46	55	55	44	31	30	74	76	74	71	64	74
Rheintal	# abs	62	84	85	73	50	53	114	122	119	120	110	125
149	% rel	42	56	57	49	34	36	77	82	80	81	74	84
Wien	# abs	48	50	50	38	29	31	79	91	88	84	68	91
117	% rel	41	43	43	32	25	26	68	78	75	72	58	78
<b>Summe</b>	<b># abs</b>	<b>397</b>	<b>481</b>	<b>476</b>	<b>383</b>	<b>253</b>	<b>291</b>	<b>672</b>	<b>717</b>	<b>716</b>	<b>687</b>	<b>570</b>	<b>733</b>
<b>1006</b>	<b>% rel</b>	<b>39</b>	<b>48</b>	<b>47</b>	<b>38</b>	<b>25</b>	<b>29</b>	<b>67</b>	<b>71</b>	<b>71</b>	<b>68</b>	<b>57</b>	<b>73</b>

Tabelle 2: Häufigkeiten der akzeptierten Verteilungen nach Verteilungstyp, POT mit N=2

POT	N = 2	Anderson-Darling Test						Kolmogorow-Smirnow Test					
		GLO	GEV	GNO	PE3	GUM	GPA	GLO	GEV	GNO	PE3	GUM	GPA
Linz	# abs	136	151	143	104	65	50	237	247	242	223	166	236
343	% rel	40	44	42	30	19	15	69	72	71	65	48	69
Graz	# abs	133	144	145	138	70	28	174	177	178	179	143	163
225	% rel	59	64	64	61	31	12	77	79	79	80	64	72
Leibnitz	# abs	85	103	100	98	43	11	130	139	134	133	98	118
172	% rel	49	60	58	57	25	6	76	81	78	77	57	69
Rheintal	# abs	42	72	80	78	23	13	108	118	120	122	82	115
149	% rel	28	48	54	52	15	9	72	79	81	82	55	77
Wien	# abs	41	39	43	41	9	10	80	94	92	88	47	84
117	% rel	35	33	37	35	8	9	68	80	79	75	40	72
<b>Summe</b>	<b># abs</b>	<b>437</b>	<b>509</b>	<b>511</b>	<b>459</b>	<b>210</b>	<b>112</b>	<b>729</b>	<b>775</b>	<b>766</b>	<b>745</b>	<b>536</b>	<b>716</b>
<b>1006</b>	<b>% rel</b>	<b>43</b>	<b>51</b>	<b>51</b>	<b>46</b>	<b>21</b>	<b>11</b>	<b>72</b>	<b>77</b>	<b>76</b>	<b>74</b>	<b>53</b>	<b>71</b>

### 3.3.4.3 Auswirkungen auf Quantilhöhe und Breite des Konfidenzintervalles

Um eine Auswirkung der unterschiedlichen Schätzmethoden bzw. unterschiedlicher Stichprobengröße auf die Größe der geschätzten Quantile und die Breite der Konfidenzintervalle vergleichen zu können, waren die berechneten Quantile und Konfidenzintervalle zu normieren. Aus diesem Grund werden die Differenzen in Prozent der Schwankungsbreite der Extremwerte aus der Jahresreihe ausgedrückt.

Ein größerer Stichprobenumfang bei der Extremwertschätzung aus partiellen Reihen hat auf die Höhe der Quantile keinen eindeutigen Effekt. Bei den dreiparametrischen Verteilungen ist bei der höheren Jährlichkeit ( $T_R = 100$ ) eine Tendenz zu etwas niedrigeren Quantilen erkennbar. Eine mögliche Erklärung dafür liegt in der Reduktion der Schwellenhöhe, welche den größeren Stichprobenumfang erzeugt. Dadurch werden mehr Extremwerte mit geringeren Grundwasserständen berücksichtigt, welche in der weiteren Folge auch zu einer niedrigeren Schätzung führen können.

Im Gegensatz dazu werden bei der Gumbelverteilung die Quantile aus der größeren Stichprobe höher geschätzt. Da diese Verteilung nur durch zwei Parameter definiert ist (sie wird in den Wahrscheinlichkeitsplots durch eine Gerade dargestellt), bewirkt die zusätzliche Berücksichtigung niedrigerer Werte ein ‚Drehen‘ der Funktion und somit höhere Werte im Extrembereich.

Ein größerer Stichprobenumfang bzw. die Berücksichtigung auch von niedrigeren Extremwerten wirkt sich positiv auf die Güte der Schätzung aus. Die Konfidenzintervalle aller Verteilungen werden an mindestens 75% der Messstellen enger.

### 3.3.5 Vergleich partieller Reihen mit Jahresreihen

Wie zuvor erläutert, steigt mit zunehmender Stichprobengröße auch die Zuverlässigkeit der Schätzung, die partiellen Reihen mit größerer Stichprobe ( $N=2$ ) sind jenen mit kleinerer ( $N=1$ ) vorzuziehen. Daher werden in der weiteren Folge nur die Ergebnisse der POT  $N=2$  mit der Jahresreihe verglichen. In Summe ist an der beinahe gleichen Anzahl der Messstellen sowohl eine Schätzung aus der Jahresreihe (AD: 63%, KS: 81%) wie aus der partiellen Reihe (AD: 61%, KS: 82%) möglich.

Die Gumbelverteilung (GUM) und die verallgemeinerte Pareto Verteilung (GPA) werden nach dem AD Test am häufigsten verworfen, besonders die GPA scheint weder für die Schätzung aus jährlichen noch aus partiellen Reihen geeignet. Alle anderen Verteilungen liefern, mit einzelnen Ausnahmen, vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich ihrer Häufigkeit.

Nach dem gleichen Schema wurden auch die Jahresreihen mit der partiellen Reihe mit doppeltem Stichprobenumfang ( $N=2$ ) verglichen. Für beide Wiederkehrintervalle werden aus der jährlichen Reihe die Quantilhöhen etwas niedriger geschätzt. Die partielle Reihe wird aus

Überschreitungen eines Schwellenwertes generiert, d.h. die Stichprobe besteht à priori aus höheren Werten als die Jahresreihe. Dieser Umstand wirkt sich auch in einer höheren Schätzung der Quantile aus. Auch im Vergleich zur Jahresreihe wirkt sich die partielle Reihe mit doppeltem Stichprobenumfang positiv auf die Zuverlässigkeit der Schätzung aus. Die Konfidenzintervalle aller Verteilungen werden enger und ermöglichen eine genauere Schätzung der Extremwerte.

## 3.4 Regionale Frequenzanalyse

### 3.4.1 Identifikation statistisch homogener Zonen

Die Anwendung der RFA hängt ganz wesentlich von der Identifikation statistisch homogener Zonen ab. Die Grundsätze der Klassifikation wurden in Kapitel 2.4 dargestellt. Im Vergleich zu den übrigen Arbeitsschritten der Schätzung von Grundwasserextremwerten ist die Klassifikation der GW-Messstellen der am wenigsten standardisierte und auch durch Software-Tools nicht automatisierbare Vorgang.

Vorab wird eine Sichtung der Zeitreihen und relevanter hydrogeologischer Information wie z.B. Porositäten, Lage und mögliches Wirkungsgebiet der Vorfluter, Gefälle des GW-Stauers/Spiegels, etc. empfohlen. Zum einen ist die Kenntnis der beeinflussenden Prozesse und vorherrschenden hydrogeologischen Randbedingungen notwendig, um für die automatische Clusteranalyse Kriterien ableiten zu können, die das Verhalten einer GW-Messstelle hinreichend charakterisieren. Zum anderen ist ein so gewonnener erster Überblick für die abschließende manuelle Klassifikation sehr hilfreich und dient auch der Plausibilitätskontrolle der Ergebnisse aus der Clusteranalyse.

Die Gruppierung der Messstellen in statistisch homogenen Zonen erfolgt durch ein zweistufiges Verfahren: in einem ersten Schritt wird anhand von aus der Zeitreihe abgeleiteten Kriterien eine automatisierte Clusteranalyse durchgeführt. In einem zweiten Schritt, aufbauend auf den Ergebnissen der Clusteranalyse, werden manuell geographisch zusammenhängenden Zonen abgegrenzt und hinsichtlich ihrer statistischen Homogenität überprüft.

Als geeignete Kriterien in allen Gebieten haben sich der maximale Grundwasserstand (GW<sub>max</sub>), die Schwankungsbreite zwischen höchstem und niedrigstem gemessenen Grundwasserstand (range<sub>GW</sub>) und der mittlere Flurabstand (mFLAB) erwiesen. All diese Attribute können direkt aus den Zeitreihen abgeleitet werden und sind geeignet, die hydrologische Charakteristik einer Messstelle zu beschreiben. Im Grazer und Leibnitzer Feld kam als zusätzliches Attribut der Abstand zum dominierenden Vorfluter (Mur) zum Einsatz, in den anderen Bearbeitungsgebieten musste aufgrund der größeren Anzahl an kleineren Gewässern auf dieses Kriterium verzichtet werden.

Die Variation der Anzahl an Cluster (z. B. schrittweise Erhöhung) als Eingangsparameter in

die Clusteranalyse ist eine Möglichkeit, über das Verhalten der Messstellen im Bearbeitungsgebiet einen ersten Eindruck zu gewinnen und unterstützt die weitere manuelle Zonen- definition. Anzustreben sind Gruppen von etwa gleicher Anzahl an Messstellen, wobei die Mindestzahl von zehn Messstellen je Gruppe nicht unterschritten werden darf.

### **3.4.2 Quantilschätzung**

Die Schätzung der Quantile und Konfidenzintervalle an den einzelnen Messstellen kann durch Einbeziehung der Zeitreihen der gleichen Zone verbessert werden. In den bisherigen Untersuchungsgebieten liegen an vielen Messstellen lange Messreihen vor. Im Grazer und Leibnitzer Feld stehen beispielsweise an 80% der Messstellen Beobachtungsreihen von mehr als 10 Jahren zur Verfügung, die ersten Messstellen gehen auf das Jahr 1960 zurück. Große Stichproben bieten alle Voraussetzungen für eine gute lokale Schätzung, in vielen Fällen ist damit auch eine bessere Anpassung an die gemessenen Daten möglich. Dennoch zeigt sich, dass auch bei gut beobachteten Messstellen die regionale Schätzung eine Verbesserung bieten kann.

Abbildung 8 illustriert exemplarisch die Ergebnisse der Quantilschätzung. Die Darstellung zeigt die empirischen Häufigkeiten der gemessenen Zeitreihen (Datenpunkte) sowie die lokal (durchgezogene dünne Linien) und regional angepassten Verteilungsfunktionen (durchgezogene dicke Linien) und deren zugehörige Konfidenzintervalle (punktierter Linien). Die lokal geschätzte Gumbelverteilung (orange) wird an sämtlichen Messstellen aller Zonen berechnet. Für jede Zone werden mehrere Verteilungen angepasst (GLO, GEV, GNO, PE3; siehe Kap. 2.2.2). Besteht eine oder mehrere Verteilungen die statistischen Anpassungstests, werden sie ebenfalls in den Grafiken dargestellt. Die Art und Anzahl der regional ermittelten Verteilungen ist daher regionsabhängig und die Darstellungen variieren demgemäß von Zone zu Zone. Als zusätzliche Information ist beim höchsten gemessenen Wert das Jahr der Messung angezeigt.

Die Abbildung zeigt eine Messstelle der Zone LF6 im westlichen Leibnitzer Feld. Bis zu einem Wiederkehrintervall von etwa 10 Jahren sind die Ergebnisse sämtlicher Verteilungen nahezu ident. Die Schätzung von Ereignissen größerer Jährlichkeit zeigt hingegen deutliche Unterschiede. Die regional ermittelten Verteilungsfunktionen liegen unterhalb der Gumbelfunktion und nähern die gemessenen Werte besser an. Auch die Breite des Konfidenzintervalls ist kleiner und folglich die Zuverlässigkeit der Schätzung größer.

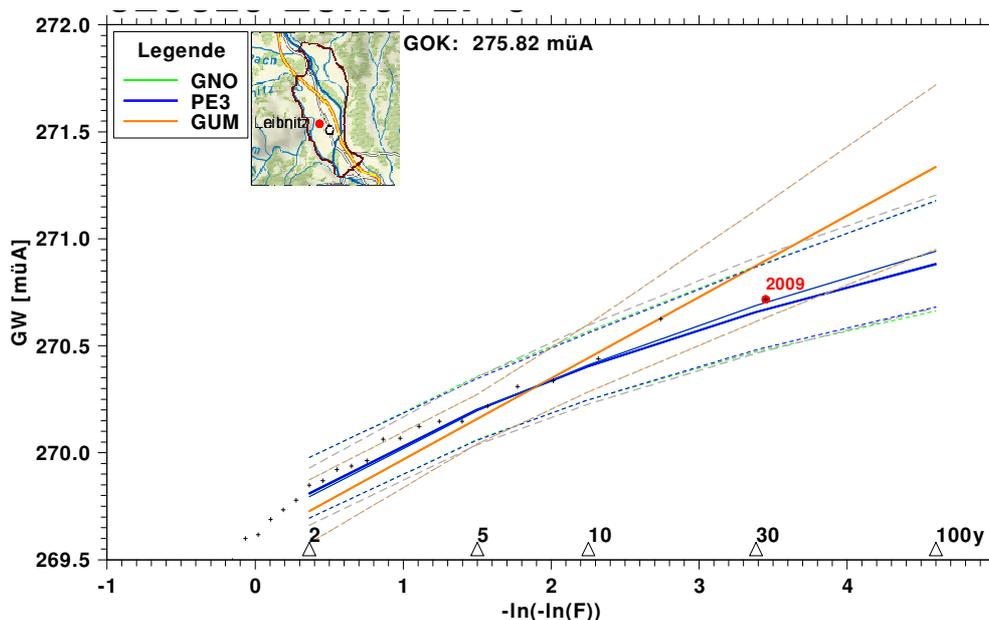


Abbildung 8: Extremwertstatistik: RFA und lokale Schätzung, Messstelle 325829 in Zone LF6

### 3.4.3 Vergleich der lokalen und der regionalen Schätzung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus der regionalen Frequenzanalyse im Vergleich zur lokalen Schätzung aus den Jahresreihen und den partiellen Reihen mit doppeltem Stichprobenumfang analysiert. Mit Ausnahme des Marchfeldes im Stadtgebiet von Wien ist in allen untersuchten Grundwassergebieten zumindest für einige Teilbereiche eine regionale Frequenzanalyse anwendbar.

Der Grundwasserhaushalt im Untersuchungsbereich Wien ist durch Eingriffe wie die Hochwasserschutzbauten Donauinsel/Neue Donau stark beeinflusst, insbesondere der Bau des Kraftwerkes Freudenua Mitte der 1990er Jahre bewirkte eine massive Änderung des Grundwasserregimes. In Randbereichen sind zwar noch weitgehend ungestörte Verhältnisse anzutreffen, allerdings ist die Messnetzdicke zu gering, um die Mindestanzahl an Messstellen je homogener Zone zu erreichen. Nur unter Berücksichtigung von zusätzlichen Zeitreihen der Fachdienststelle Wiener Gewässer (MA45) ist es möglich, auch in diesen Randzonen eine regionale Schätzung durchzuführen. Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, werden im vorliegenden Beitrag allerdings ausschließlich die Messstellen des HZB für die Analysen herangezogen und der Wiener Teilbereich ohne Ergebnisse der regionalen Frequenzanalyse dargestellt.

Wie bereits im Kapitel 3.3.4 gezeigt, bewirkt ein größerer Stichprobenumfang bei der Schätzung aus partiellen Reihen eine Zunahme der Zuverlässigkeit. Daher werden die Ergebnisse aus der regionalen Frequenzanalyse nur mit jenen der partiellen Reihe mit doppeltem Stichprobenumfang und der lokalen Schätzung aus der Jahresreihe verglichen.

### *3.4.3.1 Auswirkungen auf die Anzahl akzeptierter Verteilungen*

Die Schätzung von Extremwerten durch die regionale Frequenzanalyse ist an der Hälfte der Messstellen (51%) möglich und liegt damit etwas unter der lokalen Schätzung aus der Jahresreihe (AD: 63%, KS: 81%) bzw. aus der partiellen Reihe (AD: 61%, KS: 82%). Die Anwendbarkeit der regionalen Frequenzanalyse unterscheidet sich allerdings deutlich zwischen den einzelnen Untersuchungsgebieten.

In Gebieten mit stark beeinflusstem bzw. bewirtschaftetem Grundwasserhaushalt wie dem Linzer Feld oder Wien nördlich der Donau ist es generell seltener möglich, Extremwertverteilungen anzupassen. Hier zeigt sich schon bei der lokalen Schätzung der AD Test sehr restriktiv, besonders betroffen ist allerdings die Anwendbarkeit der regionalen Frequenzanalyse.

In der Gesamtbetrachtung kommt die GNO und PE3 am häufigsten zur Anwendung, auch die GEV wird annähernd gleich oft akzeptiert. Die GLO kann mit Ausnahme im Leibnitzer Feld am seltensten angepasst werden. Die gebietsspezifisch stark unterschiedlichen Ergebnisse lassen aber keine eindeutigen Schlüsse zu, die Auswahl der Verteilungsfunktionen eindeutig einzuschränken, wobei die GUM und GPA als nicht geeignet zu betrachten ist.

### *3.4.3.2 Auswirkungen auf Quantilhöhe und Breite des Konfidenzintervalles*

Die Berücksichtigung von zusätzlichen Daten aus der regionalen Schätzung wirkt sich auf die Höhe der Quantile nicht signifikant aus. Weder im Vergleich mit der lokalen Schätzung aus der Jahresreihe noch mit jener aus der partiellen Reihe sind tendenzielle Verschiebungen erkennbar, allerdings sind die Unterschiede im Gegensatz zu den bisherigen Vergleichen (Kap. 3.3.4, 3.3.5) weiter gestreut.

Mit Ausnahme der GNO nimmt die Güte der Schätzung bei der RFA im Vergleich zu den Ergebnissen aus den Jahresreihen zu. An der Hälfte der Messstellen beträgt die Verbesserung mindestens 5%.

## **3.5 Überblick über die empfohlenen Methoden zur Schätzung von extremen Grundwasserständen**

Die Schätzung von extremen Grundwasserständen aus partiellen Reihen mit doppeltem Stichprobenumfang und die regionale Frequenzanalyse führen zu zuverlässigeren Ergebnissen als die lokale Schätzung aus Jahresreihen. Des Weiteren wurde gezeigt, dass als Prüfmethode der Anpassungstest nach Anderson und Darling vorzuziehen und die Gumbelverteilung nur beschränkt geeignet ist. Die Zusammenfassung der Ergebnisse beschränkt sich

daher auf die genannten Schätz- und Prüfmethode und die empfohlenen Verteilungstypen (GLO, GEV, GNO, PE3).

Für die regionale Schätzung ist die GLO Verteilung am seltensten geeignet, es kommen bei dieser Methode daher am häufigsten drei Verteilungstypen je Messstelle zur Anwendung (Abbildung 9). Bei der jährlichen Schätzung dominiert die Klasse der vier Verteilungstypen, d. h. ist nach dieser Methode eine Schätzung möglich, so können in der Regel alle vier vorgeschlagenen Verteilungstypen angepasst werden.

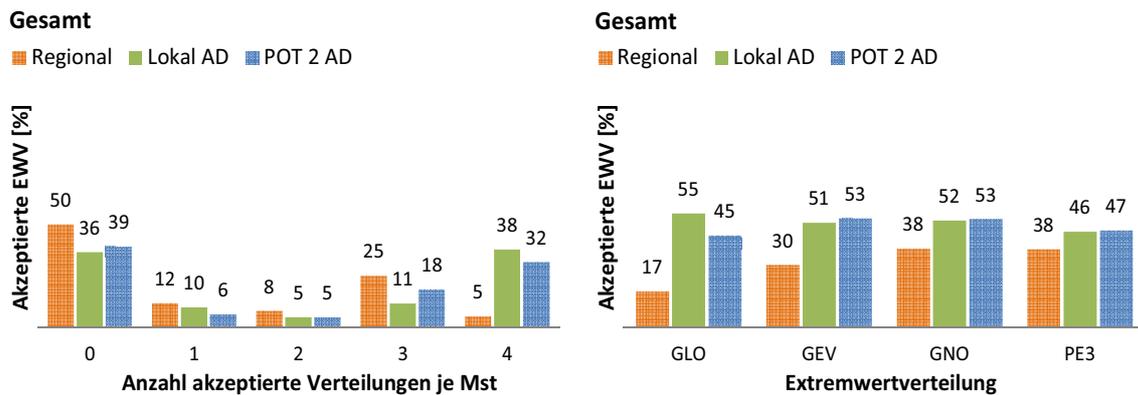


Abbildung 9: Anzahl der akzeptierten Verteilungen je Messstelle (links) und Häufigkeit der Verteilungstypen (rechts) in Abhängigkeit von der Schätzmethode

Die Abbildung 10 zeigt den Einfluss der Schätzmethode auf die Breite der Konfidenzintervalle. Hier werden ebenfalls zur besseren Vergleichbarkeit die absoluten Werte entsprechend der Normierung (3.3.4.3) transformiert. Außerdem werden nur jene Messstellen herangezogen, an denen der jeweilige Verteilungstyp durch alle drei Schätzmethoden angepasst werden kann.

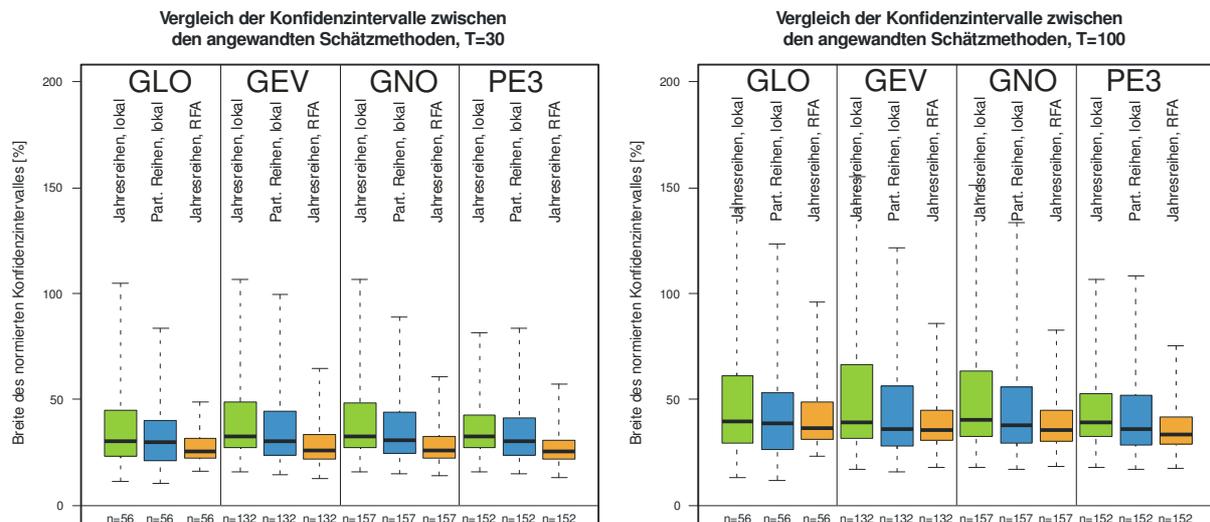


Abbildung 10: Breite der normierten Konfidenzintervalle in Abhängigkeit von der Schätzmethode

Unabhängig vom Verteilungstyp und der Schätzmethode nimmt entsprechend den statistischen Maßzahlen Median und Streuung, welche durch die box plots in Abbildung 10 visualisiert werden, die Zuverlässigkeit der Schätzung unter Anwendung der empfohlenen Methoden zu. Bereits der Ersatz der jährlichen Reihen durch partielle Reihen in der lokalen Schätzung führt zu einer Verbesserung, die günstigsten Ergebnisse werden durch die regionale Frequenzanalyse erzielt.

## 3.6 Flächenhafte Darstellung

### 3.6.1 *Interpolation von extremen Grundwasserständen*

Die flächenhafte Ausweisung der Ergebnisse der Extremwertanalyse erfordert eine geeignete Interpolation aus den Werten an den Messstellen. Allerdings steht an den Messstellen eine Vielzahl an – je nach Fragestellung unterschiedlichen – Kennwerten für die extremen Grundwasserstände zur Verfügung. Dazu zählen die geschätzten Quantile ( $HGW_{30}$ ,  $HGW_{100}$ ) und die zugehörigen Konfidenzintervalle sowie die HHGW. Diese Werte können mit unterschiedlichen Verfahren (Jahresreihen, partielle Reihen, regional oder lokal geschätzt, je bis zu 6 Extremwertverteilungen) ermittelt worden sein, von denen nicht eindeutig einem davon der Vorzug als „maßgeblicher Wert“ zu geben ist.

An einer Messstelle liegen also für jede gewünschte Jährlichkeit, z. B.  $HGW_{30}$ , bis zu 18 Werte und die zugehörigen Konfidenzintervalle vor. In der Praxis sind an den meisten Messstellen einige der Verteilungen zu verwerfen und in den meisten Fällen kann dem Ergebnis der lokalen Schätzung mittels der partiellen Reihe der Vorzug gegenüber der Schätzung mittels der Jahresreihe gegeben werden.

Für eine Interpolation z. B. der  $HGW_{30}$  oder  $HGW_{100}$  sind daher praktisch nie gleichartig geschätzte Werte für alle Messstellen zur Verfügung (z. B. nur mittels GEV geschätzte  $HGW_{100}$ ). Als praktikable Vorgangsweise, die die Anzahl der Darstellungen in einem überschaubaren Umfang hält, wird empfohlen, zunächst von jeder Messstelle den für die Fragestellung relevanten „ungünstigsten“ Wert auszuwählen (z. B. das größte geschätzte  $HGW_{30}$  plus Konfidenzintervall). Dieser Wert wird an manchen Messstellen z. B. durch eine lokal angepasste GEV, an anderen Messstellen durch eine regional angepasste Pearson 3 Verteilung, an anderen wiederum durch eine GLO usw. geschätzt worden sein. Da bisher an praktisch allen Messstellen in allen Gebieten zumindest eine Verteilungsfunktion angepasst werden konnte, ergibt sich mit dieser Vorgangsweise die größtmögliche Anzahl an Stützstellen für die Interpolation.

Die Interpolation wird am besten mittels Ordinary Kriging durchgeführt, wobei ein Suchradius gewählt werden sollte, der mindestens 5 – 10 Messstellen einschließt, aber nicht so groß ist, dass kein Trend mehr berücksichtigt wird. In den Linzer Feldern wurden ansprechende Er-

gebnisse mit einem Suchradius von 2000 m erzielt (exponentielles Variogramm, Reichweite 1500 m). Entsprechende Einstellmöglichkeiten stehen auch in Surfer zur Verfügung.

Randeffekte von kommunizierenden Oberflächengewässern oder Entwässerungsgräben können durch manuelles Setzen von Stützpunkten berücksichtigt werden.

Bei der Beurteilung der interpolierten Flächen ist zu berücksichtigen, dass es sich nicht um zu einem bestimmten Zeitpunkt tatsächlich auftretende Grundwasserspiegel mit einer zugehörigen Grundwasserströmungssituation handelt, sondern um eine interpolierte Fläche zwischen Extremwerten, die zu verschiedenen Zeitpunkten auftreten können. Daher erscheinen diese Schichtenpläne in manchen Bereichen nicht so glatt wie es von Grundwasserschichtenplänen erwartet wird.

Speziell in dicht verbauten Gebieten ist damit zu rechnen, dass durch lokale Nutzungen und Störungen, die in den vorhandenen Unterlagen nicht erkennbar sind, lokale Abweichungen von den interpolierten Grundwasserständen auftreten. Vor der Angabe von extremen Grundwasserständen an einem bestimmten Ort ist daher immer eine Überprüfung auf möglich lokale Beeinflussungen notwendig.

### **3.6.2 Flurabstände**

Die Ausweisung der häufig gefragten Flurabstände ergibt sich grundsätzlich als Differenz von Geländekote und GW-Spiegellage. Eine flächenhafte Darstellung der Flurabstände lässt sich auf zwei Arten gewinnen:

1. Ermittlung des relevanten Flurabstandes an den Messstellen und anschließende Interpolation der Flurabstände.
2. Differenz zwischen hochauflösendem Geländemodell und interpolierter Grundwasserspiegellage.

Die erste Variante hat den Vorteil, dass der Flurabstand an den Messstellen sehr exakt angegeben wird, wenn Messpunkthöhe und umliegende Geländekote mit geodätischer Präzision gemessen wurden. Allerdings ist das Geländere relief zwischen den Messstellen wesentlich unruhiger als die Grundwasseroberfläche und die dadurch bedingte räumliche Variabilität der Flurabstände wird bei dieser Variante nicht erfasst.

Die zweite Variante kann die kleinräumige Variabilität der Geländeoberfläche wesentlich besser abbilden und damit auch die Variabilität der Flurabstände. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass auch hoch auflösende digitale Geländemodelle lokal beträchtliche Unsicherheiten aufweisen können. Im Bereich Leibnitzer Feld und Rheintal wurden relativ großräumig systematische Unterschiede zwischen verschiedenen Höhenmodellen in der Größenordnung von bis zu 5 m festgestellt!

Als Beispiel für eine flächenhafte Ausweisung der Extremwerte sind in Abbildung 11 die interpolierten  $HGW_{100}$ -Werte und die zugehörigen Flurabstände im Linzer Feld dargestellt.

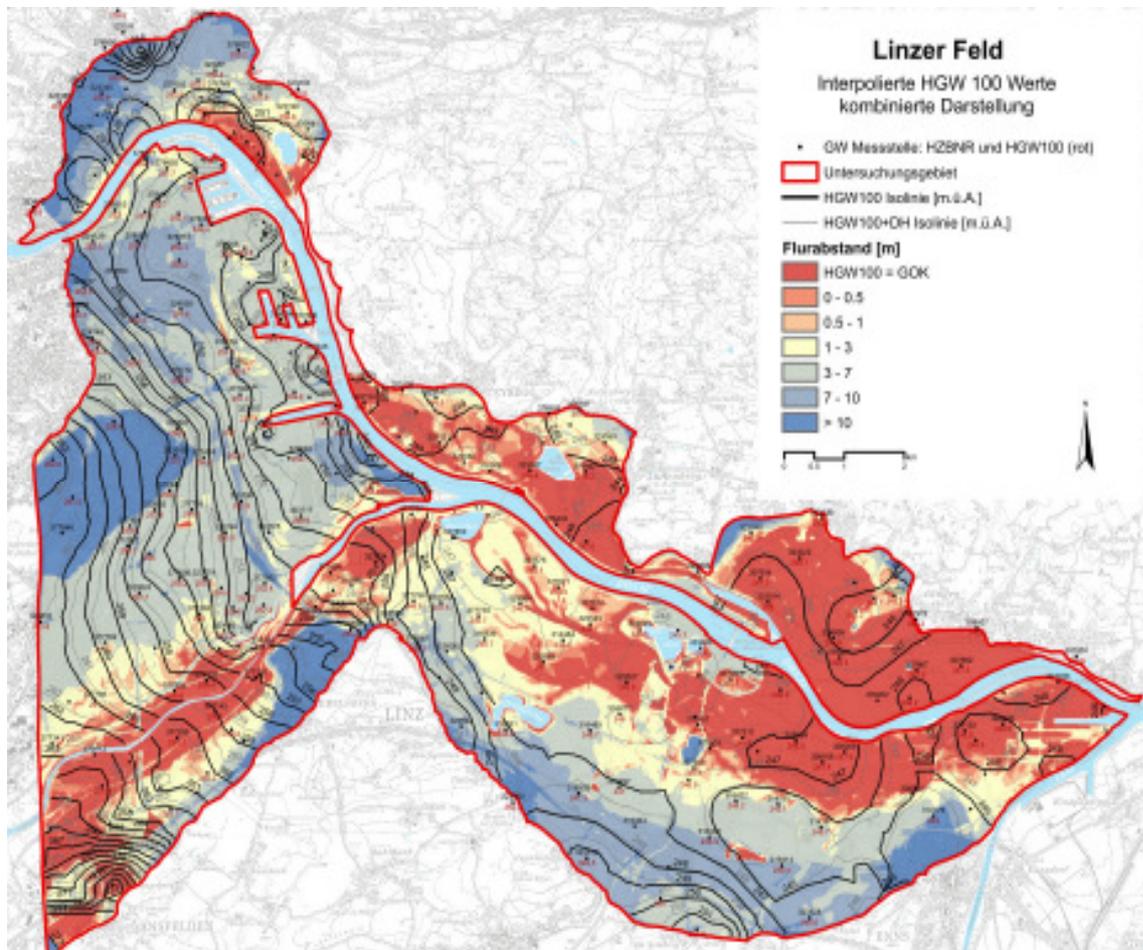


Abbildung 11: Isolinien der interpolierten  $HGW_{100}$ -Werte und Flurabstände im Linzer Feld

## 4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

### 4.1 Anpassungstests

- Der Anderson-Darling-Test ist deutlich restriktiver als der Kolmogorow-Smirnow-Test, die Verteilungsanpassungen werden konservativer beurteilt.
- Der AD Test überprüft die Anpassung der gesamten Verteilung, insbesondere in den Randbereichen, während der KS Test nur eine punktuelle Überprüfung zwischen Schätzung und Beobachtung durchführt. Folglich ist der KS Test bei der Anwendung von Extremwertstatistik nicht zu empfehlen.

## 4.2 Partielle Reihen mit unterschiedlichem Stichprobenumfang

- Die Vergrößerung des Stichprobenumfanges bewirkt eine Verringerung der Breite des Konfidenzintervalles und ermöglicht somit eine höhere Zuverlässigkeit der Schätzung.
- Eine größere Stichprobe wirkt sich auf die Schätzung der Quantilhöhe nicht eindeutig aus.
- Die dreiparametrischen Verteilungen (GLO, GEV, GNO und PE3) zeigen sehr ähnliche Ergebnisse, sie kommen in der Regel auch etwa gleich häufig zum Einsatz. Die GPA ist für partielle Reihen mit größerem Stichprobenumfang nicht geeignet, auf die Gumbelverteilung sollte ebenfalls verzichtet werden.

## 4.3 Vergleich partieller Reihen mit Jahresreihen

- Aus den Jahresreihen werden im Vergleich zur partiellen Reihe mit doppeltem Stichprobenumfang etwas niedrigere Quantilhöhen geschätzt.
- Auch im Vergleich mit der Jahresreihe können aus der partiellen Reihe mit  $N=2$  engere Konfidenzbereiche ermittelt werden und erhöhen somit die Zuverlässigkeit der Schätzung.

## 4.4 Vergleich der regionalen Frequenzanalyse mit lokaler Schätzung aus jährlichen und partiellen Reihen

- Die regionale Frequenzanalyse kann an der Hälfte der Messstellen angewandt werden, die lokale Schätzung aus Jahresreihen bzw. aus der partiellen Reihe ist deutlich häufiger möglich.
- Im Vergleich zur lokalen Schätzung ist die Anwendbarkeit der regionalen Frequenzanalyse gebietsabhängig sehr unterschiedlich. Besonders anthropogene Beeinflussungen des Grundwasserregimes wirken sich sehr negativ auf die Anwendbarkeit der RFA aus.
- In Summe kommen die GNO und PE3 Verteilung am häufigsten zur Anwendung. Da die Ergebnisse gebietsspezifisch allerdings stark variieren, kann daraus keine eindeutige Entscheidung für einen Verteilungstyp getroffen werden.
- Die Berücksichtigung von zusätzlicher Information aus einem regionalen Datenkollektiv hat im Mittel keinen Einfluss auf die Höhe der geschätzten Quantile. Dies bedeutet allerdings nur, dass kein allgemeiner Trend feststellbar ist. An einzelnen Messstellen kann es dennoch zu teils großen Abweichungen kommen.
- Die Erkenntnisse der durchgeführten Studie empfehlen den Einsatz von partiellen Reihen mit doppelter Stichprobengröße im Rahmen der Schätzung und, soweit möglich, die Anwendung der regionalen Frequenzanalyse. Als Verteilungstypen haben sich die allgemeine Extremwertverteilung (GEV), die allgemeine logistische Verteilung (GLO), die ver-

allgemeinere Normalverteilung (GNO) und die Pearson Typ 3 Verteilung (PE3) bewährt.

- Die regionale Frequenzanalyse kann in Summe zwar seltener angewandt werden als die lokale Schätzung, sie führt aber in diesen Fällen zu einer zuverlässigeren Schätzung der Extremwerte.

#### 4.5 Flächenhafte Darstellung (Interpolation)

- Die Interpolation extremer Grundwasserstände wird am besten mittels Ordinary Kriging durchgeführt, wobei ein Suchradius gewählt werden sollte, der mindestens 5 – 10 Messstellen einschließt, aber nicht so groß ist, dass kein Trend mehr berücksichtigt wird. Entsprechende Einstellmöglichkeiten stehen auch im Softwarepaket Surfer zur Verfügung.
- Randbedingungen, wie die Wasserstände in kommunizierenden Oberflächengewässern oder Drainagegräben sind durch Einführung von Hilfspunkten zu berücksichtigen. Des Weiteren sind hydrogeologische Barrieren zu beachten: gegebenenfalls ist eine Trennung in Teilgebiete vorzunehmen und innerhalb dieser eine separate Interpolation durchzuführen.

### 5 Literatur

ANDERSON T. W., DARLING D. A., 1954: A Test of Goodness-of-Fit. *Journal of the American Statistical Association* 49, 765-769.

ARMSTRONG M., 1998: *Basic linear geostatistics*, Springer, Berlin.

BELLOSTA C. J. G., 2009: ADGofTest - Implementation of the Anderson-Darling goodness of fit test. edited, pp. *Implementation of the Anderson-Darling goodness of fit test*.

COLES S., 2003: *An introduction to statistical modeling of extremes values*. 2 ed., Springer, London.

CUNNANE C., 1978: Unbiased plotting positions -- A review. *Journal of Hydrology* 37(3-4), 205-222.

DEUTSCH C. V., JOURNEL A. G., 1992: *GSLIB - Geostatistical software library and user's guide*, 340 pp., Oxford University Press, New York - Oxford.

DVWK (Ed.), 1999: *Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen*. Merkblätter zur Wasserwirtschaft 251. 42 pp., Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.

EEA, 2000: *Corine land cover 2000*. edited, European Environmental Agency.

- FANK J., FUCHS K., 1999: Anwendung der Extremwertstatistik in der Hydrologie von Porengrundwasservorkommen. Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich 78, 31-45.
- FUCHS G., HÖRHAN T., 2008: GIS-Applikationen für die Grundwasserstandsdaten des österreichischen hydrographischen Dienstes: VB\_SURFER. in GIS Event 2008. edited, Wien.
- GRINGORTEN I. I., 1963: A plotting rule for extreme probability paper. Journal of Geophysical Research 68(3), 813-814.
- HOSKING J. R. M., WALLIS J. R., 1993: Some statistics useful in regional frequency analysis. Water Resources Research 29(2), 271-281.
- HOSKING J. R. M., WALLIS J. R., 1997: Regional frequency analysis - An approach based on L-moments, 224 pp., Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- HOSKING J. R. M., 2000: Fortran routines for use with the method of L-moments - Version 3.03, 33 pp., IBM Research Division, Ny.
- HOSKING J. R. M., 2009: Regional frequency analysis using L-moments. in R package, version 2.2. edited.
- KITE G. W., 1977: Frequency and risk analyses in hydrology, 224 pp., Water Resources Publications, Littleton, CO.
- LANG M., OUARDA T. B. M. J., BOBÉE B., 1999: Towards operational guidelines for over-threshold modeling. Journal of Hydrology 225(3-4), 103-117.
- MARSAGLIA G., MARSAGLIA J., 2004: Evaluating the Anderson-Darling Distribution. Journal of Statistical Software 9(2), 1-5.
- REISS R.-D., THOMAS M., 1997: Statistical Analysis of Extreme Values, Birkhäuser, Basel.

### ***Anschrift der Verfasser:***

Ao. Univ.Prof. DI Dr. Josef Fürst<sup>1</sup>, DI Andrea Bichler<sup>1</sup>, Ao. Univ.Prof. Dr. Franz Konecny<sup>2</sup>  
Universität für Bodenkultur Wien

<sup>1</sup>Department Wasser – Atmosphäre – Umwelt, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau

<sup>2</sup>Department für Integrative Biologie und Biodiversitätsforschung, Institut für Mathematik  
Muthgasse 18

1190 Wien

josef.fuerst@boku.ac.at



# **ExtremAqua: Auswirkungen extremer Witterungsereignisse auf aquatische Ökosysteme**

## **ExtremAqua: Impacts of extreme weather events on aquatic ecosystems**

Peter Chiffard, Tom J. Battin, Thomas Hein, Martin Kainz

**Stichworte:** Kohlenstoffkreislauf, aquatische Ökosysteme, Extremereignisse,  
Prozessanalyse, gelöster organischer Kohlenstoff DOC

**Keywords:** carbon cycle, aquatic ecosystems, extreme events, process analysis, dissolved  
organic carbon DOC

### ***Zusammenfassung***

In der vorliegenden Arbeit wird das Projekt ExtremAqua (EA) vorgestellt. Dabei handelt es sich um ein gemeinsames Forschungsprojekt der drei Arbeitsgruppen am WasserCluster Lunz mit dem Ziel, den Einfluss extremer Witterungsereignisse auf aquatische Ökosysteme, deren Wasserqualität und biotische Prozesse im Rahmen der ökologischen Langzeitforschung zu untersuchen. Der Schwerpunkt der Forschung liegt auf Änderungen im Kohlenstoffkreislauf der Gewässer. Die zu untersuchenden aquatischen Ökosysteme werden thematisch und landschaftstypisch in die Systeme Bäche, Seen und Flusslandschaften unterteilt. Im Folgenden werden das umfangreiche ökologische Messnetz und erste Ergebnisse der Ereignisauswertung vorgestellt.

### ***Summary***

This paper presents the research project ExtremAqua which is a common project of the three research groups of the WasserCluster Lunz. The objective is to analyze the impacts of extreme weather events on aquatic ecosystems, their water quality and their biotic processes within the ecological long term research program of the WasserCluster Lunz. The project focuses on the carbon cycle of aquatic ecosystems which are represented by streams, lakes and floodplains. In the following the ecological measurement network and first results of different weather events will be presented.

## **1 Einleitung**

Internationale Untersuchungen zu Klimaveränderungen zeigen, dass in den letzten 100 Jahren die mittleren Lufttemperaturen um ca. 1 °C gestiegen sind und sich dieser Trend, abhängig von ökologischen, ökonomischen und demografischen Entwicklungen, auch in Zukunft fortsetzen kann (IPCC, 2007). Mit diesen Temperaturveränderungen, die regional sehr unterschiedlich ausgeprägt sind, gehen auch geänderte Niederschlagsmengen, veränderte biogeochemische Kreisläufe und geändertes Auftreten von Extremereignissen einher (Palmer & Räsänen, 2002, Christensen & Christensen, 2003, Pauli et al., 2007, O’Gorman & Schneider, 2009). Extreme Witterungsereignisse sind deutliche Abweichungen von langjährigen Mittelwerten und betreffen z. B. Starkregenereignisse, von der Jahreszeit stark abweichende Temperaturschwankungen sowie Dürreperioden. Semenov und Bengtsson (2002) kommen zu dem Ergebnis, dass in Mitteleuropa bis zum Ende dieses Jahrhunderts bereits die Hälfte des Jahresniederschlags in Form von Starkniederschlägen fällt. In Österreich wird bis Mitte des 21. Jahrhunderts ein weiterer Temperaturanstieg, eine saisonale Verschiebung der Niederschlagsmengen vom Sommer in den Winter (Schöner et al., 2011) sowie eine Zunahme der Intensitäten 30-jährlicher täglicher Niederschlagsmengen um mehr als 17-26% im Sommerhalbjahr 2007-2051, verglichen mit dem Zeitraum 1963-2006, erwartet (Hofstätter, 2010).

Diese klimatischen Veränderungen haben massive Auswirkungen auf Binnengewässer, welche für lokale und globale biogeochemische Kreisläufe eine wichtige Rolle einnehmen (Battin et al., 2008, Battin et al., 2009, Gruber & Galloway, 2008). Während die Folgen für die wasserwirtschaftliche Nutzung bereits erkannt und aktuell untersucht werden (IPCC, 2007, Blöschl et al., 2011, Schöner et al., 2011), bewirken extreme Witterungsereignisse für aquatische Ökosysteme: a) (noch) nicht vorhersagbaren Transfer von Kohlenstoff (partikulär, gelöst und gasförmig) von terrestrischen zu sowie aus aquatischen Ökosystemen (Volk et al., 2002), b) veränderten Kohlenstoffumsatz in Gewässern, c) verändertes Nährstoffangebot sowie veränderte Nährstoffaufnahmekapazität und –umsatzleistung in Oberflächengewässern (Mulholland et al., 2008) und d) veränderte Bioakkumulation von Schadstoffen in aquatischen Organismen (Kainz et al., 2008).

Um fundierte Aussagen zum Einfluss extremer Wetterereignisse und langfristig wirkender Veränderungen auf die zeitliche Dynamik der Stoffeinträge, des Stoffumsatzes und des Austrages in unterschiedlichen Gewässersystemen zu erhalten, wurde im Jahre 2010 vom WasserCluster Lunz das Langzeitforschungsprogramm ExtremAqua (EA) konzipiert und ins Leben gerufen. Es hat zum Ziel, Effekte von extremen Witterungsereignissen auf aquatische

Ökosysteme, deren Wasserqualität und biotische Prozesse im Rahmen der ökologischen Langzeitforschung zu untersuchen, wobei eine Fokussierung auf den Kohlenstoffkreislauf erfolgt. Die zu untersuchenden aquatischen Ökosysteme werden thematisch und landschaftstypisch in die Systeme „Bäche“, „Flusslandschaften“ und „Seen“ unterteilt und durch die drei am WasserCluster tätigen Arbeitsgruppen bearbeitet:

- 1) BERG (Biofilm and Ecosystem Research Group; Univ. Prof. Dr. Tom Battin)
- 2) BIOFRAMES (Biogeochemical Functions: Research and Management in Ecosystems at multiple Scales: Ass. Prof. Dr. Thomas Hein) und
- 3) LIPTOX (Lipid and Ecotoxicology Research Group; Dr. Martin Kainz)

Mit dem Langzeitforschungsprojekt ExtremAqua ist der WasserCluster Lunz unter anderem in das Programm der LTER-Forschungsplattform „Eisenwurz“ eingebunden (Hasenauer et al., 2007). Dabei handelt es sich um ökosystemare Langzeitforschung (Long-term ecosystem research), die sich mit der Gesamtheit von Ökosystemen und deren Entwicklung über Jahrzehnte befasst (Prozesse und Strukturen).

## 2 Untersuchungsgebiete

Die Untersuchungsgebiete umfassen die aquatischen Ökosysteme Lunzer See („See“), Oberer Seebach („Bach“) (Foto 1 und 2; Abb. 1) sowie die Lobau, als Teil der Auengebiete entlang der Donau östlich von Wien („Flusslandschaft“) (Foto 3; Abb. 2).

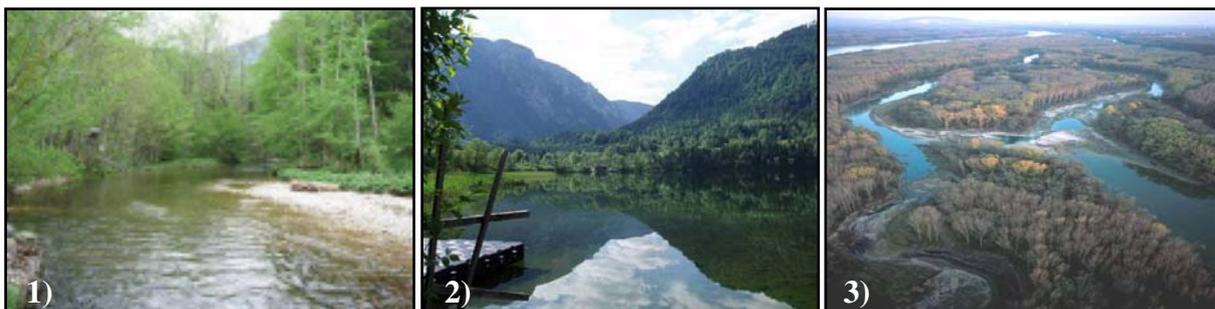


Foto 1-3: Blick auf den Oberen Seebach (1), Lunzer See (2) sowie auf die Auengebiete der Donau (3, Quelle: Kovacs, NP Donauauen).

### 2.1 Lunzer See und Oberer Seebach

Der Lunzer See und der Oberere Seebach befinden sich im südwestlichen Niederösterreich im Bereich der nördlichen Kalkalpen. Der Lunzer See ist glazialen Ursprungs (Götzingler,

1910) und umfasst eine Fläche von 65 ha. Er liegt auf einer durchschnittlichen Höhe von 608 m ü. A. und weist an der tiefsten Stelle eine Tiefe von 34 m auf. Der See wird vom Oberen Seebach durchflossen, der am Pegel „Auslass“ (Pegel 2 in Abb. 1) aus dem See austritt und in Lunz am See, nahe der Pegelstation „Seestraße“ (Pegel 1 in Abb. 1), in die Ybbs (Ois) mündet. Letztere ist durch ein nivo-pluviales Abflussregime charakterisiert, das sich durch ein Abflussmaximum im April und Mai, bedingt durch Schneeschmelze, auszeichnet (Mader et al., 1996). Der Pegel „Auslass“ umfasst ein Einzugsgebiet von 24,8 km<sup>2</sup> und weist einen mittleren Tagesabfluss von 1,512 m<sup>3</sup>/s (Zeitraum: 1977-2008) auf. Der Obere Seebach entwässert am Pegel „Seebach II“ ein Einzugsgebiet von 18,6 km<sup>2</sup>, das von 610 m ü. A. (Pegelstation) bis auf 1878 m ü. A. reicht (Berggipfel Dürrenstein). Entlang des Seebaches finden sich zwei weitere Seen, der Mittel- (767 m ü. A.) und der Obersee (1113 m ü. A.). Neben der Wiese- und Weidenutzung wird das Einzugsgebiet vor allem von Lärchen- und Fichtenwäldern bedeckt, wobei Rendzinen weitgehend den pedologischen Untergrund bilden.

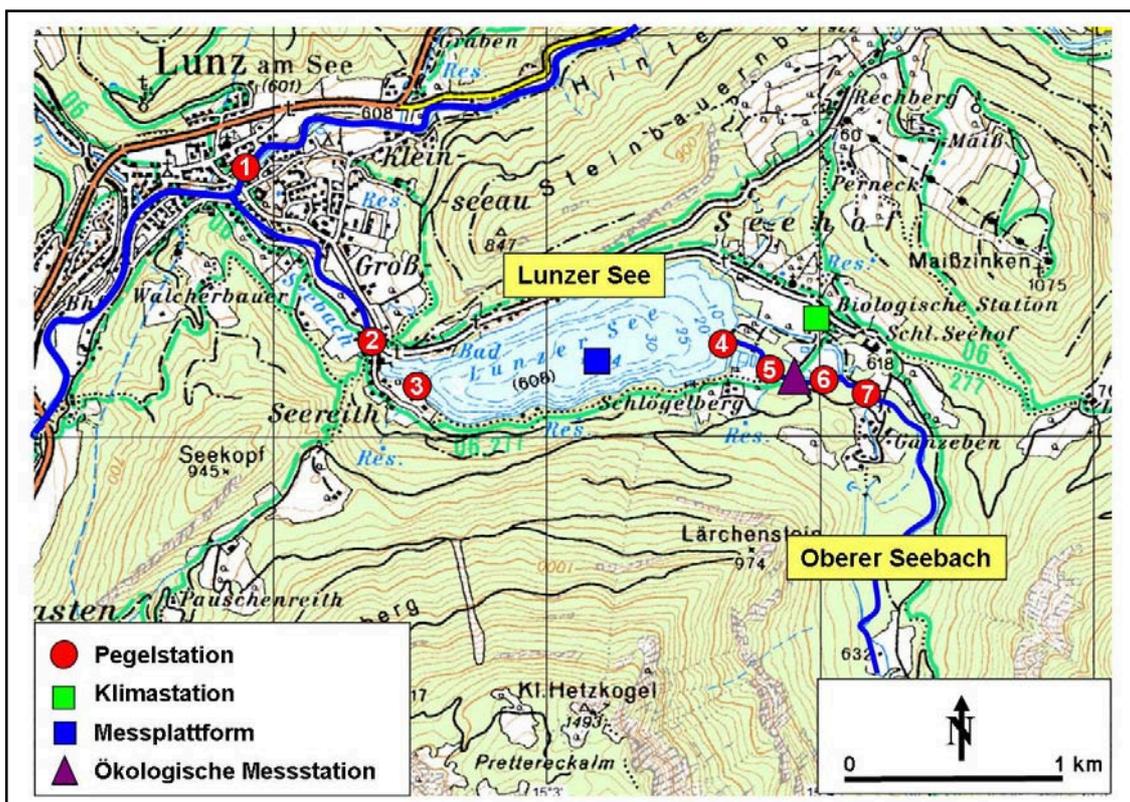


Abbildung 1: Lage der aquatischen Ökosysteme „Lunzer See“ und „Oberer Seebach“ sowie des Messnetzes. (Pegelstationen: 1=„Seestraße“; 2=„Auslass“; 3=„Seeauslass“; 4=„Seepegel“; 5=„Seebach I“; 6=„Seebach II“; 7=„Zufluss“).

Zum Einzugsgebiet des Lunzer Sees und des Oberen Seebaches liegen umfangreiche landschaftsökologische Untersuchungen zu den verschiedensten Themen vor, die von der Entstehung des Lunzer Sees bis zur Analyse biogeochemischer Prozesse im Bachwasser reichen (z.B. Götzing, 1910, Leichtfried, 1990, Battin, 1999, Wagner & Leichtfried, 2003, Heisenberger et al., 2010, Popp et al., 2010, Fasching & Battin, 2011).

## 2.2 Untere Lobau

Die Lobau ist ein Teil des Auengebietes der Donau, das sich am linken Donauufer zwischen Wien und der Mündung der March (Grenze zur Slowakei) erstreckt und im westlichen Bereich des Wiener Beckens liegt. Sie ist rund 22 Quadratkilometer groß und seit 1996 Teil des Nationalparks Donauauen. Anhand des Donau-Oder-Kanals, der auf einer Länge von 4,2 km besteht, wird die Lobau in die Obere und in die Untere Lobau unterteilt (Abb. 2).

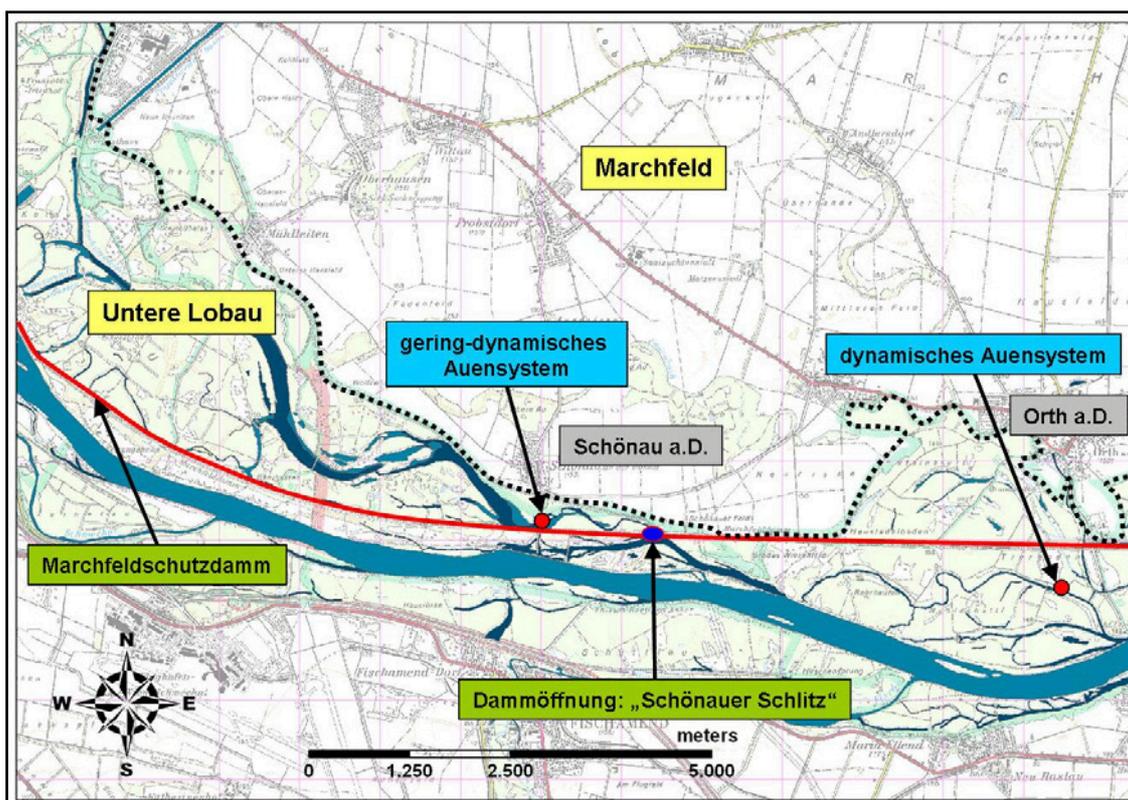


Abbildung 2: Lage des aquatischen Ökosystems „Flusslandschaften“ (Untere Lobau) sowie Überblick zu den Messeinrichtungen im Rahmen des Forschungsprojektes „ExtremAqua“ (gepunktete Linie=äußere Grenze des Nationalparks Donauauen).

### **3 Instrumentierung**

Zur erfolgreichen Durchführung des Forschungskonzeptes ist die Etablierung und Betreuung von Messeinrichtungen, die die geänderten Umweltbedingungen kontinuierlich und hochfrequent aufzeichnen, sowie eine intensive, ereignisabhängige Messung der Umweltveränderungen erforderlich, worauf in den folgenden Kapiteln näher eingegangen wird.

#### **3.1 Ökosystem „Bach“ (Oberer Seebach)**

Ziel der Messungen am Oberen Seebach ist es, den „Puls“ des Einzugsgebietes zu erfassen. Es wird die Frage beantwortet, wie extreme Witterungserreignisse die Kohlenstoffflüsse, Primärproduktion und Respiration (Ökosystemmetabolismus) im Ökosystem steuern und dessen Resilienz beeinflussen. Hierfür wurde ein umfangreiches Messnetz aufgebaut, das die relevanten Umweltparameter kontinuierlich und in hoher zeitlicher Auflösung in einem pre-alpinen Bachökosystem aufzeichnet (Abb. 1).

An der bestehenden Klimastation „Biologische Station“ (Abb. 1), die in Zusammenarbeit mit der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) und dem Hydrographischen Dienst Niederösterreich (HD-NÖ) betrieben wird, liegen von den wesentlichen Parametern Niederschlag, Lufttemperatur, Verdunstung und Schneehöhe Tageswerte seit 1895 vor. Seit etwa 1987 erfolgt eine automatische Aufzeichnung der Parameter in bis zu 1-minütiger Auflösung, wobei zusätzliche Parameter wie Bodenoberflächentemperatur, Taupunkt, Sonnenscheindauer, Windrichtung, -geschwindigkeit, Windspitze, Bewölkungsgrad und Bodentemperatur erfasst werden. Zusätzlich zu dieser Klimastation werden direkt am Oberen Seebach die Parameter Lufttemperatur, Luftdruck, Windrichtung, -geschwindigkeit, Windgeschwindigkeit der Spitzenböe sowie die photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) seit September 2010 in einem Intervall von 10 min gemessen.

Von den beiden Pegelstationen „Seebach-Brücke“ und „Zufluss“ liegen kontinuierliche Wasserstandsaufzeichnungen (Wochenschreiber; 10 bis 15 min-Intervall) seit 1969 bzw. 1923 vor (Abb. 1). Am Pegel „Seebach II“, der seit Juli 2010 besteht wird der Wasserstand im 10 min-Intervall gemessen. Für die Pegelstationen „Zufluss“ und „Seebach II“ liegen Schlüsselkurven für die Abflussberechnung vor.

An der ökologischen Messstation (Abb. 1 und Foto 4) werden die hydrochemischen Parameter des Bach- und Porengrundwassers in hoher zeitlicher Auflösung erfasst. Mittels einer Greenhouse Gas-Sentinel (Fa. AxyS) erfolgt seit dem Frühjahr 2010 in einem Intervall

von 3 Stunden die Online-Messung der Parameter  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  und  $\text{CH}_4$  im Bachwasser sowie in der Atmosphäre. Das Porengrundwasser wird seit April 2011 im gleichen Intervall beprobt. Für die Bestimmung des gelösten organischen Kohlenstoffes (dissolved organic carbon; DOC) wird in einem Intervall von 6 Stunden eine Wasserprobe mittels automatischen Probennehmers sowohl vom Bachwasser als auch vom Porengrundwasser entnommen und die Konzentration im Labor bestimmt. Zusätzlich werden mit einer YSI-Multisonde die Temperatur, Leitfähigkeit, der pH-Wert sowie die Trübung des Bachwassers seit Juli 2010 im 10 min-Intervall gemessen.



Foto 4 : Ökologische Messstation am Oberen Seebach.

### 3.2 Ökosystem „See“ (Lunzer See)

Um den Wasserstand im Lunzer See sowie den Zu- und Abfluss zu erfassen, werden in Zusammenarbeit mit dem Hydrographischen Dienst Niederösterreich die drei Pegelstationen „Seepegel“, „Auslass“ und „Seeauslass“ betrieben (Abb. 1). Für die beiden Ersteren stehen Wasserstandsdaten seit 1909 zur Verfügung, für den Letzteren seit 2009. Für den Pegel „Auslass“ liegen seit 1977 zusätzlich die Abflusswerte vor.

An der tiefsten Stelle des Sees steht seit Mai 2010 eine Messplattform zur Erfassung der hydrochemischen Parameter zur Verfügung (Abb. 1 und Foto 5). Mittels einer GHG-Sentinel werden im gleichen Intervall wie am Oberen Seebach die Parameter  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  und  $\text{CH}_4$  im Seewasser sowie in der Atmosphäre gemessen.

Mit einer YSI-Multisonde, die an einer automatischen Seilwinde angebracht ist, werden seit Juni 2010 während der eisfreien Zeit 3x täglich die Wassertemperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert, Sauerstoff (Konzentration und Sättigung) sowie der Gehalt an Chlorophyll-a in den Wassertiefen von 1 bis 30 m gemessen. Parallel wird an der gleichen Messstelle seit 2008 monatlich die Basis der Planktonnahrungskette taxonomisch sowie biochemisch untersucht.



Foto 5: Messplattform auf dem Lunzer See.

### 3.3 Ökosystem „Flusslandschaft“ (Lobau)

Zur Erfassung des Kohlenstoff- und Nährstoffhaushaltes in Auengebieten in Abhängigkeit von hydrologischen Extremereignissen wurden in der Lobau zwei Messstationen mit automatischen Probenehmern (SIGMA SD900) und YSI-Multisonden errichtet. Die Standorte definieren sich aufgrund ihrer unterschiedlichen hydrologischen Vernetzungsmuster und repräsentieren ein dynamisches (Orther Gebiet – Standort Tiertraverse bei Orth a.D.; errichtet im Oktober 2010) (Abb. 2 und Foto 6) und ein isoliertes und daher wenig dynamisches Auensystem (Untere Lobau – Schönauer Traverse bei Schönau a.D.; errichtet im Juli 2010) (Abb. 2 und Foto 7). Das dynamische System ist unmittelbar an die hydrologische Dynamik der Donau gekoppelt, beim zweiten System tritt lediglich etwa an 140 Tagen pro Jahr ein Donauwassereintrag auf.

Bei einem Hochwasserereignis werden an beiden Standorten im 12 Stunden-Intervall automatisch Wasserproben entnommen. Im Labor werden die Parameter  $PO_4$ ,  $NH_4$ ,  $NO_2$ ,  $NO_3$ ,  $P_{tot}$ , DOC und Schwebstoffgehalt sowie bei ausgewählten Proben die spektralen Eigenschaften (z. B. 3D Fluoreszenz) des gelösten Materials analysiert. Mit einer YSI-

Multisonde werden im 30 min-Intervall die Parameter Wassertemperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert, Trübung und Sauerstoff (Konzentration und Sättigung) gemessen.

Meteorologische sowie hydrologische Daten sind von nahe liegenden Messstationen in hoher zeitlicher Auflösung verfügbar.



*Foto 6 (links) und 7 (rechts): Messeinrichtung an der Tiertraverse und Schönauer Traverse mit automatischen Wasserprobenehmern und Pegelstation.*

## **4 Ergebnisse**

Aus den drei aquatischen Systemen „See“, „Bach“ und „Flusslandschaft“ liegen erste Messergebnisse vor, die die zeitliche Veränderung der verschiedenen Parameter bei unterschiedlichen Witterungsverhältnissen zeigen. Im Folgenden wird ein Teil dieser Datenreihen vorgestellt und interpretiert.

### **4.1 Ergebnisse des Ökosystems „Bach“**

Zwischen dem 31. August und dem 08. Spetember 2010 trat am Oberen Seebach ein Hochwasserereignis auf, anhand dessen sehr gut der Einfluss eines kleineren Hochwassers auf die zeitliche Veränderung des Kohlenstoffflusses sowie der chemischen Parameter im Fließgewässer bewertet werden kann.

Insgesamt fielen bei dem spätsommerlichen Ereignis 62,40 mm Niederschlag (29.08.-02.09.2010), der zu einem maximalen Abfluss von 29,5 m<sup>3</sup>/s führte (Abb. 3).

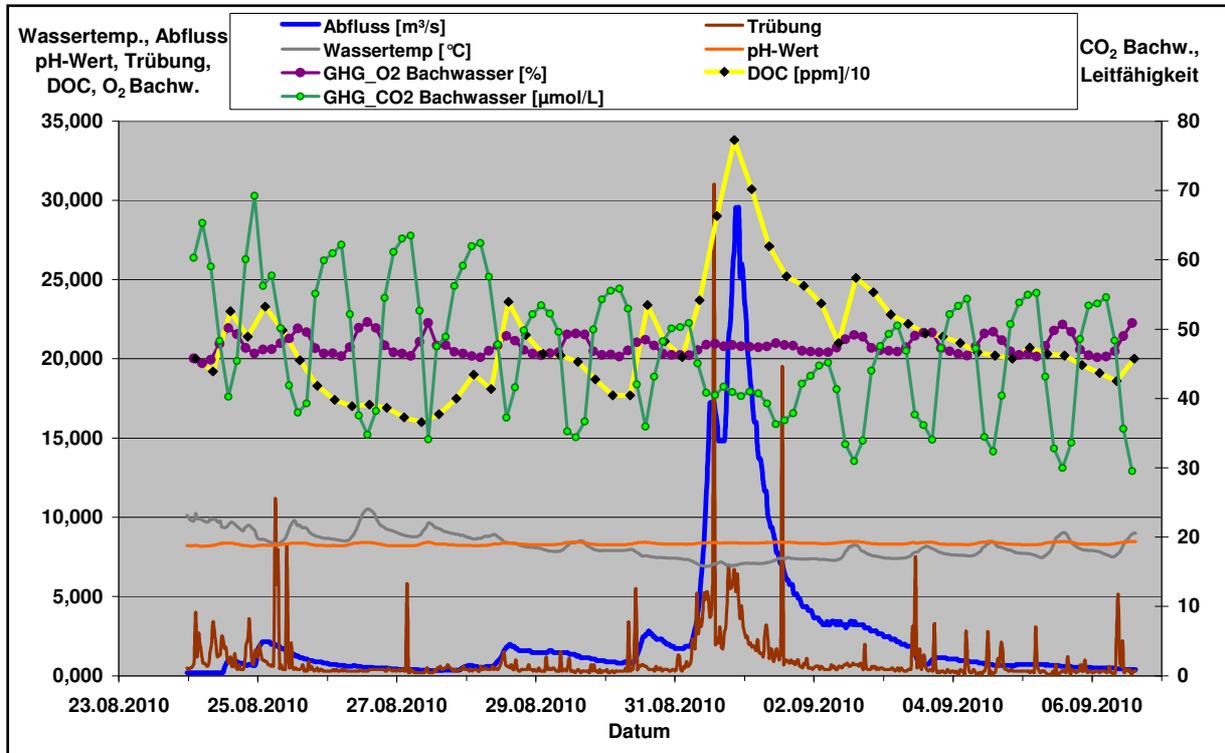


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf verschiedener Parameter im Oberflächenwasser (Oberer Seebach) während verschiedener Abflussereignisse im Zeitraum 23.08.2010 bis 06.09.2010.

Bei diesem Abflussereignis (01.09.2010) ist gut ein leichter Abfall der Wassertemperatur erkennbar, was auf einen Beitrag von unterschiedlichen Wässern, z. B. kühlerem Grundwasser hindeutet. Die Trübung des Bachwassers zeigt neben einzelnen Schwankungen einen Anstieg zu Beginn und während der einzelnen Abflussereignisse. Insbesondere beim Anstieg des Abflusses, zwischen 31.08. und 01.09.2010, liegt ein sehr hoher Anstieg auf über 30 NTU vor. Die nephelometric turbidity unit (NTU) ist eine internationale Standardeinheit der Wassertrübung, wobei mit Werten <5 NTU klares Wasser und mit Werten >50 NTU trübes Wasser beschrieben wird. Ausgelöst durch stärkere Niederschlagsintensitäten dürfte verstärkt Material von Feld- und Forstwegen abgespült worden sein. Zusätzlich kann sich bei erhöhtem Abfluss die Seitenerosion verstärken, was zu einem Anstieg des Schwebstoffanteiles im Bachwasser führt. Die einzelnen deutlichen Trübungserhöhungen zwischen den Abflussereignissen dürften durch Wildwechsel oder ähnliche Einflüsse hervorgerufen worden sein.

Betrachtet man den Verlauf der Kohlendioxid- und Sauerstoffkonzentration im Bachwasser, so wird deutlich, dass die zu Beginn vorhandenen Tagesschwankungen mit dem Hochwasserereignis vom 01.09.2010 unterbrochen werden. Während diese beim ersten und zweiten Ereignis (25.08.2010 und 29.08.2010) generell bestehen bleiben und lediglich die Schwankungsbreiten etwas abgeschwächt werden, liegen beim dritten Ereignis sowohl eine annähernd gleich bleibende Kohlendioxidkonzentration als auch ein konstanter Sauerstoffgehalt vor. Die biogeochemischen Prozesse (z.B. Photosynthese, Respiration) werden also durch den Einfluss des Hochwassers unterbrochen und setzen erst wieder nach dem Ereignis ein, wie die zunehmenden Schwankungsbreiten von Kohlendioxid und Sauerstoff ab dem 02.09.2010 zeigen.

Der Einfluss der hydrologischen Dynamik zeigt sich auch beim Verlauf des gelösten organischen Kohlenstoffs während dieser Ereignisse. Die DOC-Konzentration nimmt mit steigendem und sinkendem Abfluss zu bzw. ab. Dies deutet darauf hin, dass durch das Niederschlagsereignis vermehrt Kohlenstoff aus dem Einzugsgebiet ausgewaschen und in den Bach transportiert wird. Dabei gilt es aber zu beachten, dass bei den ersten drei kleineren Ereignissen die maximale DOC-Konzentration im Bachwasser annähernd konstant bleibt, während die Scheitelabflüsse dieser Ereignisse unterschiedlich sind. Dies lässt vermuten, dass die DOC-Konzentration im Bachwasser nicht ausschließlich mit der Dynamik des Bachabflusses korreliert, sondern auch mit der Höhe des ereignisauslösenden Niederschlages, der bei diesen Ereignissen sehr ähnlich ist.

## **4.2 Ergebnisse des Ökosystems „See“**

### ***Langfristige Tiefenprofile***

Aus dem Zeitraum vom 09. Juli 2010 bis 03. September 2010 liegen 41 Tiefenprofile verschiedener Parameter für die mit 34 m tiefste Stelle des Lunzer Sees vor. Beispielhaft sind in den Abbildungen 4 und 5 die Tiefenprofile für Sauerstoff und Temperatur für den Zeitraum Juni bis September 2010 dargestellt. Tabelle 1 gibt einen Überblick zu den Messzeiten der einzelnen Tiefenprofile, wobei die Uhrzeit den Beginn der Tiefenprofilmessung angibt.

Beim Sauerstoff sind die größten Schwankungen in den ersten 2 Metern zu verzeichnen (Abb. 4). Im Bereich zwischen 3 m und 10 m bilden sich 3 typische Verläufe der Sauerstoffkonzentration heraus, die in Abhängigkeit der jeweiligen Witterungssituation entstehen. Die Schwankungen bewegen sich zwar in einem engen Bereich zwischen 10 mg/l

und 12 mg/l, sind aber deutlich erkennbar. Zwischen 10 m und 12 m Tiefe gleicht sich die Sauerstoffkonzentration der einzelnen Messtage wieder an, bevor sie nach einem deutlichen Schwellenwert bei 15 m Tiefe relativ konstant mit der Tiefe von 10 mg/l bis auf 6 mg/l abnimmt.

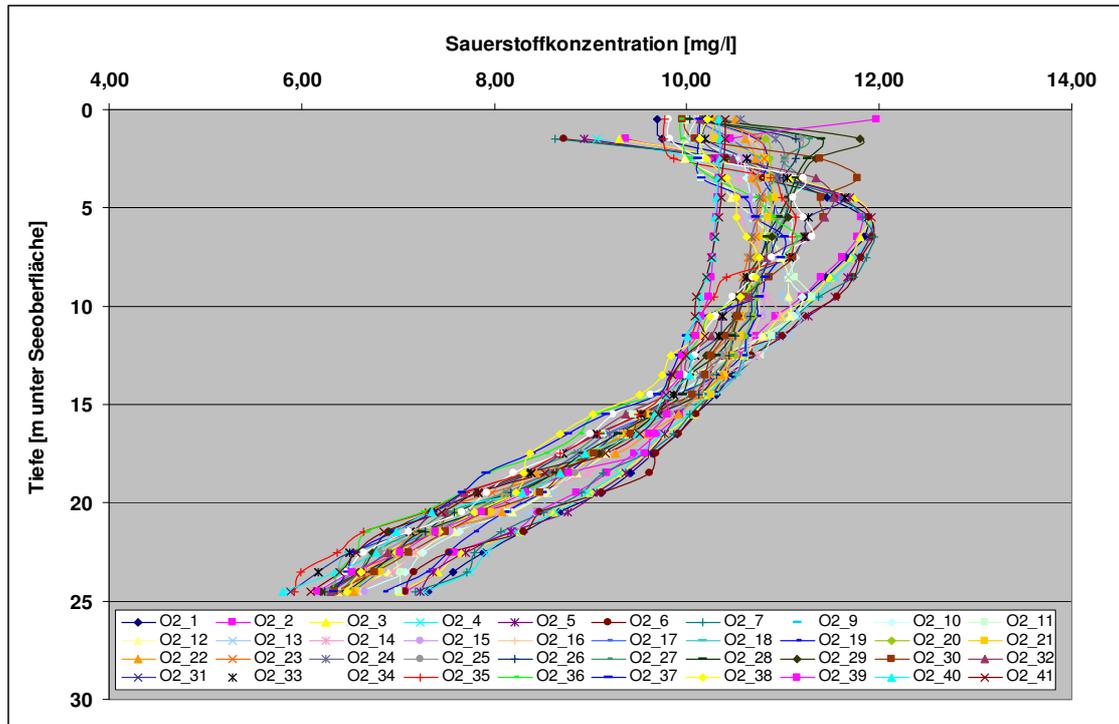


Abbildung 4: Verlauf der Sauerstoffkonzentration mit der Tiefe an 41 unterschiedlichen Messtagen im Zeitraum Juli 2010 bis September 2010.

Tabelle 1: Überblick zu den Messzeiten der einzelnen Tiefenprofile für die Abb. 4 und 5.

Tiefenprofil	Messtag	Tiefenprofil	Messtag	Tiefenprofil	Messtag
1	09.07.2010 09:25	16	02.08.2010 07:00	29	15.08.2010 07:00
2	10.07.2010 09:25	17	03.08.2010 07:00	30	23.08.2010 07:00
3	11.07.2010 09:25	18	04.08.2010 07:00	31	24.08.2010 07:00
4	12.07.2010 09:25	19	05.08.2010 07:00	32	25.08.2010 07:00
5	13.07.2010 09:25	20	06.08.2010 07:00	33	26.08.2010 07:00
6	14.07.2010 09:25	21	07.08.2010 07:00	34	27.08.2010 07:00
7	15.07.2010 09:25	22	08.08.2010 07:00	35	28.08.2010 07:00
10	27.07.2010 07:00	23	09.08.2010 07:00	36	29.08.2010 07:00
11	28.07.2010 07:00	24	10.08.2010 07:00	37	30.08.2010 07:00
12	29.07.2010 07:00	25	11.08.2010 07:00	38	31.08.2010 07:00
13	30.07.2010 07:00	26	12.08.2010 07:00	39	01.09.2010 07:00
14	31.07.2010 07:00	27	13.08.2010 07:00	40	02.09.2010 07:00
15	01.08.2010 07:00	28	14.08.2010 07:00	41	03.09.2010 07:00

Beim Tiefenverlauf der Wassertemperatur bildet sich an den gleichen Messtagen ein homogeneres Bild als bei der Sauerstoffkonzentration heraus (Abb. 5). Bis auf drei Messtage, an denen sich ein länger anhaltendes Niederschlagsereignis ereignete, schwanken die Temperaturen bereits ab 5 m in einem engen Bereich und nehmen relativ konstant bis 4° C in 25 m Tiefe ab. Lediglich in den oberen 5 Metern schwanken die Werte in Abhängigkeit von der jeweiligen Witterungssituation zwischen 9° C und 24° C. Auffallend ist, dass an den drei abweichenden Messtagen die Wassertemperatur bis in 15 m Tiefe relativ konstant bleibt und nur eine schwache Abnahme aufweist. Dabei sind die oberflächennahen Temperaturen deutlich niedriger als sonst, während sie in einer Tiefe von etwa 19 m deutlich höher sind. Nur in den Bereichen zwischen 5 m und 10 m Tiefe sowie zwischen 19 m und 25 m gleicht sich die Temperatur dem üblichen Verlauf an.

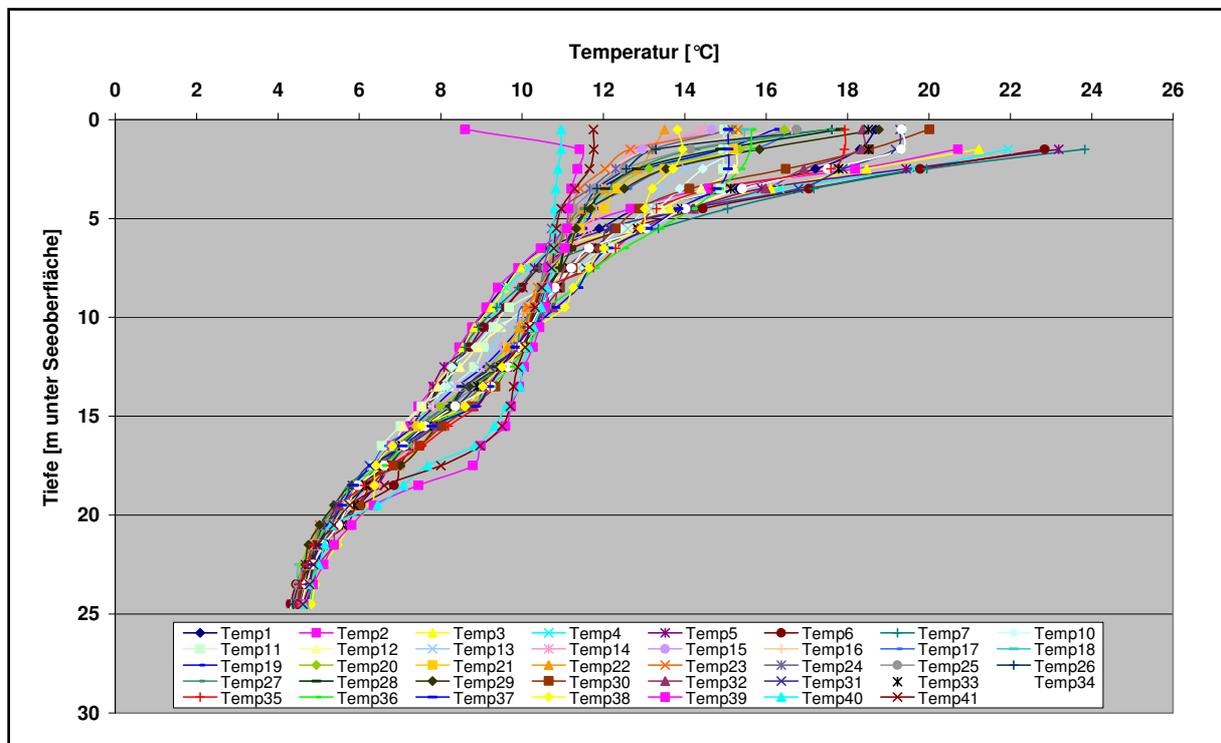


Abbildung 5: Verlauf der Wassertemperatur mit der Tiefe an 41 unterschiedlichen Messtagen im Zeitraum Juli 2010 bis September 2010.

## Ereignisbezogene Tiefenprofile

Neben den typischen jahreszeitlichen Schwankungen der Temperatur oder des Sauerstoffs mit der Tiefe kann anhand des folgenden Beispiels der kurzfristige Einfluss eines einzelnen Niederschlags-Abfluss-Ereignisses auf diese beiden Parameter aufgezeigt werden.

Im Juli/August 2010 ereignete sich ein Niederschlagsereignis mit insgesamt 69,4 mm, das im Oberen Seebach zu einem Anstieg des Wasserstandes von 40 cm auf über 100 cm führte, was einem Scheitelabfluss von 19,892 m<sup>3</sup>/s entspricht (Abb. 6). Die Lufttemperaturen (Klimastation „Biologische Station“) schwanken zwischen 10°C und 27°C und sinken während des Ereignisses auf einen engen Bereich von 12 bis 14°C ab.

Im Verlauf des Ereignisses wurden an der Messplattform mit der YSI-Sonde unter anderem die Parameter Temperatur und Sauerstoff jeweils im Zeitraum von 8 bis 12 Uhr über eine Wassertiefe von 25 m gemessen. Die in die Abbildung 6 eingetragenen farbigen senkrechten Linien markieren die Zeitpunkte des entsprechenden täglichen Messintervalls, von denen vier vor und sechs nach dem Scheitelabfluss stattfanden.

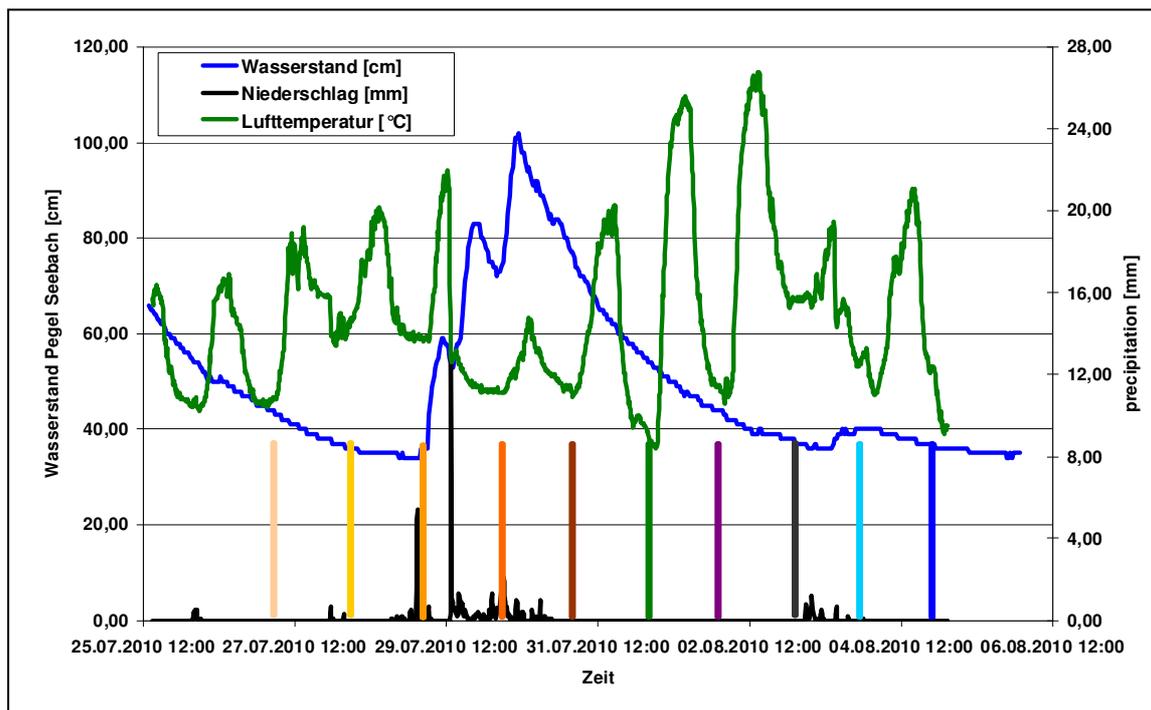


Abbildung 6: Niederschlag, Temperatur (Daten der Klimastation Biologische Station) und Wasserstand am Pegel Seebach im Zeitraum 26. Juli 2010 bis 06. August 2010.

Betrachtet man den Verlauf der Sauerstoffkonzentration über die Tiefe, so ist ein deutlicher Unterschied zwischen dem Zeitraum vor und nach dem Scheitelabfluss zu erkennen (Abb.

7). Während vor dem Ereignis die Konzentrationen bis zu einer Tiefe von etwa 10 m stetig zunehmen, beschränkt sich diese Situation nach dem Ereignis auf die ersten 2 bis 3 Meter. Anschließend bleibt die Sauerstoffkonzentration mehr oder weniger konstant und erreicht erst in 13 m ähnliche Werte wie vor dem Ereignis.

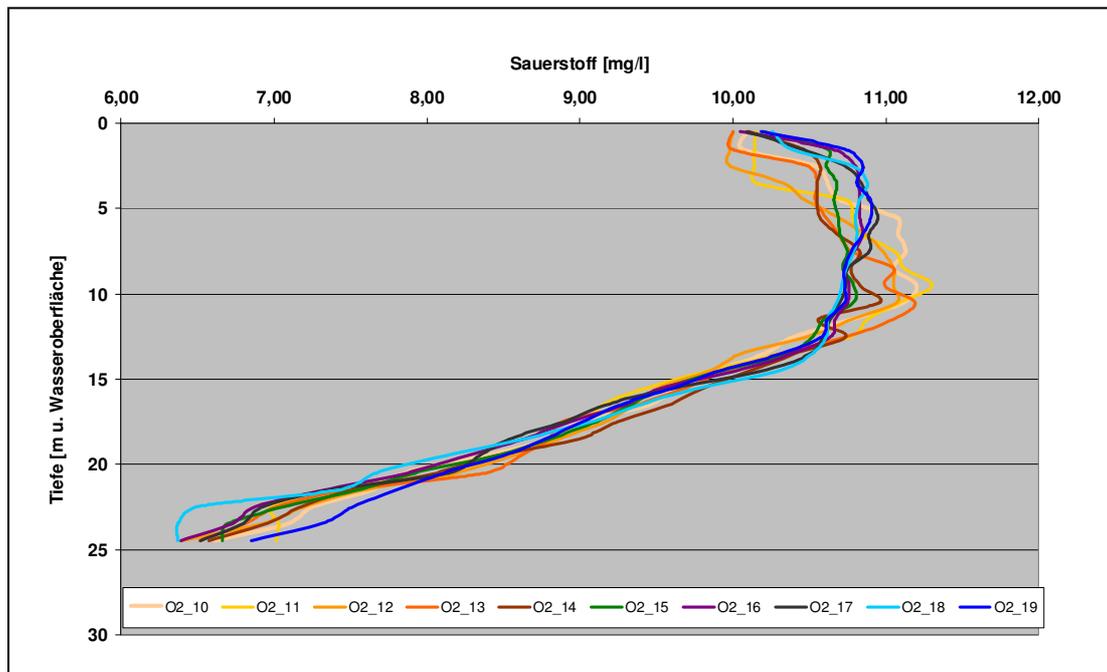


Abbildung 7: Veränderung der Sauerstoffkonzentration mit der Tiefe während eines Niederschlagsereignisses im Zeitraum 26. Juli 2010 bis 06. August 2010. Die Farbe der Linien entspricht den Messzeitpunkten in Abbildung 6.

Ähnlich verhält es sich bei der Wassertemperatur, die vor und nach dem Ereignis ebenfalls einen unterschiedlichen Verlauf über die ersten 10 m aufweist (Abb. 8). Während vor dem Ereignis die Temperatur ab etwa 3 m annähernd konstant bis 4°C in 20 m abnimmt, sind nach dem Ereignis zwei markante Temperaturwechsel erkennbar. Ersterer befindet sich in einer Tiefe von etwa 3 m. Bis zu diesem weist die Temperatur eine starke Abnahme von 16°C auf 12°C auf. Bis zum zweiten markanten Wechsel in etwa 12 m nimmt die Temperatur von 12°C auf 10°C ab und erreicht dort einen ähnlichen Wert wie vor dem Ereignis.

Gerade die Wassertemperatur, die nahe der Wasseroberfläche relativ konstant bleibt, zeigt, dass die Veränderungen in der Tiefenverteilung der beiden dargestellten Parameter nicht allein vom Niederschlag, der auf die Seeoberfläche fällt, ausgehen können. Vielmehr handelt es sich um den Einfluss von kühlerem Bachwasser aus dem Einzugsgebiet des Seebaches. Die Wassertemperatur des Seebaches betrug während des Ereignisses lediglich 7°C, vor und nach dem Ereignis waren es 9°C.

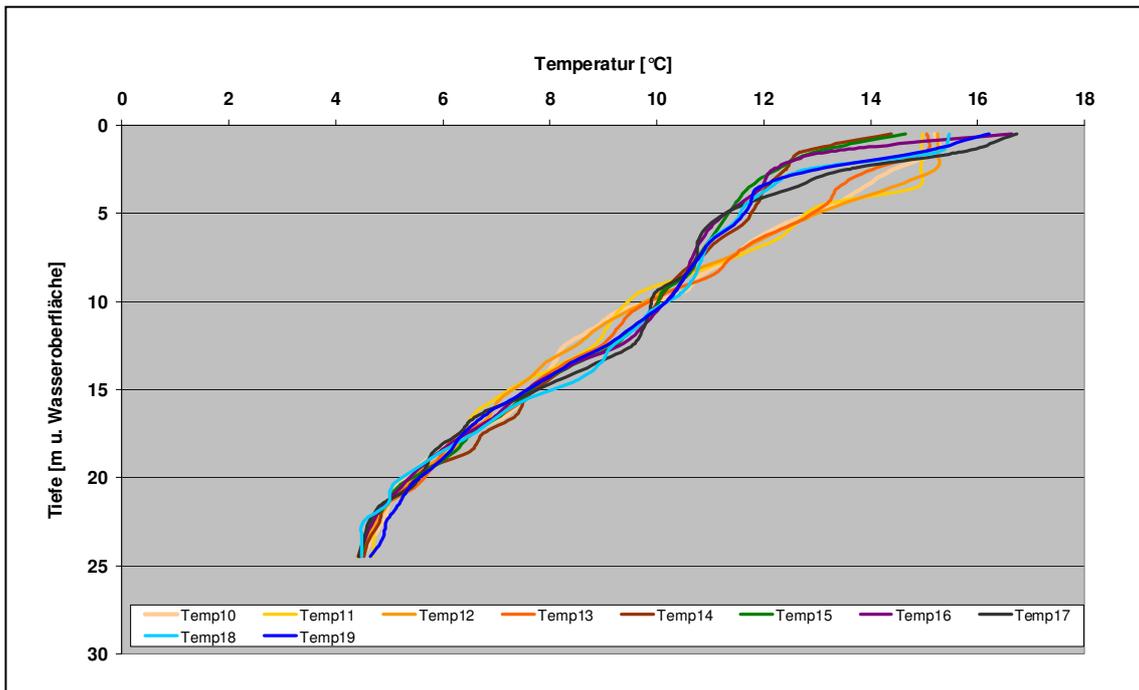


Abbildung 8: Veränderung der Temperatur mit der Tiefe während eines Niederschlagsereignisses im Zeitraum 26. Juli 2010 bis 06. August 2010. Die Farbe der Linien entspricht den Messzeitpunkten in Abbildung 6.

### 4.3 Ergebnisse des Ökossystems „Flusslandschaft“

Im September 2010 konnte an der Schönauer Traverse (wenig dynamisches System) ein Hochwasserereignis beprobt und analysiert werden. Die Abbildung 9 zeigt die Abflussganglinie der Donau am Pegel Wildungsmauer und den Wasserstand an der Messstation (Pegel „LP1“). Das Ereignis erreicht mit einem Spitzenabfluss von 5080 m<sup>3</sup>/s in etwa ein Hochwasser mit einem einjährigen Wiederkehrintervall (5300 m<sup>3</sup>/s). Deutlich ist die zeitliche Verzögerung der hydraulischen Anbindung des Auen-Altarmes („Schönauer Traverse“) zu erkennen, die ungefähr bei einem Durchfluss von 2300 m<sup>3</sup>/s in der Donau eintritt. Die Messstation im dynamischen System war zu diesem Zeitpunkt noch nicht errichtet.

Insgesamt konnten während des Ereignisses 19 Wasserproben gewonnen und für weitere Laboranalysen verwendet werden. Es wurden Nährstoffe wie Nitrat, Nitrit, Ammonium und Phosphat, gelöster organischer Kohlenstoff sowie der Schwebstoffgehalt untersucht. Der zeitliche Verlauf dieser Parameter während des Hochwasserereignisses ist in der Abbildung 10 dargestellt.

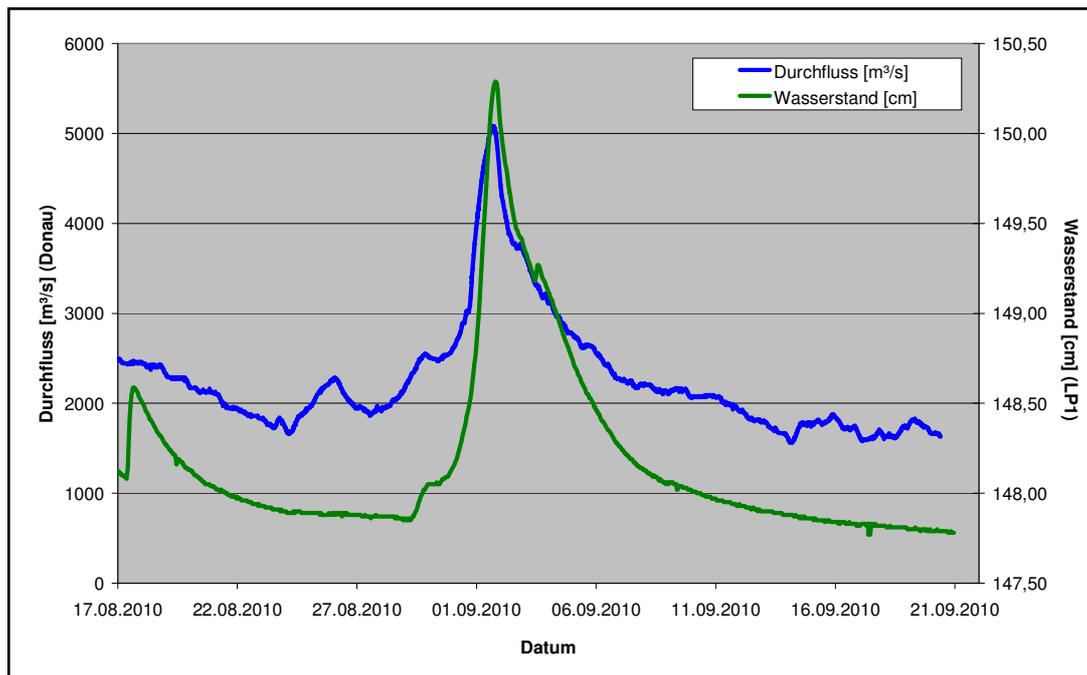


Abbildung 9: Abflussganglinie am Pegel Wildungsmauer (Durchfluss; Donau) und Wasserstand (Pegel „LP1“) am Standort Schönauer Traverse im Zeitraum 17.08.2010 bis 21.09.2010.

Deutlich ist der unterschiedliche Schwebstoffgehalt während und nach dem Ereignis zu erkennen. Durch den hydraulischen Anschluss des Auengewässers an die Donau werden zunehmend Schwebstoffe eingetragen, sobald die Verbindung unterbrochen ist, gehen die Gehalte deutlich von etwa 30 mg/l auf 8 mg/l zurück. Ähnlich verhält es sich beim Nitrit ( $\text{NO}_2$ ), das während des höchsten Wasserstandes im Mittel höhere Konzentrationen aufweist als nach dem Ereignis. Beim gelösten organischen Kohlenstoff verhält es sich gegenläufig. Die Konzentration steigt erst an, nachdem das Auensystem wieder von der Donau abgekoppelt ist. Dies lässt wie auch beim Phosphat auf einen Verdünnungseffekt schließen. Das phosphatreichere Auenwasser wird mit phosphatärmerem Donauwasser vermischt und verdünnt, wodurch sich die abnehmenden Phosphatgehalte während des Scheitelabflusses erklären lassen. Nicht ausreichend genug erklärt werden kann der Verlauf des Nitratgehaltes ( $\text{NO}_3$ ), der zwar erwartungsgemäß nach dem Ereignis höher ist als vor dem Ereignis, was auf eine Zufuhr von Nitrat durch das Donauwasser schließen lässt. Aber im gleichen Zuge nimmt der Nitratgehalt während des Scheitelabflusses ab, was auf einen Verdünnungseffekt und somit auf geringere Nitratgehalte des Donauwassers hinweisen würde. Generell weist das Donauwasser mit 1 mg/l bis 4 mg/l aber höhere Nitratgehalte als das Auwasser auf, so dass ein Verdünnungseffekt ausgeschlossen werden kann und der Rückgang des Nitrats andere Ursachen haben dürfte.

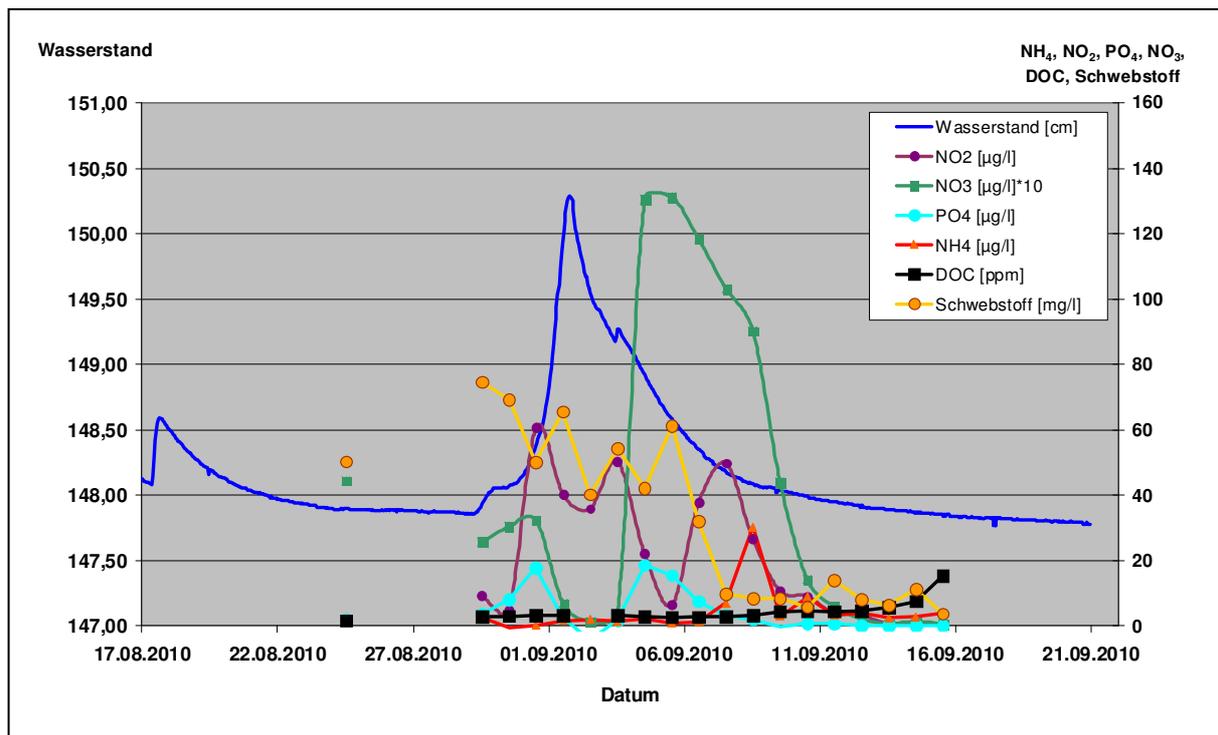


Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf der Nährstoffe Nitrat, Nitrit, Ammonium, Phosphat, des gelösten organischen Kohlenstoffs, des Schwebstoffgehaltes und des Wasserstandes am Standort Schönauer Traverse im Zeitraum 15.08.2010 bis 20.09.2010.

## 5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Im bisherigen Projektzeitraum konnte in allen drei aquatischen Ökosystemen ein umfangreiches ökologisches Messnetz mit einer zeitlich hochauflösenden Datenerfassung aufgebaut werden. Insbesondere die kontinuierliche Online-Messung der Treibhausgase Kohlendioxid und Methan im Seebach und im Lunzer See dürfte bisher einzigartig in Österreich sein. Erste Ergebnisse der Datenauswertungen zeigen bereits einen deutlichen Einfluss von Hochwasserereignissen auf die Kohlenstoffflüsse bzw. biogeochemischen Prozesse z. B. im aquatischen Ökosystem „Bach“. Deutlich werden die Tagesschwankungen von Kohlendioxid und Sauerstoff im Bachwasser durch ein Hochwassereignis unterbrochen, was darauf hindeutet, dass es kurzfristige Änderungen im aquatischen Prozessgefüge gibt. Zukünftig werden im Rahmen des Projektes ExtremAqua weitere sowie unterschiedliche Hochwassereignisse untersucht und somit in den 3 Modellsystemen wichtige Erkenntnisse zur Interaktion von Gewässern und deren Kohlenstoffdynamik mit hydrologischen Extremereignissen gewonnen. Dies wird durch die mittlerweile erfolgte Instrumentierung sowie durch zukünftige experimentelle Untersuchungen erreicht. Darüber hinaus ist es das

Ziel, durch Kooperationen wesentlich zur internationalen Weiterentwicklung der Seenforschung beizutragen.

## **6 Literaturhinweise und Quellen**

- BATTIN, T.J., LUYSSAERT, S., KAPLAN, L.A., AUFDENKAMPE, A.K., RICHTER, A. & TRANVIK, L.J. (2009): The boundless carbon cycle . – *Nature Geoscience* 2(9):598-600.
- BATTIN, T.J., KAPLAN, L.A., FINDLAY, S., HOPKINSON, C.S., MARTI, E., PACKMAN, A.I., NEWBOLD, J.D. & SABATER, F., (2008): Biophysical controls on organic carbon fluxes in fluvial networks. – *Nature Geoscience* 1:95-100.
- BLÖSCHL, G., VIGLIONE, A., MERZ, R., PARAJKA, J., SALINAS, J.L. & SCHÖNER, W. (2011): Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasser und Niederwasser. – *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 1-2:21-30.
- CHRISTENSEN, O.B. & CHRISTENSEN, J.H. (2003): Severe summertime flooding in Europe. – *Nature* 421:805-806.
- FASCHING, C. & BATTIN, T.J. (2011): Exposure of dissolved organic matter to UV-radiation increases bacterial growth efficiency in a clear-water Alpine stream and its adjacent groundwater. – *Aquatic Sciences*, doi: 10.1007/s00027-011-0205-8, (in press).
- GÖTZINGER, G. (1910): Die Lunzer Seen, I. Teil: Physik. A. Geomorphologie der Lunzer Seen und ihres Gebietes. — *Archiv für Hydrobiologie - Suppl.* 3:1-154.
- GRUBER, N. & GALLOWAY, J.N. (2008): An earth system perspective of the global nitrogen cycle. – *Nature* 451:293-296.
- HASENAUER, H., PUTZHUBER, F., MIRTL, M. & WENZEL, W. (2007): Multifunctional land use: The Eisenwurzen region of the Austrian alps. – in: MANDER, Ü., WIGGERING, H. & HELMING, K. (eds.): *Multifunctional Land Use – Meeting Future Demands for Landscape Goods and Services*, Heidelberg, p. 341-354.
- HEISSENBERGER, M., WATZKE, J., KAINZ, M. (2010): Effect of nutrition on fatty acid profiles of riverine, lacustrine, and aquaculture-raised salmonids of pre-alpine habitats. – *Hydrobiologia* 650:243–254.
- HOFSTÄTTER, M. (2010): PRISK-CHANGE: Veränderung des Risikos extremer Niederschlagsereignisse als Folge des Klimawandels. – Abschlussbericht der Fachabteilung Klimavariabilität / Modellierung in der Abteilung Klimaforschung, 51 S., [http://www.zamg.ac.at/docs/forschung/klimatologie/endbericht\\_priskchange.pdf](http://www.zamg.ac.at/docs/forschung/klimatologie/endbericht_priskchange.pdf) (aufgerufen am 15.07.2011)

- IPCC (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K.B., TIGNOR, M. & MILLER, H.L. (EDS.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- KAINZ, M.J. & FISK, A.T. (2009): Integrating lipids and contaminants in aquatic ecology and ecotoxicology. – IN: ARTS, M.T., BRETT, M.T. & KAINZ, M.J. (EDS.): *Lipids in Aquatic Ecosystems*. – pp. 93-113.
- LEICHTFRIED, M. (1990): Organische Substanz in Bettsedimenten des Oberen Seebaches in Lunz/See, Niederösterreich. – *Mitteilungen der österreichischen geologischen Gesellschaft* 83:229-241.
- MADER, H., STEIDL, T. & WIMMER, R. (1996): Abflussregime österreichischer Fließgewässer – Beitrag zu einer bundesweiten Fließgewässertypologie. – Umweltbundesamt Monographien 82, 192 S.
- MULHOLLAND, P.J., HELTON, A.M., POOLE, G.C., HALL, R.O., HAMILTON, S.K., PETERSON, B.J., TANK, J.L., ASHKENAS, L.R., COOPER, L.W., DAHM, C.N., DODDS, W.K., FINDLAY, S.E.G., GREGORY, S.V., GRIMM, N.B., JOHNSON, S.L., MCDOWELL, W.H., MEYER, J.L., VALETT, H.M., WEBSTER, J.R., ARANGO, C.P., BEAULIEU, J.J., BERNOT, M.J., BURGIN, A.J., CRENSHAW, C.L., JOHNSON, L.T., NIEDERLEHNER, B.R., O'BRIEN, J.M., POTTER, J.D., SHEIBLEY, R.W., SOBOTA, D.J. & THOMAS, S.M., (2008): Stream denitrification across biomes and its response to anthropogenic nitrate loading. – *Nature* 452:202-246.
- O'GORMAN, P.A. & SCHNEIDER, T., (2009): The physical basis for increases in precipitation extremes in simulations of 21st-century climate change. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106 (35):14773-14777.
- PALMER, T.N. & RÄLSÄNEN, J. (2002): Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. – *Nature* 415:512-514.
- PAULI, H., GOTTFRIED, M., REIER, K., KLETTNER, C. & GRABHERR, G. (2007): Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994-2004) at the GLORIA\*master site Schrankogel, Tyrol, Austria. – *Global Change Biology* 13:147–156.
- POPP, M., WANEK, W., RICHTER, A., KASPER-GIEBL, A., BATTIN, T.J. & DORNINGER, M. (2010): *EcoCatch LUNZ - „Auswirkungen des Globalen Wandels auf ökosystemare Prozesse und Leistungen: Immissionen, Retention und Austräge von Schadstoffen und Nährstoffen“*. – unveröffentlichter Endbericht (2006 –2009) für die Kommission zur Reinhaltung der Luft (KRL) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 124 S.

- SCHÖNER, W., BÖHM, R. & HASLINGER, K. (2011): Klimaänderung in Österreich – hydrologisch relevante Klimaelemente. – Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 1-2:11-20
- VOLK, C., WOOD, L., JOHNSON, B., ROBINSON, J., ZHU, H. W. & KAPLAN, L. (2002): Monitoring dissolved organic carbon in surface and drinking waters. – Journal of Environmental Monitoring 4(1):43-47.
- WAGNER, F.H. & LEICHTFRIED, M. (2003): RITRODAT 1977-2003 – Struktur und funktionelle Zusammenhänge im Ökosystem Bach. – unveröffentlichter Endbericht des Langzeit-Forschungsprogramms RITRODAT, 132 S.

### ***Anschrift der Verfasser:***

Dr. Peter Chiffard, Tom J. Battin, Thomas Hein, Martin Kainz  
WasserCluster Lunz - Biologische Station GmbH  
Dr. Carl Kupelwieser Promenade 5  
A-3293 Lunz am See  
peter.chiffard@wkl.ac.at



# Blockgletscherinventar Tirol

Karl Krainer und Markus Ribis

## 1 *Einleitung*

Permafrost ist in den Alpen oberhalb von ca. 2500 m Seehöhe ein weit verbreitetes Phänomen, das als „Alpiner Permafrost“ bezeichnet wird. Dabei handelt es sich um „warmen“ Permafrost mit Temperaturen nahe 0°C. Daher reagiert Alpiner Permafrost auch sehr rasch auf Klimaschwankungen und andere Faktoren wie Schneedecke, Eisgehalt und Vegetation (GÄRTNER-ROER 2010).

Allerdings existieren bislang über die Verbreitung (Fläche, Mächtigkeit, Eisgehalt) des Alpiner Permafrostes in den österreichischen Alpen keine genauen Angaben. Für den östlichen Teil der österreichischen Alpen hat LIEB (1996) ein Blockgletscherinventar zusammengestellt, das aber noch keine Angaben über die Fläche der Blockgletscher enthält. LIEB (1998) schätzt, dass in Österreich ungefähr eine Fläche von 2000 km<sup>2</sup> von Permafrost betroffen ist. In der Schweiz sind es ungefähr 2100 km<sup>2</sup> oder ungefähr 5% der Landesfläche.

Beim Alpiner Permafrost können mehrere Typen unterschieden werden:

- a.) Intakte (aktive und inaktive) Blockgletscher
- b.) Permafrost in Lockersedimenten wie Schutthalden, Moränen
- c.) Permafrost im Festgestein (Spaltenfrost)

Von diesen drei Arten sind die Blockgletscher die auffallendsten und markantesten Erscheinungsformen. Blockgletscher sind morphologisch deutlich von ihrer Umgebung abgrenzbar und dadurch relativ leicht zu erfassen. Blockgletscher sind auch auf Luftbildern (Orthofotos) und Laserscannaufnahmen deutlich erkennbar.

Während Permafrost in Lockersedimenten (z.B. Schutthalden) und im Festgestein nur durch aufwendige Untersuchungsmethoden (Bodentemperaturen, geophysikalische Methoden) nachweisbar ist und die flächenhafte Verbreitung nur durch Modellierung abgeschätzt werden kann, können Blockgletscher relativ leicht erfasst und abgegrenzt werden.

Die meisten Blockgletscher in den Alpen liegen im Bereich der Untergrenze des diskontinuierlichen Permafrostes und weisen meist Temperaturen von -2 bis 0°C auf. Daher

ist zu erwarten, dass diese Blockgletscher bereits auf sehr geringe Klimaschwankungen reagieren.

Für die Alpen wird bis zum Jahr 2100 eine Erwärmung von bis zu 4°C vorausgesagt, was zu einem verstärkten Abschmelzen des Alpinen Permafrostes und zu einer Verschiebung der Permafrost-Untergrenze in höhere Regionen führen wird. Die zu erwartenden Folgen sind eine zunehmende Destabilisierung steiler Felsflanken, verbunden mit verstärkter Steinschlag- und Felssturzaktivität sowie erhöhte Abflussmengen in Permafrost-Gebieten.

Da Blockgletscher auch zu den häufigsten Erscheinungsformen des Alpinen Permafrostes zählen, war es naheliegend, alle Blockgletscher systematisch zu erfassen. Im Rahmen des Projektes PermaNET wurde daher ein Blockgletscherinventar für Tirol erstellt, wobei zunächst in Zusammenarbeit mit dem Hydrographischen Dienst des Landes Tirol und der Wildbach- und Lawinenverbauung ein Datenblatt erstellt wurde, nach dem alle Blockgletscher systematisch erfasst werden sollen.

Nachdem Blockgletscher in den Alpen weit verbreitet sind und die aktiven und inaktiven Blockgletscher Eis enthalten, stellen sich dabei folgende Fragen:

- a.) Wie viel Eis ist in den aktiven und inaktiven Blockgletschern gespeichert?
- b.) Spielt die Wassermenge, die von den Blockgletschern freigesetzt wird, im Abflussgeschehen des Hochgebirges eine Rolle?
- c.) Kommt es infolge der Klimaerwärmung zu einem verstärkten Abschmelzen des Permafrost-Eises der Blockgletscher und ist dies auch feststellbar?
- d.) Welche Naturgefahren sind durch das verstärkte Abschmelzen des Permafrostes zu erwarten?

## **2 Blockgletscher**

### **2.1 Definition Blockgletscher**

Blockgletscher sind lappen- bis zungenförmige Körper aus gefrorenem Lockermaterial (Hangschutt, Moräne) und Eislinsen oder Eiskörpern, die sich deutlich von ihrer Umgebung abheben und sich langsam hangabwärts bewegen (Abb. 1, 2). Blockgletscher sind Erscheinungen des alpinen Permafrostes, können aber auch aus zurückschmelzenden, schuttbedeckten Kargletschern entstehen.

Man unterscheidet a) aktive Blockgletscher, die Eis enthalten und sich langsam hangabwärts bewegen (Abb. 1 bis 4), b) inaktive Blockgletscher, die auch noch Eis enthalten, sich aber

nicht mehr bewegen (Abb. 5, 6) und c) fossile Blockgletscher, die kein Eis mehr enthalten (Abb. 7).

Blockgletscher sind meist einige 100 m lang und 100 – 200 m breit. Einzelne Blockgletscher in den Öztaler und Stubaier Alpen erreichen eine Länge von bis zu über 1 km (siehe BARSCH 1996; HAEBERLI 1985, HAEBERLI et al. 2006).



*Abbildung 1: Der Blockgletscher im Reichenkar (westliche Stubaier Alpen) zählt zu den größten und aktivsten Blockgletschern Tirols. Deutlich erkennbar ist die steile, völlig unbewachsene Stirn.*



*Abbildung 2: Aktiver Blockgletscher im Kaiserbergtal (Ötztaler Alpen) mit deutlich erkennbarer Oberflächenmorphologie als Folge der Kriechbewegung.*

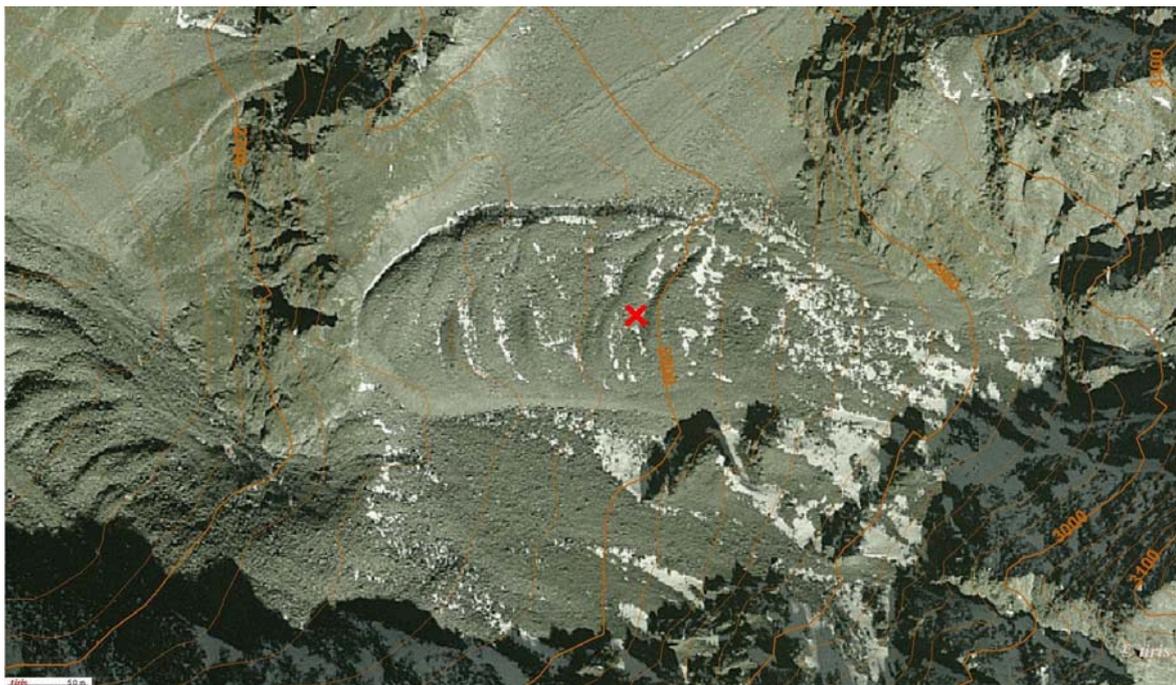
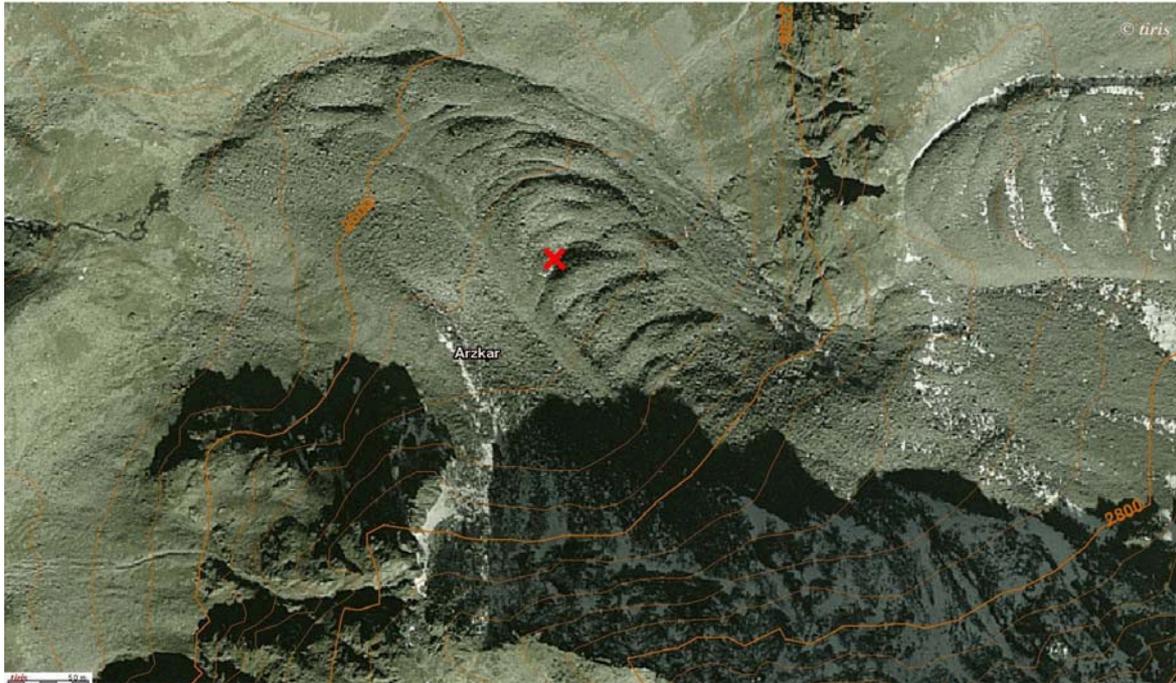


Abbildung 3, Abbildung 4: RA\_BL006 und RA\_BL007 – Beispiele für zwei aktive Blockgletscher im hinteren Radurschtlal (Nauderer Berge/westliche Ötztaler Alpen) mit deutlich erkennbaren transversalen Loben als Folge der Kriechbewegung.

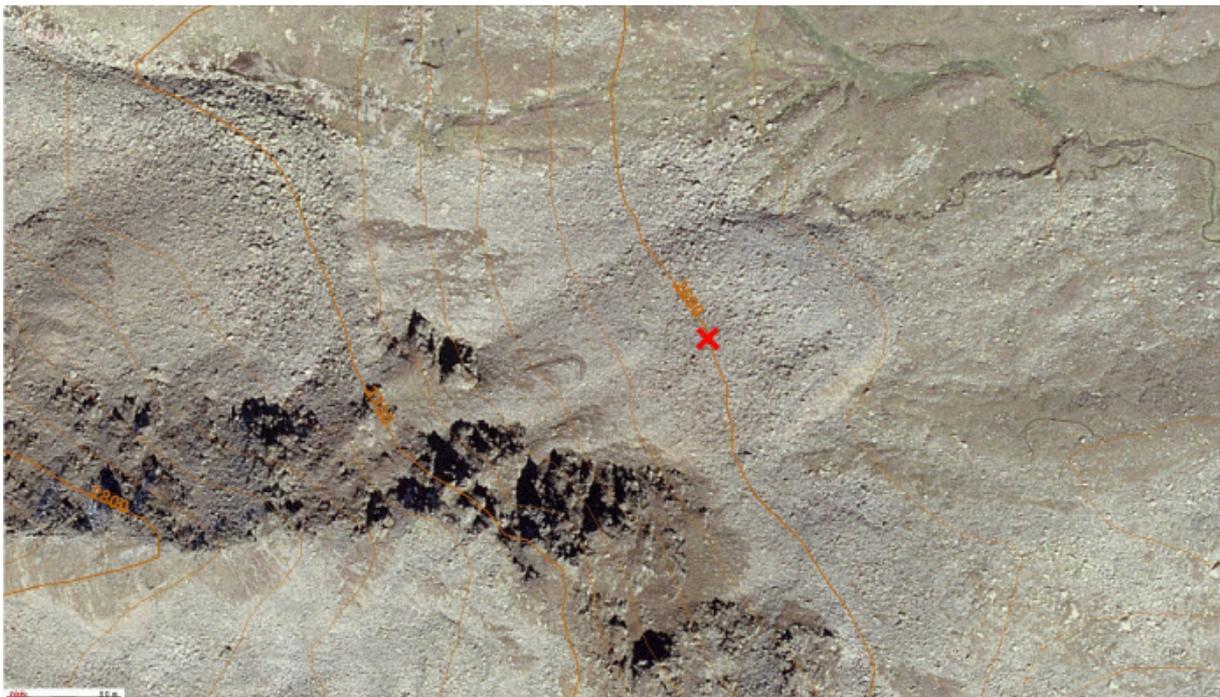


Abbildung 5, Abbildung 6: OA\_BL046 und OA\_BL047 – Beispiele für inaktive Blockgletscher in den Öztaler Alpen.



Abbildung 7: OA\_BL404 und OA\_BL405 - Beispiele für zwei fossile Blockgletscher in den Ötztaler Alpen. Die Stirn der beiden Blockgletscher ist bereits stark bewachsen.

## 2.2 Morphologie

Aktive Blockgletscher zeigen typischerweise eine sehr steile Stirn aus frischem Gesteinsmaterial mit einem steilen Böschungswinkel von bis zu über  $40^\circ$  (Abb. 1, 2). Unter einer bis zu mehrere Meter mächtigen, grobblockigen, ungefrorenen Schuttlage (active layer) folgt der gefrorene Kern, der entweder aus einem Gemisch aus Eis und Gesteinsmaterial oder aus mehr oder weniger reinem Eis besteht. Größere Blockgletscher sind bis zu 50 m mächtig. Die ungefrorene Oberfläche besteht meist aus lockerem Blockwerk. Die Oberfläche der Blockgletscher zeigt häufig eine charakteristische Morphologie aus längs und quer verlaufenden Rücken und Vertiefungen, die durch die Kriechbewegung entstehen (Abb. 2, 3 und 4). Die Schuttlage aktiver Blockgletscher setzt sich häufig aus zwei Horizonten zusammen: einem grobkörnigen Horizont mit wenig bis keinem Feinanteil an der Oberfläche, unterlagert von einer feinkörnigeren Lage mit einem höheren Feinanteil. Bei den meisten Blockgletschern bewegt sich die Korngröße an der Oberfläche im dm-Bereich. Auf vielen Blockgletschern variiert die Korngröße an der Oberfläche recht stark, es wechseln grobkörnige Bereiche mit feinkörnigeren Bereichen, die oft einen hohen Feinanteil aufweisen.

Im Wurzelbereich ist bei größeren Blockgletschern als Folge des Abschmelzens des massiven Eiskernes mitunter eine Senke ausgebildet, in der sich im Sommer die Schmelzwässer zu einem kleinen See sammeln.

## 2.3 Hydrologie

Am Fuß der steilen Stirn entspringt bei vielen Blockgletschern eine Quelle. Die Wassertemperatur der Blockgletscherquellen liegt meist den ganzen Sommer hindurch konstant bei knapp unter 1 °C.

Zur Untersuchung des Abflussverhaltens wurden bei mehreren aktiven Blockgletschern knapp unterhalb der Blockgletscherquelle automatische Pegelmessstellen errichtet. Das Abflussverhalten aktiver Blockgletscher ist im Spätfrühling und in den Sommermonaten generell durch ausgeprägte saisonale und tägliche Schwankungen charakterisiert.

Mit Beginn der Schneeschmelze, die meist Anfang Mai einsetzt, springt auch die Blockgletscherquelle an. Anfang Juni ist ein starker Anstieg im Abfluss zu beobachten (bei größeren Blockgletschern bis auf mehrere 100 l/s).

Spitzenabflüsse im Spätfrühling und Frühsommer werden durch Schneeschmelze und Niederschlagsereignisse verursacht, im Spätsommer und Herbst ausschließlich durch Niederschlagsereignisse. Schlechtwettereinbrüche mit Schneefall im Sommer verursachen kurzfristig einen starken Rückgang im Abfluss. Die höchsten Abflusswerte bei aktiven Blockgletschern wurden im extrem heißen Sommer 2003 mit knapp über 1000 l/s im Kaunertal (Blockgletscher Ölgrube und Kaiserberg) gemessen.

Der Abfluss ist generell hoch, solange der Blockgletscher von Schnee bedeckt ist. Nach Abschmelzen der Schneerücklagen des vergangenen Winters geht auch der Abfluss stark zurück, bis schließlich im Spätherbst die Blockgletscherquelle meist völlig versiegt bzw. zufriert. Dies zeigt, dass der Großteil des Abflusses von der Schneeschmelze und vom sommerlichen Niederschlag stammt und dass nur ein geringer Teil auf abschmelzendes Eis und auf Grundwasser bzw. Bergwasser zurückzuführen ist. Dies geht auch aus der Untersuchung stabiler Isotope hervor.

An Schönwettertagen sind im Spätfrühling und Frühsommer ausgeprägte Tagesschwankungen im Abfluss zu beobachten. Im August und September nehmen die Tagesschwankungen stark ab.

Die geringsten Abflusswerte werden dabei jeweils um die Mittagszeit registriert, die Abflussspitzen in den späten Abendstunden.

Tracerversuche haben ergeben, dass das Wasser im Blockgletscher mit einer durchschnittlichen Fließgeschwindigkeit von meist wenigen m/min fließt. Dies erklärt die zeitliche Verzögerung von Abflussminimum und -maximum bei der Blockgletscherquelle.

Trotz starker Abflussschwankungen bleibt die Wassertemperatur der Blockgletscherquelle den ganzen Sommer hindurch konstant knapp unter 1°C, was darauf hinweist, dass die Schmelzwässer bis kurz vor dem Quellaustritt in Kontakt mit Eis fließen (KRAINER & MOSTLER 1999, 2002; KRAINER et al. 2007).

## **2.4 Fließgeschwindigkeit**

Die Fließgeschwindigkeit aktiver Blockgletscher liegt meist bei einigen Dezimetern pro Jahr. Einzelne Blockgletscher bewegen sich bis zu mehrere m pro Jahr. In den österreichischen Alpen wird der Hochebenkar-Blockgletscher bei Obergurgl bereits seit 1938 regelmäßig vermessen (KAUFMANN 1996, KAUFMANN & LADSTÄTTER 2002, 2003, LADSTÄTTER & KAUFMANN 2005, PILLEWIZER 1938, 1957, SCHNEIDER & SCHNEIDER 1999, VIETORIS 1958, 1972). Dieser Blockgletscher ist durch hohe Fließgeschwindigkeiten von bis zu über 5 m/Jahr charakterisiert. Hohe Fließgeschwindigkeiten von bis zu über 3 m/Jahr im flachen Zungenbereich und bis zu fast 7 m/Jahr im steilen Mittelteil zeigt derzeit auch der Reichenkar-Blockgletscher (KRAINER & MOSTLER 2006). Der Blockgletscher im Kar des Hinteren Langtalsees in der Schobergruppe bewegt sich derzeit um ca. 1 m/Jahr vor. Der spektakuläre Blockgletscher in der Inneren Ölgrube (Kauertal) mit seiner sehr steilen und bis zu 70 m mächtigen Stirn bewegt sich derzeit mit ca. 2 m pro Jahr (KRAINER & MOSTLER 2006).

## **2.5 Temperaturverhalten der Schuttlage**

Das Temperaturverhalten der ungefrorenen Schuttlage ist sehr komplex und wird von mehreren Parametern bestimmt. Insbesondere in den Sommermonaten sind ausgeprägte saisonale und bei Schönwetter auch tägliche Schwankungen im Temperaturverlauf zu beobachten. Kaltlufteinbrüche im Sommer führen zu einer starken Temperaturabnahme in der Schuttlage, die Temperatur kann bis unter den Gefrierpunkt absinken. Häufig ist dabei eine Temperaturinversion festzustellen, in geringer Tiefe (wenige dm) ist es kälter als in größerer Tiefe (1 – 2 m).

Das Temperaturverhalten wird vor allem von folgenden Parametern bestimmt: (a) von der Dauer der winterlichen Schneedecke: Solange der Blockgletscher von Schnee bedeckt ist, liegen die Temperaturen in der Schuttlage unter der Schneedecke permanent knapp unter

dem Gefrierpunkt. (b) Bestimmend in den Sommermonaten ist der Witterungsablauf, insbesondere die Temperatur der atmosphärischen Luft, weiters (c) die Mächtigkeit der ungefrorenen Schuttlage und des darunter liegenden gefrorenen Bereiches (Eisanteil und dessen Eigenschaften), (d) die Korngröße und Korngrößenverteilung der Schuttlage (davon abhängig die Porosität und Permeabilität), (e) die Exposition (schattig, sonnenbeschienen), und (f) möglicherweise spielt auch der Wind eine gewisse Rolle. Daten von Blockgletschern in den österreichischen Alpen sind in den Arbeiten von BERGER et al. (2004), KRÄINER & MOSTLER (2000, 2001, 2004) enthalten.

## 2.6 BTS-Messungen

Die Methode der BTS-Messungen (Temperatur an der Basis der winterlichen Schneedecke) basiert auf der isolierenden Wirkung einer dickeren Schneedecke (0.8 – 1m), die die Schuttlage vor dem Einfluss von kurzfristigen atmosphärischen Temperaturschwankungen schützt. Daher sind an der Basis der winterlichen Schneedecke auch keine Tagesschwankungen im Temperaturgang festzustellen. Mit BTS-Messungen kann festgestellt werden, ob im Untergrund Permafrost-Eis vorhanden ist oder nicht. An der Basis der winterlichen Schneedecke liegen die Temperaturen auf aktiven Blockgletschern zwischen Anfang Jänner und Ende März meist zwischen  $-3$  und  $-5^{\circ}\text{C}$ , oft auch darunter. Außerhalb von aktiven Blockgletschern und Permafrostböden, auf Permafrost freiem Untergrund, bewegt sich dagegen die Temperatur an der Basis der winterlichen Schneedecke meist zwischen  $0$  und  $-1.5^{\circ}\text{C}$  (siehe KRÄINER & MOSTLER 2000, 2001, 2004).

## 2.7 Entstehung von Blockgletschern

Über die Entstehung von Blockgletschern wurde lange heftig diskutiert. Einerseits werden Blockgletscher als reine Permafrosterscheinungen betrachtet, andererseits wird auch die Möglichkeit der Entstehung aus zurückschmelzenden, stark schuttbedeckten Kargletschern diskutiert.

Intensive Untersuchungen in den letzten Jahren haben gezeigt, dass beide Möglichkeiten in Frage kommen. Einerseits entstehen Blockgletscher durch das Gefrieren von Hangschutt und stellen damit reine Permafrosterscheinungen dar. Sie sind meist kleiner und durch eine lappenförmige Form charakterisiert. Einige Blockgletscher sind aber auch aus zurückschmelzenden, schuttbedeckten Kargletschern hervorgegangen. Diese sind meist größer und zeigen eine langgestreckte, zungenförmige Form. Ein charakteristisches Beispiel

dafür ist der eindrucksvolle Reichenkar-Blockgletscher südöstlich von Gries im Sulztal in den westlichen Stubai Alpen (siehe Abb. 1). Bei diesem 1.7 km langen, aktiven Blockgletscher ist ein kleiner Kargletscher noch erhalten, und man erkennt deutlich, dass der Kargletscher unter die Schuttmassen des Blockgletschers hineinzieht und sich unter den Schuttmassen fortsetzt (KRAINER & MOSTLER 2000, KRAINER et al. 2002, HAUSMANN et al. 2007).

### **3 Blockgletscher in Tirol**

#### **3.1 Datenblatt zum Blockgletscherinventar**

Pro inventarisiertem Blockgletscher wurde ein Datenblatt mit folgenden Stammdaten erstellt (siehe auch Abb. 8):

**Int\_Nr:** Interne, laufende Nummer des Blockgletschers (diese ist für die Datenbankverwaltung zwecks Abfrage notwendig)

**Nummer:** FA (Einzugsgebiet abgekürzt; FA = Fagge) \_BL (Blockgletscher) + 3-stellige Nummer (= laufende Nummer - in Anlehnung an das Gletscherinventar)

**Bezeichnung:** Geographische Bezeichnung der Lokalität laut Karte (z.B. Ölgrube, Watzekar)

**Datum der Aufnahme:** Zeitpunkt der Erfassung und GIS-Digitalisierung

**Nr. OPH:** Nummer des Orthophotos, auf welchem die GIS-Digitalisierung erfolgte

**Koordinaten:** Als Koordinatenpunkt wird der Mittelpunkt des Blockgletschers angegeben, und zwar in Gauß-Krüger (RW\_GK, HW\_GK, Meridian) und im UTM-Netz (RW\_UTM, HW\_UTM)

**Höhe Stirn:** Angabe der Seehöhe am Fuße der Stirn des Blockgletschers

**Höhe Wurzelzone:** Angabe der Seehöhe der Wurzelzone des Blockgletschers

**Mittlere Höhe:** Angabe der mittleren Seehöhe des Blockgletschers (im Bereich des Mittelpunktes)

**Maximale Länge:** Distanz zwischen Stirn (Fuß der Stirn) und Wurzelzone

**Maximale Breite:** Distanz zwischen den beiden Rändern, gemessen an der breitesten Stelle des Blockgletschers

**Fläche – km<sup>2</sup>:** Fläche des Blockgletschers in km<sup>2</sup>

**Fläche – lokales EZG:** Fläche des lokalen Einzugsgebiets des Blockgletschers (nicht berechnet)

**Exposition:** Ausrichtung des Blockgletschers, angegeben in Grad (Exposition - Grad) und Himmelsrichtung (Exposition - Bezeichnung)

**Relief/Morphologie:** Angaben zur Oberflächenmorphologie, soweit aus den Orthophotos erkennbar (longitudinale, transversale Loben, grobblockig etc.)

**Form:** Angaben zur Form des Blockgletschers, unterschieden werden zungenförmig (Länge > Breite) und lappenförmig (Breite > Länge)

**Entstehung:** soweit aus dem Orthophoto abschätzbar, ob sich der Blockgletscher aus Hangschutt (HS) entwickelt hat (ice-cemented) oder aus einem ehemaligen, schuttbedeckten Kargletscher (ice-cored)

**Zustand:** Angabe über den Zustand des Blockgletschers, soweit aus dem Orthophoto abschätzbar: aktiv (frische, steile Stirn, kein Bewuchs), inaktiv (z. T. bewachsen) und fossil (starker Bewuchs, v. a. im Bereich der Stirn)

**Symbol:** 1 steht für aktiv, 2 für inaktiv und 3 für fossil

**Gewässer-Einzugsgebiet:** Hauptgewässer des Einzugsgebietes (z. B.: Fagge)

**Gebirgsgruppe:** Name der Gebirgsgruppe, in der der Blockgletscher liegt

**Gesteine:** Angabe über Fest- und Lockergesteine im Einzugsgebiet des Blockgletschers (soweit aus geologischen Karten ersichtlich): z. B. Orthogneis, Paragneis, Glimmerschiefer (Glsch), Amphibolit (Amph), Hangschutt (HS), Moräne, Grundmoräne (GM) etc.

**Quellaustritt:** Angabe, ob am Fuße der Stirn eine Blockgletscher-Quelle entspringt (soweit aus Geländebegehungen bekannt oder aus Orthophoto erkennbar)

**Analysen vorhanden:** Angabe, ob von der Blockgletscherquelle Wasseranalysen existieren oder nicht

**Schwermetallkonzentration:** Angabe, ob im Schmelzwasser an der Blockgletscher-Quelle Schwermetallkonzentrationen auftreten oder nicht (soweit bekannt)

**Pegeldaten:** Angabe, ob über den oberflächlichen Abfluss des Blockgletschers Pegeldaten existieren oder nicht

**Literatur:** Angabe, ob über den Blockgletscher bereits Literatur existiert oder nicht (mit Angabe des Zitates)

**Bemerkungen:** allfällige zusätzliche Angaben zum Blockgletscher



## Blockgletscherkataster Tirol

### Gesamtinventar Nordtirol/Osttirol

<b>Int_Nr</b>	BL0026
<b>Nummer</b>	FA_BL026
<b>Bezeichnung</b>	Kaiserberg 4
<b>Datum der Aufnahme</b>	2009
<b>Nr_OPH</b>	
<b>RW_GK</b>	26284
<b>HW_GK</b>	196890
<b>RW_UTM</b>	627787
<b>HW_UTM</b>	5196589
<b>Meridian</b>	28
<b>Höhe Stirn</b>	2560
<b>Höhe Wurzelzone</b>	2680
<b>mittlere Höhe</b>	2640
<b>maximale Länge</b>	350
<b>maximale Breite</b>	500
<b>Fläche - km2</b>	0,124
<b>Fläche - lokales EZG</b>	
<b>Exposition - Grad</b>	40
<b>Exposition - Bezeichnung</b>	NE
<b>Relief/Morphologie</b>	deutl. transv. Loben
<b>Form</b>	lappenförmig
<b>Entstehung</b>	ice-cored (Geophysik)
<b>Zustand</b>	aktiv
<b>Symbol</b>	1
<b>Gewässer-Einzugsgebiet</b>	Fagge
<b>Gebirgsgruppe</b>	Ötztaler Alpen
<b>Gesteine</b>	Orthogneis, Glsch, Amph, HS, Moräne
<b>Quellaustritt</b>	ja (2)
<b>Analysen vorhanden</b>	
<b>Schwermetallkonzentration</b>	
<b>Pegeldaten</b>	ja
<b>Literatur</b>	ja (Berger, Krainer & Mostler)
<b>Bemerkungen</b>	

Donnerstag, 04. August 2011
SEITE 26 VON 3145

Abbildung 8: Beispiel-Datenblatt Blockgletscher FA\_BL026 im Einzugsgebiet der Fagge.

### 3.2 Ergebnisse

Insgesamt konnten im Bundesland Tirol (Nord- und Osttirol) 3145 Blockgletscher identifiziert werden, die immerhin eine Fläche von ca. 167 km<sup>2</sup> bedecken. Davon wurden 517 (ca. 45 km<sup>2</sup>) als aktiv, 915 (ca. 43 km<sup>2</sup>) als inaktiv und 1713 (ca. 77 km<sup>2</sup>) als fossil eingestuft – siehe Tabelle 1.

In Nord- und Osttirol sind Blockgletscher in allen Gebirgsgruppen anzutreffen. Die weitaus meisten Blockgletscher finden sich in Gebirgsgruppen, die aus „Altkristallingesteinen“ (metamorphe Gesteine wie Glimmerschiefer, Paragneise, Orthogneise und Amphibolite) aufgebaut sind, allen voran die Stubai- und Ötztaler Alpen (1200 Blockgletscher, Abb. 9), Samnaungruppe (293) und Verwallgruppe (242). Aber auch in den Nördlichen Kalkalpen konnten immerhin 212 Blockgletscher identifiziert werden, die meisten in den Lechtaler Alpen und im Karwendel. In den Tuxer Alpen sind ebenfalls zahlreiche Blockgletscher (244) zu finden, davon sind die meisten allerdings bereits als fossil einzustufen. Einige große aktive Blockgletscher beherbergt der Tuxer Hauptkamm. Die Zillertaler Alpen enthalten dagegen relativ wenige Blockgletscher (110), was offensichtlich mit dem Gesteinsuntergrund zusammenhängt (verbreitet Zentralgneis und phyllitische Gesteine der Oberen Schieferhülle). In den Kitzbüheler Alpen sind aufgrund der niedrigen Gipfelhöhen fast nur fossile Blockgletscher anzutreffen, von den 110 Blockgletschern wurden nur 2 als inaktiv eingestuft, aktive Blockgletscher fehlen.

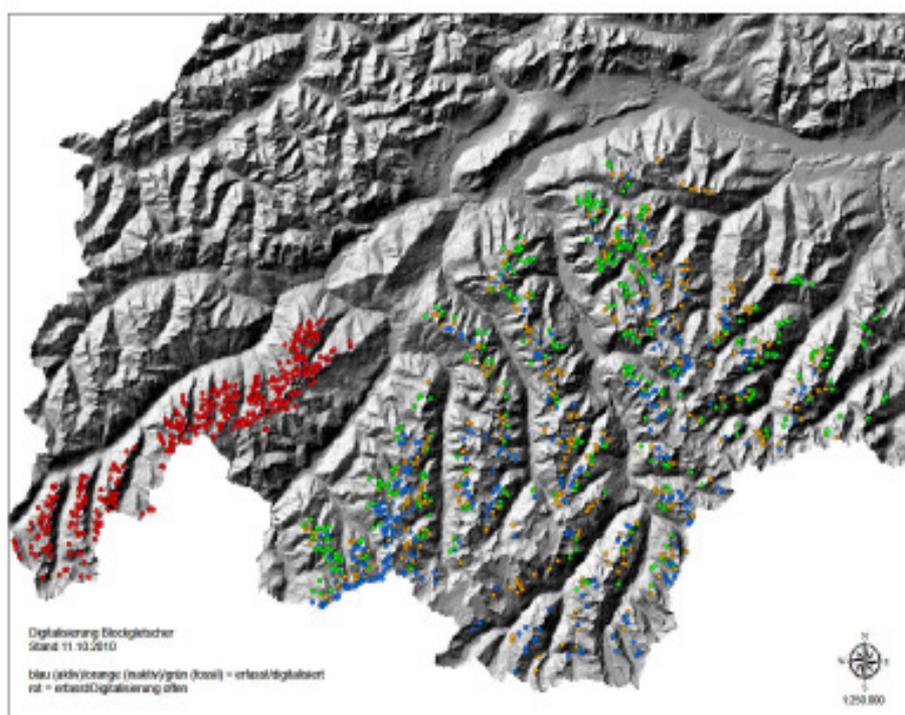


Abbildung 9: Verbreitung der Blockgletscher in den Ötztaler und Stubai-er Alpen.

Für Osttirol hat bereits LIEB (1996) ein Blockgletscherinventar erstellt, das allerdings aufgrund der damals zur Verfügung stehenden Unterlagen (Schwarz-weiß-Luftbild-Fotos der österreichischen Luftbildkarte 1:10.000) deutlich weniger Information enthält. Dieses Inventar stellte jedoch für die Erfassung der Blockgletscher eine wichtige Unterlage dar. Bis auf wenige Ausnahmen konnten alle von LIEB (1996) erfassten Blockgletscher identifiziert werden. Darüber hinaus konnten aufgrund der deutlich besseren Bildqualität in allen Gebirgsgruppen deutlich mehr Blockgletscher identifiziert werden als im Inventar von LIEB (1996) angeführt.

Insgesamt wurden in Osttirol 609 Blockgletscher erfasst, die meisten wiederum in Gebirgsgruppen, die aus Altkristallin bestehen (Abb. 10): 370 in den Deferegger Alpen (Lieb: 249) und 122 in der Schobergruppe (Lieb: 126 für die gesamte Schobergruppe einschließlich Kärntner Anteil). In der Venedigergruppe (43), Granatspitzgruppe (15) und Glocknergruppe (8) sind dagegen nur wenige Blockgletscher anzutreffen, was wiederum auf den Gesteinsuntergrund (überwiegend Zentralgneis und Gesteine der Oberen Schieferhülle) zurückzuführen ist. Auch in diesen Gebirgsgruppen hat Lieb deutlich weniger Blockgletscher identifiziert: 8 in der Venedigergruppe, 10 in der Granatspitzgruppe und 6 in der Glocknergruppe.

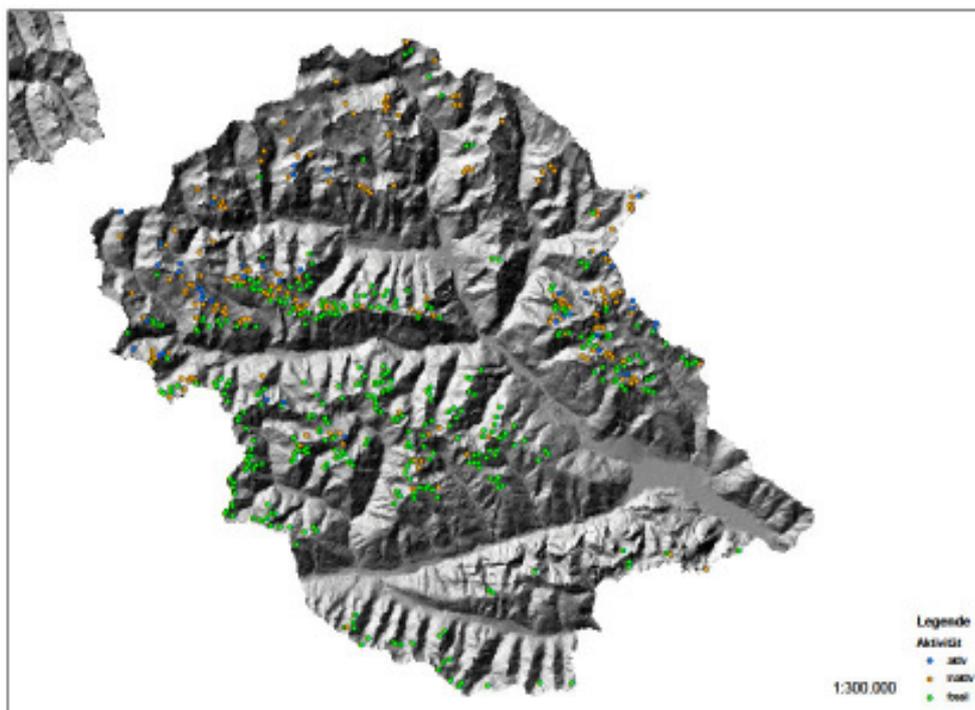


Abbildung 10: Verbreitung der Blockgletscher in Osttirol.

Die Rieserfernergruppe, die in Osttirol nur eine relativ kleine Fläche einnimmt, enthält 19 Blockgletscher. In den Lienzer Dolomiten wurden 10 (Lieb: 9) und in den Karnischen Alpen immerhin noch 22 (Lieb: 5) Blockgletscher identifiziert, wobei die meisten als fossil einzustufen sind. Einige Daten zu den Blockgletschern der Schobergruppe in Osttirol finden sich in der Arbeit von BUCHENAUER (1990). In der Lasörlinggruppe (Deferegger Alpen) hat ROLSHOVEN (1982) einige Angaben zum Permafrost zusammengestellt.

Vom Blockgletscher DEB 31 im Weißenkar (Schobergruppe) liegen Messergebnisse der Grazer Arbeitsgruppe (Lieb, Kaufmann) vor.

*Tabelle 1: Verbreitung der Blockgletscher in den einzelnen Gebirgsgruppen Nord- und Osttirols*

<b>Öztaler und Stubai Alpen</b>	<b>BG gesamt</b>	<b>Fläche [km<sup>2</sup>]</b>	<b>aktive BG</b>	<b>Fläche [km<sup>2</sup>]</b>	<b>inaktive BG</b>	<b>Fläche [km<sup>2</sup>]</b>	<b>fossile BG</b>	<b>Fläche [km<sup>2</sup>]</b>
Gschnitztal/Oberbergtal	23	1,207	1	0,059	6	0,281	16	0,866
Stubaital	114	6,998	21	2,748	33	1,575	60	2,674
Sellrain	105	5,739	16	1,332	27	1,186	62	3,221
Hochedergruppe	29	0,731	1	0,022	9	0,148	19	0,561
Ötztal	451	30,494	135	14,157	142	8,07	174	8,267
Pitztal	147	7,742	44	3,295	51	2,11	52	2,337
Kaunertal	123	7,305	41	3,481	47	2,294	35	1,53
Nauderer Berge	205	12,927	95	7,193	35	1,378	75	4,356
Samnaungruppe	292	12,933	31	1,904	93	3,529	168	7,5
Silvrettagruppe	129	7,584	29	3,063	41	2,182	59	2,34
Verwallgruppe	242	11,808	36	2,021	89	4,528	117	5,259
Nördliche Kalkalpen	212	10,801	7	0,269	39	1,321	166	9,211
Kitzbüheler Alpen	110	3,792	0	0	2	0,081	108	3,711
Tuxer Alpen	244	11,295	14	2,191	56	2,72	174	6,384
Zillertaler Alpen	110	5,232	3	0,256	51	2,511	56	2,451
<b>Nordtirol gesamt</b>	<b>2536</b>	<b>136,588</b>	<b>474</b>	<b>41,991</b>	<b>721</b>	<b>33,914</b>	<b>1341</b>	<b>60,668</b>
<b>Osttirol</b>	<b>BG gesamt</b>	<b>Fläche [km<sup>2</sup>]</b>	<b>aktive BG</b>	<b>Fläche [km<sup>2</sup>]</b>	<b>inaktive BG</b>	<b>Fläche [km<sup>2</sup>]</b>	<b>fossile BG</b>	<b>Fläche [km<sup>2</sup>]</b>
Venedigergruppe	43	2,809	5	0,518	34	2,11	4	0,181
Granatspitzgruppe	15	1,258	0	0	9	0,605	6	0,653
Glocknergruppe	8	0,431	0	0	7	0,38	1	0,051
Schobergruppe	122	6,625	17	1,436	51	2,18	54	3,009
Deferegger Alpen	370	16,593	17	1,033	83	2,78	270	12,733
Rieserferner Gruppe	19	1,178	4	0,365	7	0,192	8	0,62
Lienzer Dolomiten	10	0,46	0	0	2	0,1	8	0,36
Karnische Alpen	22	1,299	0	0	1	0,011	21	1,288
<b>Osttirol gesamt</b>	<b>609</b>	<b>30,653</b>	<b>43</b>	<b>3,352</b>	<b>194</b>	<b>8,166</b>	<b>372</b>	<b>18,895</b>
<b>Tirol gesamt</b>	<b>3145</b>	<b>167,241</b>	<b>517</b>	<b>45,343</b>	<b>915</b>	<b>42,08</b>	<b>1713</b>	<b>79,563</b>

### 3.3 Blockgletscher in den Öztaler-Stubaier Alpen: einige statistische Daten

#### 3.3.1 Höhe

Nach NE über N bis NW exponierte aktive Blockgletscher treten in Höhen zwischen 2300 und 2900 m auf, während nach SE bis SW (140 – 230°) ausgerichtete aktive Blockgletscher um 400 m höher auftreten (zwischen 2700 und 3100 m). Dies zeigt sehr deutlich den Einfluss der Exposition auf die Höhenlage der aktiven Blockgletscher (Abb. 11).

Auch bei fossilen Blockgletschern ist ein ähnlicher Trend gegeben: nach NE über N bis NW exponierte fossile Blockgletscher treten in Höhen zwischen 2000 und 2700 m auf, während nach SE über S bis SW ausgerichtete fossile Blockgletscher in Höhen 2300 und 2900 m auftreten, also um ca. 300 m höher.

Die meisten aktiven Blockgletscher finden sich in Höhen zwischen 2650 und 2950 m (mittlere Höhe).

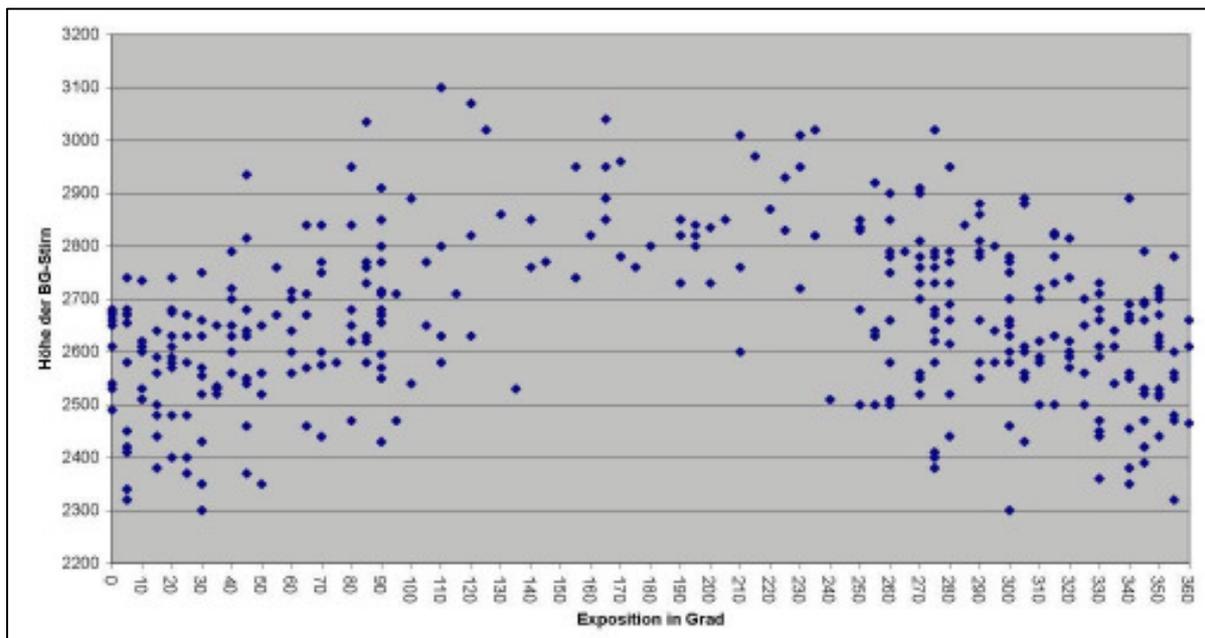


Abbildung 11: In den Öztaler und Stubaier Alpen treten nach N (NE bis NW) ausgerichtete aktive Blockgletscher in deutlich niedrigeren Höhen auf als nach S (SE bis SW) ausgerichtete Blockgletscher.

#### 3.3.2 Exposition

Außerdem sind nach NW über N bis NE exponierte aktive Blockgletscher wesentlich häufiger als nach S (SE bis SW) exponierte Blockgletscher (Abb. 12). Bei inaktiven und fossilen

Blockgletschern ist dieser Trend weniger deutlich ausgebildet. Offensichtlich spielte in kälteren Perioden die Exposition eine geringere Rolle.

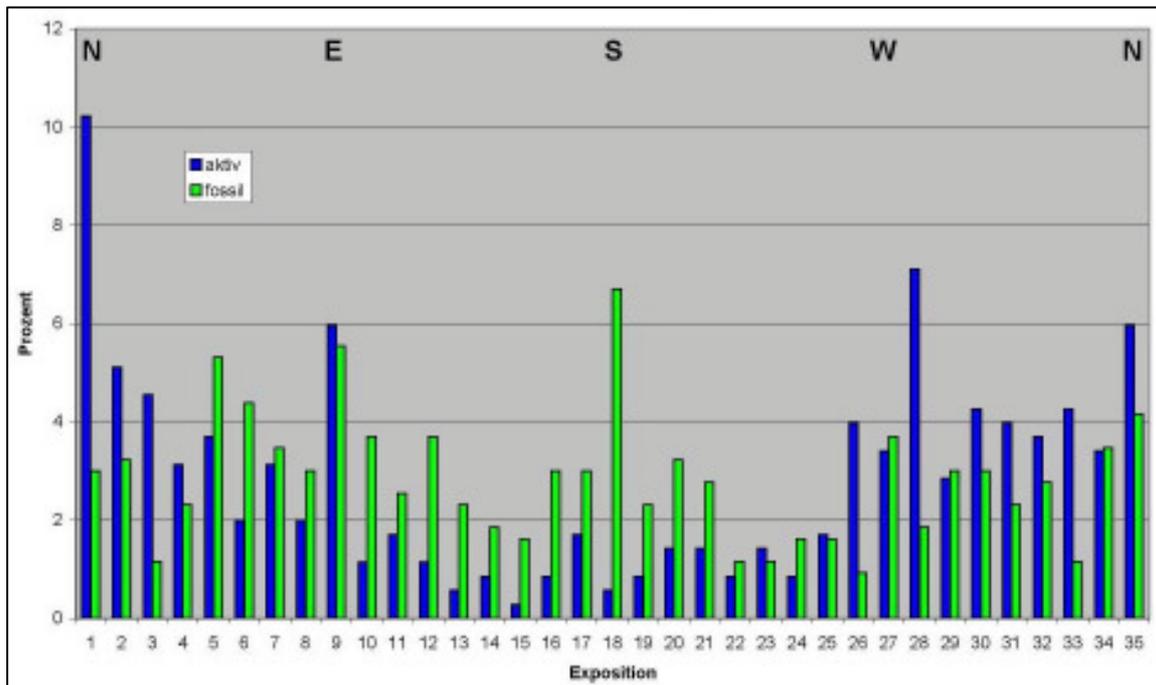


Abbildung 12: Nach N (NE bis NW) ausgerichtete aktive Blockgletscher sind in den Öztaler Alpen viel häufiger als nach S (SE bis SW) ausgerichtete Blockgletscher.

### 3.3.3 Form

Die weitaus meisten Blockgletscher zeigen eine zungenförmige Form, lappenförmige Blockgletscher sind weniger häufig, selten sind Blockgletscher mit komplexer Form ausgebildet.

Aktive Blockgletscher sind durchschnittlich 460 m lang (meist zwischen 100 und 600 m, max. 1700 m). Inaktive Blockgletscher sind durchschnittlich 307 m lang (meist 100 – 500 m, max. 1110 m) und fossile Blockgletscher durchschnittlich 294 m (meist zwischen 100 und 500 m, max. 1400 m).

Die Fläche aktiver Blockgletscher bewegt sich meist zwischen 0,011 und 0,07 km<sup>2</sup>, recht häufig auch zwischen 0,11 und 0,2 km<sup>2</sup>. Inaktive und fossile Blockgletscher bedecken meist eine Fläche zwischen 0,011 und 0,05 km<sup>2</sup>.

### 3.3.4 Entstehung

Die überwiegende Zahl der aktiven Blockgletscher sind eiszementierte Hangschuttblockgletscher und damit „echte“ Permafrost-Erscheinungen, nur wenige, vor

allen die großen Blockgletscher, enthalten einen Eiskern und haben sich offensichtlich aus schuttbedeckten Kargletschern entwickelt. Bei einigen dieser Blockgletscher konnte der massive Eiskern nachgewiesen werden (Eisaufschlüsse, Geophysik).

### **3.3.5 Geologie**

Die weitaus meisten Blockgletscher finden sich in Gebirgsgruppen, die aus „Altkristallin“ bestehen (Glimmerschiefer, Paragneise, Orthogneise, Amphibolite); dazu zählen die Verwallgruppe, ein Großteil der Samnaungruppe, die Stubai- und Ötztal-Alpen sowie die Deferegger Alpen und die Schobergruppe. Deutlich weniger Blockgletscher finden sich in Gebirgsgruppen der Hohen Tauern mit Gesteinen des Tauernfensters (Zentralgneis, Schieferhülle) oder Karbonatgesteinen (Nördliche Kalkalpen, Lienzer Dolomiten).

### **3.3.6 Gipfelhöhen**

Für das Auftreten von aktiven Blockgletschern ist eine Gipfelhöhe von mindestens 2700 m erforderlich, bei geringeren Gipfelhöhen (z.B. Kitzbüheler Alpen) fehlen aktive Blockgletscher.

### **3.3.7 Eisgehalt/Wassergehalt**

Aus den Flächen und unter Annahme einer durchschnittlichen Mächtigkeit des gefrorenen Körpers und eines durchschnittlichen Eisgehaltes lässt sich auch das Eisvolumen der aktiven und inaktiven Blockgletscher grob abschätzen.

Auch fossile Blockgletscher sind interessante Wasserspeicher. Untersuchungen von UNTERSWEIG & SCHWENDT (1995) in den östlichen Niederen Tauern zeigen, dass fossile Blockgletscher ein unerwartet hohes Potential an Wasserreserven enthalten.

## **4 Zusammenfassung**

Blockgletscher sind lappen- bis zungenförmige Körper aus gefrorenem Lockermaterial und Eislinsen oder Eiskörpern, die sich deutlich von ihrer Umgebung abheben und sich langsam hangabwärts bewegen. Blockgletscher sind die häufigste Form des alpinen Permafrostes und in den Österreichischen Alpen weit verbreitet.

Im Rahmen des Projektes PermaNET wurde zunächst ein Datenerhebungsblatt für ein Blockgletscherinventar Tirol erstellt, das unter anderem folgende Daten enthält: Nummer (nach Einzugsgebiet), geographische Bezeichnung, Koordinaten, Höhe der Stirn, Wurzelzone und mittlere Höhe, maximale Länge und Breite, Fläche, Exposition, Oberflächenmorphologie, Form, Entstehung, Zustand (aktiv, inaktiv, fossil), Gewässer-

Einzugsgebiet, Gebirgsgruppe, Festgesteine im Einzugsgebiet, Quellaustritte im Stirnbereich, Angaben über vorhandene Wasseranalysen, Pegelraten, Literatur. In den Tiroler Alpen konnten insgesamt 3145 Blockgletscher identifiziert werden, die immerhin eine Fläche von ca. 167 km<sup>2</sup> bedecken. Davon wurden 517 als aktiv eingestuft (bedecken eine Fläche von ca. 45 km<sup>2</sup>), 915 als inaktiv (ca. 43 km<sup>2</sup>) und 1713 als fossil (ca. 77 km<sup>2</sup>).

Die Daten bilden eine wichtige Grundlage für die Abschätzung der Verbreitung von Permafrost und damit in Zusammenhang stehenden hydrologischen Prozessen (verstärktes Abschmelzen von Permafrost-Eis und Auswirkungen auf das Abflussgeschehen) und Naturgefahren (Muren).

## **5 Literatur**

BARSCHE, D. (1996): Rockglaciers. Indicators for the Present and Former Geoecology in High Mountain Environments: Berlin, Springer-Verlag, 331 p.

BERGER, J., KRÄINER, K. & MOSTLER, W. (2004): Dynamics of an active rock glacier (Ötztal Alps, Austria). – Quaternary Research 62(2004): 233-242.

BUCHENAUER, H.W. (1990): Gletscher- und Blockgletschergeschichte der westlichen Schobergruppe (Osttirol). – Marburger Geographische Schriften 117, 276 Seiten.

GÄRTNER-ROER, I. (2010): Permafrost. – In: Voigt, Th., Füssel, H.-M., Gärtner-Roer, I., Huggel, Ch., Marty, Ch. & Zemp, M. (eds), Impacts of climate change on snow, ice, and permafrost in Europe: Observed trends, future projections, and socioeconomic relevance, ETC/ACC Technical Paper 2010/13: 66-76.

HAEBERLI, W. (1985): Creep of mountain permafrost: Internal structure and flow of alpine rock glaciers. – Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, 77, 142 S.

HAEBERLI, W., HALLET, B., ARENSON, L., ELCONIN, R., HUMLUM, O., KÄÄB, A., KAUFMANN, V., LADANYI, B., MATSUOKA, N., SPRINGMAN, S. & VONDER MÜHLL, D. (2006): Permafrost Creep and Rock Glacier Dynamics. – Permafrost and Periglacial Processes 17: 189-216.

HAUSMANN, H., KRÄINER, K., BRÜCKL, E. & MOSTLER, W. (2007): Internal Structure and Ice Content of Reichenkar Rock Glacier (Stubai Alps, Austria) Assessed by Geophysical Investigations. Permafrost and Periglacial Processes 18: 351-367. DOI: 10.1002/ppp.60.

KAUFMANN, V. (1996): Geomorphometric monitoring of active rock glaciers in the Austrian Alps. - 4th International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography. Karlstad - Kiruna - Tromsø, August 19-29, 1996:97-113.

- KAUFMANN, V. & LADSTÄTTER, R. (2002): Spatio-temporal analysis of the dynamic behaviour of the Hochebenkar rock glaciers (Oetztal Alps, Austria) by means of digital photogrammetric methods. - *Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung* 37: 119-140.
- KAUFMANN, V. & LADSTÄTTER, R. (2003): Quantitative analysis of rock glacier creep by means of digital photogrammetry using multi-temporal aerial photographs: two case studies in the Austrian Alps. In: Phillips, M., Springman, S.M. & Arenson, L.U. (eds), *Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost, 21-25 July 2003, Zürich, Switzerland, Vol. 1:525-530.*
- KRAINER, K. & MOSTLER, W. (1999): Aktive Blockgletscher als Transportsysteme für Schuttmassen im Hochgebirge. – *Geoforum Umhausen (Ötztal)*, 14.-16. Okt. 199, p. 12-13.
- KRAINER, K. & MOSTLER, W. (2000): Reichenkar Rock Glacier, a glacial derived debris-ice system in the Western Stubai Alps, Austria. - *Permafrost and Periglacial Processes*, v. 11:267-275.
- KRAINER, K. & MOSTLER, W. (2001): Aktive Blockgletscher als Transportsysteme für Schuttmassen im Hochgebirge: Der Reichenkar Blockgletscher in den westlichen Stubai Alpen. – *Geoforum Umhausen*, Bd. 1, 28-43.
- KRAINER, K. & MOSTLER, W. (2001): Der aktive Blockgletscher im Hinteren Langtal Kar, Gößnitz Tal (Schobergruppe, Nationalpark Hohe Tauern). – *Wiss. Mitt. Nationalpark Hohe Tauern* 6:139-168.
- KRAINER, K. & MOSTLER, W. (2002): The discharge of active rock glaciers: examples from the Eastern Alps (Austria). *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 34(2):142-149.
- KRAINER, K. und MOSTLER, W. (2004): Ein aktiver Blockgletscher im Sulzkar, westliche Stubai Alpen (Tirol). – *Geo.Alp* 1:37-55, Innsbruck.
- KRAINER, K., MOSTLER, W. & SPAN, N. (2002): A glacier-derived, ice-cored rock glacier in the western Stubai Alps (Austria): evidence from ice exposures and ground penetrating radar investigation. – *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 38:21-34.
- KRAINER, K. & MOSTLER, W. (2006): Flow velocities of active rock glaciers in the Austrian Alps. – *Geografiska Annaler* 88: 267-280.
- KRAINER, K., MOSTLER, W. & SPÖTL, C. (2007): Discharge from active rock glaciers, Austrian Alps: a stable isotope approach. – *Austrian Journal of Earth Sciences* 100: 102-112.
- LADSTÄTTER, R. & KAUFMANN, V. (2005): Studying the movement of the Outer Hochebenkar rock glacier: Aerial vs. ground-based photogrammetric methods. - 2nd European Conference on Permafrost, Potsdam, Germany, *Terra Nostra* 2005(2):97 (abstract).
- LIEB, G.K. (1996): Permafrost und Blockgletscher in den östlichen österreichischen Alpen. – *Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Karl-Franzens-Universität Graz*, Band 33: 9-125.

LIEB, G.K. (1998): High-Mountain Permafrost in the Austrian Alps (Europe). – PERMAFROST – 7th Conference (Proceedings) Yellowknife (Canada), Collection Nordicana No. 55: 663-668.

PILLEWIZER, W. (1938): Photogrammetrische Gletscheruntersuchungen im Sommer 1938. - Zeitschr. Ges. Erdkde Berlin 9/1:367-372.

PILLEWIZER, W. (1957): Untersuchungen an Blockströmen der Öztaler Alpen: Geomorphologische Abhandlungen des Geographischen Institutes der FU Berlin (Otto-Maull-Festschrift), v. 5, p. 37-50.

ROLSHOVEN, M. (1982): Alpines Permafrostmilieu in der Lasörlinggruppe/Nördliche Deferegger Alpen (Osttirol). – Polarforschung 52:55-64.

SCHNEIDER, R. & SCHNEIDER, H. (2001): Zur 60-jährigen Messreihe der kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar, Öztaler Alpen, Tirol. – Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 37:1-33.

UNTERSWEG, T. & SCHWENDT, A. (1995): Die Quellen der Blockgletscher in den Niederen Tauern. – Berichte der wasserwirtschaftlichen Planung, Band 78, 76 Seiten, Amt der steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Fachabteilung IIIa – Wasserwirtschaft – Referat II – Wasserversorgung.

VIETORIS, L. (1958): Der Blockgletscher des äußeren Hochebenkars: Gurgler Berichte, v. 1, p. 41-45.

VIETORIS, L. (1972): Über die Blockgletscher des Äußeren Hochebenkars: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, v. 8, p. 169-188.

### ***Anschrift der Verfasser***

A.o.Univ.Prof. Dr. Karl Krainer  
 Universität Innsbruck  
 Institut für Geologie und Paläontologie  
 Innrain 52  
 A-6020 Innsbruck  
 karl.krainer@uibk.ac.at

Mag. Markus Ribis  
 Schnittlauchgasse 7a  
 6134 Vomp  
 markus.ribis@geo-zt.at



# Eisbeobachtungen an Tiroler Fließgewässern

Wolfgang Gattermayr

Seit jeher beschränkte sich die Erhebung der Eisbildung in den Gewässern beim Hydrographischen Dienst Tirol auf die diversen Pegelstellen, die von den örtlichen Beobachtern betreut werden.

## Der gesetzliche Auftrag

Die Erhebung der Eisbildung in den Gewässern und im Hochgebirge ist Teil der Wasserkreislaufenerhebung und war sowohl im Hydrographiegesetz § 1, Abs. 1 enthalten wie in der Folge auch im Wasserrechtsgesetz § 59c, Abs. 3.

Mit der fortschreitenden Automatisierung der hydrographischen Messnetze sind jedoch die Pegelkontrollen durch den örtlichen Beobachter seltener geworden.

Waren früher die Pegel nur ausnahmsweise mit einem Registriergerät ausgestattet, sodass der Beobachter mindestens einmal täglich zur vorgegebenen Zeit am Lattenpegel den Wasserstand zu beobachten und im Rapportbuch einzutragen hatte, sind mittlerweile quasi kontinuierliche Wasserstandsaufzeichnungen an Pegelstellen die Regel.

Die relativ hohe Ausfallsicherheit dieser Datenerfassungsgeräte und die abnehmende Verfügbarkeit von engagierten Pegelbeobachtern bei gleichzeitig erforderlicher Reduktion der Kosten für die „Beobachterentschädigung“ (Aufwandsentschädigung) führte dazu, dass Pegelkontrollen durch den Beobachter nur noch in größeren Zeitabständen als früher erfolgen oder dass für abgelegene Pegelstellen überhaupt keine Beobachter mehr zur Verfügung stehen. Entsprechend ausgedünnt sind damit auch die Beobachtungen hinsichtlich der Eiserscheinungen an den Pegelstellen, die sich bei guten Beobachtern auf Vermerke wie Randeis, Treibeis und Grundeis im Bereich der Pegelstelle beschränkten.

Diesem unbefriedigenden Umstand Rechnung tragend, wurde im Winter 2010/2011 beim Hydrographischen Dienst Tirol versuchsweise ein anderer Weg beschritten, um die Eiserscheinungen an Fließgewässern wieder besser zu dokumentieren.

## Eiserhebungen nicht nur am Pegel

Dem aufmerksamen Hydrographen, der über Jahre hindurch im Zuge seiner Außendiensttätigkeiten immer wieder einmal an denselben Flussstrecken vorbeikommt, fällt irgendwann einmal auf, dass die Gewässer recht spezifische Vereisungsmuster aufweisen. Gewisse Gewässerabschnitte sind im Winter häufig bis regelmäßig eisbedeckt; die Eisdecke reicht vom linken zum rechten Ufer und bedeckt das Gewässer u. U. über längere Strecken zur Gänze. Solche Strecken grenzen unter Umständen mit nur kurzen Übergangsbereichen an Gewässerabschnitte, die zum Teil völlig eisfrei daliegen, auch wenn sie im Hochwinter

durchgehend beschattet sind und die Gerinne schluchtartig eingetieft verlaufen und anhaltender Kälte ausgesetzt sind.

Am 5. Jänner 2011 wurde versuchsweise zur ersten Eisbeobachtungsfahrt aufgebrochen. Das Hydrographen-Team war ausgestattet mit Digitalkamera, einem hochempfindlichen Thermometer zur Wassertemperaturmessung und Notizblock.

Ziel war es, die Isel (Osttirol) mit den Zubringern Tauernbach, Schwarzach und Kalser Bach hinsichtlich ihrer Vereisung zu erfassen. Es hat sich als sehr zweckmäßig erwiesen, dem zweiköpfigen Hydrographen-Team aus Innsbruck einen Mitarbeiter des zuständigen Baubezirksamtes in Lienz (Osttirol) anzuschließen.

Dieser dritte Mann, dem der Gewässerbezirk Lienz berufsbedingt bestens bekannt ist, hat aufgrund seiner Ortskundigkeit für die Dokumentation, aber auch für die Erreichbarkeit diverser Gewässerstellen einen wertvollen Beitrag leisten können.

## **Zielsetzung**

Entgegen dem früheren Usus, die Eisbeobachtungen auf die Pegelstellen zu beschränken, wurde nun versucht, die Gewässerstrecke abzufahren und den Vereisungszustand stichprobenartig zu dokumentieren.

## **Vorgangsweise**

- Die Bach- bzw. Flussstrecken wurden entlang der Begleitwege – so weit es die winterlichen Verhältnisse zuließen – mit einem wintertauglichen Auto befahren.
- Die Dokumentation des Gewässers erfolgte vom Oberlauf bis zur Mündung in den Vorfluter.
- Zur Orientierung wurde entsprechendes Kartenmaterial mitgeführt, damit die Fahrtroute und die markante Topographie mitverfolgt werden konnten.
- Bevorzugt wurden Brücken angesteuert; aber auch ufernahe Straßenabschnitte eigneten sich zur Einschau diverser Gewässerabschnitte.
- Diese Kreuzungs- bzw. Berührungspunkte der Straße mit dem Gewässer wurden mit Foto festgehalten. Wenn sich die Eisverhältnisse spontan änderten, z. B. infolge Einmündung eines Gießens oder infolge unterirdischer Querung eines Leitungsrohres, wurde auch diese Situation mit Foto belegt.

## **Dokumentation**

Am jeweiligen Fotostandort wurden dokumentiert:

- Datum und exakte Uhrzeit von jedem einzelnen Foto
- Blick in Richtung Oberwasser (bachaufwärts) mit Foto<sup>1)</sup>
- Blick in Richtung Unterwasser (bachabwärts) mit Foto<sup>1)</sup>

- Beschreibung der Eiserscheinungen im Gewässer und im Uferbereich (Notizblock oder Diktaphon)
- Allenfalls wurde bei ausgeprägter Grundeisbildung dieses möglichst auch fotografisch festgehalten.
- Wo möglich, wurden auch Wassertemperatur<sup>2)</sup> und Lufttemperatur gemessen. Der notwendige Zugang zum Gewässer (fließende Welle) ist jedoch bei verschneiter Uferböschung, besonders wenn sie mit groben Blocksteinen gesichert ist, nicht ungefährlich.

Anmerkung:

<sup>1)</sup>Auf dem Foto erkennbare markante Objekte wie Siedlungen, Kirchen, Berggipfel u. dgl. wurden namentlich festgehalten. Auch der jeweilige Brückenstandort sollte benannt werden. Jede Brücke hat einen – wenn auch nur ortsüblichen – Namen, der allerdings kaum auf einer Landkarte nachlesbar sein wird. Hierbei ist ein ortskundiger Begleiter von unschätzbarem Wert, zumal Brückennamen meist über Generationen erhalten bleiben und so der Fotostandort nachvollziehbar bleibt.

<sup>2)</sup>Die Wassertemperatur sollte möglichst mit einem hochauflösenden elektrischen Thermometer mit Fernanzeige bei gleichzeitig sorgfältiger Handhabung erfolgen. Der Einsatz eines sog. Schöpfthermometers ist für eine solche Beobachtungskampagne nicht anzuraten.

Besondere Beachtung fanden im Zuge dieser Erhebungen Ausleitungs- bzw. pflichtwasserdotierte Restwasserstrecken und Fischaufstiegshilfen.

## Eisaufnahmen vom Winter 2010/2011

Datum	Gewässer	Gewässerstrecke	Anzahl der Fotos
4. und 5.1.2011	Isel	von Ströden (Prägraten am Großvenediger) bis zum Pegel Lienz	61
4.1.2011	<i>Iselzubringer</i> : Tauernbach	vom Pegel Innergschlöß/Gschlößbach bis zur Mündung in die Isel in Matrei i.O.	22
5.1.2011	<i>Iselzubringer</i> : Schwarzach	von Erlsbach-Katzleitbrücke (St. Jakob i.Def.) bis zur Mündung in die Isel in Huben (Matrei i.O.)	34
18.1.2011	<i>Iselzubringer</i> : Kalser Bach	vom Pegel Spöttling/Dorferbach bis zur Mündung in die Isel	16
11.1.2011	Melach (mit Zirnbach)	von Lüsens (Gries im Sellrain) bis zur Mündung in den Inn (Kematen i.T.)	35
3.2.2011	Trisanna	von Wirl (Galtür) bis zum Zusammenfluss mit der Rosanna	40

11.1.2011	Öztaler Ache	von Vent (Sölden) bis zum Pegel Tumpen/Öztaler Ache	32
7.2.2011	Lech	von Steeg bis Grießau	13
1.2.2011	Öztaler Ache	von Vent (Sölden) und Obergurgl (Sölden) bis zur Mündung in den Inn (Haiming)	42
11.1.2011	Stuibebach	von Kühtai (Längentalspeicher) bis Ochsendgarten	3

### **Erfahrungen nach dem ersten Winter**

- ⇒ Mit der Eisdokumentation sollte bereits im Frühwinter begonnen werden, sobald die Vereisung in den Fließgewässern deutlich erkennbar ist. Der Verlauf des Winters 2010/2011 hat wieder einmal gezeigt, dass das Warten auf den „Kernwinter“ vergeblich sein kann und der Höhepunkt der Vereisung relativ früh erreicht wird.
- ⇒ Die büromäßige Dokumentation der Beobachtungsfahrt sollte ehestmöglich erfolgen, da ergänzende Bemerkungen aus dem Gedächtnis die Aufnahmen vor Ort noch bereichern können.
- ⇒ Es ist zweckmäßig, anhand der Lufttemperaturaufzeichnungen einer nahe gelegenen Messstelle den Temperaturverlauf vor dem Aufnahmetag über eine längere Dauer (~ Monat) den Eiserscheinungen gegenüberzustellen.
- ⇒ Markierte Trassen von unterirdisch verlegten Leitungen wie z. B. die Trans-Alpine-Ölleitung (TAL) sind zu beachten, da diese im Zuge der Unterquerung des Gewässerbettes die Eisverhältnisse im Gewässer spontan verändern können. (Der Trassenverlauf der TAL ist z. B. durch aufgeständerte gelbe Hütchen in Kegelform deutlich sichtbar verfolgbar.)
- ⇒ Durch gelegentliche Observierung der dokumentierten Gewässerstrecken ist den Aufnahmeteams bewusst geworden, wie lange es ins Frühjahr hinein dauert, bis die zum Teil mächtigen Eisränder entlang u. U. von schwach besonnten Uferbereichen abgeschmolzen sind. Entsprechende Notizen können zweckmäßig sein.
- ⇒ Die Mitnahme eines ortskundigen Mitarbeiters ist zumindest bei der Erstbefahrung eines Gewässerabschnittes sehr zu empfehlen, da die Dokumentation mit bodenständigen Namen und Bezeichnungen versehen werden kann.

Beispielhaft werden einige Fotoaufnahmen angeschlossen, welche am 5. Jänner 2011 entlang der Schwarzach/Defereggental gemacht wurden.



*Abbildung1 (Bild 1 der Dokumentation)*

Standort: Straßenbrücke über die Schwarzach in Erlsbach (Auffahrt Stallersattel, Abzweigung zur Mautstraße nach Oberhaus)  
Datum: 5.1.2011, 12:45 Uhr  
Blickrichtung: flussaufwärts in die Schwarzach  
Gewässer: Starkes Randeis von beiden Ufern und Schneebedeckung engt die Schwarzach ein, die teilweise auch unter dem Eis fließt.



*Abbildung 2 (Bild 4 der Dokumentation)*

Standort: Straßenbrücke von Mariahilf (St. Jakob i.Def.) nach Rinderschinken  
Datum: 5.1.2011, 12:55 Uhr  
Blickrichtung: talauswärts  
Gewässer: Geschlossene Eisdecke über die Schwarzach.  
Weiter talauswärts gegen Bad Grünmoos (rechtsufrig) Rückbildung des Eises  
→ Schwarzach fließt ziemlich frei.



*Abbildung 3 (Bild 8 der Dokumentation)*

**Standort:** „Lack“-Brücke (1375 m), Straßenbrücke zur Talstation der Brunnalmlifte  
**Datum:** 5.1.2011, 13:30 Uhr  
**Blickrichtung:** talauswärts nach St. Leonhard (rechtsufrig)  
**Gewässer:** Freier Abfluss, kaum Eisbildung. Mit Beginn der Gefällsstrecke, weiter talauswärts, in Richtung Kläranlage (rechtes Ufer) → starke Vereisung mit Grund- und Randeis Unterhalb der Kläranlage wieder weniger Grundeis.



*Abbildung 4 (Bild 11 der Dokumentation)*

Standort: Straßenbrücke nach Feistritz

Datum: 5.1.2011, 13:40 Uhr

Blickrichtung: von der Brücke nach unten ins Wasser, das von Grundeis durchsetzt ist.

Gewässer: Anordnung der Grundeisklumpen wie Dachziegel



*Abbildung 5 (Bild 14 der Dokumentation)*

Standort: Brücke zum Schotterwerk „Gasser“ (Schotter-Bruck'n) in St. Veit i.Def.  
Datum: 5.1.2011, 13:48 Uhr  
Blickrichtung: flussaufwärts, im Bildhintergrund: besonnte Flanke des Langschneid (2688 m)  
Gewässer: Stark vereist durch Rand- und Grundeis, kaum freie Wasserfläche.



Abbildung 6 (Bild 16 der Dokumentation)

Standort: Brücke zum Schotterwerk „Gasser“ (Schotter-Bruck'n) in St. Veit i.Def.

Datum: 5.1.2011, 13:48 Uhr

Blickrichtung: talauswärts

Gewässer: Starke Randeisbildung vom Ufer aus engt die Schwarzach ein; dazu kommen Eisansatz von den schneebedeckten Steinen und Grundeis, jedoch weniger als flussaufwärts.

Der Stemminger Almbach quert die Schottergrube in einer Rohrleitung und befreit ab seiner Mündung die Schwarzach vom Eis, das sich vor Osing wieder bildet und bis Zotten durchgehend die Schwarzach bedeckt.

Ab Einmündung des rechtsufrigen Gsaritzer Almbaches auf Höhe „Zotten“ ist die Schwarzach eisfrei, nur dünne Eisplatten um die herausragenden Flusssteine, eisfrei bis zur Stanzbrücke und weiter zur Straßenbrücke Mellitzwald.

## Eiserhebungen – wozu ?

Die Kenntnis über die Eisbildung entlang von Gewässerstrecken kann für verschiedene Fragestellungen eine nützliche Planungs- oder Entscheidungshilfe für ökologische oder wasserbautechnische Maßnahmen darstellen.

### Pegelbau

Ist an einem Gewässer die Errichtung einer Pegelanlage geplant, sollte neben hydraulischen und flussmorphologischen Aspekten auch die Neigung zur Eisbildung im Bereich der geplanten Pegelstelle bekannt sein.

Eis im Pegelbereich erschwert oder verunmöglicht die Ablesung des Lattenpegels.

Auch die automatisierte Erfassung des Wasserstandes kann verfälscht werden oder gänzlich ausfallen, je nach Messverfahren.

Wenn auch der Pegelbereich selbst nicht nennenswert von der Eisbildung betroffen ist, kann stärkere Eisbildung flussabwärts der Pegelstelle zu Rückstauerscheinungen führen, wodurch es an der an sich eisfreien Pegelstelle im Oberwasser zu einem Wasserstandsanstieg kommt, der nicht als Durchflusssteigerung zu werten ist.

### Pflichtwasserdotierte Gewässerabschnitte

An Ausleitungsbauwerken, an denen Wasserberechtigte eine Pflichtwasserabgabe zu leisten haben, ist durch die reduzierte Abflussmenge die Neigung zur Gewässervereisung potentiell größer. Erfolgt der Bau z. B. einer Fischaufstiegshilfe in einem Gewässerabschnitt, der für stärkere Eisbildung bekannt ist, kann die wasserbauliche Maßnahme infolge verstärkter Vereisung unter Umständen die gewünschte Ausgleichsmaßnahme vereiteln.

### Ausuferungsgefahr zur Niederwasserzeit

Starke Grundeisbildung kann trotz gleich bleibender Wasserführung den Wasserstand ansteigen lassen. In vereisungsgeneigten Gewässerabschnitten kann dies in längeren Kälteperioden zur Gefahr werden, da die mit Grund- und Randeis verengten Gewässerabschnitte die winterliche Niederwasserführung nicht mehr ableiten können, sodass Ausuferungen die Folge sind.

Da in einer solchen Situation das Wasser meist eine Temperatur um 0°C aufweist, führt das im Ausuferungsbereich, der witterungsbedingt stark unterkühlt ist, mitunter zu großflächiger Vereisung des umgebenden Geländes (Uferbegleitwege, Straßen, usw.).

In den Winterperioden 1985 und 1987 sind eisbedingte Überflutungen an der Öztaler Ache sowie an Melach und Inn aufgetreten. Wehranlagen und Brückenpfeiler sind übrigens bevorzugte Ansatzpunkte für Eisstau in Fließgewässern.

### Hinweis auf den Untergrund

Im Zuge der Eisbeobachtungsfahrten 2011 konnte beobachtet werden, dass stark vereiste Gewässerabschnitte mit eisfreien Uferbereichen innerhalb kurzer Strecken abwechselten. Grund- und Hangwasserzutritte haben in diesem Bereich die Eisbildung nachhaltig verhindert.

Im Tauerntal hat z. B. die Unterquerung des Bachbettes durch die Transalpine Leitung (TAL) den stark vereisten Tauernbach im Bereich Raneburg abrupt eisfrei gelegt und zu einem nachhaltig offenen Fließgewässer zurückverwandelt.

## **Abschließende Bemerkungen**

Die Dokumentation der Eisbildung in den Gewässern ist eine Maßnahme, die indirekt Veränderungen des Wassertemperaturregimes erkennen lässt.

Die Einflussnahmen auf die Eisbildung können vielfältig sein. Naheliegend ist es, den Klimawandel ins Treffen zu führen, steht er doch nachweislich mit den steigenden Lufttemperaturen in Zusammenhang. Wie sehr die winterlichen Wassertemperaturen darauf reagieren, ist allerdings die Frage. Die Temperaturen von Fließgewässern erreichen kaum Werte unter 0°C, gleichgültig ob die Lufttemperatur -15° oder -10°C beträgt, wie es in alpinen Gewässerstrecken über längere Zeit möglich ist.

Einflüsse infolge wasserbaulicher Maßnahmen können wahrscheinlich kurzfristig Auswirkungen auf die Eisbildung im Gewässer haben. Hier sei auf mögliche Zu- oder Ableitungen z. B. im Zusammenhang mit Wasserkraftanlagen hingewiesen (Schwallwellen aus relativ warmen Jahrespeichern oder Restwasserstrecken mit geringen Wassertiefen).

Auch Flussstau in Verbindung mit beruhigten Wasserkörpern bleiben nicht ohne Auswirkung auf die Bildung von Eisflächen in den Stauräumen.

In hart verbauten Bächen mit verfugten Steinblöcken dürfte in strengen Wintern die Eisbildung stärker ausfallen als in Naturgerinnen, wo ein Austausch mit dem Hang-Grundwasser des Hinterlandes möglich ist, sodass Wasserzutritte über 0°C die Eisbildung eher unterbinden.

Langzeitbeobachtungen der Eisbildung könnten auswertbares Datenmaterial liefern, das mit natürlichen und/oder anthropogen erfolgten Veränderungen in Verbindung gebracht werden kann, damit Zusammenhänge zwischen Ursache und Auswirkung erkennbar werden.

Nicht zuletzt stellt die Eisbeobachtung in den Gewässern eine Basisinformation dar, deren Erhebung im gesetzlichen Rahmen erfolgt und die als Bindeglied zu den Wassertemperaturmessungen gesehen werden kann.

## **Anschrift des Verfassers:**

Dr. Wolfgang Gattermayr

Amt der Tiroler Landesregierung

Sachgebiet Hydrographie und Hydrologie

A-6020 Innsbruck, Herrngasse 1-3

wolfgang.gattermayr@tirol.gv.at

## BERICHTE UND MITTEILUNGEN

***Das Wasserportal Burgenland:*** <http://wasser.bglld.gv.at>

### **The Water Portal Burgenland**

Karl Maracek

**Stichworte:** Weblösung, Modernisierung Messnetze, Datenfernübertragung, Online - Daten Hydrographie, Sonderkapitel Neusiedler See, Webcam, Serviceorientierte digitales Wasserbuch, digitale Überflutungsflächen

**Keywords:** Service-oriented web solution, modernization of monitoring networks, data transmission, online-hydrographic data, special chapter Neusiedler See, webcam, digital water-book, digital flood areas

### ***Zusammenfassung***

Die Wasserwirtschaft im Burgenland sieht sich mit steigenden Anforderungen in serviceorientierten Fachbereichen konfrontiert. Das Wasserportal Burgenland stellt einem breit gestreuten Nutzerkreis ein gebündeltes Informationsangebot in zeitgemäßer Form zur Verfügung. Im Vorfeld der Realisierung waren umfassende Maßnahmen erforderlich. So stellten die Modernisierung der hydrographischen Messnetze samt Einrichtung einer Datenfernübertragungszentrale, die Digitalisierung der Wasserbuchdaten, als auch die Anschaffung und Implementierung der erforderlichen Hard- und Software große Herausforderungen dar. Derzeit umfasst das Wasserportal Burgenland Themenbereiche der Hydrographie und des Wasserbuches. Die vorliegende Arbeit stellt das Wasserportal Burgenland in seinen Grundzügen dar und gibt einen Ausblick auf geplante Weiterentwicklungen.

### ***Summary***

The service-oriented activities of the water management department of Burgenland are increasingly in demand. Therefore the Water Portal Burgenland was set up to provide easily accessible and up-to-date information for a diverse group of users. Prior to its implementation a series of measures had to be taken, i.e. the modernization of the hydrographic monitoring networks, including the setting up of a remote data transmission centre, the digitalisation of water book data as well as the acquisition and implementation of adequate hard- and software. Currently the Water Portal Burgenland comprises hydrographic data and information about the water book. This paper gives an outline of the Water Portal Burgenland and offers an outlook on future activities.

## **1 Einleitung**

Die Wasserwirtschaft des Burgenlandes erbringt in ihrer täglichen Arbeit umfassende Serviceleistungen. Die Nutzer sind verschiedenen gesellschaftlichen und organisatorischen Strukturen zuzuordnen. Weiters steigen die Serviceansprüche sowohl in quantitativer als auch qualitativer Sicht stark an.

Daher liegt es auf der Hand, diese Geschäftsbereiche der Allgemeinheit in einem webbasierten Wasserportal zeitgemäß zugänglich zu machen. Bei einem gebündelten Informationsangebot kann damit eine qualitative Verbesserung des Informationsflusses erreicht und zudem den steigenden Anforderungen nachgekommen werden.

Erste Dateninhalte, die im Wasserportal Burgenland angeboten werden, sind den Fachbereichen Hydrographie und Wasserbuch zuzuordnen.

## **2 Vorarbeiten**

### **2.1 Hydrographie**

Der Hydrographische Dienst Burgenland hat in den Jahren 2009 bis 2011 intensive Anstrengungen zur Modernisierung des Messnetzes unternommen.

Mittlerweile sind die Pegelanlagen an den maßgeblichen stehenden und fließenden Gewässern automatisierte Stationen. Die Stationsplanung orientierte sich an der Gewässergeometrie vor Ort, der verfügbaren Energieversorgung, dem Anspruch an den jeweiligen Pegel, der Möglichkeit der Datenübertragung und den finanziellen Ressourcen. Vor Ort erfolgt heute die Messwerterfassung und Datenspeicherung der Parameter Wasserstand und Wassertemperatur etc. mit Produkten der Firmen OTT Hydromet, SEBA Hydrometrie GmbH und ADCON Telemetry. Die Datenbringung wird zur Erlangung einer möglichst Echtzeit nahen Datenübertragung vorrangig mit GPRS oder ADCON Funk vorgenommen. Im Falle redundanter Datenübertragung werden auch GSM und das Telefon-Festnetz eingesetzt. Bei den Fließgewässern steht aus Gründen einer gesicherten Datenbringung pro Haupteinzugsgebiet jeweils 1 Pegel mit redundanter Fernübertragung zur Verfügung. Sämtliche Pegelprofile wurden GPS-unterstützt neu vermessen und die hydrologischen Kennwerte (Q95%, MNQ, MQ, HQn) einer Prüfung und Homogenisierung unterzogen.

Im Niederschlagsmessnetz wurden die mechanischen Schreibgeräte durch OTT-Pluvio<sup>2</sup> Waagen ersetzt und mit Datensammlern des gleichen Anbieters samt Lufttemperatur- und Luftfeuchtegebern ausgestattet. Sämtliche Stationen werden mit GPRS übertragen, da ausschließlich diese Bringungsart eine ausreichende Datenaktualität zur weiteren Aneicherung der

ZAMG-Niederschlagsprognosen sicherstellt. Aus Gründen der gesicherten Datenbringung erfolgt auch bei den Niederschlagsstationen zum Teil eine redundante Datenübertragung. Abbildung 1 zeigt exemplarisch die Niederschlagsstation Oberwart.



*Abbildung 1: Niederschlagsstation Oberwart*

Parallel zur Modernisierung der Messnetze wurde eine neue Datenfernübertragungs(DFÜ)-Zentrale in Eisenstadt eingerichtet (siehe Abb. 2). Verwendet werden Softwareprodukte der Fa. aqua\_plan GmbH, die auf einem Linux Server installiert wurden. Das Datenabrufsystem Callisto ermöglicht für die verschiedenen vor Ort im Einsatz befindlichen Datensammlerprodukte und Bringungsarten die Datenübertragung in frei wählbaren Zeitschritten und die Ablage der Daten in HyDaMS. Callisto bietet weiters die Möglichkeit der Versendung automatisierter Alarme und deckt somit u. a. wesentliche Anforderungen des Hochwassermeldewesens ab. HyDaMS ist ein Datenmanagementsystem, das sich beim Hydrographischen Dienst in Österreich im Einsatz befindet. Der tstp-Zeitreihenserver bildet die Schnittstelle für Datenabfragen, u. a. für die Datenbeschickung des Wasserportals. Das Softwareprodukt Pulsaro bietet die Möglichkeit der automatisierten Versendung von Dateninhalten aus HyDaMS.

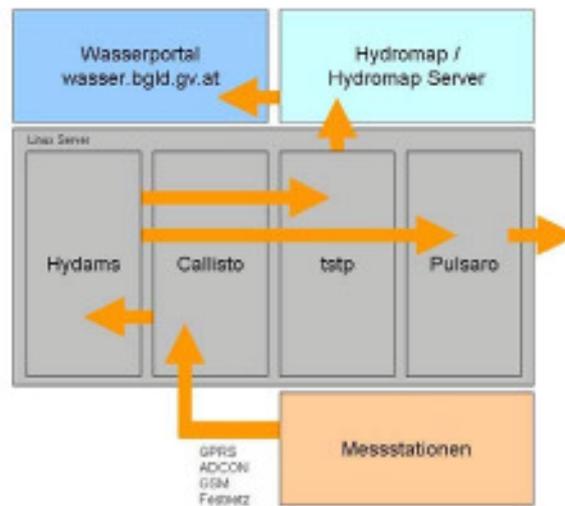


Abbildung 2: Systemdarstellung DFÜ-Zentrale

## 2.2 Wasserbuch

Die Digitalisierung der Wasserbuchinhalte stellt aufgrund der enormen Datenmengen eine große Herausforderung dar und wird wegen fehlender personeller Ressourcen im Rahmen eines Werkvertrages umgesetzt. Die Speicherung der Dateninhalte erfolgt im System WIS47. Dies ist ein wasserwirtschaftliches Informationssystem, das im Rahmen einer Länderkooperation im Wege der Vergabe durch die Fa. SYNERGIS Informationssysteme GmbH erarbeitet wurde und sich zwischenzeitlich in sieben Bundesländern etabliert hat. Die Verknüpfung der Fachdaten mit geographischen Dateninhalten stellt die Voraussetzung für die räumliche Darstellung der Wasserbuchdaten in einer GIS-Applikation dar.

## 2.3 Lastenheft für den Webauftritt

Im Rahmen eines Lastenheftes, das durch die Fa. Certec EDV GmbH erarbeitet wurde, erfolgte unter Abstimmung der handelnden Personen die detaillierte Festlegung der erforderlichen Arbeiten. Neben der erforderlichen Verbindung bestehender EDV-Netzwerke zur weiteren Verknüpfung relevanter Dateninhalte waren vor allem Festlegungen hinsichtlich erforderlicher Hard- und Software und deren Situierung erforderlich.

Hinsichtlich der Visualisierung der Dateninhalte der Hydrographie wurde zur Vermeidung von Systemspiegelungen und aus Performancegründen einer statischen Lösung mit laufend aktualisierten, vorgefertigten Grafiken der Vorzug gegenüber einem interaktiven Ansatz gegeben. Die Software Hydromap/Hydromap-Server des Hydrographischen Dienstes Kärnten erfüllte in einer Evaluierung sämtliche Anforderungen zum Einsatz für das Wasserportal Burgenland, wird bei den Hydrographischen Diensten Kärnten und auch Vorarlberg unter adäquaten Systemvoraussetzungen angewendet und wurde daher erworben.

Die Erstellung einer GIS-basierten Webapplikation für das Wasserbuch erfolgte innerhalb des bereits bestehenden Web-GIS des Burgenlandes und bedurfte entsprechender Adaptierungen. Die Komponente WebCity wurde um WebOffice erweitert. Dadurch wurde neben der Darstellung der Dateninhalte auch die Bearbeitung für den User über das Web möglich.

### 3 Die Weblösung

#### 3.1 Das Portal

Die Programmierung der Website erfolgte durch die LimeSoda Interactive Marketing GmbH auf Basis des Content Management Systems Typo3. Die Website stellt einerseits die laufende automatisierte Aktualisierung und Visualisierung der Dateninhalte sicher, Typo3 bietet die Möglichkeit der laufenden Editierung der Site durch Bedienstete der Wasserwirtschaft.

Im Sinne eines Portals bietet sich, ausgehend von der Startseite, die Möglichkeit, zu den Fachbereichen Hydrographie oder Wasserbuch zu navigieren. Das Portal selbst bringt erste Informationen zum Online-Messnetz in Form einer aktiven Messstellenkarte bzw. der Präsentation ausgewählter Stationen samt Messstellenfoto und den aktuellen Messdaten. Ferner wird zum Sonderkapitel Neusiedler See der Status der Wehranlage am Neusiedler See in Mexikopuszta mit einem Live Bild der dort befindlichen Webcam samt relevanten Online-Daten angezeigt. Neuigkeiten rund ums Thema Wasser schaltet die Abteilung 9 unter News. Das Portal wird durch an die aktuelle Jahreszeit angepasste Themenfotos geprägt (siehe Abb. 3).

The screenshot shows the homepage of the 'Wasserportal Burgenland'. At the top left is the logo and name 'WASSERPORTAL BURGENLAND' with the subtitle 'Amt der Burgenländischen Landesregierung, Abteilung Wasser- & Abfallwirtschaft'. To the right is a search bar and navigation links for 'HYDROGRAPHIE' and 'WASSERBUCH'. The main content area is divided into several sections: a large image of a river, a 'News' section with three articles, a 'Webcam Einserkanal' section with a live video feed and data (Durchflussmenge: 0 m³/s, Oberwasser: 105 cm, Unterwasser: 13 cm, Wehr: geschlossen), a 'Messstation' section for 'heiligenkreuz (162)' showing data (27.10.2011 12:15 MEZ, 8.73 m³/s, 207 cm), and a 'Messstellenkarte' map showing the measurement network. At the bottom, there are three columns: 'WASSERBUCH' (Wasserbuch, Digitales Wasserbuch, Überflutungsfächer), 'HYDROGRAPHIE' (Hydrologische Situation, Hochwasserprognose, Links), and 'HÄUFIGE FRAGEN' (Hydrographische Datenauskunft, Kostspflicht für Datenauskünfte, Wir freuen uns über ihr Feedback).

Abbildung 3: Homepage Wasserportal

### 3.2 Online-Daten Hydrographie

Online-Daten der Hydrographie werden in den Kapiteln „die Seen / der Neusiedler See / die Flüsse / das Grundwasser / der Niederschlag / die Lufttemperatur / Webcam“ samt Erläuterungen in Text und Bild dargestellt bzw. unter „alle (verfügbaren Stationen) / die Flüsse und Seen“ zusammengefasst.

Grundlage eines jeden Kapitels bildet die Messstellenkarte mit den zum Kapitelüberbegriff zugehörigen Online-Messstationen (siehe Abb. 4, 5). Mit dem Mouseover Effekt wird durch Ansteuerung des Stationssymbols mit der Maus die Stationsbezeichnung samt aktuellen Daten eingeblendet. Eine Auflistung der Stationsnamen erleichtert das Auffinden der entsprechenden Messstelle.

In den Kapiteln die „Flüsse / das Grundwasser / der Niederschlag / die Lufttemperatur“ werden die Stationssymbole für definierte Wertebereiche der Parameter „Durchfluss ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) / Grundwasserstand (müA) / Niederschlag in den letzten 24 Stunden ( $\text{mm}/24 \text{ h}$ ) / Lufttemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )“ unterschiedlich eingefärbt und bieten so einen Überblick über die Gesamtsituation im Burgenland, für die Parameter Niederschlag und Lufttemperatur auch in Teilbereichen der benachbarten Bundesländer Steiermark und Niederösterreich (siehe Abb. 4, 5). Für diesen Zweck wurden Online-Daten von der ZAMG angekauft und geben so speziell im Hochwasserfall einen Einblick in die Geschehnisse in jenen orografisch höher gelegenen Einzugsgebieten, die zum Burgenland hin entwässern.

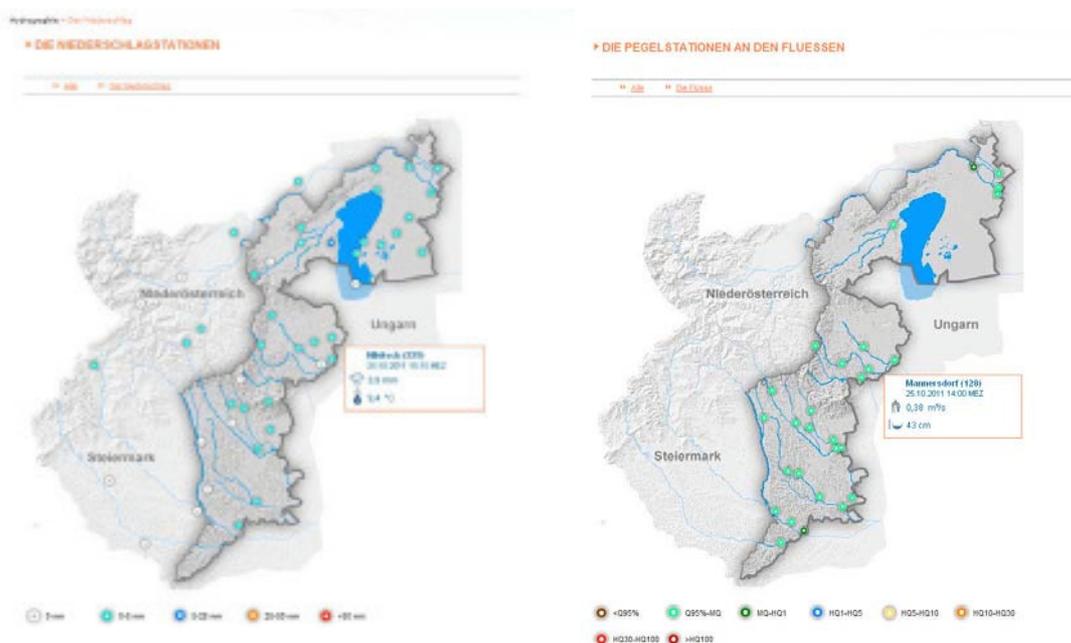


Abbildung 4,5: Messstellenkarten

Ausgehend vom jeweiligen Stationssymbol bzw. den tabellarischen Zusammenfassungen in den Kapiteln „die Flüsse / der Niederschlag“ gelangt man zu den Stationsseiten (siehe Abb. 6). Hier werden je nach Kapitel die Parameter Lufttemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ), Niederschlag (mm), Wasserstand (cm), Wassertemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ), Durchfluss ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) und Grundwasserstand (müA) in Gangliniendarstellungen für 3 oder 10 Tage bzw. bei Seestationen für 60 Tage dargestellt und die zu Grunde liegenden Daten über einen Zeitraum von 30 Tagen zum Download bereitgestellt.

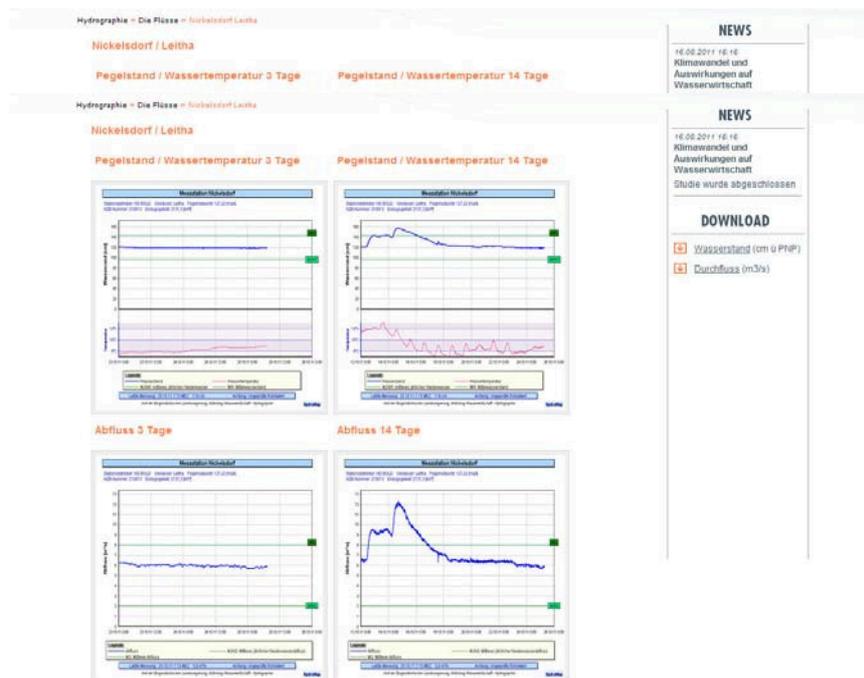


Abbildung 6: Stationsseite

Die Parameter Durchfluss, Niederschlag, Grundwasserstand und Seewasserstand werden darüber hinaus für das aktuelle und das davor liegende Kalenderjahr in Langzeitvergleichen den Datenreihen seit Vorliegen digitaler Daten gegenüber gestellt (siehe Abb. 7, 8). Diese Darstellungen werden monatlich in manueller Form erstellt.

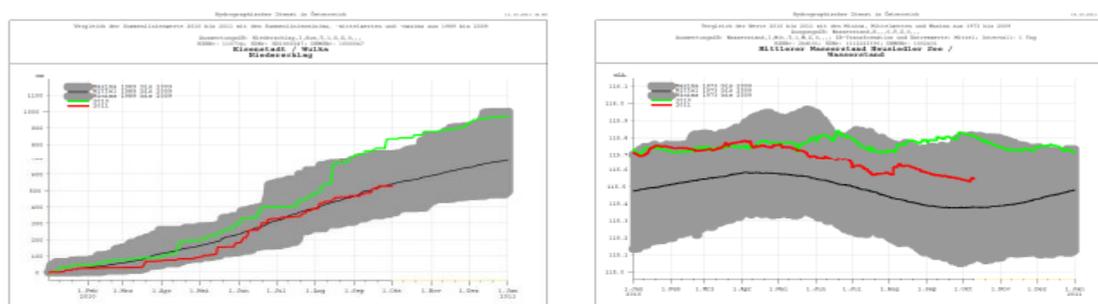
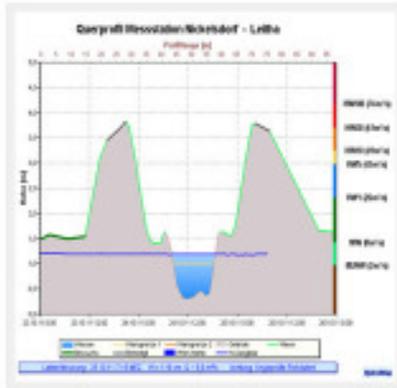


Abbildung 7, 8: Langzeitvergleiche



Im Kapitel „die Flüsse“ erfolgt ferner eine Darstellung der Pegelprofile und der aktuellen benetzten Wasserfläche, der Wasserstandsentwicklung über 3 Tage bzw. der Höhenniveaus, die den charakteristischen Durchflussdaten (MJNW, MW, HWn) entsprechen (siehe Abb. 9).

Abbildung 9: Pegelprofil

Angemerkt wird, dass die laufende Umsetzung der Wasserstände in die Durchflüsse automatisiert in HyDaMS erfolgt und der regelmäßigen Aktualitätsprüfung der verwendeten Schlüsselkurven auf Basis der Einzeldurchflussmessungen bedarf.

Ein Sonderkapitel stellt der Neusiedler See dar. Aktuelle Wasserstandsdaten bilden die Entscheidungsgrundlage für die Bedienung des Seerandwehres in Mexikopuszta und somit für die Wasserstandregelung des Neusiedler Sees insgesamt.

Windbedingte Wasserverfrachtungen am Neusiedler See bedürfen der Wasserstandsmessung an mehreren Pegelstationen. Bei einer arithmetischen Mittelung der einzelnen Pegelstände wird der Windeinfluss bestmöglich reduziert. Mit der Realisierung des Wasserportals setzte sich der Hydrographische Dienst Burgenland das Ziel, die Grundlagen für die Wasserstandregelung des Neusiedler Sees transparent darzustellen.

Dazu gehört einerseits eine Darstellung des aktuellen mittleren Seewasserstandes, der auf Basis der Online-Pegelstationen automatisiert ermittelt und verfügbar gemacht wird. Für diese automatisierte Ermittlung werden für den aktuellen Zeitpunkt X sämtliche verfügbaren Pegelreihen herangezogen. Stehen zu einem späteren Zeitpunkt Y weitere Pegelreihen zur Verfügung, erfolgt nachträglich für den Zeitpunkt X eine Korrektur. In der nachstehenden Abbildung 10 sind die Wasserstandsganglinien sämtlicher Seepegel für den Zeitraum 12. bis 14. Oktober 2009 samt der automatisiert berechneten mittleren Wasserstandsganglinie dargestellt. Die Wasserstände bei den Pegelanlagen Breitenbrunn (im Norden gelegen) und Apetlon A79 (im Süden gelegen) differieren im Maximalfall um etwa 85 cm (siehe Abb. 10).

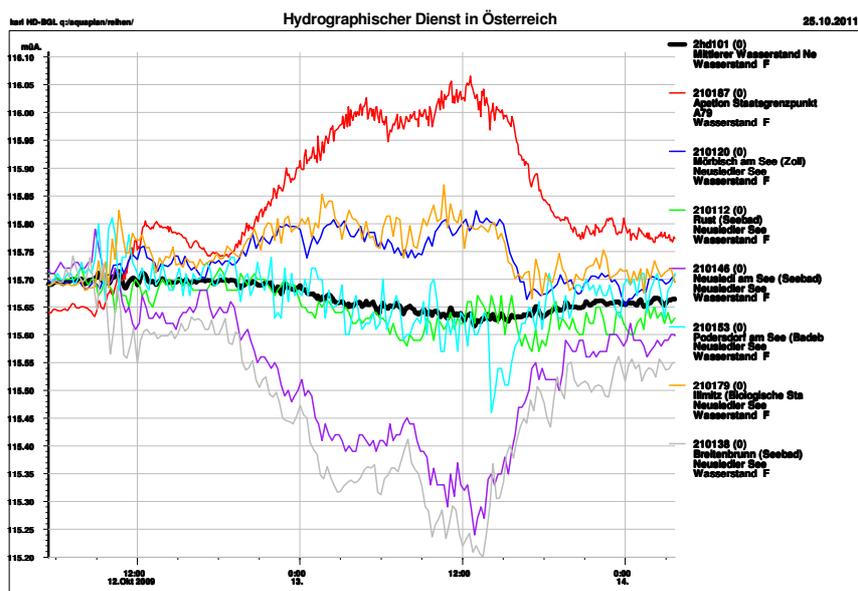


Abb. 10: Wasserstandsganglinien von Pegelstationen am Neusiedler See

Andererseits wird der Status des Seerandwehres (Öffnungszustand der beiden Wehrsegmente) mit Hilfe einer Webcam visualisiert. Die Direktion für Wasserwesen in Győr stellt laufend den Ober- und Unterwasserstand (cm ü. PNP) beim Wehr, die Höhe der Oberkanten der beiden Wehrsegmente (müA) und den Durchfluss (m<sup>3</sup>/s) zur Verfügung. Ergänzt mit zwischenstaatlich abgestimmten Daten, die bis zum Jahr 1965 zurück gehen, bietet eine Datenbankapplikation umfassende Möglichkeiten zu Datenauswertungen, u. a. hinsichtlich stattgefundener Seentlastungen und ihrem Umfang (Mio. m<sup>3</sup>) (siehe Abb. 11).

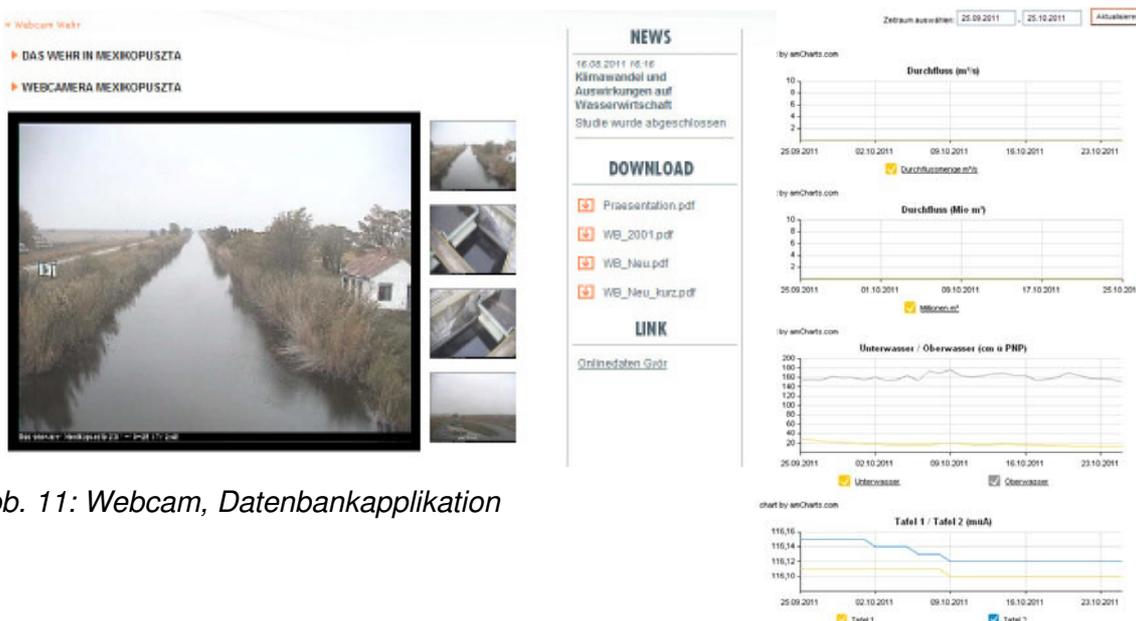


Abb. 11: Webcam, Datenbankapplikation

Eine laufend aktualisierte Darstellung der hydrologischen Situation in den 3 Flussgebieten Leitha, Rabnitz, Raab, Erläuterungen zu hydrographischen Datenauskünften und Links zu u.a. verfügbaren Webcams im Burgenland runden das Serviceangebot des Hydrographischen Dienstes Burgenland ab.

### 3.3 Digitales Wasserbuch und Überflutungsflächen

Die digitalen Dateninhalte des Wasserbuchdienstes gliedern sich in das Wasserbuch und die Überflutungsflächen. Das digitale Wasserbuch Burgenland ist ähnlich dem Grundbuch ein öffentliches Buch und ist somit der Allgemeinheit zugänglich zu machen. Die Digitalisierung der Wasserbuchbestände startete im Jahr 2005. Um im digitalen Wasserbuch eine Suche nach Grundstücken, Rieden, Gemeinden und Adressen zu ermöglichen, ist die grundstücksgenaue Verortung der digitalen Datenbestände erforderlich. Der Wasserbuch-Auszug bildet im rechtlichen Sinn das Ergebnis von Abfragen im digitalen Wasserbuch. Technische Informationen zum jeweiligen Wasserrecht erhält man über den WIS-Auszug. Abbildung 12 zeigt das Ergebnis einer Suche in der Web-Applikation Wasserbuch: Welche bestehenden Wasserrechte befinden sich im Umkreis von 500 m zum Wasserrecht X?

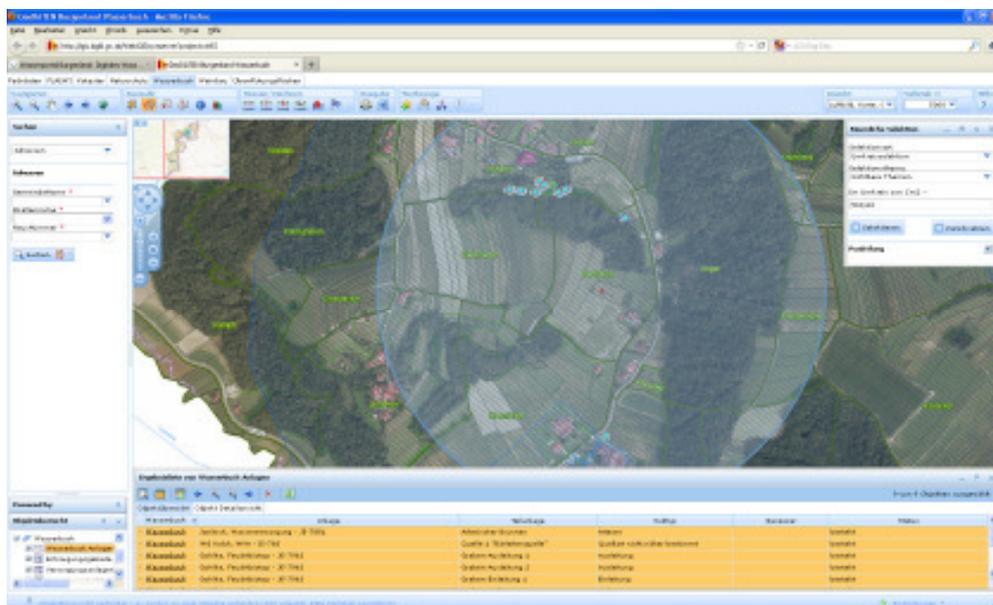


Abbildung 12: Web-Applikation Wasserbuch

Die Überflutungsflächen werden im Burgenland seit den 80er Jahren erhoben und stellen jene Flächen dar, die bei einem Hochwasser mit der Jährlichkeit  $n$  überflutet werden. In Abbildung 13 wird ein Beispiel aus der Webaplikation wiedergegeben.

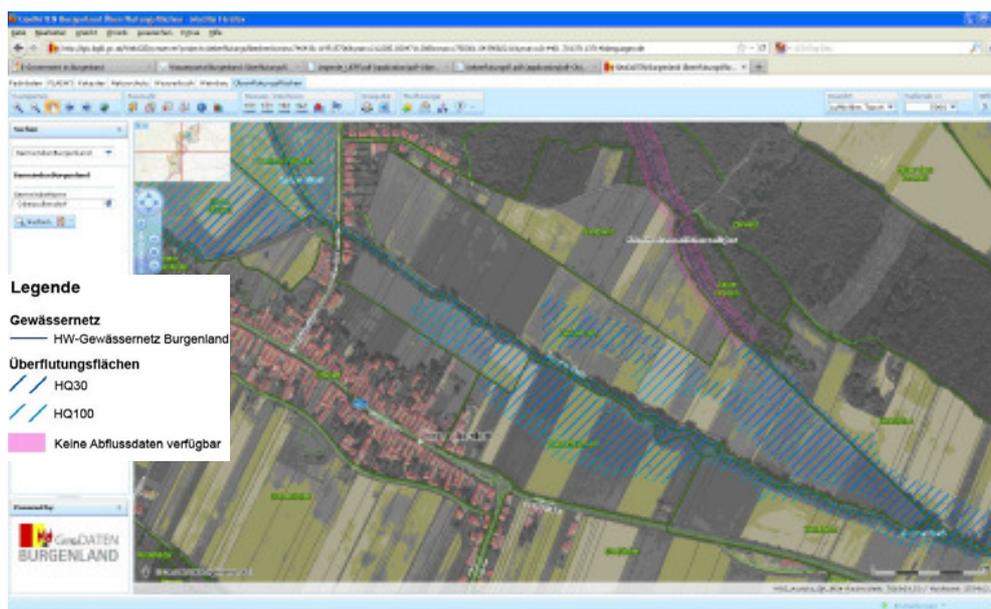


Abbildung 13: Web-Applikation Überflutungsflächen

#### 4 Ausblick

Für den Fachbereich der Hydrographie ist in naher Zukunft die Einbindung bereits modernisierter Pegelanlagen an der Wulka geplant. Darüber hinaus ist eine generelle Informationsverdichtung zu den einzelnen Messstationen durch Erweiterung mit Texten, Fotos, Statistiken zu Extremwerten etc. angedacht. Durch eine zeitliche Abstimmung der Datenbringung innerhalb der DFÜ mit der automatisierten Erstellung der Websitegrafiken besteht weiteres Potential hinsichtlich einer besseren Datenaktualität.

Die Ausfallsicherheit der Website bzw. der zu ihrer Erstellung notwendigen Softwarekomponenten wird mit Hilfsroutinen verbessert.

Mittelfristig ist die Online-Einbindung der Parameter Grundwasserstand und Windgeschwindigkeit bzw. -richtung vorgesehen. Ebenso soll die Möglichkeit des Datendownloads auf weitere Parameter (Grundwasserstand, Windgeschwindigkeit und -richtung, Wassertemperatur) ausgedehnt werden. Zur Erhöhung der Datensicherheit wird derzeit für die gesamte Hydrographie in Österreich der Einsatz automatisierter Datenprüfroutinen vorbereitet.

Grundsätzlich sollen zukünftig neben den Online-Daten auch Prognosedaten als Ergebnis des Hochwasserprognosemodells ProRaab(a) im Wasserportal Burgenland zugänglich gemacht werden.

Die Ausweitung der Serviceangebote auf weitere Fachbereiche der Abteilung 9, Wasser- und Abfallwirtschaft wird angestrebt.

## **5 Literaturhinweise und Quellen:**

MARACEK, K., PFALLER, P., ZALKA, T., MAIER, C., 2011: Wasserportal Burgenland, wasser.bgld.gv.at, Präsentation Neusiedl am See, 27.7.2011

SOMMER, D., 2008: Lastenheft für den Webauftritt „GIS – Subsystem Umwelt/Wasser – Hydrographie, Wasserbuch und Siedlungswasserwirtschaft“

### **Anschrift des Verfassers**

OBR Dipl. Ing. Karl Maracek

Amt der Burgenländischen Landesregierung

Abt. 9 - Wasser- und Abfallwirtschaft

HRef. - Wassermengenwirtschaft / Ref. - Hydrographie

Europaplatz 1

7000 Eisenstadt

[Karl.Maracek@bgld.gv.at](mailto:Karl.Maracek@bgld.gv.at)

## **1910 und 2010 – zwei Hochwasserjahre in Österreich**

G. Müller

Im Juni 2010 jährte sich zum 100. Mal ein Hochwasserereignis, das in Westösterreich eines der bedeutendsten im 20. Jahrhundert war. Nach dem Hochwasser am 14./15. Juni 1910 wurden umfangreiche Maßnahmen zum Hochwasserschutz realisiert und bis heute spielt das Ereignis gemeinsam mit den herausragenden Hochwassern von 1999 und 2005 bei der Einordnung aktueller Hochwasserereignisse wie auch bei der Bemessung von Schutzwasserbauten eine Rolle.

Auch 100 Jahre später gab es ein hydrologisch bewegtes Jahr. Das Hochwassergeschehen im Jahr 2010 in Österreich wurde vor allem durch eine Vielzahl heftiger Unwetter mit Starkregen, Hagel, Sturm, lokalen Überflutungen und Vermurungen bestimmt, die zu großen Schäden führten und auch Todesopfer forderten. Manche Gemeinden waren sogar mehrmals von Überflutungen betroffen.

Nachfolgend soll an das Hochwasserereignis 1910 in Vorarlberg erinnert und ein Überblick über das Hochwassergeschehen im Jahr 2010 gegeben werden.

### ***Das Hochwasser am 14./15. Juni 1910 in Vorarlberg***

Das Hydrographische Zentralbüro berichtete in HZB (1911) ausführlich über die Hochwasserereignisse des Sommers 1910 in Österreich bzw. auf dem Gebiet der ehemaligen Monarchie. Weitere Angaben finden sich im „Jahrbuch des hydrographischen Zentralbureaus“ für das Jahr 1910 (HZB, 1913a).

Im Jahr 1910 gab es von Mai bis September in Teilen Österreichs, Deutschlands, in Ungarn und in der Schweiz eine Vielzahl von Gewittern mit Starkregen („Wolkenbrüche“). In Österreich waren in erster Linie die Gebiete von Raab, Kainach, Mürz und das niederösterreichisch-steirische Grenzgebiet betroffen. Die Donau hatte auf Grund anhaltender Niederschläge von Mitte April bis Ende September eine dauernde hohe mittlere Wasserführung. Im August/September kam es in Mähren und damit an Thaya und March, aber auch an der mittleren Elbe zu Hochwasser. Vor allem ist jedoch das Katastrophenhochwasser vom 14./15. Juni 1910 in Vorarlberg und Westtirol in Erinnerung geblieben.

Vom 6.-8. Juni hatte es bereits leichte Niederschläge gegeben, die sich vom 10.-12. Juni intensivierten. Am 13. lagerte über Oberitalien eine „Depression mit weniger als 755 mm ...“, die dann allmählich verflachte, während das westliche Luftdruckmaximum immer näher an die Depression heranrückte und die Isobaren über dem überregneten Gebiete die für solche Wettersituationen charakteristische Keilform annahmen.“ (HZB, 1911). In der Folge kam es vor allem am 14. Juni nördlich der „Rhätikon-Wasserscheide“, d. h. im österreichischen Rheingebiet, sowie im Iller-, Lech- und Sannagebiet zu katastrophalen Niederschlägen. Der Schwerpunkt des Regen betraf die „Osthänge des Rheintals von Feldkirch bis Bregenz“ (HZB, 1911) inklusive der Dornbirnerach und Teilen des Einzugsgebietes der Bregenzerach. In diesem Gebiet lagen die Tagessummen am 14. Juni vielfach über 150 mm, in Laterns (Innerlaterns) und vor allem im Einzugsgebiet der Dornbirnerach sogar über 200 mm (Tab. 1). Die Niederschläge fielen ohne Unterbrechung und mit erheblichen Intensitäten über einen langen Zeitraum. Z. B. regnete es in Ebnit in 21 Stunden 224,5 mm, das entspräche im Durchschnitt einer Intensität von 10,8 mm/h bei einer Schwankungsbreite zwischen 6,7 und 16 mm/h. Ähnliche Tagessummen des Niederschlags wie 1910 wurden in Vorarlberg während der Hochwasserereignisse im Mai 1999 und im August 2005 gemessen. Während bei diesen Ereignissen an einigen Messstellen in Vorarlberg die Werte von 1910 wieder erreicht oder sogar noch übertroffen wurden, stellen an den Messstellen Ebnit, Gütle, Bildstein oder Bödele die maximalen Tagessummen des Ereignisses von 1910 bis heute die höchsten Tagessummen seit Beobachtungsbeginn dar (Amt der Vorarlberger LR, 2005; BMLFUW, 2005).

*Tabelle 1: Ausgewählte Niederschlagssummen während des Juni-Hochwassers in Vorarlberg 1910 im Vergleich zu 1999 und 2005 (HZB, 1913; BMLFUW, 2005)*

	<b>max. Tages- summe 1999 oder 2005</b>	<b>13.6.1910</b>	<b>14.6.1910</b>	<b>15.6.1910</b>	<b>Summe 13.-15.6.1910</b>
<b>Innerlaterns</b>	228 mm 22.08.2005	32,1 mm	223,1 mm	15,1 mm	270,3 mm
<b>Ebnit</b>	219,6 mm 23.08.2005	26 mm	229,5 mm	21,3 mm	276,8 mm
<b>Gütle</b>	143,8 mm 21.05.1999	17 mm	194,6 mm	37,7 mm	249,3 mm
<b>Bildstein</b>	115,2 mm 21.05.1999	9,4 mm	200 mm	37,7 mm	247,1 mm
<b>Bödele</b>	189,1 mm 21.05.1999	26,4 mm	215,4 mm	28,7 mm	270,5 mm

Durch die Niederschläge stiegen die Wasserführungen sämtlicher Fließgewässer etwa ab Mitternacht vom 13. auf den 14. Juni rasch an, zumal die Schneeschmelze in den höheren Lagen noch in vollem Gange war und es bereits Tage zuvor ergiebig geregnet hatte. Die Höchststände wurden am 15. Juni zwischen etwa 10 Uhr vormittags bis 6 Uhr Abends beobachtet. Großräumige Überflutungen, Erosionen und Geschiebeanlandungen, Vermurungen und Hangrutschungen, massive Schäden an Straßen, Brücken und Gebäuden und in einigen Tälern auch Versorgungsprobleme waren die Folge. Seit etwa 1890 und vor allem nach der Gründung des Hydrographischen Dienstes in Österreich 1893 waren eine Reihe von Pegeln in Betrieb genommen und damit die kontinuierlichen Aufzeichnungen des Wasserstandes begründet worden. An vielen Gewässern konnten die Hochwasserstände 1910 aufgezeichnet werden, einige Pegel wurden aber auch durch das Hochwasser beschädigt oder sogar weggerissen. In Feldkirch betrug der Hochwasserscheiteldurchfluss der Ill etwa 700 m<sup>3</sup>/s (Auskunft HD Vorarlberg). Dieser Wert wurde 2005 ebenfalls erreicht, er entspricht nach heutigem Wissensstand einem etwa 100-jährlichen Ereignis. 1999 war der Scheitelabfluss geringer. Für den Rhein finden sich für Mäder im Abschnitt zwischen Liechtenstein und Bodensee Durchflusswerte von 2700 m<sup>3</sup>/s (HZB, 1911) bzw. 2650 m<sup>3</sup>/s im Jahrbuch für 1910 (HZB, 1913a) – letztere Angaben basierend auf der Studie „Der Wasserhaushalt des Bodensees“ (HZB, 1913b). Das wäre etwa ein 50-jährliches Ereignis. Inwieweit diese Zahlen heute noch als zutreffend zu betrachten sind, wäre zu diskutieren. Über die Größenordnung der Hochwasserscheitelabflüsse von Dornbirnerach und Bregenzerach im Juni 1910 fanden sich in den genannten Quellen keine Zahlenangaben. Auch der Bodensee stieg infolge des Ereignisses sowie nachfolgender Niederschläge deutlich an und überflutete die ufernahen Bereiche. Der Höchststand wurde zeitlich verzögert mit 351 cm am 28. Juni sowie auch am 1. und 2. Juli erreicht (HZB, 1913a). Die Hochwassermarke im Hafen Bregenz trägt das Datum

2. Juli 1910 (Abb. 1).

Aus Anlass der 100. Wiederkehr des Hochwassers hat die Vorarlberger Landesregierung am 15. Juni 2010 ein Fachsymposium mit dem Titel „Geschichte und Strategien zum Hochwasserschutz in Vorarlberg“ veranstaltet. Die Beiträge finden sich unter folgendem Link:

[http://www.vorarlberg.at/vorarlberg/wasser\\_energie/wasser/wasserwirtschaft/weitereinformationen/schutzwasserbauundgewaess/100jahrehochwasser1910.htm](http://www.vorarlberg.at/vorarlberg/wasser_energie/wasser/wasserwirtschaft/weitereinformationen/schutzwasserbauundgewaess/100jahrehochwasser1910.htm)



Abbildung 1: Hochwassermarken des Bodensees im Hafen Bregenz (Foto: G. Müller)

## **Überblick über das Hochwassergeschehen in Österreich 2010**

Geprägt wurde das Hochwassergeschehen 2010 durch eine Vielzahl von oft kleinräumigen Starkregenereignissen in den Monaten Mai bis August. Sehr große Niederschlagsmengen fielen innerhalb kürzester Zeit, z. B. 60 Liter/m<sup>2</sup> und mehr in weniger als 1 Stunde. Neben den bekannten Auswirkungen – lokale Überflutungen, überforderte Kanalisation, voll laufende Keller, Murenabgänge etc. – kam es lokal zu teilweise extremen Hochwasserspitzen der Größenordnung HQ100 und darüber, z. B. an der Leiblach in Vorarlberg, an Isel und Isnitz in Osttirol, am Weißenbach am Attersee und an der Redl in Oberösterreich, an der Pulkau in Niederösterreich, an der Liesing in Wien oder an der Lafnitz beim Pegel Rohrbach in der Steiermark. Hochwasserereignisse wurden jedoch auch durch die Schneeschmelze und länger anhaltende Regenereignisse an größeren Fließgewässern ausgelöst. Meist wiesen diese Hochwasserscheitel geringere Eintrittswahrscheinlichkeiten auf, vereinzelt wurden aber auch

HQ10 bis HQ30 erreicht. Im Folgenden wird ein Überblick über das Hochwasser- und Unwettergeschehen des Jahres 2010 gegeben und dabei auf einige markante Ereignisse näher eingegangen.

Nach ersten Unwettern Anfang Mai, z. B. im Land Salzburg und in Kärnten, führten ein ausgeprägtes Tiefdruckgebiet und labil geschichtete Luftmassen am **13. Mai** zu schweren Unwettern von Oberösterreich bis ins Burgenland. Die intensivste Gewitterzelle zog direkt über die Bundeshauptstadt **Wien**. An der Messstelle Wien/Innere Stadt (ZAMG) wurden bei diesem Ereignis insgesamt 63 l/m<sup>2</sup> Regen gemessen. Davon hat es allein 52 l/m<sup>2</sup> in 60 Minuten geregnet, ein Stundenwert, wie er in Wien nur alle 50 Jahre vor kommt. Lokal dürften die Niederschlagsmengen noch höher gewesen sein. Das Niederschlagszentrum lag im Gebiet des Wilhelminenberges. Der kanalisierte Ottakringer Bach konnte den Abfluss nicht mehr zur Gänze aufnehmen, so dass das Wasser oberirdisch entlang der Thaliastrasse und weiter entlang der Lerchenfelderstrasse bis zum Ring floss. Sowohl über die Kanalisation als auch über die in den Straßen entstandenen reißenden Bäche strömte Wasser in Erdgeschosse, Keller und Tiefgaragen. Es kam zu Schäden in Ottakring und in den im Osten angrenzenden Bezirken Josefstadt und Neuhaus. Auch der nicht gänzlich kanalisierte Rotbach, der den Südwesten des Wilhelminenberges nach Hütteldorf zum Wienfluss entwässert, trat über die Ufer und verursachte Überschwemmungen im Bereich der Linzerstraße.

**Ab 13./14. Mai** entwickelte sich über dem nördlichen Mittelmeer ein Tiefdruckgebiet, das weiter nach Nordosten zog und längere Zeit über der Ukraine liegen blieb. Dadurch wurde feuchtwarme Luft vom Mittelmeer gegen kühlere Luftmassen aus Nordwesteuropa geführt. Intensive und länger anhaltende Niederschläge waren die Folge, vor allem in den Einzugsgebieten von Oder und Weichsel in Tschechien und Polen, aber auch im tschechischen Einzugsgebiet der March. In Polen und Tschechien und bis in das deutsche Bundesland Brandenburg kam es zu einer angespannten und großflächigen Hochwassersituation mit Todesopfern und großen Sachschäden. Im Einzugsgebiet des im Nordosten von Tschechien gelegenen March-Zubringers Bečva und in der Region Zlín fielen ergiebige Regenmengen mit bis zu 90 mm in 24 Stunden. Dadurch stieg der Durchfluss der **March** und ihrer Zubringer stark an. Der maximale Durchfluss dieser Hochwasserwelle betrug am Pegel Hohenau/March am **20. Mai** 759 m<sup>3</sup>/s (HQ 5-10) und in Angern an der March etwa 819 m<sup>3</sup>/s (HQ10).

Nahezu täglich folgten bis Ende Mai weitere Unwetter. Am stärksten betroffen war Niederösterreich (ZAMG, Unwetterbericht Mai 2010). Vom **1. bis 3. Juni** brachte ein Tiefdruckgebiet entlang der Alpennordseite bis in den Osten Österreichs verbreitete und intensive Niederschläge, so dass es dort in vielen Gebieten zu einer **Hochwassersituation** kam. Die größten

Niederschlagsmengen fielen zwischen dem Abend des 1. Juni und dem Abend des 2. Juni. Im Gebiet zwischen Wildem Kaiser und den Loferer Steinbergen wurden Tagessummen von 100 mm Niederschlag an mehreren Messstellen des Hydrographischen Dienstes Tirol gemessen, die 2-Tagessummen erreichten in den Nordstaulagen bis zu 160 mm. In Leogang, im Saalachtal und im Salzkammergut wurden bis zu 80 mm Regen in 24 h gemessen und auch im Raum Wien noch knapp über 40 Liter/m<sup>2</sup> aufgezeichnet (ZAMG).

In Vorarlberg stiegen die Wasserführungen besonders im unteren Rheintal sowie im Bregenzerwald an. In Tirol erreichten die Hochwasserscheitel im **Großachengebiet** ein **HQ30**. In Salzburg führten die Gewässer im Flachgau, Tennengau und Pinzgau Hochwasser. An der Lammer und an den Unterläufen von Salzach und Saalach betrug die Größenordnung der Hochwasserspitzen über HQ10, an der **Königseeache** und am **Almbach HQ30**. In der Steiermark konzentrierte sich das Hochwassergeschehen auf die Obersteiermark mit Hochwasserscheiteln von **HQ5-30** im **Traungebiet**, HQ5-15 an der Enns und an der Salza. Auch im angrenzenden Oberösterreich kam es zu Überschwemmungen an Enns, Traun, Donau und am Inn. Hochwasserschwerpunkte in Niederösterreich waren die Bezirke Melk und Krems (Wachau) sowie der Raum Klosterneuburg. In Seyring (Gemeinde Gerasdorf bei Wien) wurden ca. 300 Häuser überflutet. Die Hochwasserscheitel an Messstellen des Hydrographischen Dienstes lagen verbreitet zwischen HQ1 und HQ5, lediglich an der **Schmida** und am **Göllersbach** bei **HQ5-30**. Das Hochwasser der Donau in Niederösterreich kulminierte am 4./5. Juni bei Werten eines etwas über 10-jährlichen Ereignisses. An der **March** wurde kurz nach dem Mai-Hochwasser ein weiterer, höherer Hochwasserscheitel beobachtet. Er erreichte eine Jährlichkeit von ca. 10 Jahren in Hohenau und **10-30** Jahren in **Angern**.

Die Gewittertätigkeit mit Starkregen, Hagel, Sturm und kleinräumigen Überflutungen setzte sich bis 13. Juni fort. Ein verheerender Starkregen ereignete sich am **14. Juni** im **Gebiet des Hochwechsels** mit Zentrum im Bereich der Südautobahn. Die am stärksten betroffenen Gewässer waren der Schöffern- und der Tauchenbach, die Pinka nach Einmündung beider Bäche sowie der Zöbernbach. Die ungefähr eine Stunde dauernden Starkniederschläge führten zu flächenhaftem Abfluss außerhalb der Gewässer und ließen den Durchfluss extrem schnell ansteigen. Tauchenbach und Schöffernbach überfluteten einen Park & Ride-Parkplatz im Bereich der A2. Etwa 20 Fahrzeuge wurden abgeschwemmt. Dabei ertrank eine Person in ihrem Auto. In weiterer Folge ist es zu Überschwemmungen durch die Pinka in den Ortsteilen Lafnitzdorf und Sinnersdorf sowie nördlich von Pinkafeld bis zur Gemeinde Riedlingsdorf gekommen. In Niederösterreich trat der Zöbernbach über die Ufer.

Starkregen- und Gewitterzellen sind oft räumlich so begrenzt, dass sie durch das Messnetz

nicht oder nicht im vollen Umfang erfasst werden können. An den Messstellen der Hydrographie Österreichs wurden in der betroffenen Region während des Ereignisses maximal 65,4 mm/h (Messstelle Zöbern) gemessen. Dank Herrn Konrad Riegler aus Tauchen, der aus persönlichem Interesse eine Niederschlagsstation in Tauchen (Niederösterreich) privat betreibt, konnten im wahrscheinlichen Zentrum der Niederschläge 97 mm in etwa 1 Stunde gemessen werden. Diese Niederschlagsintensität ist selbst in einem Gebiet mit Ortsnamen wie Schaueregg ein äußerst seltenes Ereignis, das statistisch nur einmal in 100 Jahren auftreten sollte. Die Gesamtniederschlagssumme an dieser privaten Messstelle Tauchen betrug vom 13. bis 15. Juni 191 mm (siehe Tab. 2).

*Tabelle 2: Beobachtete Niederschlagssummen vom 13. bis 15. Juni 2010 an ausgewählten Messstellen (Quelle: Hochwasserbericht des HD Steiermark)*

Messstelle	Niederschlagstagesumme [mm]			Gesamtsumme [mm]
	13.6.	14.6.	15.6.	
Hohenau/Wechsel (HD Steiermark)	44	6	6	56
Friedberg (HD Steiermark)	27	27	8	62
Tauchen (privat)	57 20:30 – 01:15	95 10:55 – 12:00	39 06:10 – 13:20	191
Schaueregg (privat)	31 20:30 – 01:15	19 10:55 – 12:00	38 06:10 – 13:20	88
Ocherbauer (privat)	Ausfall	97 10:55 – 12:00	Ausfall	-
Schäffern (privat)	10 20:30 – 01:15	36 10:55 – 12:00	0	46

Charakteristisch für dieses Ereignis waren der extrem schnelle Anstieg und Rückgang der Hochwasserwelle. Die schnelle Reaktion ergab sich sowohl aus der immensen Niederschlagsintensität als auch aus der Vorbefeuchtung durch die schon am Vortag in dieser Gegend gefallenen Niederschläge von bis zu 50 mm in 24 Stunden. An den beiden Gewässern Tauchenbach und Schäffernbach betreibt der Hydrographische Dienst keine Pegel. Die nächstgelegenen Messstellen sind Pinggau/Pinka (HD Steiermark) und Pinkafeld/Pinka (HD Burgenland). Nach dem Vorereignis in der Nacht war die zweite, höhere Spitze als Reaktion auf den Starkregen am 14. Juli um 11 Uhr am Pegel Pinggau zu beobachten (Abb. 2). Der Wasserstand von 227 cm entspricht einem Durchfluss von ca. 37 m<sup>3</sup>/s und damit etwa einem **HQ30**. Für den Pegel Pinkafeld/Pinka hat der Hydrographische Dienst Burgenland eine vorläufige Auswertung des Ereignisses durchgeführt (Pinka mit Tauchen- und Schäffernbach). Die höchste Spitze wurde mit ca. 130 m<sup>3</sup>/s abgeschätzt, die Jährlichkeit liegt **zwischen HQ30 und HQ100**. Die Differenz zwischen den Scheitelabflüssen der beiden Pegel an der Pinka kann in grober Näherung der Summe der Abflüsse von Tauchen- und Schäffernbach

zugeordnet werden (HD Steiermark, Hochwasserbericht). Der Spitzenabfluss am Zöbernbach betrug nach derzeitiger Auswertung 51 m<sup>3</sup>/s und am Pegel Warth/Pitten ca. 60 m<sup>3</sup>/s (HD Niederösterreich).

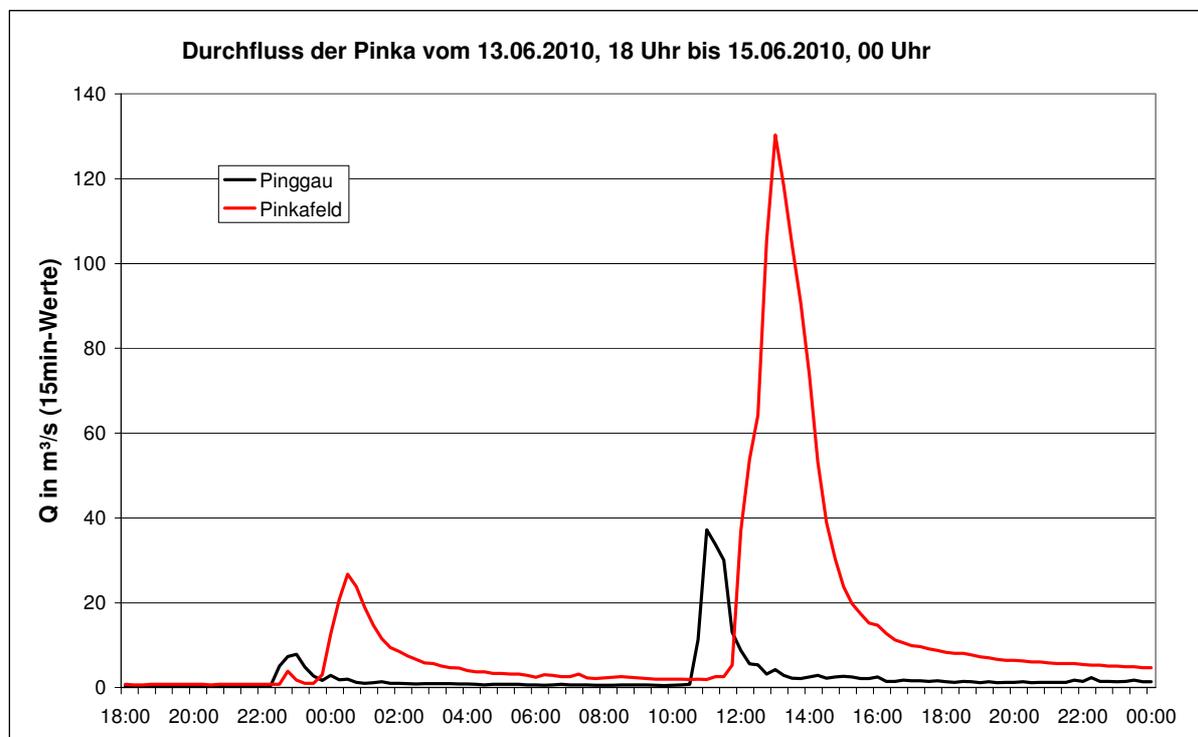


Abbildung 2: Ganglinien der Durchflüsse der Pinka an den Messstellen Pinggau (Steiermark) und Pinkafeld (Burgenland) vom 13./14. Juni 2010

Von Mitte Juni bis Mitte Juli verging kaum ein Tag in Österreich ohne ein Starkregenereignis oder Gewitter. Zwei Ereignisse seien stellvertretend angeführt. Die Kombination von Starkniederschlägen und hoher Vorbefeuchtung führte am **18. Juni** in Vorarlberg an der **Leiblach** zu einem **100-jährlichen** Hochwasserereignis. Die Hochwasserspitze am Pegel Unterhochsteg lag bei 140 m<sup>3</sup>/s und stellt das höchste Hochwasser seit Aufnahme der kontinuierlichen Abflussermittlung im Jahre 1976 dar. Infolge eines Tiefdruckgebietes östlich von Österreich kam es am **4. und 5. Juli** besonders in Oberösterreich zu Starkregenfällen mit eingelagerten Gewittern. In Ried fielen in 1 Stunde 54 l/m<sup>2</sup>, im Salzkammergut flächendeckend innerhalb von 48 Stunden über 100 l/m<sup>2</sup> (ZAMG). In Weißenbach am Attersee betrug die 2-Tagessumme vom 4. und 5. Juli 235 l/m<sup>2</sup>. Der Scheiteldurchfluss des **Äußeren Weißenbachs** von 106 m<sup>3</sup>/s entspricht einem **HQ150**. Am **Pegel Redl/Frankenburg Redl** (Raum Vöcklamarkt) wurde ein **HQ100** erreicht. Im Traungebiet wiesen die Hochwasserscheitel Jährlichkeiten zwischen 1 bis 10 Jahren auf.

Am **17./18. Juli** verursachte das Übergreifen einer atlantischen Kaltfront v. a. an der Alpen-nordseite heftige Unwetter und starke Regenfällen. Mit Ausnahme von Kärnten, dem Burgenland und der südlichen Steiermark war der Großteil Österreichs davon betroffen. In Tirol verursachten Gewitter, Hagel und Murenabgänge zum Teil schwere Schäden im Großraum Innsbruck, im Zillertal und in den Seitentälern im Oberland. Die Innsbrucker Altstadt stand stellenweise 50 cm unter Wasser. In Ladis-Neuegg (Oberland) wurde eine Niederschlags-Tagessumme von 72,4 mm gemessen, davon allein im Zeitraum von 16:30 bis 16:45 Uhr 37 mm. An der Messstelle Hall i.T. regnete es 78 mm in 24 Stunden. In Nordtirol wurde an einzelnen Messstellen des Hydrographischen Dienstes HQ1 überschritten, in Vent/Rofenache dagegen **HQ30** erreicht. In Osttirol lag der Schwerpunkt der Niederschläge in der Großvenedigergruppe, vor allem im Umbaltal, Dorfertal und Dabertal. An der TIWAG-Messstelle Johannishütte (2194 m) im Einzugsgebiet des Dorferbaches wurden Niederschlagsintensitäten von 46 mm in 45 Minuten und eine Gesamtregenmenge von 72 mm registriert. Diese Niederschläge verursachten über 100-jährliche Abflussscheitel (**HQ300**) an der **Islitz (Pegel Hinterbichl-Mühle)**, ca. 65 m<sup>3</sup>/s – siehe Abb. 3) und an der oberen **Isel (Pegel Hinterbichl)**. In **Brühl/Isel** betrug die Jährlichkeit der Hochwasserspitze noch **40 Jahre** und in Lienz/Isel 5 Jahre.

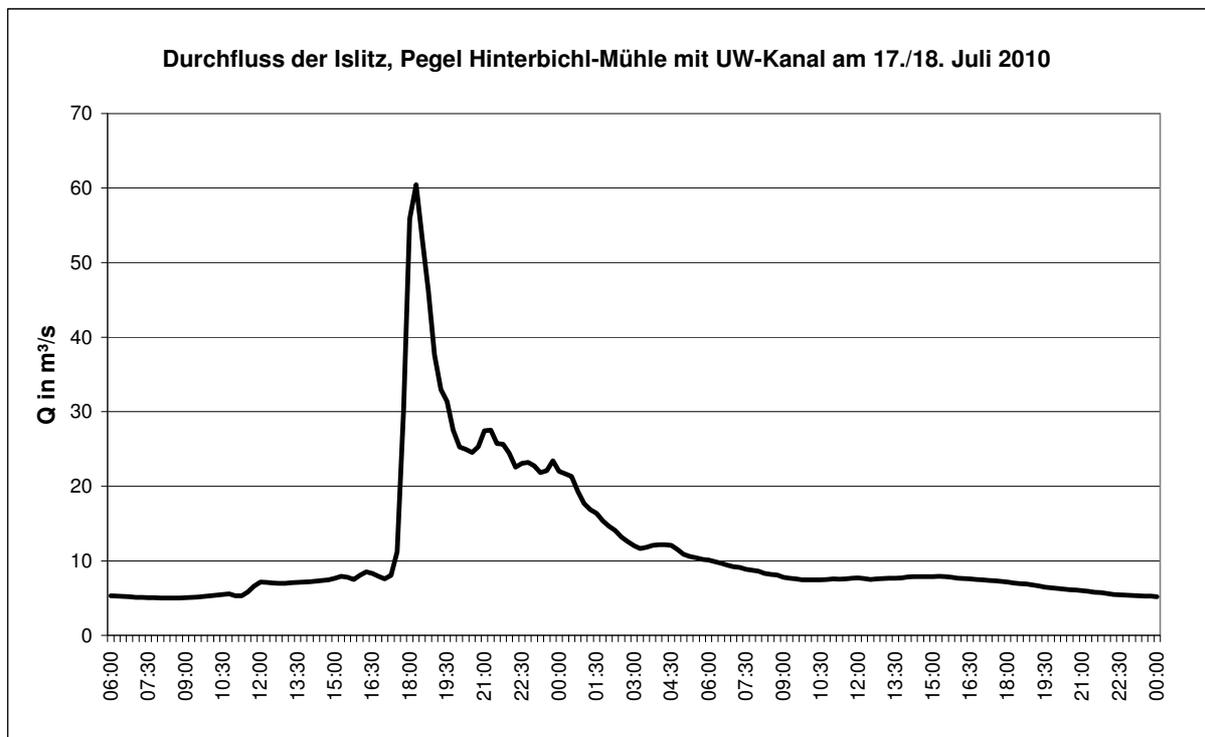


Abbildung 3: Wasserstandsganglinie der Iselitz/Pegel Hinterbichl-Mühle, 17./18. Juli 2010 (Quellen: TIWAG und Hydrographischer Dienst Tirol)

Schwere Unwetter mit Hagel und Starkregen gab es am 17./18. Juli auch im Salzburger Pinzgau und Pongau. Niederschlagsmengen im Oberpinzgau von 50-70 mm in den höheren Lagen führten zu etwa **HQ25-30** in **Mittersill/Salzach**. In der Steiermark waren das obere Ennsgebiet, vor allem das Kleinsölketal, mit Murenabgängen und Ausuferungen betroffen, sowie im Murgebiet der Bezirk Leoben. In Oberösterreich wurden an den Niederschlagsmessstellen Katsdorf und Weitersfeld binnen 8 Stunden in zwei Ereignissen in Summe über 100 mm Niederschlag gemessen. In Niederösterreich wüteten Unwetter in den Bezirken Mittelbach, Tulln, Wien Umgebung, Baden, Bruck und Neunkirchen.

Auch die letzte Julidekade brachte Gewitter, Unwetter und intensive Niederschläge, z. B. in der Nacht vom 26. zum 27. Juli im Bodenseegebiet. Im Großraum Bregenz in Vorarlberg fielen Niederschläge von über 100 mm innerhalb von 20 Stunden (Niederschlagsstation Bregenz: 130 mm vom 26.7 abends bis 27.7. mittags, Station Sulzberg 115 mm in 12 Stunden). Betroffen waren vor allem das Leiblachtal, die Gemeinden um den Pfänder, besonders Lochau, sowie der Vordere Bregenzerwald mit Murenabgängen und Überflutungen. Nachdem bereits am 18. Juni am Pegel **Unterhochsteg/Leiblach** ein Hochwasserscheitel der Jährlichkeit 100 Jahre registriert wurde, verursachten die Niederschläge am **27. Juli** erneut ein Hochwasser der Größenordnung **HQ100**. Im benachbarten Einzugsgebiet wurde am Pegel **Thal (Martinsbrücke)/Rotach** im Vorderen Bregenzerwald mit mehr als 200 m<sup>3</sup>/s ein Scheiteldurchfluss beobachtet, der höher als jener beim Pfingsthochwasser 1999 war. Er stellt den höchsten seit 1961 gemessenen Durchfluss dar und ist als ein **mehr als 100-jährliches** Ereignis einzuordnen. Am Pegel Lochau/Ruggbach wurde noch ein HQ10 beobachtet, im Einzugsgebiet der Bregenzerach HQ3-5.

Ausgehend von einem Italiertief kam es am **5./6. August** zuerst im Süden und Westen, später auch im Norden und Osten Österreichs zu intensiven Niederschlägen mit eingelagerten Gewittern. Im nördlichen Vorarlberg wurden großflächig zwischen 40 und 165 mm Regen vom 5. bis zum 6. August vormittags gemessen. Die höchste Niederschlagssumme wiesen die Messstellen Bödele mit 165 mm und Bregenz mit über 125 mm auf. In Dornbirn, Ebnit, Hard und Sibratsgfall wurden über 100 mm beobachtet. Die Auftrittswahrscheinlichkeit der Niederschläge lag im Bereich von einmal in 10 Jahren. An den Messstellen Enz an der Dornbirnerach und Schwarzach/Schwarzach lag die Hochwasserspitze über dem Wert eines 10-jährlichen Hochwassers und an der Messstelle **Hard/Lauterachbach** im Bereich eines **30-jährlichen** Hochwassers.

Am **6./7. August** verlagerte sich das Italiertief langsam nach Nordosten und brachte vom westlichen Oberösterreich bis zum Wienerwald teils ergiebige Regenfälle. In der Nacht vom

6. auf den 7. August fielen besonders in Niederösterreich flächig 60 mm und regional über 80 mm. Schwerpunkte waren die Bezirke Gmünd, Waidhofen/Thaya und Zwettl, Horn, Hollabrunn, Mistelbach, Melk, Krems, Tulln und Korneuburg mit den Fließgewässern Krems, Kamp, Taffa, Schmida, Göllersbach, Pulkau und Zaya. Die Hochwasserscheitel von Kremsfluss und Kamp lagen im Bereich HQ5-10. Entlang des Kamps kam es stellenweise zu Ausuferungen. Das Kamphochwasser wurde hauptsächlich durch den Zubringer **Taffa** hervorgerufen, die ein **HQ30** führte. Im Pulkautal fielen bis zu 80 l/m<sup>2</sup> Regen, bis zum Abend des **7. August** nochmals 40 l/m<sup>2</sup>. Die Gemeinden Rohrendorf bei Pulkau, Watzelsdorf und Zellerndorf wurden überflutet. Allein in Zellerndorf standen nach dem Austritt der Pulkau etwa 90 Häuser unter Wasser. Der Hochwasserscheitel der **Pulkau** am Pegel Pulkau entsprach einem **HQ100**. Im Bezirk Horn lag der Schwerpunkt in der Gemeinde Mold, wo die Bewohner von 20 Häusern die dritte und schwerste Überschwemmung innerhalb weniger Wochen erlebten. In Meiseldorf und in Stockern waren 15 Häuser betroffen, bei Stetteldorf am Wagram trat die **Schmida** über die Ufer. Das Hochwasser der Schmida wird als **HQ10-30** eingeordnet.

Wie bereits am 10./11. August gingen am Abend des **13. August** erneut schwere Unwetter im Osten Österreichs nieder, vor allem in Wien, im Burgenland und in Niederösterreich. Ursache war ein gewaltiger Gewitterkomplex, der sich südlich von Österreich gebildet hatte (ZAMG). Auf seinem Weg nach Norden intensivierte sich dieses Gewitter und sorgte schließlich vom südlichen Wiener Becken bis ins Weinviertel für Sturmböen und Starkregen. In **Wien** lagen die Schwerpunkte in den Bezirken Favoriten, Simmering und Meidling. Für 30 Minuten war der gesamte öffentliche Verkehr lahm gelegt und Straßen und Unterführungen überflutet. In Wien-Unterlaa regnete es in 10 Minuten 23 l/m<sup>2</sup>, ein vergleichbares Ereignis wurde hier zuletzt am 10. Juni 2002 gemessen, als es innerhalb von 10 Minuten 25 l/m<sup>2</sup> regnete (Quelle: ZAMG). Die Sturmböen erreichen im nordöstlichen Flachland Höchstgeschwindigkeiten zwischen 70 und knapp 100 km/h. Im innerstädtischen Einzugsgebiet der **Liesing** wurde an den Messstellen des Hydrographischen Dienstes Wien ein 30-minütiger Niederschlag registriert, der eine Eintrittswahrscheinlichkeit von einmal in 100 Jahren hat. So wurden an der Messstelle Gutheil-Schoder-Gasse in der Zeit von 20:56 bis 21:26 (Dauer 30 min) ca. 49 l/m<sup>2</sup> gemessen, an der Messstelle Zentralfriedhof zwischen 20:47 und 21:17 MEZ (Dauer 30 min) 45,6 l/m<sup>2</sup>. Diese Niederschläge ließen den Wasserstand der Liesing am **Pegel Oberlaa** auf 383 cm ansteigen. Der bisherige, seit Beobachtungsbeginn 1980 gemessene Höchstwert an diesem Pegel betrug 324 cm (05.05.2007). Nach der derzeitigen Auswertung ergibt sich ein Scheiteldurchfluss von 143 m<sup>3</sup>/s, der einem Ereignis mit einer statistischen Eintrittswahrscheinlichkeit von **mehr als 100 Jahren** entsprechen würde.

Im **Burgenland** waren die Bezirke Eisenstadt, Mattersburg und Oberpullendorf die Schwerpunkte des Unwettergeschehens. In Eisenstadt fielen von 21:00 bis 22:15 Uhr (75 min) 69 l/m<sup>2</sup> Regen, in Mattersburg 40 l/m<sup>2</sup> Regen in 1 Stunde. Soviel regnet es in der burgenländischen Landeshauptstadt normalerweise im gesamten August. Mit über 64 l/m<sup>2</sup> wurde an der seit 1993 bestehenden automatischen Wetterstation in Eisenstadt ein Rekordregenereignis registriert. Im Schnitt muss man mit derartigen Starkregenfällen im Mittel- und Nordburgenland etwa alle 25 bis 30 Jahre rechnen. Die Wulka führte Hochwasser und trat über die Ufer (s. Abb. 4). Schwerpunkte in **Niederösterreich** waren die Bezirke Gänserndorf, Wien Umland, Schwechat, Bruck/Leitha und Baden. In Gumpoldskirchen wurden mehr als 50 l/m<sup>2</sup> Regen gemessen.

In der Nacht vom **14. auf den 15. August** kam es zwischen Osttirol und dem Nordburgenland wiederum zu heftigen Gewittern und ergiebigem Regen. In den Karnischen Alpen fielen knapp 100 l/m<sup>2</sup>, im **Tiroler Ötztal** bis zu 50 l/m<sup>2</sup>. Die Öztaler Ache trat zwischen Umhausen und Tumpen über die Ufer. An den Pegeln des Hydrographischen Dienstes wurden 10-jährliche Hochwasserscheitel beobachtet. Neuerlich stark betroffen war das Gebiet um **Eisenstadt**. Dort fielen von 1:30 bis 4:00 Uhr 40 l/m<sup>2</sup> Regen und im Bereich Mattersburg ca. 60 l/m<sup>2</sup> Regen in 20 Minuten. Auf Grund der hohen Vorbefeuchtung trat die Wulka zum zweiten Mal innerhalb von 2 Tagen im Raum Wulkaprodersdorf über die Ufer (Abb. 4).

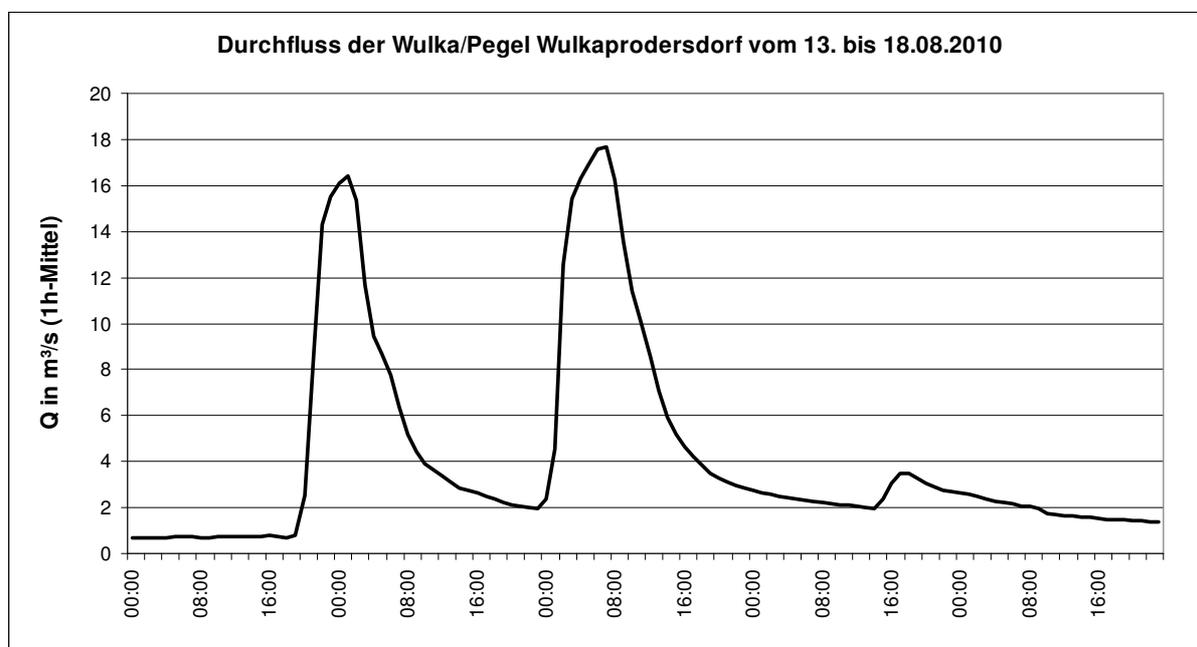


Abbildung 4: Durchflussganglinie der Wulka/Pegel Wulkaprodersdorf, 13.-18. August 2010

Auch in der Wechselregion, in der Ost- und Südoststeiermark wurden stellenweise Niederschlagsmengen von über 50 l/m<sup>2</sup> binnen kurzer Zeit gemessen, z. B. in Weiz 85 l/m<sup>2</sup> in 1 Stunde. Vor allem Gewässer in den Bezirken Weiz, Hartberg und Leibnitz reagierten mit Hochwasserscheiteln von verbreitet HQ1-5 sowie **HQ30** am Pegel **Pöllau/Safen**, **HQ30-40** am Pegel **Rheinbergwiesen/Voraubach** und **>HQ100** (187 m<sup>3</sup>/s) am **Pegel Rohrbach/Lafnitz**. An der burgenländischen Lafnitz wurde unterhalb der Einmündung des Safenbachs ein Durchfluss von 250 m<sup>3</sup>/s, das entspricht HQ10, gemessen. Durch die Retention wurde die Hochwasserspitze bis auf 165 m<sup>3</sup>/s in Heiligenkreuz reduziert.

Nach mehreren Tagen mit Unwettern ließen anhaltende Regenfälle vom 27. bis 31. August nochmals die Wasserführungen besonders in Westösterreich über die Hochwassermarken ansteigen. Der markante Kaltlufteinbruch am 30./31. August mit tief liegender Schneefallgrenze verhinderte jedoch eine stärkere Hochwasserentwicklung.

Ergiebige Regenmengen fielen im Zusammenhang mit einer Warmfront am **17./18. September** im Süden Österreichs von Osttirol bis ins Südburgenland. Verbreitet wurden im südlichen Kärnten und in den angrenzenden Teilen der Steiermark in Summe um 100 l/m<sup>2</sup> gemessen. Der Dauerregen führte vor allem in Unterkärnten an Glan und Vellach zu Hochwasserscheiteln im Bereich HQ1-5.

Eine Kaltfront sowie ein Tief über dem Golf von Genua brachten am **25./26. September** intensive Niederschläge. In Vorarlberg fielen im Bodenseeraum bis zu 115 l/m<sup>2</sup>, dabei allein in 24 h bis zu 90 l/m<sup>2</sup>. Die Regenmengen in Kärnten betragen bis zu 75 l/m<sup>2</sup>. Auch das Tullnerfeld mit 64 l/m<sup>2</sup> und Wien mit 56 l/m<sup>2</sup> in 24 h erhielten erhebliche Mengen an Niederschlag. Derartige Starkregenfälle treten im Tullnerfeld Ende September durchschnittlich nur alle 50 Jahre auf, in Wien sind Regenmengen um 50 l/m<sup>2</sup> Ende September etwa alle 25 Jahre zu beobachten (ZAMG).

### ***Quellen bzw. Links***

**HZB - Hydrographisches Zentralbureau (1911):** Die Wetterkatastrophen und Hochwässer des Sommers 1910 in Österreich. In: Österr. Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst. XVII. Jg., Teil 1: Heft 23, S. 371-380, Teil 2: Heft 24, S. 387-398, Wien 1911

**HZB - Hydrographisches Zentralbureau (1913a):** Jahrbuch des Hydrographischen Zentralbureaus im k. k. Ministerium für öffentliche Arbeiten. XVIII. Jahrgang. 1910. Teil VI. Das Rhein-Gebiet. Wien 1913

**HZB - Hydrographisches Zentralbureau (1913b):** Der Wasserhaushalt des Bodensees. Beiträge zur Hydrographie Österreichs, XI. Heft, herausgegeben vom Hydrographischen Zentralbureau im k. k. Ministerium für öffentliche Arbeiten, Wien 1913

**Amt der Vorarlberger LR (2010):** Veranstaltung 100 Jahre Hochwasser 1910  
[http://www.vorarlberg.at/vorarlberg/wasser\\_energie/wasser/wasserwirtschaft/weitereinformationen/schutzwasserbauundgewaess/100jahrehochwasser1910.htm](http://www.vorarlberg.at/vorarlberg/wasser_energie/wasser/wasserwirtschaft/weitereinformationen/schutzwasserbauundgewaess/100jahrehochwasser1910.htm)

**Amt der Vorarlberger LR (2005):** Das Starkregen- und Hochwasserereignis des August 2005 in Vorarlberg. Bericht. Amt der Vorarlberger LR, 2005  
<http://www.vorarlberg.gv.at/pdf/naturereignisdokumentatio.pdf>

**BMLFUW (2005):** Das Hochwasser in Österreich vom 21. bis 25. August 2005. Beschreibung der hydrologischen Situation. Ereignisdokumentation, BMLFUW, Abt. VII/3 Wasserhaushalt, Wien, 2005

**Weitere Links zum Hochwasser 1910:**

<http://www.vorarlberg.gv.at/pdf/vv76anhochwasser.pdf>

[http://www.seespiegel.de/html/archiv/Artikel/Nummer31/0610\\_005.htm](http://www.seespiegel.de/html/archiv/Artikel/Nummer31/0610_005.htm)

<http://www.alpenrhein.net/Hochwasserschutz/tabid/52/Hochwasserschutz/HochwasserschutzFortsetzung/tabid/196/Default.aspx>

<http://www.feldkirch.at/rathaus/archiv/dateien/feldkirch-und-die-ill.pdf>

[http://wiki.imwalgau.at/wiki/images/Wasserkatastrophe\\_in\\_Vorarlberg\\_1910.pdf](http://wiki.imwalgau.at/wiki/images/Wasserkatastrophe_in_Vorarlberg_1910.pdf)

**Aktuelle Situations- und Monatsberichte:**

**BMLFUW, Abt. VII/3 Wasserhaushalt:** Hydrologische Monats- und Situationsberichte  
[http://www.lebensministerium.at/wasser/wasser-oesterreich/wasserkreislauf/hydrograph\\_charakt\\_extrema.html](http://www.lebensministerium.at/wasser/wasser-oesterreich/wasserkreislauf/hydrograph_charakt_extrema.html)

**Hydrographische Landesdienste:** Hydrologische Monats- und Situationsberichte

Vorarlberg: [http://www.vorarlberg.at/vorarlberg/wasser\\_energie/wasser/wasserwirtschaft/start.htm](http://www.vorarlberg.at/vorarlberg/wasser_energie/wasser/wasserwirtschaft/start.htm)

Tirol: <http://www.tirol.gv.at/buerger/umwelt/wasser/wasserkreislauf/hydrologische-uebersichten/>

Steiermark: <http://www.wasserwirtschaft.steiermark.at/cms/ziel/4653461/DE/>

Oberösterreich: [http://www2.land-oberoesterreich.gv.at/internethydro/Monat/Start.jsp?SessionID=SID-1194ADFE-4336A79E&xmlid=was\\_internethydro\\_Monat\\_DEU\\_HTML.htm](http://www2.land-oberoesterreich.gv.at/internethydro/Monat/Start.jsp?SessionID=SID-1194ADFE-4336A79E&xmlid=was_internethydro_Monat_DEU_HTML.htm)

**ZAMG:** Monatscharakteristik, Unwetterberichte u.a.

<http://www.zamg.ac.at/>

[http://www.zamg.ac.at/klima/klima\\_monat/wetterrueckblick/](http://www.zamg.ac.at/klima/klima_monat/wetterrueckblick/)

## **Österreichische Gesellschaft für Hydrologie – Überblick über die Aktivitäten im Zeitraum 2009 - 2011**

G. Müller

Über die Aktivitäten der Österreichischen Gesellschaft für Hydrologie (ÖGH) bis Ende Oktober **2009** informierte Heft 86 des Mitteilungsblattes des Hydrographischen Dienstes in Österreich.

Am **26.11.2009** fand die Generalversammlung der Gesellschaft für das Jahr 2009 statt. Zu Beginn hielt Prof. Dr. Bruno **Merz** (Helmholtz-Zentrum Potsdam) einen Vortrag zum Thema „Instationaritäten und Unsicherheiten bei der Hochwasser-Risikoabschätzung“.

Nach der Annahme des Protokolls der vorjährigen Generalversammlung gab Univ.Prof. DI Dr. Günter Blöschl in seiner Funktion als organisatorisch-wissenschaftlicher Vorstandsbeirat einen Rechenschaftsbericht über die Aktivitäten der Gesellschaft im Jahr 2009. Folgende Veranstaltungen bzw. Vorträge wurden organisiert (siehe dazu auch Bericht im Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich, Heft 86, November 2009):

- 27.05.2009 Vortrag „Oberflächenwasser-Grundwasser-Interaktionen in semi-ariden Gebieten und zukünftige Herausforderungen in Anbetracht des Klimawandels“ von Prof. Stefan **Uhlenbrook**, UNESCO-IHE Delft, Niederlande
- 23.06.2009 Exkursion zur Betriebsgesellschaft Marchfeldkanal
- 29.10.2009 Vortrag „VERA – ein universelles Werkzeug zum meteorologischen Monitoring und Nowcasting in komplexem Gelände“ von Prof. Dr. Reinhold **Steinacker**, Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Wien
- 26.11.2009 4. Veranstaltung der Vortragsreihe „Junge Hydrologie Österreichs“
  - Gerhard **Klasz** (Ingenieurbüro Klasz, Wien): „Quantifizierende Flussmorphologie auf Basis der Hydraulic-Geometry-Ansätze“
  - DI Karlhans **Ogertschnig** (Verbund-AHP): „Plausibilitätsprüfung des abgekürzten Verfahrens entsprechend des Leitfadens zum Nachweis der Hochwassersicherheit von Talsperren für kleine Einzugsgebiete mit Hilfe einer Niederschlag-Abfluss-Modellierung“
  - DI Alexander **Eder** (BAW, Inst. für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen): „Abflusskomponentenermittlung im Einzugsgebiet Seitengraben-Petzenkirchen mittels Isotopenuntersuchungen“
- 26.11.2009 Generalversammlung; Vortrag „Instationaritäten und Unsicherheiten bei der Hochwasser-Risikoabschätzung“ von Prof. Dr. Bruno **Merz**, Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutschland

Im Jahr 2009 wurde die **Homepage der ÖGH** neu gestaltet und ist seit dem 26.11.2009 freigeschaltet: [www.oegh.ac.at](http://www.oegh.ac.at).

Am **11.11.2010** fand die Generalversammlung der ÖGH für das Jahr **2010** statt. Zu Beginn hielt Prof. Mitja **Brilly**, Universität Ljubljana, einen Vortrag zum Thema „Recent development of hydrology in Slovenia“.

Der organisatorisch-wissenschaftliche Vorstandsbeirat Univ.Prof. DI Dr. Günter Blöschl berichtete über die Aktivitäten der Gesellschaft im Jahr 2010:

- 26.01.2010      Vortrag „Flussrevitalisierung – komplexe hydrologische und ökologische Veränderungen: das RECORD-Projekt“ von Prof. Dr. Mario **Schirmer**, EAWAG Zürich, Schweiz
- 08./09.06.2010    „Hydrologie und Bodenkunde – vom Punkt zur Fläche“
- Gemeinsame Tagung der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft (ÖBG) und der Österreichischen Gesellschaft für Hydrologie (ÖGH)
- Gemeinsame Exkursion „Marchfeld“ der ÖBG und ÖGH: Der Boden als wichtigstes Bindeglied im kontinentalen Wasseraustausch
- 11.11. 2010      5. Veranstaltung der Vortragsreihe „Junge Hydrologie Österreichs“
- Gernot **Klammler** (Joanneum Research): Numerische Modellierung von Grundwasserneubildung und Nitratauswaschung
  - Clemens **Neuhold** (Universität für Bodenkultur): Hochwasserrisikobeurteilung und Unsicherheit: Welchen Einfluss hat die Berücksichtigung von zusätzlichen Prozessen im Vergleich zum „Stand der Technik“?
  - Georg **Puchner** (Pöyry Energy GmbH): Numerische Sedimenttransportuntersuchungen – Beispiele aus der Ingenieurspraxis
  - DI Magdalena Rogger (TU Wien): Versuch der Synthese der Niederschlag-Abfluss-Modellierung und Hochwasserstatistik
- 11.11.2010      Generalversammlung; Vortrag „Recent development of hydrology in Slovenia“ von Prof. Dr. Mitja **Brilly**, Universität Ljubljana, Hydrology and Hydraulic Engineering

Zur gemeinsamen Tagung „Hydrologie und Bodenkunde – vom Punkt zur Fläche“ der Österreichischen Gesellschaft für Hydrologie (ÖGH) und der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft (ÖBG) enthält dieses Heft einen ausführlicheren Bericht (siehe unter Berichte und Mitteilungen). Weitere Informationen sind auch der Homepage der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft zu entnehmen: <http://oebg.boku.ac.at>.

Im **Jahr 2011** fanden bisher folgende Veranstaltungen statt:

- 24./25.03.2011 Beteiligung der ÖGH am „Tag der Hydrologie“, einer jährlich stattfindenden Tagung des Hauptausschusses Hydrologie und Wasserbewirtschaftung des DWA (ehemals DVWK) und der Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften; Die Tagung wurde von der TU Wien organisiert und fand damit zum ersten Mal außerhalb Deutschlands statt. <http://tdh2011.hydro.tuwien.ac.at/tdh/index.php?id=2>
- 28.04.2011 Vortrag „Hydrogeologische Forschung Stadtgebiet Wien“ von Dr. Sabine **Grupe**, Wiener Gewässer Management (WGM); <http://www.wgm.wien.at/Hydrogeologische-Forschung.17.0.html>
- 16.06.2011 Vortrag „Hydrologie Schweiz: von der Strategie zur Umsetzung, vom Messwert zur Warnung“ von Dr. Dominique **Bérod**, Leiter der Abteilung Hydrologie im Bundesamt für Umwelt BAFU der Schweiz; <http://www.bafu.admin.ch/hydrologie/>

Alle Mitglieder sind eingeladen, sich über die neue Homepage über die Aktivitäten der ÖGH zu informieren und auch hydrologisch relevante Artikel, Termine und Informationen an die Administration der Homepage zu senden: E-mail: [wasserhaushalt@bmlfuw.gv.at](mailto:wasserhaushalt@bmlfuw.gv.at).

## ***Gemeinsame Tagung der Österreichischen Gesellschaft für Hydrologie und der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft***

R. Godina und N. Emerstorfer

Am 08./09.Juni 2010 fand eine gemeinsame Tagung „Hydrologie und Bodenkunde – vom Punkt zur Fläche“ der Österreichischen Gesellschaft für Hydrologie (ÖGH) und der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft (ÖBG) statt.

Im Kreislauf des Wassers kommt dem Boden eine wesentliche Rolle zu. Seine Speicher- und Leitfähigkeit entscheidet maßgeblich darüber, welcher Anteil des Niederschlags oberflächlich abfließt, wie viel Wasser in den Boden infiltriert und damit für die Versorgung der Pflanzen, für die Grundwasserneubildung, aber auch für die Verdunstung zur Verfügung steht. Durch seine Filterfunktion gewährleistet der Boden eine entsprechende Grundwasserqualität. Umgekehrt ist auch das Wasser für zahlreiche Bodenfunktionen von Bedeutung. Nicht nur die Produktionsfunktion, auch die Transformationsprozesse sowie der Stofftransport werden durch die Bodenfeuchte (das Bodenwasser) beeinflusst.

In den letzten Jahren wurden sowohl von Hydrologen als auch von Bodenforschern vermehrt Themenbereiche aufgegriffen, in deren Mittelpunkt die Wechselwirkungen von Boden und

Wasser standen. In einer ersten gemeinsamen Tagung der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft und der Österreichischen Gesellschaft für Hydrologie wurden die Methoden der jeweiligen Fachgebiete vorgestellt, um gemeinsam Integrationsansätze zu erarbeiten.

Sowohl das Prozessverständnis für die Wasserbewegung am und im Boden als auch die Retentionsmöglichkeiten für Stoffe wurde erläutert und diskutiert. Am Ende der Veranstaltung konnten Vorschläge zur Entwicklung eines „hydrologischen Bodenatlas“ entwickelt werden. In allen Fällen stand die Möglichkeit des Transfers von Punkt- zu Flächendaten im Mittelpunkt.

Die Veranstaltung, an der 90 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 4 Nationen teilnahmen, umfasste Beiträge namhafter nationaler und internationaler Experten, eine Exkursion ins Marchfeld und einen Workshop, dessen Ergebnisse die Basis für gemeinsame Arbeiten und Projekte bilden soll.

### ***Gemeinsame Exkursion ins Marchfeld***

Im Rahmen der Tagung „Hydrologie und Bodenkunde – vom Punkt zur Fläche“, organisiert von der Abteilung VII/3 Wasserhaushalt im Lebensministerium, der Österreichischen Gesellschaft für Hydrologie (ÖGH) und der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft (ÖBK), wurde am 9. Juni 2010 eine Exkursion ins Marchfeld veranstaltet.

Ziel der Exkursion war es, Diskussionen der Vortragenden und der ExkursionsteilnehmerInnen an den Exkursionsstandorten anzuregen und sich nicht nur mit den Prozessen des Wassers im und an der Oberfläche des Bodens auseinanderzusetzen, sondern auch zu überlegen, wie für eine bestimmte Situation das Upscaling auf die Einzugsgebietsebene umgelegt werden kann.

Bereits auf der Busfahrt zum ersten Exkursionsziel in den Nationalpark Donauauen, Orth an der Donau, erhielten die TeilnehmerInnen neben den ausgehändigten Exkursionsunterlagen eine aufschlussreiche Einführung von den Referenten zu den klimatischen Gegebenheiten und Bewässerungsformen des Marchfeldes sowie zum Marchfeldkanal-System. Zusätzlich wurde auch die Geologie des Wiener Beckens und des Marchfeldes sowie die Niederterrasse und die Au vorgestellt.

In Orth an der Donau angekommen, wurde das Bodenprofil in einem vorab gegrabenen Schurf genau analysiert. Die Experten nahmen gemeinsam mit den ExkursionsteilnehmerInnen die Profilbeschreibung des Bodens vor. Bei dem untersuchten Boden handelte es sich um einen trockenengefallenen karbonathaltigen Auboden.



*Abbildung 1: Bodenprofil im Auwald bei Orth an der Donau*

Nach der Bodenansprache wurde die Fahrt durch das Marchfeld nach Fuchsenbigl, dem nächsten Exkursionsziel, fortgesetzt. Auch hier wurden allgemeine Standortmerkmale sowie Klimadaten erläutert, bevor es zur einzelnen Horizontbeschreibung des Profils kam. An diesem Standort war die Ansprache gemäß ÖBK ein karbonathaltiger Tschernosemboden, der aus einer Feuchtschwarzerde hervorgegangen ist.



*Abbildung 2: Bodenprofil Fuchsenbigl*

Der letzte Exkursionsstopp wurde in Mistelbach an der Erosionsmessstelle eingelegt, wo schon seit 1994 in einem Feldversuch die Auswirkungen unterschiedlicher Bodenbearbeitungsverfahren auf Bodenerosion und Oberflächenabfluss, auf die oberflächliche Verlagerung von Nährstoffen und Pestiziden sowie auf den Pflanzenertrag untersucht werden. Zusätzlich werden mögliche Veränderungen wesentlicher bodenphysikalischer Kennwerte analysiert.

Langjährige Untersuchungen an der Erosionsmessstelle zeigten, dass eine bodenschonende Bearbeitung und Direktsaat in Kombination mit einer Wintergründercke sehr effiziente Maßnahmen zur Verminderung der Bodenerosion darstellen. Die damit erzielte Reduzierung von Nährstoff- und Pflanzenschutzmittelausträgen aus ackerbaulichen Flächen erhöht die Bodenqualität und vermindert umweltrelevante Probleme wie etwa die Beeinträchtigung der Güte von Oberflächengewässern.



*Abbildung 3: linkes Foto - Besuch der Erosionsmessanlage Mistelbach, rechtes Foto - Messhütte in Mistelbach mit elektronischer Datenerfassung*



*Abbildung 4: Bodenansprache an der Erosionsmessstelle Mistelbach*

Den Abschluss der Exkursion bildete ein gemütlicher Heurigenbesuch in der landwirtschaftlichen Schule in Mistelbach, wo neben Produkten aus der Region auch zu einer Weinverkostung eingeladen wurde.



*Abbildung 5: Geselliger Heurigenbesuch als gelungener Exkursionsabschluss*

Ein großes Dankeschön gebührt dem Organisationskomitee der Tagung, das die Exkursion hervorragend organisiert hat, und den Referenten, die den ExkursionsteilnehmerInnen einen ausgezeichneten Einblick in die wasserwirtschaftlichen Fakten des Exkursionsgebietes, der Geologie, der Bodenprofile im Marchfeld und der Untersuchung der Bodenerosion an Hanglagen am Standort Mistelbach vermittelt.

Links: <http://oebg.boku.ac.at> ; <http://www.oegh.ac.at>

## ***Personalia der Hydrographischen Dienststellen***

### **Abteilung VII/3 – Wasserhaushalt:**

Mit 1. April 2011 ist Frau Maria **Hofmann** in den Ruhestand getreten. Die Arbeit von Frau Hofmann – Drucksorten- und Publikationsversendung - wird im Wesentlichen von Frau Elisabeth **Holzhammer** weiter geführt.

### **Amt der Burgenländischen Landesregierung:**

#### **Abteilung 9 – Wasser- und Abfallwirtschaft, Hydrographischer Dienst**

Seit 1. Dezember 2009 befindet sich Herr FOI Ignaz **Schütz** (NLV) im Ruhestand, seine Tätigkeit wurde von FOI Karl **Kladler** übernommen (vorher UWQ). Mit 1. Juli 2010 trat Herr Patrick **Binder** den Dienst bei der Hydrographie an und übernahm den Tätigkeitsbereich von FOI Kladler im Bereich UWQ. Seit 14. Juni 2011 verstärkt Herr OAR Ing. Gerhard **Heiss** das Team der Hydrographie. Er wird die Leitung des Sachgebietes UWQ inkl. der Finanzgebarung der Hydrographie von OAR Werner **Szivatz** übernehmen, der in den nächsten Monaten in den Ruhestand treten wird.

### **Amt der Kärntner Landesregierung:**

#### **Abteilung 8 – Kompetenzzentrum Umwelt, Wasser und Naturschutz, Unterabteilung Wasserwirtschaft, Sachgebiet Hydrographie**

Mit der Verwaltungsreform 2011 wurden in Kärnten 10 Verwaltungs-Kompetenzzentren geschaffen. Die Hydrographie ist nun ein Sachgebiet in der Unterabteilung Wasserwirtschaft der Abt. 8 – Kompetenzzentrum Umwelt, Wasser und Naturschutz. In weiterer Folge ist geplant, die Gewässergüte und die Hydrographie zu einer Unterabteilung mit der Bezeichnung „Umweltmonitoring und Hydrographie“ zu verschmelzen.

### **Amt der Niederösterreichischen Landesregierung:**

#### **Abteilung Hydrologie und Geoinformation (BD3)**

Mit Beschluss der NÖ Landesregierung von 26. Jänner 2010 (Änderung der Geschäftseinteilung) wurden die ehemaligen Abteilungen Hydrologie (WA5) sowie Vermessung und Geoinformation (BD5) zur neuen Abteilung **Hydrologie und Geoinformation** (BD3) zusammengeführt. Durch diese Zusammenlegung ist keine Veränderung der Verantwortlichkeiten bzw. der Arbeitsverteilung im Hydrographischen Dienst (Referate NLV, OWF und UWQ) eingetreten.

Herr Dipl.-Ing. Alfred **Gaismayer** (Abteilungsleiter-Stellvertreter und Sachverständiger für Oberflächenhydrologie) ist mit Wirksamkeit von 1. September 2010 in den Ruhestand getreten. Die Nachbesetzung des Dienstpostens mit Frau Dipl.-Ing. Bianca **Kahl** mit 7. Juni 2010 konnte zeitübergreifend vorgenommen und dadurch eine Kontinuität in der Bearbeitung sichergestellt werden.

Aus Anlass der Funktionsniederlegung durch Dipl.-Ing. Michael Pregesbauer wurde Mag. Christoph **Urbanek** mit Wirksamkeit vom 22. Oktober 2010 zum stellvertretenden Leiter der Abteilung Hydrologie und Geoinformation ernannt.

Frau Ernestine **Gleiss** (Sachbearbeiterin UWQ) hat am 1. Mai 2011 eine Tätigkeit in einem anderen Bereich aufgenommen, ihre Aufgaben werden seither von Herrn Markus **Pichler** (bislang Sachbearbeiter OWF) wahrgenommen. Frau Erika **Schneider** (Sachbearbeiterin Kreditverwaltung) nahm am 1. Juli 2011 ebenfalls eine Tätigkeit in einem anderen Bereich auf. Ihre Funktionen wurden abteilungsintern von Frau Karina **Schmirrl** (bislang Sachbearbeiterin für Kreditverwaltung im Bereich Vermessungswesen und Geoinformation) übernommen.

#### **Amt der Oberösterreichischen Landesregierung:**

##### **Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung Oberflächengewässerswirtschaft, Gruppe Hydrographie**

Die Abteilung Oberflächengewässerswirtschaft wurde im Jahr 2010 neu organisiert. Das bisherige Referat „Hydrographischer Dienst“ in der Gruppe Schutzwasserwirtschaft und Hydrographie ist nunmehr eine eigene Gruppe.

Das Rechnungswesen wird seit etwa einem Jahr zentral von einer anderen Abteilung wahrgenommen. Frau Sonja **Rechberger** arbeitet seither in dieser zentralen Servicegruppe.

Der Lawinenwarndienst wird in Oberösterreich weiterhin in der Gruppe Hydrographie wahrgenommen.

#### **Amt der Salzburger Landesregierung:**

##### **Fachabteilung 4/3 Wasserwirtschaft, Referat 4/33 - Hydrographischer Dienst**

Mit Wirkung vom 1. Jänner 2011 wurde das Referat 5/01 Wasserrecht, das ursprünglich in der mit Jahresende 2010 aufgelösten Abteilung 5 angesiedelt war, in das Referat 4/01 Allgemeine Rechtsangelegenheiten in der Abteilung 4 Lebensgrundlagen und Energie eingegliedert und damit wieder eine wesentlich stärkere Verbindung zur Fachabteilung 4/3 Wasserwirtschaft hergestellt.

Das Referat Hydrographischer Dienst wurde im Zuge einer Umstrukturierung innerhalb der Abteilung 4 in „Referat 4/33“ umbenannt. Mit dem Referat 4/34 Gewässerschutz wurden Maßnahmen zur Nutzung von Synergien im Bereich Quellbeobachtungen und Restwassermessungen vereinbart.

Dipl. Ing. Harald **Huemer** wurde per 1. Juli 2011 mit der Funktion eines Sachverständigen/Experten für Grundwasser/Niederschlag betraut.

#### **Amt der Steiermärkischen Landesregierung:**

##### **Fachabteilung 19 A Wasserwirtschaftliche Planung und Siedlungswasserwirtschaft, Referat Hydrographie**

Herr Hans Jörg **Holzer** trat am 1. März 2010 seinen Dienst bei der Hydrographie an. Herr Gerald **Hochl** ist mit 31. August 2010 in den Ruhestand getreten. Seit Mai 2011 befinden sich auch Frau Monika **Koller** und Herr Werner **Grießler** (beide UWQ) im Ruhestand.

#### **Amt der Tiroler Landesregierung:**

##### **Gruppe Bau und Technik, Abteilung Wasserwirtschaft, Sachgebiet Hydrographie und Hydrologie**

Mit Juli 2010 hat Frau Melanie **Kraler** ihre 1-jährige Tätigkeit als Verwaltungspraktikantin beim Hydrographischen Dienst beendet. Seit Jänner 2011 ist Frau Elke **Rimml** im Sachgebiet OWF tätig.

#### **Amt der Vorarlberger Landesregierung:**

##### **Abteilung VIId Wasserwirtschaft, Fachbereich Informationswirtschaft und Hydrographie**

Frau Karin **Bundschuh** hat in der Abteilung Wasserwirtschaft mit Jahresanfang 2011 eine andere Aufgabe übernommen. Ihre Aufgaben in den Sachgebieten OWF und NLV hat mit 1. Jänner 2011 Frau Gabriele **Nenning** übernommen.

#### **via donau – Österreichische Wasserstraßen GmbH**

Seit 1. Jänner 2011 ist Herr DI **Hubmann** im Team Hydrologie tätig.

## ***Verzeichnis der staatlichen Hydrographischen Dienststellen***

### **Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft**

Abteilung VII/3 – Wasserhaushalt

Marxergasse 2, A-1030 Wien

Tel.: 01/71100/Kl., Fax: 01/71100/6851

URL: <http://www.lebensministerium.at/wasser/>

### **Amt der Burgenländischen Landesregierung, Abt. 9 – Wasser- und Abfallwirtschaft**

Hydrographischer Dienst

Thomas-Alva-Edison-Straße 2, A-7000 Eisenstadt

Postanschrift: Landhaus-Neu, Europaplatz 1, A-7000 Eisenstadt

Tel.: 02682/600/Kl., Fax: 02682/600/6633

### **Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 8 – Kompetenzzentrum Umwelt, Wasser und Naturschutz, Unterabteilung Wasserwirtschaft**

Sachgebiet Hydrographie

Flatschacher Straße 70, A-9020 Klagenfurt

Tel.: 0463/536/Kl., Fax: 0463/536/18300

URL <http://www.wasser.ktn.gv.at/>

### **Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Abteilung Hydrologie und Geoinformation (BD 3)**

Landhausplatz 1, A-3100 St. Pölten

Tel.: 02742/9005/Kl., Fax: 02742/9005/13040

URL: <http://www.noel.gv.at/Umwelt/Wasser.htm>

### **Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung Oberflächengewässerwirtschaft**

Gruppe Hydrographie

Kärntner Straße 12, A-4020 Linz

Tel.: 0732/7720/Kl., Fax: 0732/7720/12411

URL: [http://www.land-oberoesterreich.gv.at/cps/rde/xchg/SID-3DCFCFC3-4D950C44/ooe/hs.xsl/667\\_DEU\\_HTML.htm](http://www.land-oberoesterreich.gv.at/cps/rde/xchg/SID-3DCFCFC3-4D950C44/ooe/hs.xsl/667_DEU_HTML.htm)

**Amt der Salzburger Landesregierung, Fachabteilung 4/3 Wasserwirtschaft**

Referat 4/33 Hydrographischer Dienst

Michael-Pacher-Straße 36, A-5020 Salzburg

Tel.: 0662/8042/Kl., Fax: 0662/8042/4199

URL: <http://www.salzburg.gv.at/themen/nuw/wassererangelegenheiten.htm>

**Amt der Steiermärkischen Landesregierung: Fachabteilung 19A Wasserwirtschaftliche Planung und Siedlungswasserwirtschaft**

Referat Hydrographie

Postfach 630, Stempfergasse 7, A-8010 Graz

Tel.: 0316/877/Kl., Fax: 0316/877/2116

URL: <http://www.verwaltung.steiermark.at/cms/ziel/9394/DE/>

**Amt der Tiroler Landesregierung, Gruppe Bau und Technik, Abt. Wasserwirtschaft**

Sachgebiet Hydrographie und Hydrologie

Herrengasse 1 - 3/II, A-6010 Innsbruck

Tel.: 0512/508/Kl., Fax: 0512/508/4205

URL: <http://www.tirol.gv.at/themen/umwelt/wasser>

**Amt der Vorarlberger Landesregierung – Abt. VIId Wasserwirtschaft**

Fachbereich Informationswirtschaft und Hydrographie

Josef-Huter-Straße 35, A-6901 Bregenz

Tel.: 05574/511/Kl., Fax: 05574/511/927495

URL: [http://www.vorarlberg.at/vorarlberg/wasser\\_energie/wasser/wasserwirtschaft/start.htm](http://www.vorarlberg.at/vorarlberg/wasser_energie/wasser/wasserwirtschaft/start.htm)

**Magistrat der Stadt Wien, MA 45 – Wiener Gewässer**

Gruppe Wasserwirtschaftliche Planung und Hydrologie

Wilhelminenstraße 93, A-1160 Wien

Tel.: 01/4000/Kl., Fax: 01/4000/9996510

URL: <http://www.wien.gv.at/umwelt/wasserbau/>

**via donau – Österreichische Wasserstraßen-Gesellschaft**

Team Hydrologie

Am Brigittenauer Sporn 7, A-1200 Wien

Tel.: 0504321/Kl., Fax: 054621 2050

URL: <http://www.via-donau.org/>

## **Hinweise der Redaktion**

Vor Übermittlung von Originalarbeit-Manuskripten ist mit der Redaktion Kontakt aufzunehmen.

Die „formalen Vorgaben“ für die Veröffentlichung im „Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes“ werden nach Kontaktaufnahme übermittelt.

Die Redaktion behält sich vor, unverlangt eingesandte Manuskripte anzunehmen oder ohne Angabe von Gründen abzulehnen.

Grundsätzlich dürfen nur Beiträge eingesandt werden, die nicht gleichzeitig an anderer Stelle zur Veröffentlichung eingereicht oder bereits veröffentlicht worden sind. Der Autor verpflichtet sich, seinen im „Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes“ veröffentlichten Beitrag auch nachträglich nicht an anderer Stelle zu publizieren.

Für den Inhalt der Beiträge sind die Verfasser allein verantwortlich.