

Entwicklung einer Methodik zur Analyse des Einflusses von dezentralen Hochwasserrückhaltemaßnahmen auf den Abfluss des Rheins

Development of Methodologies for the Analysis of the Influence of Flood Reduction Measures in the Rhine Basin on Reference Floods

Bericht Nr. I-21 der KHR Report no I-21 of the CHR



Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz
Federal Institute of Hydrology, Coblence



Institute for Inland Water Management and Irrigation (RIZA), Arnhem



Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zurich
Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich



Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)



Universität Trier (Fachbereich Klimatologie und Umweltwissenschaften)
University of Trier (Department of Climatology and Environmental Sciences)



IHP/HWRP-Sekretariat, Koblenz
IHP/HWRP Secretariat, Coblence



Secretariaat CHR/KHR
Zuiderwagenplein 2

Postbus 17
8200 AA Lelystad
Niederlande/Pays-Bas



Entwicklung einer Methodik zur Analyse des Einflusses von dezentralen Hochwasserrückhaltemaßnahmen auf den Abfluss des Rheins

Development of Methodologies for the Analysis of the Influence of Flood Reduction Measures in the Rhine Basin on Reference Floods

Bericht Nr. I-21 der KHR Report no I-21 of the CHR



Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz
Federal Institute of Hydrology, Coblence



Institute for Inland Water Management and Irrigation (RIZA), Arnhem



Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zurich
Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich



Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)



Universität Trier (Fachbereich Klimatologie und Umweltwissenschaften)
University of Trier (Department of Climatology and Environmental Sciences)



IHP/HWRP-Sekretariat, Koblenz
IHP/HWRP Secretariat, Coblence



Secretariaat CHR/KHR
Zuiderwagenplein 2

Postbus 17
8200 AA Lelystad
Niederlande/Pays-Bas



**Entwicklung einer Methodik zur Analyse des Einflusses
dezentraler Hochwasserrückhaltmaßnahmen auf den
Abfluss des Rheins**

**Development of Methodologies for the Analysis of the Efficiency of Flood
Reduction Measures in the Rhine Basin on the Basis of Reference Floods**

Projektleitung / Project management

Peter Krahe¹⁾

Projektbearbeitung / Project execution

Dorothe Herpertz¹⁾, Peter Krahe¹⁾, Mailin Eberle¹⁾, Norbert Busch¹⁾,
Hendrik Buiteveld²⁾, Felix Naef³⁾, Alfred Helbig⁴⁾, Jules Beersma⁵⁾

Auftragsarbeit / Remittance work

geomer GmbH, Heidelberg

Übersetzung / Translation

IHP/HWRP-Sekretariat / IHP/HWRP Secretariate



¹⁾Bundesanstalt für
Gewässerkunde (BfG),
Koblenz
Federal Institute of
Hydrology, Coblenz



²⁾Institute for Inland Water
Management and Waste
Water Treatment (RIZA),
Arnhem



³⁾Eidgenössische
Technische Hochschule
(ETH) Zürich
Swiss Federal Institute of
Technology (ETH) Zurich



⁴⁾Universität Trier
(Fachbereich Klimatologie)
University of Trier
(Department of Climatology)



⁵⁾Royal Netherlands
Meteorological Institute,
De Bilt



IHP/HWRP Sekretariat,
Koblenz / IHP/HWRP
Secretariat, Coblenz

Mitglieder der KHR-Arbeitsgruppe „DEFLOOD“

Leitung der Arbeitsgruppe

Peter Krahe ¹⁾

Projektbearbeitung

Dorothe Herpertz, Mailin Eberle, Peter Krahe, Norbert Busch, Heinz Engel, Klaus Wilke ¹⁾

Felix Naef ²⁾

Alfred Helbig ³⁾

Jules Beersma ⁴⁾

Hendrik Buiteveld ⁵⁾

¹⁾ Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz

²⁾ Eidgenössische Technische Hochschule (ETH), Zürich

³⁾ Universität Trier (Fachbereich Klimatologie)

⁴⁾ Königliches Niederländisches Meteorologisches Institut (KNMI), De Bilt

⁵⁾ Staatliches Amt für Integralverwaltung der Binnengewässer und für Abwasserreinigung (RIZA), Lelystad / Arnheim

Textbearbeitung / Lektorat

Dr. H.G. Mendel

KHR-Sekretariat

Members of the CHR working group „DEFLOOD“

Lead of the working group

Peter Krahe ¹⁾

Project execution

Dorothe Herpertz, Mailin Eberle, Peter Krahe, Norbert Busch, Heinz Engel, Klaus Wilke ¹⁾

Felix Naef ²⁾

Alfred Helbig ³⁾

Jules Beersma ⁴⁾

Hendrik Buiteveld ⁵⁾

¹⁾ Federal Institute of Hydrology (BfG), Coblenz

²⁾ Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich

³⁾ University of Trier (Department of Climatology)

⁴⁾ Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI), De Bilt

⁵⁾ Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment (RIZA), Lelystad/
Arnhem

Text editing / review

Dr. H.G. Mendel

CHR Secretariate

Vorwort

Extreme Hochwasserereignisse geben immer wieder Anlass darüber nachzudenken, welchen Anteil der Mensch am Ausmaß dieses Ereignisses hat. Nachgewiesen ist, dass lokale Hochwasser als Folge räumlich und zeitlich begrenzter sommerlicher Starkregen durch verdichtete landwirtschaftliche Böden, Verkehrswege und urbane Flächen erheblich verstärkt werden können. Für Hochwasser in großen Flussgebieten, wie dem Rhein und seinen großen Nebenflüssen, liegen über Auswirkungen anthropogener Maßnahmen nur wenige fundierte Angaben vor. Daher hat die KHR im Rahmen des von der EU finanzierten IRMA-SPONGE-Projektes (International Rhine-Meuse Activities/ Scientific Programme on Generating Sustainable Flood Control) das Projekt **‘Development of Methodologies for the Analysis of the Efficiency of Flood Reduction Measures in the Rhine Basin on the Basis of Reference Floods (DEFLOOD)’** ausgeführt.

Ziel des Projektes war die Erarbeitung einer zielorientierten Methodik, die dem aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik entspricht. Ihre Anwendbarkeit in der hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Praxis wurde anhand ausgewählter Beispiele dokumentiert. Ein besonderer Schwerpunkt lag in der Erarbeitung von Empfehlungen, die den operativen Einsatz der in der Methodik vorgeschlagenen Verfahren und Modelle gewährleisten sollen.

Szenarienrechnungen mit dem Ziel, die Wirksamkeit des dezentralen Hochwasserrückhaltes aufzuzeigen, wurden nicht flächendeckend im Rheingebiet durchgeführt. Wenn realitätsnahe Szenarien nach der entwickelten Methode durchgerechnet werden sollen, bedingt dies umfangreiche Grundlagenaufarbeitung und die enge Zusammenarbeit der verantwortlichen Institutionen. Deshalb wurde die Methodik nur exemplarisch angewandt. Im Nachgang des eigentlichen Projektes haben aber bereits interessante großräumige Anwendungen stattgefunden, welche die Leistungsfähigkeit der vorgeschlagenen Modelle selbst, sowie des methodischen Vorgehens insgesamt aufgezeigt haben. Andererseits zeigt der Einsatz in der operativen wasserwirtschaftlichen Praxis auch auf, welche Verbesserungen wünschenswert sind und welche zusätzlichen Standards notwendigerweise noch zu entwickeln sind.

Den an dem Projekt beteiligten Institutionen, der Europäischen Union und der Schweiz als mitfinanzierenden Stellen, sei hier für ihre Arbeit bzw. ihre finanzielle Unterstützung herzlich gedankt.

Der Präsident der KHR
Prof. Manfred Spreafico

Foreword

Extreme flood events always prompt contemplation about the extent to which humans are responsible for the magnitude of the event. It has been proved that local flooding as a result of spatially and temporally limited torrential rain in summer can be aggravated considerably by compacted agricultural soil, traffic routes and urban areas. For floods in large river basins such as the Rhine and its main tributaries there is only little substantiated information on the impact of anthropogenic measures. Therefore, the CHR has carried out, within the framework of EU financed IRMA-SPONGE (International Rhine-Meuse Activities / Scientific Programme on Generating Sustainable Flood Control), the project **Development of Methodologies for the Analysis of the Efficiency of Flood Reduction Measures in the Rhine Basin on the Basis of Reference Floods (DEFLOOD)**.

The objective of the project was to develop a goal-oriented methodology appropriate for the latest scientific and technical knowledge. Its practical application for hydrology and water resources management was documented on the basis of selected examples. The main focus was on the drafting of recommendations to guarantee the functional use of the procedures and models suggested in the methodology.

Scenario calculations with the aim of demonstrating the efficiency of decentralised flood reduction were not carried out all over the Rhine basin. Calculations of realistic scenarios according to the developed method call for comprehensive processing of fundamentals and close cooperation between the institutions responsible. Therefore, the methodology was used only for examples. However, in addition to the actual project, interesting applications over large areas have already been made, demonstrating the potential not only of the proposed models themselves but also of the methodical procedure as a whole. On the other hand, the use of the methodology in operational water resources management practice has shown where improvements are required and which additional norms need still to be developed.

I should like to thank most sincerely the institutions who participated in the project for their work, and the European Union and Switzerland for their financial support.

Prof. Manfred Spreafico
President of CHR

Inhalt

Vorwort	4
Inhaltsverzeichnis der CD.....	8
Abbildungen und Tabellen.....	10
Abkürzungen	12
Zusammenfassung und Empfehlungen	14
Deflood – Erweiterte Zusammenfassung	22
Einleitung	22
Abflussbildung und Vorlandretention	26
Wie lässt sich das Potenzial des Speichervermögens des Bodens ermitteln?	30
Wie lässt sich das Retentionsvermögen von Überflutungsräumen in verzweigten Gewässernetzen ermitteln?.....	32
Integrierte Flussgebietsmodellierung	34
Welche Modelle sind geeignet?	36
Verfahren zur Erzeugung standardisierter Modelleingangsdaten	40
Operativer Betrieb komplexer Flussgebietsmodelle	46
Literatur	48
Links	48
Vertragspartner	50
Allgemeine Information über die Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR)	52
KHR-Veröffentlichungen.....	54
Kolophon	57

Table of Contents

Foreword	5
Content of CD	9
Figures and tables.....	11
Abbreviations	13
Summary and recommendations	15
Deflood – Extended Summary	23
Introduction.....	23
Discharge formation and foreshore retention	27
How can the potential of the storage capacity of the soil be determined ?	31
How can the retention ability of inundated areas in braided river networks be determined?.....	33
Integrated river basin modelling	35
Which models are suitable?.....	37
Procedure for the generation of standardized model input data.....	41
Functional operation of complex river basin models	47
References	48
Links	48
Project partners.....	51
General Information on the International Commission for the Hydrology of the Rhine basin (CHR)	53
CHR publications.....	54
Colophon	57

Inhaltsverzeichnis der CD

Entwicklung einer Methodik zur Analyse des Einflusses dezentraler Hochwasserrückhaltemaßnahmen auf den Abfluss des Rheins

- A.1 Das dezentrale Hochwasserretentionspotential des Einzugsgebietes**
 - A.1.1 Das dezentrale Hochwasserretentionspotential der Einzugsgebietsfläche und der Nebenflussvorländer
 - A.1.2 Ermittlung potentieller Überflutungsräume im Moselgebiet mittels GIS

- A.2 Ableitung meteorologischer Referenzbedingungen für das Moselgebiet**
 - A.2.1 Analyse der raum-zeitlichen Struktur von Niederschlags-Tagessummen in ausgewählten Teileinzugsgebieten des Rheingebietes unter besonderer Berücksichtigung von Hochwasserereignissen im Zeitraum 1961 – 1998
 - A.2.2 Niederschlagsgenerator für das Rheineinzugsgebiet: Gleichzeitige Simulation von täglichen Wettergrößen an mehreren Klimastationen durch Nächster-Nachbar Resampling

- A.3 Parametrisierung von Hochwasserreduktionsmaßnahmen und Generierung von Referenz-Hochwassern im Moselgebiet**
 - A.3.1 Konzeptioneller Ansatz zur mesoskaligen (hier etwa 100-300 km²) Niederschlag-Abfluss Modellierung im Einzugsgebiet der Oberen Blies
 - A.3.2 Makroskaliger Modellierungsansatz für das Moseleinzugsgebiet
 - A.3.3 Generierung von Referenz-Hochwassern für das Moseleinzugsgebiet

- A.4 Literaturverzeichnis zum Thema „Dezentraler Hochwasserrückhalt“**

Contents of CD

Development of Methodologies for the Analysis of the Efficiency of Flood Reduction Measures in the Rhine Basin on the Basis of Reference Floods

- A.1 The decentralised flood retention potential of the catchment**
 - A.1.1 The decentralised flood retention potential of the catchment area and the floodplains of the tributaries (in German)
 - A.1.2 Determination of potential flooding areas in the Moselle basin with GIS (in German)

- A.2 Derivation of meteorological reference conditions for the Moselle catchment**
 - A.2.1 Analysis of the spatio-temporal structure of daily precipitation sums in selected sub-basins of the River Rhine, especially for flood events in the period 1961 – 1998
 - A.2.2 Rainfall generator for the Rhine basin: multi site simulation of daily weather variables by nearest-neighbour resampling

- A.3 Parameterisation of flood reduction measures and generation of reference floods in the Moselle catchment**
 - A.3.1 A conceptual meso-scale precipitation-runoff modelling approach in the Upper-Blies basin
 - A.3.2 Macro-Scale Modelling System for the River Moselle
 - A.3.3 Generation of reference floods for the River Moselle basin

- A.4 List of references related to decentralised flood reduction**

Abbildungen und Tabellen

Abb. 1: Abflussprozesskarte für das Einzugsgebiet der Birsig ($A_{E0}=40 \text{ km}^2$, Kanton Basel Land). Eingetragen sind auch die Wald- und Ackerflächen.....	30
Abb. 2: Ermittlung potentieller Überflutungsräume	32
Abb. 3: Beispiel einer Simulationsrechnung mit dem semi-distributiven Modell HBV-BfG für das Szenario Erhöhung der Speicherkapazität des Bodens im Einzugsgebiet der oberen Blies ($A_{E0} = \sim 160 \text{ km}^2$) für das extreme Winterhochwasser 1993.....	38
Abb. 4: Gerasterte Tagessummen der Niederschlagshöhe und mittlere Windvektoren in verschiedenen Niveaus für das Moselgebiet am 19. Dezember 1993	40
Abb. 5: Extremwertverteilung der maximalen Niederschlagshöhe für die Dauerstufe von 10 Tagen. Beobachtete und simulierte Werte im hydrologischen Winterhalbjahr	42
Abb. 6: Mit dem stochastischen Niederschlagsgenerator erzeugte Niederschlagsdaten. Die dargestellte Zeitreihe wurde nach dem Kriterium der größten Summe eines 30-tägigen Zeitraumes aus der Simulation einer 1000-jährigen Reihe ausgewählt. Die Daten stellen den Gebietsniederschlag für das Moselgebiet dar.....	42
Abb. 7: Gebietsniederschlagshöhen für das Moselgebiet für ausgewählte und klassifizierte Hochwasserereignisse. Die Klassifizierung erfolgte nach dem zeitlichen Muster der Niederschlagshöhen in einem 30-tägigen Zeitraum vor Eintreffen des Scheitels am Pegel Trier	44
Abb. 8: Normalisierte Ganglinien von Hochwasserganglinien die mit dem Modell HBV-SMHI und ausgewählten und klassifizierten Niederschlagsreihen simuliert wurden. Diese stellen die "Referenzhochwasser" dar, die beispielsweise als Belastungsszenarien für unterhalb gelegene Flussstrecken verwendet werden können.....	44
Tabelle 1: Modelle und ihre Eignung für verschiedene Einzugsgebiete.....	36

Figures and Tables

Fig. 1: Discharge process map of the Birsig catchment ($A_{E0}=40 \text{ km}^2$, canton Basel Land). Wooded and agricultural areas are also shown	31
Fig. 2: Determination of potential inundation areas	33
Fig. 3: Example of a simulated computation with the semi-distributed model HBV-BfG for the scenario of increasing the storage capacity of the soil in the catchment of the upper Blies ($A_{E0} = \sim 160 \text{ km}^2$) for the extreme winter flood in 1993	39
Fig. 4: Rasterized daily amounts of precipitation and mean wind vectors at different levels in the Moselle catchment on 19 December 1993	41
Fig. 5: Distribution of extreme values of maximum precipitation for the 10-day duration level. Observed and simulated values in the hydrological winter half-year.	43
Fig. 6: Precipitation data generated with the stochastic generator. The time series shown was chosen according to the criterion of the greatest sum of a 30-day period from the simulation of a 1000-year series. The data represent the areal precipitation for the Moselle catchment.....	43
Fig. 7: Areal precipitation depths for selected and classified flood events in the Moselle catchment. The classification resulted from the chronological pattern of the precipitation depths in a 30-day period before the flood crest reached the gauge at Trier	45
Fig. 8: Normalized hydrographs of flood hydrographs that were simulated with the HBV-SMHI model and selected and classified precipitation series. These represent the “reference floods” that can be used, for example, as impact scenarios for river reaches further downstream.....	45
Table 1: Models and their suitability for different catchments	37

Abkürzungen

A_{E0}	Oberirdisches Einzugsgebiet in km ²
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BWG	Bundesamt für Wasser und Geologie
DEFLOOD	Development of Methodologies for the Analysis of the Efficiency of Flood Reduction Measures in the Rhine Basin on the Basis of Reference Floods
DP	Deep percolation (Tiefensickerung)
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
EU	Europäische Union
EUROTAS	European River Flood Occurrence and Total Risk Assessment System
FIRM	Framework for Integrated River Basin Modelling
GIS	Geographisches Informationssystem
HBV-BfG	Niederschlag-Abflussmodell, von der BfG angepasst
HBV-SMHI	Niederschlag-Abflussmodell, entwickelt beim Swedish Meteorological and Hydrological Institute
HOF	Hortonian overland flow (Horton'scher Oberflächenabfluss)
hPa	Hektopascal (Einheit des Luftdrucks)
HRM	Hochwasserreduktionsmassnahmen
IKSMS	Internationale Kommission zum Schutze der Mosel und der Saar
IKSR	Internationale Kommission zum Schutze des Rheins
IRMA SPONGE	International Rhine-Meuse Activities - Scientific Programme on Generating Sustainable Flood Control
KHR	Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes
KNMI	Königliches Niederländisches Meteorologisches Institut
LAHoR	Quantifizierung des Einflusses der Landoberfläche und der Ausbaumassnahmen am Gewässer auf die Hochwasserbedingungen im Rheingebiet
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
MPF	Maximum possible flood
N-A	Niederschlag-Abfluss
P	Niederschlagshöhe in mm
Q	Abfluss in m ³ /s
Qsim	Simulierter Abfluss in m ³ /s
SOBEK	1-D hydrodynamisches Wasserbewegungsmodell
SOF	Saturated overland flow (gesättigter Oberflächenabfluss)
SSF	Sub-surface flow (laterale Fliessprozesse im Boden)
SYNHP	Synoptisches Wasserbewegungsmodell

Abbreviations

A_{E0}	Overground catchment area in km ²
BfG	Federal Institute of Hydrology
CHR	International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin
DEFLOOD	Development of Methodologies for the Analysis of the Efficiency of Flood Reduction Measures in the Rhine Basin on the Basis of Reference Floods
DP	Deep percolation
ETH	Swiss Federal Institute of Technology
EU	European Union
EUROTAS	European River Flood Occurrence and Total Risk Assessment System
FIRM	Framework for Integrated River Basin Modelling
FOWG	Federal Office for Water and Geology
FRM	Flood Reduction Measures
GIS	Geographical Information System
HBV-BfG	Rainfall-runoff modell adapted by BfG
HBV-SMHI	Rainfall-runoff modell, developed by the Swedish Meteorological and Hydrological Institute
HOF	Hortonian overland flow
hPa	Hectopascal (unit for air pressure)
ICPMS	International Commission for the Protection of the Moselle and the Saar
ICPR	International Commission for the Protection of the Rhine
IRMA SPONGE	International Rhine-Meuse Activities - Scientific Programme on Generating Sustainable Flood Control
KNMI	Royal Dutch Meteorological Institute
LAHoR	Quantifizierung des Einflusses der Landoberfläche und der Ausbaumassnahmen am Gewässer auf die Hochwasserbedingungen im Rheingebiet
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
MPF	Maximum possible flood
P	Precipitation depth in mm
Q	Discharge in m ³ /s
Qsim	Simulated discharge in m ³ /s
SOBEK	1-D hydrodynamical flood routing model
SOF	Saturated overland flow
SSF	Sub-surface flow
SYNHP	Synoptical flood routing model

Zusammenfassung und Empfehlungen

Mit der vorliegenden Studie werden Methoden und Verfahren vorgestellt, die es ermöglichen, die Wirkung dezentraler Hochwasserreduktionsmaßnahmen (HRM) in großen Flussgebieten unter Berücksichtigung der Wirkungen einzugsgebietsbezogener und gerinnebezogener HRM auf die Hochwasserganglinien mesoskaliger Einzugsgebiete zu bewerten. Die Integration regionaler HRM wird für ein Teileinzugsgebiet im Mosel/Saar-Gebiet demonstriert. Unter Berücksichtigung unterschiedlicher hydrometeorologischer Bedingungen werden Referenzhochwasser für das gesamte Mosel-Einzugsgebiet erstellt. Auf deren Grundlage können Hochwasserszenarios für Pegelstationen entlang der Mosel und des Rheins unter Berücksichtigung verschiedener HRM und hydrometeorologischer Bedingungen aufgestellt werden.

Wegen der standardisierten räumlichen Strukturen, Schnittstellen, Anwendungen und aufbereiteten Daten, die durch das Konzept *FIRM*-Hochwasserreduktion bereitgestellt werden, kann dieser Ansatz und dessen modell- und verfahrenstechnische Realisierung als Grundlage für weitere Untersuchungen zur Quantifizierung der Wirksamkeit dezentraler HRM dienen, wie sie gegenwärtig von den Wasserwirtschaftsbehörden geplant werden. Zeit- und geldaufwendige Doppelarbeit bei der Datengewinnung und -aufbereitung, Modellkalibrierung und Modellkopplung kann durch den Einsatz der vorhandenen *FIRM*-Strukturen vermieden werden.

Schlussfolgerungen hinsichtlich eines Konzepts für die integrierte Flussgebietsmodellierung

- Extreme Hochwasserereignisse in Flusseinzugsgebieten mit einer Fläche von ~30.000 km² werden durch Niederschlagsereignisse bis zu 30 Tagen Dauer verursacht. Für das Moselgebiet lässt sich die zeitliche Abfolge der 30-tägigen Niederschlagsereignisse in vier typische Muster einteilen. Diese können für die Erstellung oder Simulation standardisierter Niederschlagsszenarios verwendet werden.
- Flächendetaillierte hydrometeorologische Referenzbedingungen, die aus standardisierten Niederschlagsszenarios und Anfangsbedingungen für jede Teileinheit innerhalb des Einzugsgebiets bestehen, erlauben die Erstellung standardisierter (d.h. Referenz-) Hochwasserganglinien für jede Teileinheit eines großen Flussgebietes.
- Zur Darstellung der Wirkung lokaler/regionaler Hochwasserreduktionsmaßnahmen in großen Flussgebieten ist eine Modellierungskette notwendig, die aus Elementen unterschiedlichen Kompliziertheitsgrades zur Gebietsmodellierung und zur damit verbundenen Wellenablaufberechnung besteht.
- Außerdem werden räumlich aufgelöste hydro-geomorphologische Informationen über die Hauptströme und Nebenflüsse sowie flächendetaillierte Informationen über das Einzugsgebiet benötigt.
- Das *FIRM*-Konzept zur Hochwasserreduktion erleichtert die hydrologische Bewertung dezentraler HRM in großen Flussgebieten, indem es den technischen Rahmen für die Durchführung der nötigen Untersuchungen im Rheingebiet bereitstellt.

Summary and recommendations

With this study methods and procedures have been developed to permit the evaluation of the effect of decentralised flood reduction measures (FRM) in large river basins, taking into account the impact of basin-related and river-related FRM on the flood hydrographs of meso-scale catchments. The integration of regional FRM is demonstrated for a sub-basin in the Moselle/Saar river basin. Allowing for different hydrometeorological conditions, reference floods are generated for the entire Moselle basin. Based on these, flood scenarios for gauging stations along the rivers Moselle and Rhine can be established, taking into account different FRM and hydrometeorological conditions.

Owing to the standardised spatial structures, interfaces, applications and processed data provided by the *FIRM – Flood Reduction* concept, this approach can form the basis for further studies on the quantification of the efficiency of decentralised FRM, as currently planned by water management authorities. The time and money-consuming duplication of data acquisition, data processing, model calibrations and model linkages can be avoided by employing the available *FIRM* structures.

Conclusions regarding the Framework for Integrated River Basin Modelling

- Extreme flood events in river basins with a catchment area of ~30.000 km² are caused by precipitation events of more than 30 days duration. For the Moselle basin the temporal sequences of up to 30-day precipitation events can be classified into four typical patterns. These can be used for generating or simulating standardised precipitation scenarios.
- Spatially-distributed hydrometeorological reference conditions consisting of standardised precipitation scenarios and antecedent storage conditions for each sub-unit within the catchment allow the generation of standardised, i.e. reference, flood hydrographs for each sub-unit of a large river basin.
- In order to demonstrate the effect of local/regional FRM in large river basins a modelling chain consisting of elements of varying degrees of complexity for catchment modelling and its associated flood routing is required
- Furthermore, spatially-distributed hydro-geomorphic information on the main rivers and tributaries as well as spatially-distributed catchment information is required.
- The *FIRM – Flood Reduction* concept facilitates the hydrological assessment of decentralised FRM in large river basins by providing the technical framework for carrying out the necessary studies in the Rhine basin

- *FIRM*-Hochwasserreduktion bietet den komplexen räumlichen und strukturellen Rahmen zur Einbindung detaillierter Einzugsgebietsuntersuchungen, die von den örtlichen Wasserwirtschaftsbehörden zu veranlassen wären.
- Auf der Grundlage des *FIRM*-Konzeptes zur Hochwasserreduktion lassen sich Hochwasserszenarios für Pegelstationen entlang der Mosel und des Rheins in Anlehnung an unterschiedliche HRM und HRB erstellen.
- Mit dem entwickelten methodischen Instrumentarium können die maximal möglichen (Winter-) Hochwasser (*MPF*) für große Flussgebiete abgeschätzt werden.

Obwohl der Schwerpunkt des DEFLOOD-Projektes hauptsächlich auf der Entwicklung methodischer Aspekte lag, können aus den Anwendungsbeispielen Schlussfolgerungen über die Art der Wirkung von HRM gezogen werden.

Schlussfolgerungen bezüglich der Wirkung von HRM in mesoskaligen Flussgebieten

- Zur wirkungsvollen Reduzierung großer Hochwasser durch Landnutzungsänderungen muss die Abflussbildung großflächig im Einzugsgebiet beeinflusst werden.
- Landnutzungsänderungen führen nur dann zu einer quantifizierbaren Abflussreduktion, wenn der dominante Abflussprozess einer Fläche von einer schnellen in eine verzögerte Reaktion übergeführt werden kann. Daher sind für die Beurteilung der Wirksamkeit von Reduktionsmaßnahmen detaillierte Kenntnisse der Verteilungsmuster der verschiedenen Typen der Abflussbildung im Einzugsgebiet sowie der gegenwärtigen Landnutzung nötig.
- Die Wirksamkeit dezentraler Hochwasserreduktionsmaßnahmen bezüglich Abflussbildung nimmt mit der Größe des Hochwasserscheitels und der Dauer des Ereignisses stark ab.
- Extreme Hochwasserereignisse können im Rheingebiet aber auch durch mäßige Ereignisse in den einzelnen Nebenflüssen verursacht werden, wenn sich diese ungünstig überlagern.
- Die Reduktion des Hochwasserscheitels durch Vorlandüberflutung oder Speicherung wirkt sich bei kurzzeitigen Ereignissen stärker aus. Mit zunehmender Dauer des Hochwassers sinkt die Wirksamkeit von Rückhaltemaßnahmen entlang des Flusslaufs. In großen Flusssystemen gewinnt die Überlagerung der Hochwasserscheitel aus verschiedenen Nebenflüssen gegenüber der Rückhaltung an Bedeutung.

Mit dem DEFLOOD-Projekt wurden Fortschritte hinsichtlich der Abschätzung der möglichen Wirkungen dezentraler HRM in großen Flussgebieten erzielt. Auf den gewonnenen Erfahrungen aufbauend konnte der Bedarf an neuen Bewirtschaftungsstrategien und Maßnahmen zur Hochwasserreduktion bestimmt werden. Die für das Rhein/Maas-Gebiet geltenden Empfehlungen sagen aus, dass - neben Fortschritten in der hydrologischen Modellierung selbst- eine Wissensbasis aufgebaut und gepflegt werden sollte, die hydrologisch relevante Informationen über den

- *FIRM – Flood Reduction* provides the complex spatial and structural framework for detailed catchment studies which would have to be initiated by local water management authorities.
- Based on the *FIRM – Flood Reduction* concept, flood scenarios for gauging stations along the Moselle and the Rhine can be created according to different FRM and hydrometeorological reference conditions.
- With the developed methodological tools, maximum possible floods (MPF) for large river basins can be estimated.

Although the DEFLOOD project focuses mainly on the development of methodological aspects, the following conclusions on the nature of the effect of FRM can be drawn from exemplified applications.

Conclusions regarding the impact of FRM in meso-scale river basins

- In order to reduce large floods by changes in land use, runoff formation has to be influenced on extended areas within the river basin.
- However, land-use changes only result in a quantifiable reduction of the flow if the dominant runoff process of an area can be changed from a fast to a more delayed reaction. Therefore, in order to judge the efficiency of reduction measures, detailed knowledge of the distribution of the different types of runoff formation in a catchment and the current form of land use is required.
- The efficiency of decentralised FRM as regards runoff generation decreases greatly with increasing magnitude of the flood peak and duration of the flood event.
- However, extreme flood events in the Rhine basin can be caused by moderate events in the different tributaries if these coincide unfavourably.
- Reduction of the flow due to floodplain inundation or flow retention is more efficient for short events. With increasing flood duration, the efficiency of retention measures along the river reach decreases. In large river systems, the coincidence of the flood peaks from different tributaries becomes more important than the effect of the retention.

With the DEFLOOD project, progress has been made towards the assessment of the possible effects of decentralised FRM in large river basins. Based on the experience gained, it has been possible to identify the need for new management strategies and measures for flood reduction. The recommendations that were proposed for the Rhine/Meuse catchment suggest that, beside progress in hydrological modelling itself, a base of knowledge encompassing hydrologically relevant information on the past and present states and probable developments in the Rhine

vergangenen und aktuellen Zustand sowie über die voraussichtlichen Entwicklungen im Rheingebiet umfasst. Es sollten problemorientierte hydrologische Untersuchungen in ausgewählten kleinen Einzugsgebieten durchgeführt werden. Auf dieser Grundlage können konzeptionelle mesoskalige Modellierungsansätze verbessert und validiert werden.

Empfehlungen für das Rhein/Maas-Gebiet

- Die auf Erhöhung des Speichervermögens im Flussgebiet ausgerichteten dezentralen Hochwasserreduktionsmaßnahmen (HRM) wirken sich hauptsächlich auf den Abflussbildungsprozess aus. Deshalb müssen zur Darstellung der lokalen Wirkungen dezentraler HRM auf die Hochwasserentstehung detaillierte Prozessstudien in meso- und mikroskaligen Einzugsgebieten vorgenommen werden.
- Zur Bestimmung des Potentials dezentraler HRM in großen Flusssystemen müssen die vorhandenen Methoden zur Erkennung unterschiedlicher Abflussbildungsmechanismen in mesoskaligen Einzugsgebieten für Anwendungen auf größere Einzugsgebiete erweitert werden.
- Extreme Hochwasserereignisse im Rheingebiet entstehen oft durch Überlagerung von moderaten Ereignissen in den Nebenflüssen. Bei der Umsetzung dezentraler HRM muss entschieden werden, ob sie auf die Reduktion extremer Hochwasser in den Teileinzugsgebieten (schwerpunktmäßig Sommerereignisse) oder im gesamten Rheingebiet (schwerpunktmäßig moderate Winterereignisse) ausgerichtet sind.
- Zur Überwindung von Konflikten bezüglich unterschiedlicher Ziele und Interessen bei der dezentralen Hochwasserreduktion sind neue Strategien und gemeinsame Verantwortlichkeiten in der Wasserwirtschaft zu berücksichtigen.
- Aussagen über die zukünftige Entwicklung des Klimas und über die Wirksamkeit von HRM enthalten stets Unsicherheiten. Die Entwicklung von Methoden zur Abschätzung dieser Unsicherheiten und die Festlegung eines Unsicherheitsmaßes im Entscheidungsprozess muss vorangebracht werden.
- Um die Unsicherheit zu verringern - hinsichtlich entweder der benutzten Modellansätze oder der Szenariorechnungen - sind im Rhein/Maas-Gebiet über mehrere Jahre Fallstudien durchzuführen.
- Bei der Ausarbeitung von Aktionsplänen zur Hochwasserreduktion im Rheineinzugsgebiet wird die Schaffung eines integrierten Modellansatzes und eine Zusammenstellung von einzugsgebietsbezogenen Informationen empfohlen. Dies sollte durch eine generalisierte Software (**open system**) und standardisierte Gebietsdaten und Zeitreihen erfolgen. Die wesentlichen Eigenschaften eines solchen Systems und Anweisungen zu seiner Umsetzung werden im *FIRM*-Konzept vorgegeben.
- Die Entwicklung geeigneter Verfahren, auch zur Abschätzung der Unsicherheit, ist zeitaufwendig und kann zu Verzögerungen bei der Strategieentwicklung und der Umsetzung von HRM führen. Deshalb werden für das Rhein/Maas-Gebiet folgende Handlungsschritte empfohlen:

basin needs to be built up and maintained. Furthermore, problem-oriented hydrological studies in selected small-scale river basins ought to be carried out. Based on these studies, conceptual meso-scale modelling approaches can be improved and validated in terms of reducing the uncertainty factor which is inherent in all scenario calculations.

Recommendations for the Rhine/Meuse area

- By aiming to increase storage capacities in the river basin, decentralised FRM make the most impact on the runoff generation process. Therefore, in order to show the local effect of decentralised FRM on flood formation, detailed process studies have to be carried out in meso- or micro-scale basin areas.
- In order to identify the potential of decentralised FRM in entire large river systems, the existing methodologies for identifying different types of runoff generation in meso-scale catchments have to be extended to applications in larger basins.
- Extreme flood events on the river Rhine are often caused by the coincidence of moderate events in its tributaries. When implementing decentralised FRM, it has to be decided whether they are geared towards the reduction of extreme floods in the sub-catchments (focusing on summer events) or in the entire Rhine basin (focusing on moderate winter floods). In order to overcome conflicts regarding different objectives and interests in decentralised flood reduction, new strategies and shared water management responsibilities should be considered.
- Statements on the future development of the climate and on the efficiency of FRM always include uncertainties. The development of methodologies for the estimation of these uncertainties and the incorporation of uncertainty measures into the decision-making process have to be put forward.
- In order to reduce uncertainties - regarding either the modelling approaches used or the scenario calculations - case studies in the Rhine/Meuse basins have to be carried out over several years
- When elaborating plans of action for flood reduction in the Rhine basin the establishment of an integrated modelling approach and a compilation of basin-related information is recommended. This should be realised by means of an open system software and standardised catchment and time series data. The main features of such a system and instructions for its realisation are provided by the *FIRM – Flood Reduction* concept.
- The development of appropriate procedures, also for the estimation of uncertainties, is time-consuming and can lead to delays in policy-making and the implementation of FRM. Therefore, the following action is recommended for the Rhine/Meuse area:

- Sammlung und Aktualisierung hydrologisch relevanter Informationen über die Landoberfläche und die Vorländer der Flüsse.
- Erstellung eines Verzeichnisses bereits realisierter HRM und deren belegbare Auswirkung auf die Hochwasserentstehung in dem betrachteten Teilgebiet.
- Beschreibung und Bewertung des gegenwärtigen Standes der Maßnahmen und der hydrologischen Verhältnisse in dem betrachteten Einzugsgebiet.
- Festlegung erreichbarer Ziele (der Hochwasserreduktion).
- Schaffung von Verfahren zur Bewertung der Maßnahmenwirkung auf zukünftige Hochwasserereignisse.

Das *FIRM*-Konzept zur Hochwasserreduktion kann durch weitere Verfeinerung der Rahmenbedingungen verbessert werden, das betrifft z.B. die zeitliche Datenauflösung und den Niederschlagssimulator. Für künftige Anwendungen könnte das gesamte Konzept von *FIRM*-Hochwasserreduktion als eine generalisierte Software (**open system**) umgesetzt werden. Ein Beispiel für ein solches System wurde im EU-finanzierten Projekt *EUROTAS* angeregt (Bewertungssystem für Hochwasserereignisse und Gesamtrisiken in europäischen Flüssen) (Samuels 2000).

- Collection and updating of hydrologically relevant information on land surfaces and floodplains;
- A register of FRM already realised and their verifiable impact on flood formation in the sub-basin under consideration;
- Description and evaluation of the present state of the measures and of the hydrological conditions in the catchment under consideration;
- Definition of achievable (flood reduction) targets;
- Refinement of management plans of measures (if applicable);
- Set-up of procedures for evaluating the effect of measures on future flood events.

The *FIRM–Flood Reduction* concept could be enhanced by further elaboration of framework features such as the procedures for temporal data disaggregation and a refinement of the rainfall simulator. For future applications the entire *FIRM–Flood Reduction* concept could be realised as an open system software. An example for such a system was initiated in the EU-funded project “European River Flood Occurrence and Total Risk Assessment System” (EUROTAS) (Samuels 2000).

DEFLOOD

Erweiterte Zusammenfassung

Einleitung

Für die Hochwasserentstehung in großen Flusseinzugsgebieten steht bislang eine Quantifizierung der Auswirkungen von Hochwasserrückhaltmaßnahmen in der Einzugsgebietsfläche noch aus. Mit DEFLOOD soll ein Schritt hin zu einer repräsentativen Bewertung der Wirkung dieser dezentralen Maßnahmen gemacht werden. Zu diesem Zweck ist die Entwicklung einer angepassten Methodik notwendig. Neben der angestrebten überregionalen hydrologischen Bewertung der Maßnahmen können die erarbeiteten Verfahren auch als Planungsinstrument im Rahmen eines integrativen Flussgebietsmanagements eingesetzt werden. Weiterhin soll die Methodik dazu beitragen, die Höhe historischer und möglicher zukünftiger Hochwasserereignisse vergleichend bewerten zu können.

Der Methodik liegen zwei Annahmen zu Grunde. Zum einen bewirkt in großen Flussgebieten vornehmlich die unterschiedliche raum-zeitliche Niederschlagsverteilung die Entstehung verschieden ausgeprägter Hochwasserereignisse im Hinblick auf Spitzenwerte, Fülle und Dauer. Zum anderen hängt die Wirkung dezentraler Hochwasser-Rückhaltmaßnahmen stark vom Verlauf des Ereignisses selbst und von der Lage der Maßnahmen in Bezug zum Niederschlagsfeld ab. Dabei ist weiterhin davon auszugehen, dass die Möglichkeiten zur Realisierung von Maßnahmen durch die naturräumliche Ausstattung der Flusseinzugsgebiete bestimmt werden.

Drei Hauptkategorien einzugsgebietsbezogener Maßnahmen werden oft als **dezentrale Hochwasserrückhaltmaßnahmen (HRM)** bezeichnet:

- 1) Verbesserung des Speicherpotentials der Einzugsgebietsfläche durch Aktivierung und Verstärkung der natürlichen Speicherfähigkeit der Böden, z. B. Entsiegelung, konservierende Bodenbearbeitung, Regenwasserversickerung und lokale Speicherung (Mulden, Regenrückhaltebecken, kleine Speicherbecken). Hier ist der Prozess der Abflussbildung und der Abflusskonzentration angesprochen.
- 2) Schutz und Reaktivierung von Überflutungszonen entlang der Gewässer, z. B. Renaturierung, Deichverlagerung, Schutz der Überflutungszonen vor weiterer Versiegelung. Hier sind alle hydraulischen Prozesse angesprochen.
- 3) Technische Hochwasserreduktion, z. B. durch Anlage von Speichern und Errichtung von steuerbaren Retentionsflächen in den Vorländern der Nebenflüsse. Hier sind die Prozesse der Abflusskonzentration und der Abflussverformung angesprochen.

Nach Empfehlungen der LAWA (1995) sowie der internationalen Aktionspläne der IKSRL (1998) und der IKSMS (1999)

DEFLOOD

Extended Summary

Introduction

As regards the generation of floods in large catchment areas, the effects of flood reduction measures in the river basin have still not been quantified. DEFLOOD is intended as a step towards a representative evaluation of the effects of these decentralised measures. For this purpose a suitable methodology was required. Apart from the targeted supraregional hydrological assessment of measures, the procedures developed can also be used as a planning instrument for integrated river basin management. Furthermore, the methodology will be able to contribute to the evaluation and comparison of the magnitudes of past and possibly future flood events.

Two assumptions form the basis of the methodology. On the one hand, in large river basins primarily the variable spatiotemporal distribution of precipitation affects the formation of variably distinctive flood events in terms of peak values, magnitude and duration; on the other hand, the efficiency of decentralised flood reduction measures depends greatly on the course of the event itself and on the location of the measures in relation to the area of precipitation. At the same time it can still be assumed that the possibilities for the realisation of measures are determined by the natural environment of the river catchment area.

Three main categories of catchment-related measures are often described as **decentralised flood reduction measures (FRM)**:

- 1) Enhancement of the storage potential of the catchment area by activating and improving the natural storage capacity of soils, e.g. desealing, conservation tillage, rainwater infiltration and local storage (depressions, rain retention ponds, small reservoirs). This concerns the process of runoff generation and concentration.
- 3) Protection and reactivation of flood zones along the rivers, e.g. renaturalisation, relocation of dikes, protection of flood zones against further sealing. This concerns all hydraulic processes.
- 3) Technical flood reduction, e.g. by installing reservoirs and setting up controllable retention areas in the foreshore of the tributaries. This concerns the processes of discharge concentration and discharge distortion.

According to recommendations by LAWA (1995) as well as the international plans of action of the ICPR (1998) and the ICPMS (1999)

Basierend auf einer Auswertung publizierter Fallstudien zur Wirkung von Hochwasserrückhaltemaßnahmen in kleinen Einzugsgebieten unter Verwendung hydrologischer Modelle sowie theoretischen Betrachtungen zum Einfluss der Abflussbildung und der Vorlandretention auf die Größe extremer Hochwasser, wurden die Anforderungen an eine umfassende Methodik abgeleitet. Diese beinhalten:

- 1) Anwendung von Techniken zur Identifizierung des Potentials von Hochwasserrückhaltemaßnahmen auf der Basis detaillierter Kenntnisse der Abflussbildung in einem Einzugsgebiet sowie einer flussgebietsweiten Erfassung der Retentionsmöglichkeiten entlang der Gewässer.
- 2) Definition realisierbarer Szenarien zum dezentralen Hochwasserschutz im Sinne ihrer technischen aber auch sozio-ökonomischen und ökologischen Machbarkeit und unter Berücksichtigung des naturräumlichen Potenzials des Flussgebietes.
- 3) Monitoring bestehender Hochwasserschutzmaßnahmen und Durchführung wissenschaftlicher Begleitstudien für ausgewählte Gebiete und Maßnahmen.
- 4) Aufbau und Anwendung eines integrierten Flussgebietsmodells zur Übertragung der für mesoskalige Flussgebiete und Abschnitte kleiner bis mittlerer Gewässer ermittelten Wirkung auf die überregionale Maßstabebene. Hierbei ist der aktuelle Stand zur hydrologischen Modellierung mesoskaliger Flussgebiete zu beachten und entsprechend fortzuführen.

Innerhalb des Projektes erfolgten schwerpunktmäßig Arbeiten zu den Punkten 1) und 4).

Die Einbindung der steuerbaren Rückhaltemaßnahmen entlang des Rheins selber ist in der vorliegenden Methodik berücksichtigt. Die hierzu erforderlichen Arbeiten und Studien wurden im Rahmen des Projektes LAHoR "Quantifizierung des Einflusses der Landoberfläche und der Ausbaumaßnahmen am Gewässer auf die Hochwasserbedingungen im Rheingebiet" (Bronstert et al. 2003) durchgeführt.

Based on the evaluation of published case studies of actual flood reduction measures or those calculated with models in small catchment areas as well as theoretical deliberations on the effects of discharge formation and foreshore retention on the magnitude of extreme flooding events, the requirements of a comprehensive methodology were drawn up. These include:

- 1) Application of techniques for identifying the potential of flood reduction measures on the basis of detailed knowledge of the discharge formation in a catchment area and a survey in the whole river basin of the retention possibilities along the rivers.
- 2) Definition of realisable scenarios for decentralised flood protection in terms of their technical, socio-economic and ecological feasibility and taking into account the environmental potential of the river basin.
- 3) Monitoring of existing flood protection measures and carrying out of additional scientific studies for selected regions and measures.
- 4) Development and application of an integrated river basin model to transfer the recorded impact in mesoscale river basins and reaches of small to medium-sized rivers on to a supraregional scale. Here, in each case, the latest development in the hydrological modelling of mesoscale river basins has to be observed and updated continuously.

Assignments consistent with the focal points listed in items 1) to 4) were carried out within the project.

The integration of the controllable reduction measures along the Rhine itself has been taken into account in this methodology. The assignments and studies for this were carried out within the framework of the LaHor project (Quantification of the effects of land surface and river training measures on flooding in the Rhine river basin) (Bronstert et al. 2003).

Abflussbildung und Vorlandretention

Was sagt die Theorie ?

Fundierte theoretische Überlegungen zu den relevanten Prozessen der Abflussbildung, Abflusskonzentration sowie des Wellenablaufes bilden eine wesentliche Voraussetzung für die Abschätzung des Potenzials von Hochwasserrückhaltmaßnahmen sowie für die Wahl der Modelle. An ausgewählten mesoskaligen Flussgebieten im Rheineinzugsgebiet wurde aufgezeigt, wie stark sich Hochwasserspitzen durch dezentralen Rückhalt dämpfen lassen. Die Möglichkeiten zur Dämpfung bei der Abflussbildung durch Erhöhung der Speicherung im Boden, und durch Retention entlang eines Gerinnes wurde thematisiert. Ein wesentliches Ergebnis dieser Teilstudie ist, dass das Potenzial zur Dämpfung von Hochwassern durch Vergrößerung des Rückhaltevermögens des Bodens sich nur auf der Basis detaillierter Kenntnisse der Abflussbildung in einem Einzugsgebiet abschätzen lässt.

Prozessbeeinflussung durch Nutzungsänderung

Eine große Dämpfung ist zu erwarten, wenn rasch reagierende Flächen (HOF, SOF1, SOF2) in verzögert reagierende (SOF3 oder SSF) überführt werden können. Dies ist möglich bei Böden mit Infiltrationshemmnissen als Folge verschlammter oder verdichteter Oberflächen. Dagegen ist die erreichbare Dämpfung geringer, wenn die Oberfläche keine abbaubaren Infiltrationshemmnisse aufweist.

Verschlämmung und Verkrustung beobachtet man auf ackerbaulich genutzten strukturschwachen Böden vor allem nach der Aussaat und nach der Ernte. Dabei wird Feinmaterial in Makroporen eingeschwemmt, was diese verstopft und damit den Infiltrationsprozess wesentlich eingeschränkt. Auch Krusten bilden für das Niederschlagswasser schwer überwindbare Infiltrationshemmnisse. In beiden Fällen ist HOF 1 oder HOF 2 zu erwarten.

Durch eine schützende Vegetations- oder Mulchdecke lässt sich die Verschlämmung verhindern. Der Oberboden erhält eine günstige Bodenstruktur mit Makroporen und das Bodenprofil wird als Speicher nutzbar. HOF 1 und HOF 2 lässt sich so in SOF2 oder SOF3 umwandeln oder bei günstigen geologischen Verhältnissen auch in SSF oder DP.

Oberflächennahe Verdichtung von ackerbaulich genutzten Böden entsteht, wenn wenig tragfähige Böden bei ungünstigen Bodenverhältnissen befahren werden, im Extremfall kann auch Unterbodenverdichtung entstehen. Je nach Anteil solcher Verdichtungsgebiete auf einer Bewirtschaftungsfläche können diese infolge HOF 1 und HOF 2 abflussrelevant werden. Durch bodenschonende Bewirtschaftung (Befahren nur bei günstigen Bodenverhältnissen, Einschränken der Befahrungsfrequenz, Doppelbereifung, Direktsaat, Mulchsaat) lassen sich Verdichtungen weitgehend verhindern und mit Lockerungsmaßnahmen teilweise rückgängig machen. Damit kann ein Grossteil des Bodenprofils als Speicher wieder nutzbar gemacht werden, und es stellt sich SOF2 oder SOF3 ein, je nach geologischen Verhältnissen auch SSF oder DP.

HOF1 : Sofortiger Oberflächenabfluss als Folge von Infiltrationshemmnissen

HOF2 : Leicht verzögerter Oberflächenabfluss als Folge von Infiltrationshemmnissen

SOF1: Sofortiger Oberflächenabfluss als Folge sich schnell sättigender Flächen

SOF2 : Verzögerter Oberflächenabfluss als Folge sich sättigender Flächen

SOF3 : Stark verzögerter Oberflächenabfluss als Folge sich langsam sättigender Flächen

SSF1 : Rascher Abfluss im Boden

SSF2 : Verzögerter Abfluss im Boden

SSF3 : Stark verzögerter Abfluss im Boden

DP : Tiefsickerung in geologische Schichten

Discharge formation and foreshore retention

What is the theory?

Well-founded theoretical considerations of the relevant processes of discharge formation, discharge concentration and flow routing form an important prerequisite for the estimation of the potential of flood reduction measures as well as for the choice of models. With examples of selected mesoscale river basins in the Rhine catchment area it was shown how much flood peaks can be lowered by decentralised retention. The possibilities of attenuating the flooding effect of discharge formation by increasing storage in the soil and by retaining discharge along a channel were chosen as a central theme. An important result of this sub-study is that the potential to attenuate floods by increasing the detention capacity of the soil can be estimated only on the basis of detailed knowledge of the discharge formation in a catchment area.

Impact on the process by land-use change

A significant attenuation can be expected when it is possible to transform fast-reacting areas (HOF, SOF1, SOF2) into areas with delayed reaction (SOF3 or SSF). This is possible with soils with infiltration barriers as a result of silted or compacted surfaces. In contrast, the attainable attenuation is less if the surface has no degradable infiltration barriers.

Silting and incrustation can be detected on agriculturally used, structurally weak soils especially after sowing and after harvesting. Here, fine material is washed into macropores which then become clogged so that the infiltration process is drastically restricted. Also, incrustations form infiltration barriers that are difficult for precipitation water to overcome. In both cases HOF 1 and HOF 2 can be expected.

The silting can be prevented by a protective layer of vegetation or mulch. The topsoil is given a favourable soil structure with macropores and the soil profile can be used as storage. In this way HOF 1 and HOF 2 can be transformed into SOF2 or SOF3 or with favourable conditions also into SSF or DP.

Surface soil compaction of agriculturally used soils occurs when vehicles are driven in unfavourable soil conditions on soils that bear little load; in extreme cases compaction of the subsoil can also occur. Depending on the proportion such compaction zones occupy of a cultivated area, these can, as a result of HOF 1 and HOF 2, be relevant for the discharge. With conserving cultivation (driving only in favourable soil conditions, restriction of driving frequency, twin-tyres, direct seeding, mulch seeding) compaction can be largely avoided and with a loosening of the soil partially reversed. Thus a large part of the soil profile can be made re-usable for storage; SOF2 and SOF3 appear and depending on the geological conditions even SSF or DP.

HOF1 : immediate hortonian overland flow due to infiltration hindrances

HOF2 : delayed hortonian overland flow due to infiltration hindrances

SOF1: immediate saturated overland flow due to quickly saturating soils

SOF2 : delayed saturated overland flow due to saturating soils

SOF3 : very delayed saturated overland flow due to slowly saturating soils

SSF1 : rapid subsurface flow

SSF2 : delayed subsurface flow

SSF3 : very delayed subsurface flow

DP : deep percolation in geological layers

Die Untersuchungen zur Wirkung der gerinnenahen Retention haben aufgezeigt, dass zur Einschätzung des Potentials eines Gewässernetzes eine differenzierte Betrachtungsweise notwendig ist. Neben der Art der Retention (stehend oder fließend) und dem verfügbaren Überflutungsraum wurden die Höhe des Scheitelwertes selbst und die Anstiegszeit der Hochwasserwelle als wichtige Parameter, die die Dämpfungseigenschaften eines Flussabschnittes bestimmen, ermittelt.

Retention durch Überflutung

Eine Hochwasserwelle kann durch Überflutung der Vorländer wesentlich stärker gedämpft werden als durch Retention im Gerinne. Die Wirkung der fließenden und stehenden Retention unterscheiden sich aber stark.

Stehende Retention

Stehende Retention tritt auf, wenn Wasser aus dem Gerinne auf das Vorland übertritt und dort zurückgehalten wird oder nur mit vernachlässigbaren Geschwindigkeiten weiterfließt. Die Überflutungsflächen wirken dann wie Rückhaltebecken. Die Wirkung dieser stehenden Retention wird vom Zeitpunkt der Überflutung der Vorländer beeinflusst. Ist die Gerinnekapazität so klein, dass bereits zu Beginn des Hochwassers Überflutung auftritt, so sind die Speicher schon vor Erreichen des Hochwasserscheitels gefüllt, und beim Durchgang des Scheitels steht kaum mehr Rückhaltevolumen zur Verfügung.

Wichtiger als der Zeitpunkt der Überflutung ist jedoch das Verhältnis zwischen dem Volumen des zur Verfügung stehenden Rückhalterumes und dem Volumen des Wassers, das auf das Vorland fließt. Ist das Rückhaltevolumen größer als das Volumen des aus dem Gerinne austretenden Wassers, wird der Scheitel stark gedämpft. Im Gegensatz dazu ist nur eine geringe Retentionswirkung zu erwarten, wenn das Volumen des auf die Vorländer ausfließenden Wassers größer ist als das zur Verfügung stehende Rückhaltevolumen.

Fließende Retention

Fließende Retention tritt auf, wenn das Wasser auf den überfluteten Vorländern talwärts fließt. Da das Wasser im Vergleich zum Hauptgerinne aufgrund der geringeren Wassertiefe und der erhöhten Reibung im Vorland langsamer fließt, wird die Hochwasserwelle auf dem Vorland verzögert. Ist die Verzögerung so groß, dass sich am Ende des Gerinneabschnittes die Wellen auf dem Vorland und im Hauptgerinne nicht mehr überlagern, resultiert eine wesentliche Dämpfung der gesamten Welle.

Für die fließende Retention sind demnach folgende Faktoren wichtig:

- Unterschied der Fließgeschwindigkeiten im Hauptgerinne und im Vorland,
- Dauer des Hochwassers und
- Länge des Gerinnes.

Unterscheiden sich die Fließgeschwindigkeiten wenig, so muss entweder die Fließstrecke lang oder die Dauer des Hochwassers kurz sein, um eine deutliche Veränderung der Hochwasserwelle zu bewirken. Unterscheiden sich die Geschwindigkeiten um 1 m/s, so werden bei einer Fließstrecke von 10 km nur Hochwasser gedämpft, die weniger als 3 Stunden andauern.

Studies of the effects of retention near to the channel showed that, in order to estimate the potential of a river network, a differentiated approach is necessary. Apart from the kind of retention (stagnant or flowing) and the available flood plain, the height of the peak value itself and the rise time of the flood wave were identified as important parameters that determine the attenuation characteristics of a river reach.

Retention by flooding

A flood wave can be attenuated considerably more by flooding the foreshores than by retaining the flow in the channel. The effects of flowing and stagnant retention, however, differ greatly.

Stagnant retention

Stagnant retention occurs when water from the channel overflows on to the foreshore and is retained there or continues to flow at a negligible velocity. The flood areas then act as detention basins. The effect of this stagnant retention is influenced by the point in time of the foreshore flooding. If the channel capacity is so small that overflowing occurs already at the beginning of the flood, then the reservoirs are full before the flood peak is reached and when the peak flow occurs, there is hardly any detention capacity available.

More important than the point in time of overflowing is, however, the relation between the volume of the detention area and the volume of the water that overflows on to the foreshore. If the detention volume is larger than the volume of the water overflowing from the channel, then the flow peak is greatly attenuated. In contrast, only a small retention effect can be expected when the volume of the water overflowing on to the foreshores is greater than the available detention volume.

Flowing retention

Flowing retention occurs when the water on the flooded foreshores flows towards the valley. As this water, in comparison to that in the main channel, flows more slowly due to its lesser depth and the higher friction on the foreshore, the flood wave on the foreshore is retarded. If the retardation is so great that at the end of the reach the waves on the foreshores and in the main channel do not coincide, the result is a significant attenuation of the whole wave.

The following factors are thus important for flowing retention:

- difference in the flow velocities in the main channel and on the foreshore,
- duration of the flood and
- length of the channel.

If there is little difference in the flow velocities, either the reach has to be long or the duration of the flood short in order for the flood wave to be changed significantly. If the velocities differ by 1 m/s, floods over a reach of 10 km will only be attenuated if they have a duration of less than three hours.

Wie lässt sich das Potenzial des Speichervermögens des Bodens ermitteln?

Die unterschiedlichen Entstehungsweisen von Hochwassern lassen sich nur verstehen, wenn diese Prozesskenntnisse auf Einzugsgebiete übertragen werden. Solche Übertragungen wurden schon in zahlreichen Gebieten durchgeführt. Mit umfangreichen Feldarbeiten wurden Abflussprozesse an ausgewählten Standorten bestimmt und mit Hilfe von topographischen, geologischen und pedologischen Karten größere Prozessflächen ausgeschieden. Derzeit sind die durchzuführenden Klassifizierungsarbeiten noch sehr arbeitsaufwendig. Innerhalb des Projektes wurden deshalb beispielhaft Abflussprozesskarten von drei Einzugsgebieten vorgestellt und die Möglichkeiten zur Beeinflussung der Abflussprozesse durch Nutzungsänderungen diskutiert. Es wird zur Zeit untersucht, wie weit sich diese aufwendige Vorgehensweise standardisieren und vereinfachen lässt.

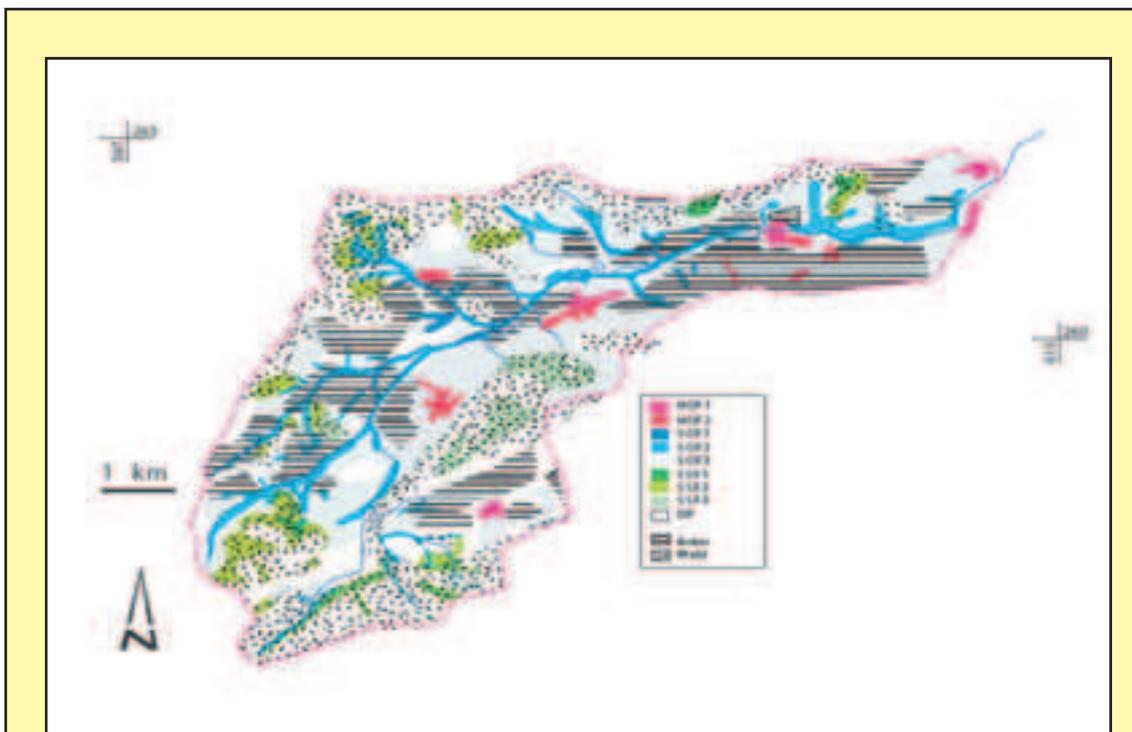
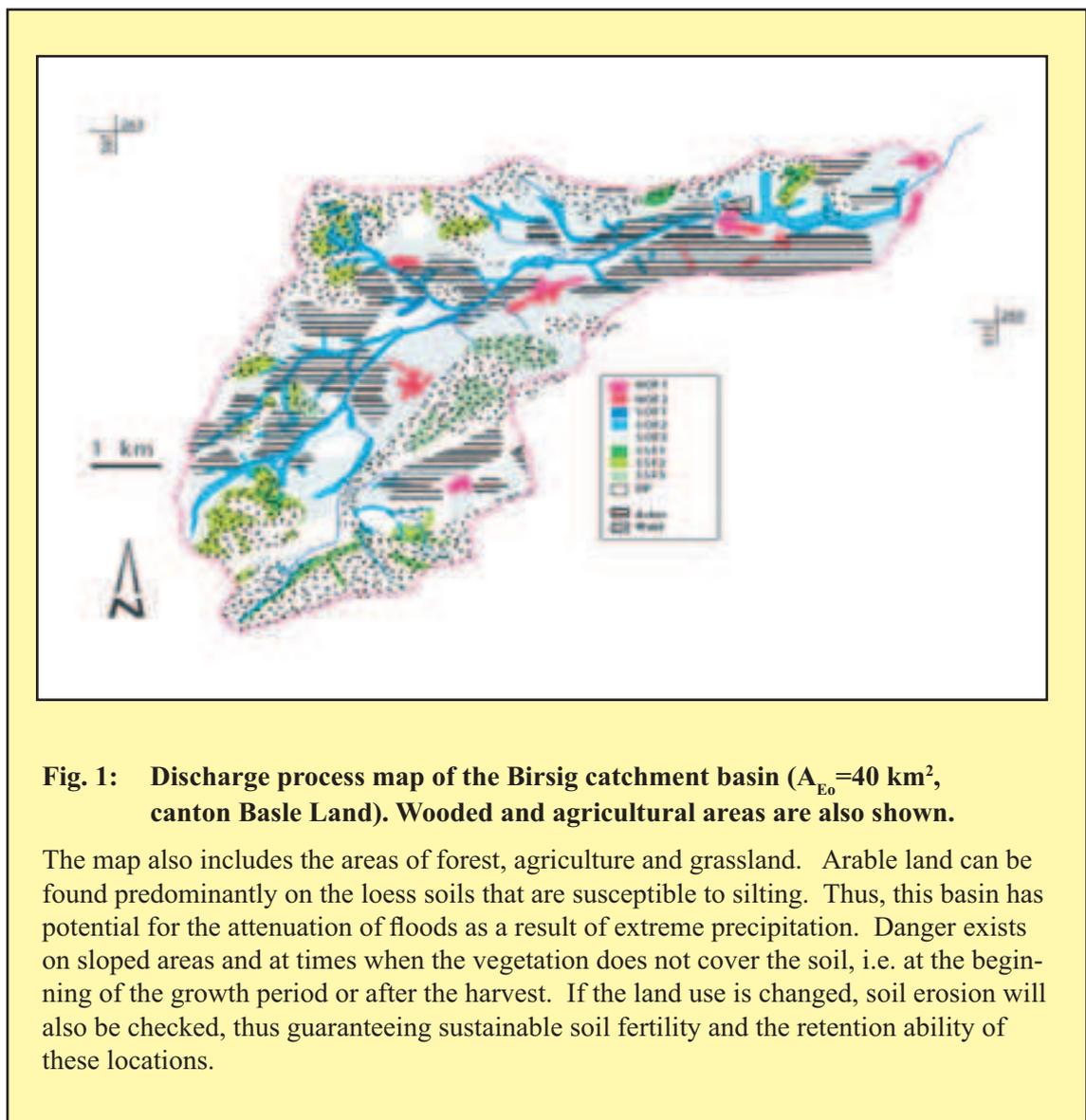


Abb. 1: Abflussprozesskarte für das Einzugsgebiet der Birsig ($A_{Eo} = 40 \text{ km}^2$, Kanton Basel Land). Eingetragen sind auch die Wald- und Ackerflächen

In der Karte sind auch die Areale unter Wald, Ackerbau und Grass eingetragen. Ackerland befindet sich überwiegend auf den verschlammungsanfälligen Lössböden. Damit besteht in dem Gebiet ein Potential zur Dämpfung der Hochwasser bei extremen Starkniederschlägen. Die Gefährdung besteht aber nur auf geneigten Flächen und zu Zeiten, wenn die Vegetation den Boden nicht abdeckt, also zu Beginn der Wachstumsperiode oder nach der Ernte. Bei einer Umnutzung wird auch die Bodenerosion eingedämmt damit die Bodenfruchtbarkeit und das Retentionsvermögen dieser Standorte nachhaltig garantiert werden.

How can the potential of the storage capacity of the soil be determined?

The different ways floods occur can only be understood if knowledge of this process is transferred on to catchment basins. Such transferences have already been made in numerous areas. In wide-ranging field studies discharge processes at selected locations have been determined and larger process areas eliminated with the help of topographical, geological and pedological maps. The classification work is currently still very time-consuming. Therefore, as part of the project, discharge process maps of three catchment basins were presented as examples and the possibilities use changes on the discharge processes discussed. At present, studies are being made to find out how this complex procedure can be standardised and simplified.



Wie lässt sich das Retentionsvermögen von Überflutungsräumen in verzweigten Gewässernetzen ermitteln?

Die Größe des verfügbaren Überflutungsraumes lässt sich an Hand von detaillierten GIS-Studien für das weitverzweigte Gewässernetz großer Flussgebiete flächendeckend ermitteln. Dies wurde beispielhaft für das Moselgebiet ($A_{Eo}=28.152 \text{ km}^2$) in einer Studie durchgeführt. Die Festlegung der Art der Retention gestaltet sich schwieriger. Hierzu müssen weitere Studien zur flussgebietsweiten Ableitung dieses Kennwertes durchgeführt werden. Der Scheitelwert am Beginn eines interessierenden Flussabschnittes und die Wellenanstiegszeit sind bei der Untersuchung großer Flussgebiete nicht isoliert zu betrachten, sondern müssen auf der Basis flussgebietsweit gültiger Referenzhochwasser geschehen.

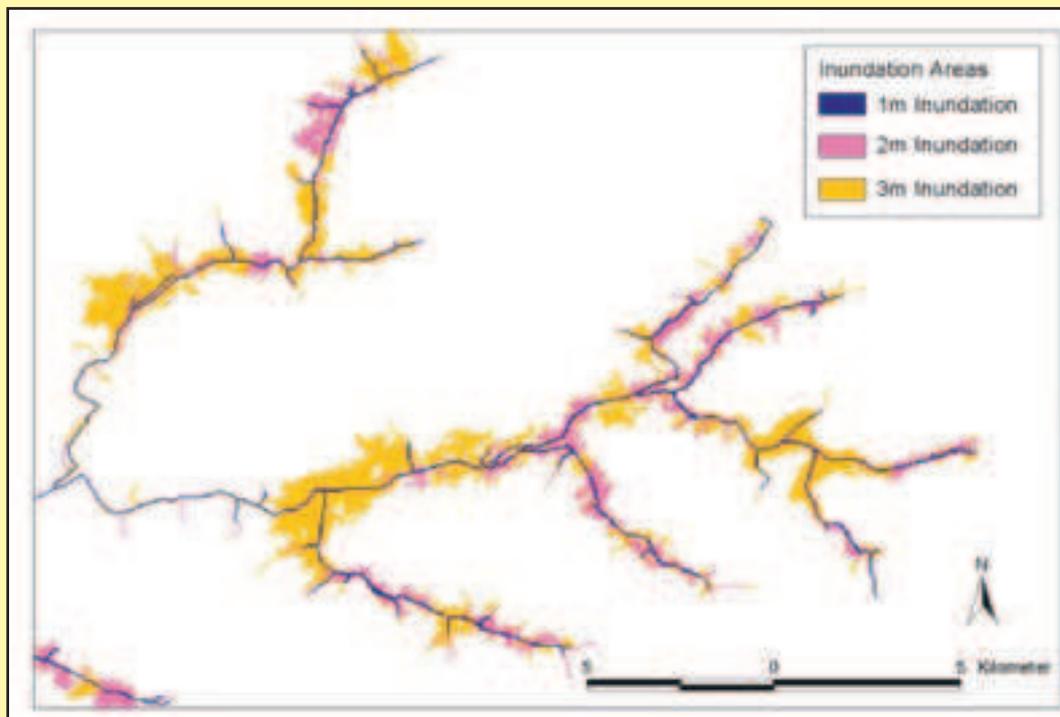


Abb. 2: Ermittlung potentieller Überflutungsräume

Für eine Überflutungshöhe von 1, 2 und 3 m wurden die resultierenden Überflutungsflächen berechnet. Sie basieren auf einem überarbeiteten Geländemodell für das Moselgebiet und dem hiermit konsistenten Gewässernetz (Abb. 2). Die Berechnung erfolgte mittels der von der geomer GmbH entwickelten ArcView-Erweiterung FloodArea 1.4. Die angenommene Überflutungszeit betrug 3 Stunden, nach dieser Zeit traten keine wesentlichen Veränderungen des Überflutungsgebietes mehr auf. Bereiche mit errechneten Überflutungshöhen von weniger als einem Millimeter sind nicht berücksichtigt.

Für die Überflutungsflächen wurden außerdem die Anteile der unterschiedlichen Landnutzungen in Prozent der überfluteten Fläche errechnet.

How can the retention ability of inundated areas in braided river networks be determined?

The size of the available inundation area can be calculated for the whole region on the basis of detailed GIS studies, also for the widely braided river network of large river basins. This is exemplified in a study carried out for the Moselle catchment ($A_{Eo}=28.152 \text{ km}^2$). The determination of the kind of retention is proving to be more difficult. For this, further studies of the catchment-wide derivation of this parameter have to be conducted. During the study of large river basins the crest value at the beginning of the river reach under consideration and the duration of the rise of the flood wave should not be considered in isolation, but on the basis of valid reference floods in the whole riverbasin.

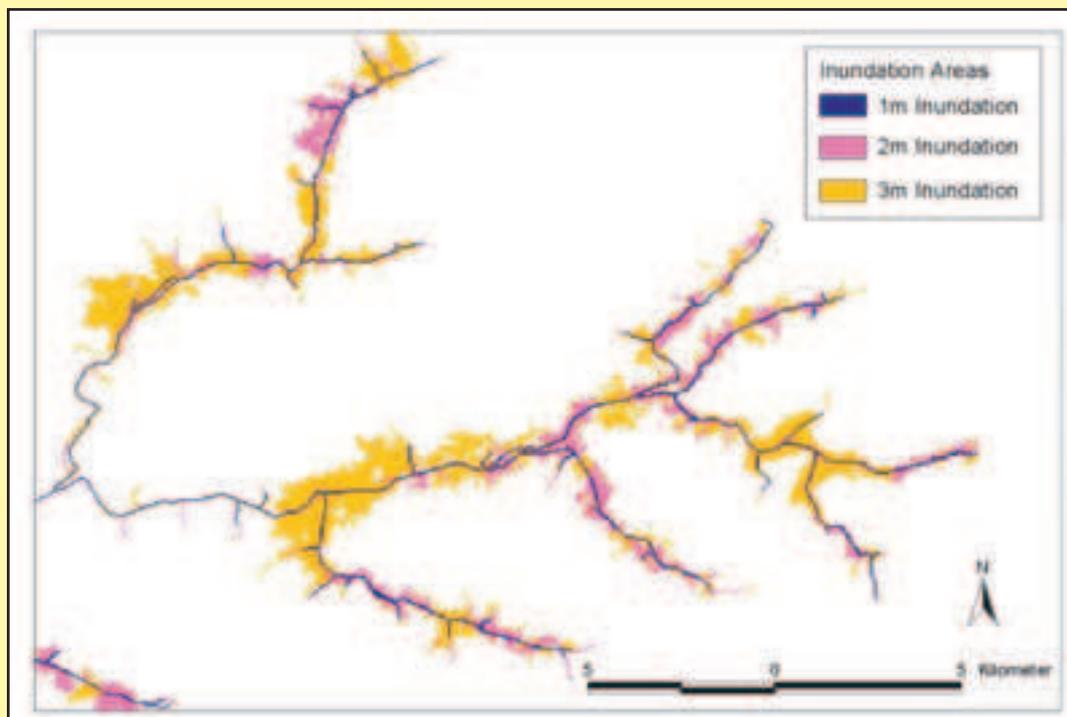


Fig. 2: Determination of potential inundation areas

For inundation depths of 1, 2 and 3 m the resulting inundation areas were calculated. They are based on a revised terrain model for the Moselle catchment and the corresponding river network (Fig. 2). The calculation was made using the ArcView extension FloodArea 1.4 developed by geomer GmbH. The assumed flood duration was 3 hours, after which there were no further significant changes in the inundation area. Areas with calculated inundation heights/depths of less than one millimetre have not been considered.

In addition, for the inundation areas the proportions of the various land uses as a percentage of the flooded area were calculated.

Integrierte Flussgebietsmodellierung

Die integrierte Flussgebietsmodellierung umfasst verschiedene Komponenten, die in ihrer Gesamtheit ein methodisches Gerüst bilden, das als Handlungsanweisung zum Aufbau komplexer Flussgebietsmodelle angesehen werden kann. Da im wesentlichen Rahmenbedingungen zur Modellierung festgelegt werden, wird dieses Konzept als Framework zur integrativen Modellierung (FIRM, Framework for Integrated River Basin Modelling) bezeichnet.

Ein Framework für die Integrative Flussgebietsmodellierung

1) Verfahren zur Erzeugung standardisierter Modelleingangsdaten

- Hydrometeorologische Referenz-Eingangsdaten
- Datensätze der Anfangsbedingungen (Schneewasseräquivalent, Boden- und Grundwasserspeicher)
- Referenz-Hochwasserganglinien für Teileinzugsgebiete

2) Struktureller Rahmen für die angepasste Flussgebietsmodellierung

- Modellwahl
- Optimierte raum-zeitliche Modellierungsstruktur
- Verbindungen und Schnittstellen zwischen den Niederschlag-Abfluss- und den Wellenablaufmodellen
- Flexible Strukturen zur Modell-Verknüpfung

3) Integrierte Flussgebietsmodellierung

- Niederschlag-Abfluss-Modellierung (Einzugsgebietsmodellierung)
- Wellenablaufmodellierung
- Hydrodynamische Modellierung

4) Verfahren zur Auswertung der Modellergebnisse

- Schätzungen der szenario- und modellbedingten Unsicherheit
- Auswahl statistischer Kenngrößen
- Darstellung und Bewertung der Ergebnisse

5) Operativer Betrieb komplexer Flussgebietsmodelle

- Erstellung und Verwaltung der Szenarien
- Verwaltung und Anpassung der Modellstruktur und Modellparameter
- Verwaltung der Ergebnisdateien

Integrated river basin modelling

Integrated river basin modelling comprises various components which together form a methodological framework that can be regarded as instructions for the development of complex catchment models. As basic conditions are essentially specified for modelling, this concept is referred to as the Framework for Integrated River Basin Modelling (FIRM).

A framework for integrated river basin modelling

1) Procedure for the generation of standardised model input data

- Hydrometeorological reference input data
- Datasets of initial conditions (water equivalent of snow, soil water and groundwater reservoirs)
- Reference hydrographs for sub-catchments

2) Structural framework for adapted river basin modelling

- Choice of model
- Optimised spatio-temporal modelling structure
- Connections and interfaces between the precipitation/discharge and flow routing models
- Flexible structures for model interconnections

3) Integrated river basin modelling

- Precipitation/discharge modelling (catchment modelling)
- Flow routing modelling
- Hydrodynamic modelling

4) Procedure for the evaluation of modelling results

- Estimations of scenario and model uncertainties
- Selection of statistical parameters
- Presentation and evaluation of results

5) Operation of complex river basin models

- Creation and management of scenarios
- Management and adaptation of model structure and parameters
- Management of results

Welche Modelle sind geeignet?

Die Quantifizierung des Einflusses von Hochwasserrückhaltemaßnahmen in der Fläche sowie an den Gewässern eines verzweigten Flussnetzes erfordert den Einsatz von Niederschlag-Abfluss-Modellen in Kombination mit hydrologischen und/oder hydrodynamischen Wellenablaufmodellen. Bezogen auf das Rheingebiet muss ein großer Maßstabsbereich abgedeckt werden, der von der Hang- und Standortskala bis hin in die Makroskala reicht. Diese Skalenübergänge sind durch eine optimale Kombination der Modelle unter Berücksichtigung ihrer Anwendbarkeit und ihrer Aussageschärfe zu überbrücken.

Level	Einzugsgebiet	Größe [km ²]	Modelle
1	Rhein und seine größeren Nebenflüsse	5.000-150.000	Hydrologische oder 1-d hydrodynamische Wellenablaufmodelle, z.B. SYNHP, SOBEK
2	Teileinzugsgebiete der Nebenflüsse	~1.000	Makro-skalige Niederschlag-Abfluss-Modellierung, z.B. HBV-SMHI
3a	Kleinere Nebenflüsse	~1.000	Hydrologischer Wellenablauf mit konzeptueller Betrachtung der Retention am Gewässer, z.B. FPSIM
3b	Teileinzugsgebiete	~100-300	Meso-skalige Niederschlag-Abfluss-Modellierung, z.B. HBV-BfG

Tabelle 1: Modelle und ihre Eignung für verschiedene Einzugsgebiete

Fundierte modellgestützte Aussagen zur Wirkung dezentraler Hochwassermaßnahmen auf der lokalen und regionalen Ebenen selbst erfordern die prozessorientierte Modellierung der Abflussbildungsprozesse. Hierzu sind detaillierte Prozessmodelle in Begleitung eines intensiven Messprogramms erforderlich. Nach der gegenwärtigen Modellierungstechnik gelingt dies auf der Maßstabsebene Standort und Hang sowie bis kleine Einzugsgebiete (~10 km²). Hier sollten entsprechende Studien erfolgen. In weiteren Studien ist die Übertragbarkeit dieser Ergebnisse über die Parametrisierung auf mesoskalige N-A-Modelle (100 km² bis 300 km²) weiter zu verfeinern.

Die Eignung konzeptioneller N-A-Modelle zur Berücksichtigung der Wirkung von Maßnahmen zur Bodenbearbeitung auf den Hochwasserabfluss auf der Meso-Skala wurde beispielhaft untersucht. Der Einsatz des konzeptionellen semi-distributiven N-A-Modells hat sich bewährt. Die Wirkung von Rückhaltemaßnahmen im Einzugsgebiet lassen sich über eine entsprechende Parametrisierung des Modells simulieren.

Which models are suitable?

The quantification of the effect of flood retention measures in the whole area as well as in the streams of a braided river network requires the use of rainfall/runoff models combined with hydrological and/or hydrodynamic flow routing models. Based on the Rhine river basin, there has to be a large assortment of scales ranging from the slope and location scale to the macro-scale. These transitions between scales have to be linked by an optimal combination of the models taking into consideration their applicability as well as the accuracy of their statements.

Level	Catchment	Size [km ²]	Models
1	Rhine and its larger tributaries	5.000-150.000	Hydrological or 1-d hydrodynamic wave routing models, e.g. SYNHP, SOBEK
2	Sub-catchments of the tributaries	~1.000	Macro-scale rainfall/runoff modelling, e.g. HBV-SMHI
3a	Smaller tributaries	~1.000	Hydrological flow routing with conceptual observation of the retention on the river, e.g. FPSIM
3b	Sub-catchments	~100-300	Meso-scale rainfall/runoff modelling, e.g. HBV/BfG

Table 1: Models and their suitability for different catchments

Well-founded model-supported statements on the impact of decentralised flood retention measures at local and regional levels require the process-oriented modelling of discharge formation processes. For this, detailed process models together with an intensive measuring programme are necessary. According to the current modelling technique this works on the scale level of location and slopes up to small catchments (~10 km²). Appropriate studies should be conducted on this. In further studies the transfer of these results of parameterisation to meso-scale N-A models (100 km² to 300 km²) should be further improved.

The suitability of conceptual rainfall/runoff models to provide for the impact of soil cultivation measures on flood runoff on a meso-scale was exemplarily studied. The application of the conceptual semi-distributive rainfall/runoff model proved to be of value. The effect of retention measures in the catchment area can be simulated with a suitable parameterisation of the model.

Zur Erleichterung der Übertragung der Ergebnisse von im Einzugsgebiet des Rheins durchgeführten Prozessstudien, sollte auf für das gesamte Rheingebiet noch abzuleitende hydrometeorologischen Referenzszenarien zurückgegriffen werden. Diese sind deshalb in einem nächsten Schritt zu erstellen und für derartige Studien bereitzustellen.

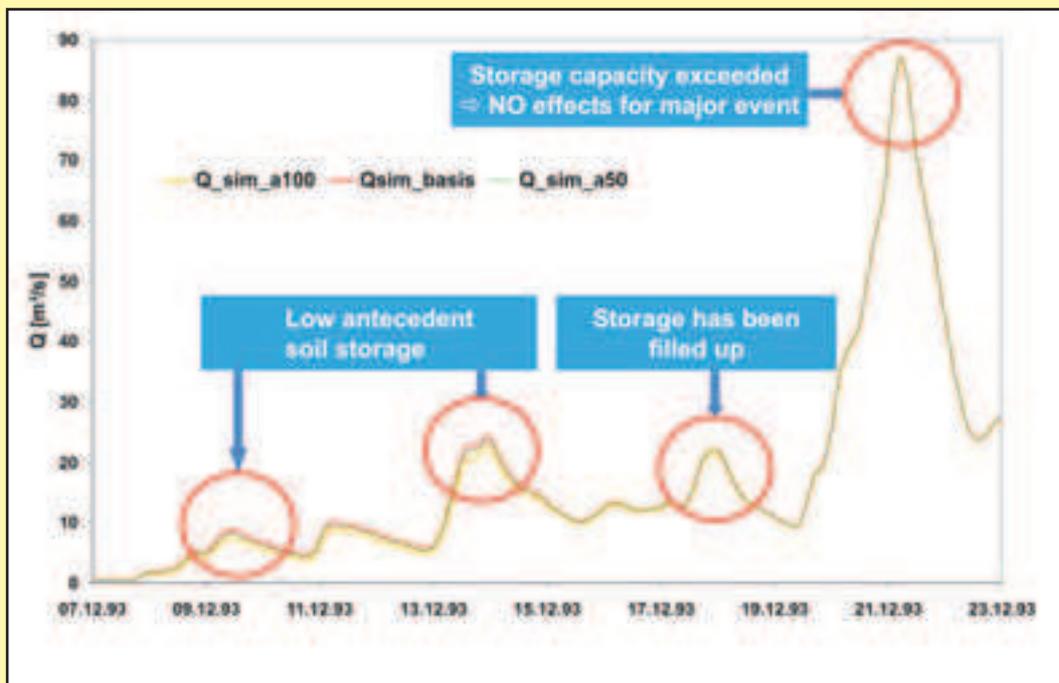


Abb. 3: Beispiel einer Simulationsrechnung mit dem semi-distributiven Modell HBV-BfG für das Szenario Erhöhung der Speicherkapazität des Bodens im Einzugsgebiet der oberen Blies (AEo = ~160 km²) für das extreme Winterhochwasser 1993.

In order to facilitate the transfer of the results of the process studies carried out in the Rhine basin, it should be possible to resort to the hydrometeorological reference scenarios that have yet to be derived for the whole Rhine catchment. Therefore, the next step is to prepare these scenarios and make them available for such studies.

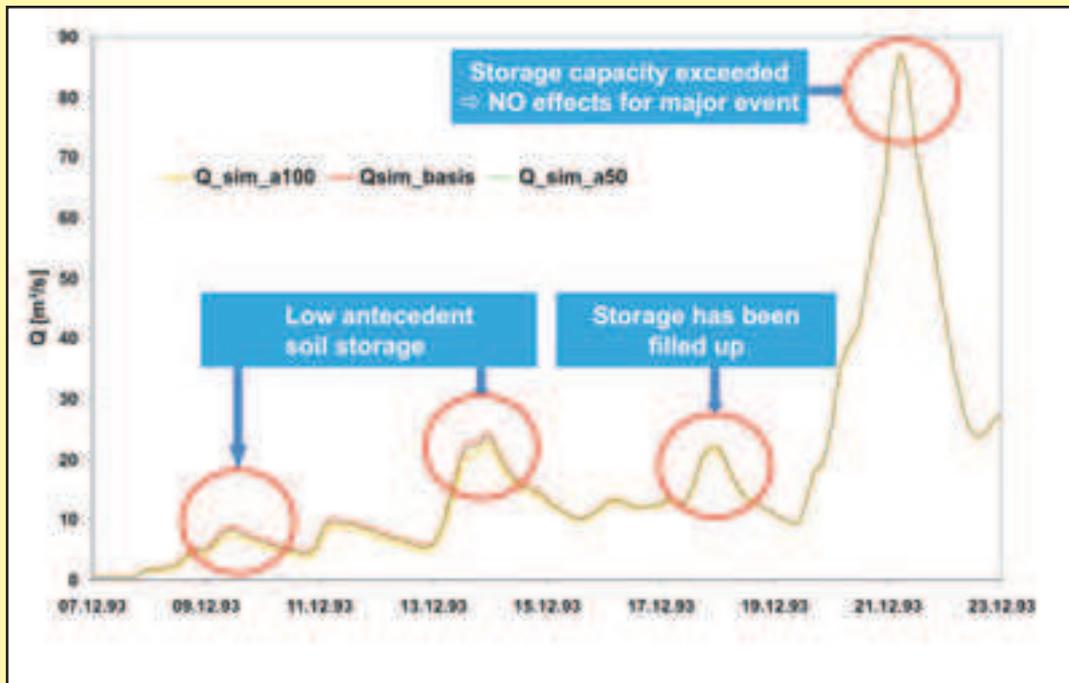


Fig. 3: Example of a simulated computation with the semi-distributed model HBV-BfG for the scenario of increasing the storage capacity of the soil in the catchment of the upper Blies ($A_{Eo} = \sim 160 \text{ km}^2$) for the extreme winter flood in 1993.

Verfahren zur Erzeugung standardisierter Modelleingangsdaten

Es wurden drei Verfahren zur Ableitung standardisierter hydrometeorologischer Referenzbedingungen (Belastungsszenarien), die als Eingang für meso- und makroskalige N-A-Modelle dienen, entwickelt und erprobt.

- 1) Auswahl historischer Niederschlagsfelder auf der Grundlage interpolierter und gerasterter Niederschlagsdaten entsprechend klassifizierter Niederschlagstypen;
- 2) Aufbau eines statistischen Niederschlagssimulators für die Berechnung typischer hochwasserauslösender Niederschlagsereignisse nach den abgeleiteten Niederschlagstypen;
- 3) Anwendung eines stochastischen Niederschlagsgenerators für die Erstellung synthetischer Zeitreihen (z.B. 1000 Realisationen der Tageswerte eines Jahres) von Niederschlag und Lufttemperatur (Wójcik et al. 2000).

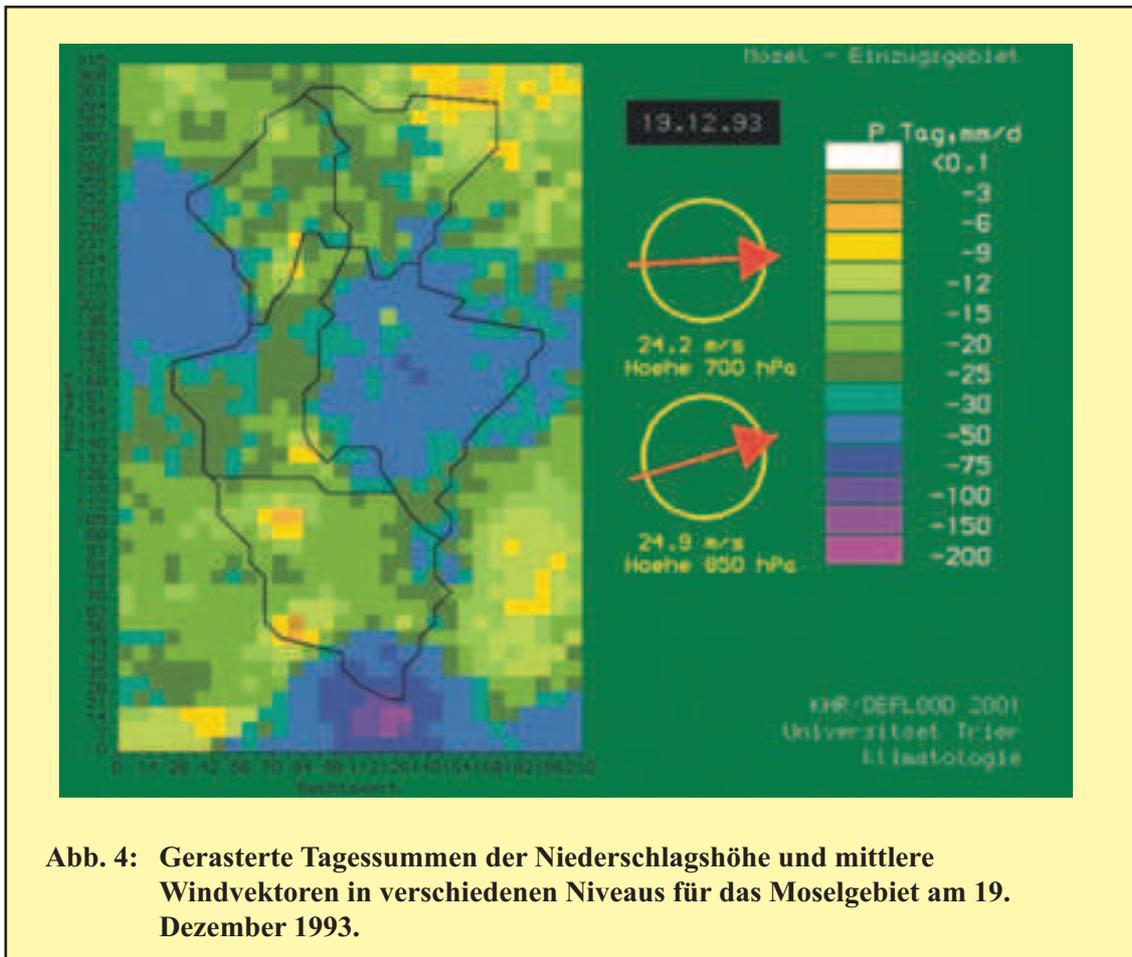


Abb. 4: Gerasterte Tagessummen der Niederschlagshöhe und mittlere Windvektoren in verschiedenen Niveaus für das Moselgebiet am 19. Dezember 1993.

Procedure for the generation of standardized model input data

Three procedures for the derivation of standardised hydrometeorological reference conditions (impact scenarios) that serve as access to meso-scale and macro-scale rainfall/runoff models were developed and tested.

- 1) Selection of historical precipitation areas based on interpolated and rasterized precipitation data according to the classified types of precipitation;
- 2) Development of a statistical precipitation generator for the simulation of typical flood provoking precipitation events according to the derived types of precipitation;
- 3) Application of a stocastical precipitation generator for the creation of synthetic time series (e.g. 1000 realizations of the daily value of a year) of precipitation and air temperature (Wójcik et al. 2000).

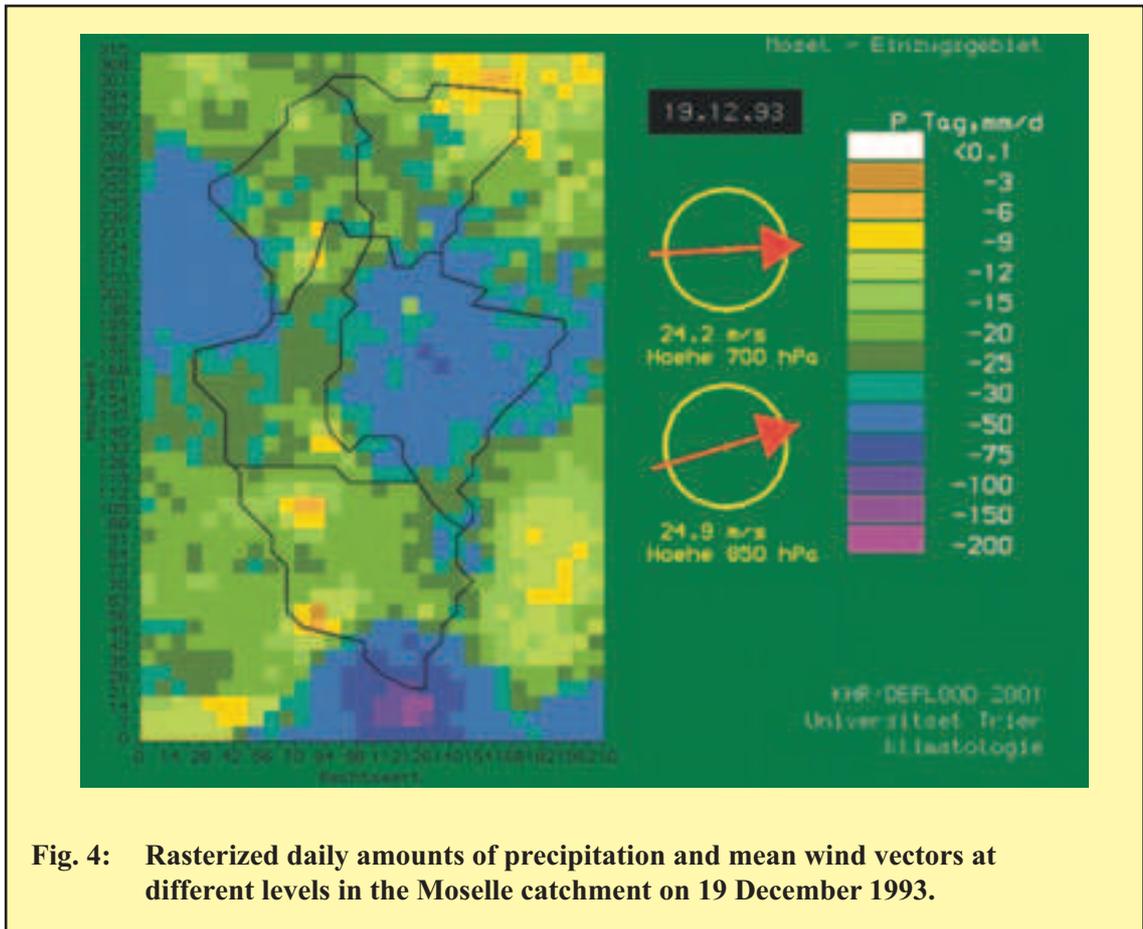


Fig. 4: Rasterized daily amounts of precipitation and mean wind vectors at different levels in the Moselle catchment on 19 December 1993.

Zur Unterstützung dieser Arbeiten wurde im Rahmen des Projektes im März 2001 der Workshop *Ermittlung hydrometeorologischer Referenzbedingungen für die Einschätzung der Hochwassergefährdung in großen Flusseinzugsgebieten* bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz veranstaltet (Krahe und Herpertz, 2001).

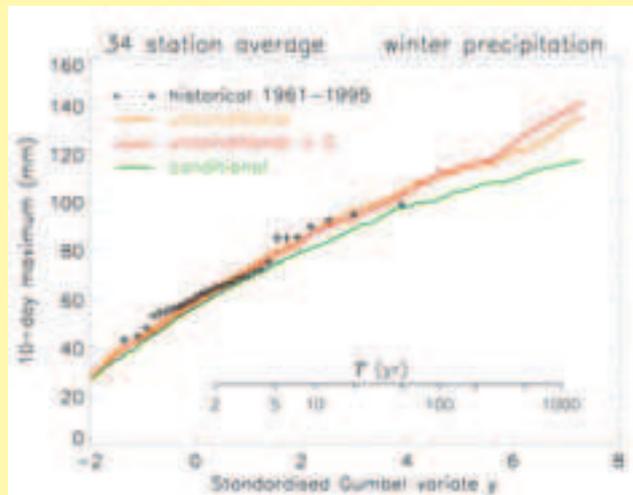


Abb. 5: Extremwertverteilung der maximalen Niederschlagshöhe für die Dauerstufe von 10 Tagen. Beobachtete und simulierte Werte im hydrologischen Winterhalbjahr.

Die Werte wurden auf Tageswertbasis als 1000-jährige Zeitreihe mit dem stochastischen Niederschlagsgenerator erzeugt.

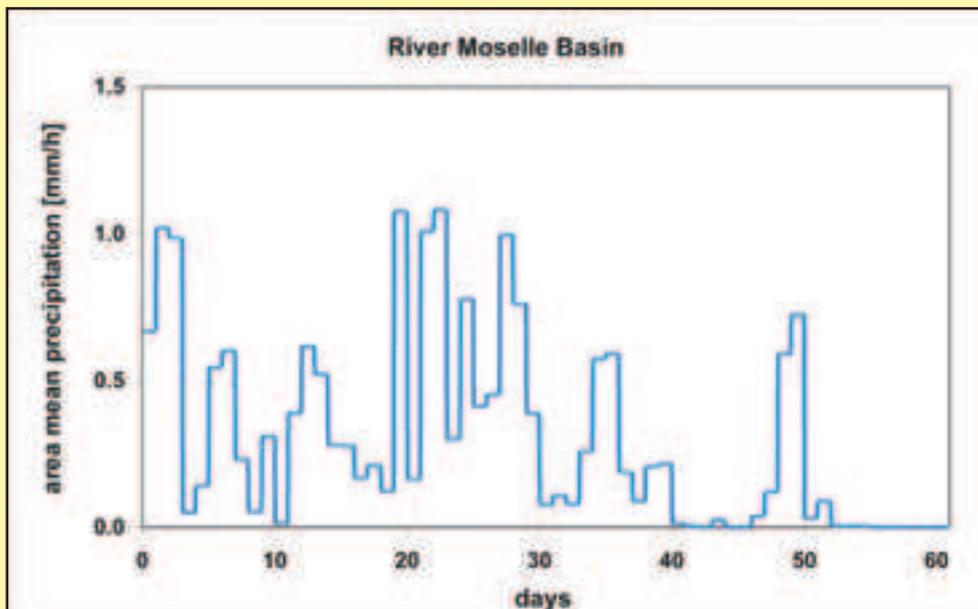


Abb. 6: Mit dem stochastischen Niederschlagsgenerator erzeugte Niederschlagsdaten. Die dargestellte Zeitreihe wurde nach dem Kriterium der größten Summe eines 30-tägigen Zeitraumes aus der Simulation einer 1000-jährigen Reihe ausgewählt. Die Daten stellen den Gebietsniederschlag für das Moselgebiet dar.

In support of this work the workshop *Development of hydrometeorological reference conditions for the assessment of flood hazards in large river basins* was held as part of the project at the Federal Institute of Hydrology in March 2001 (Krahe and Herpertz, 2001).

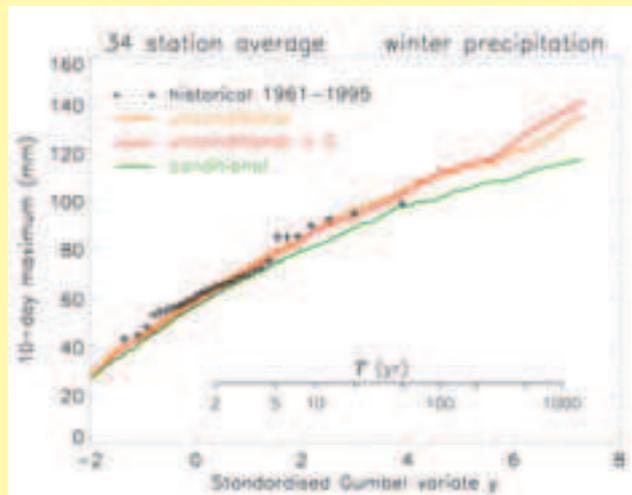


Fig. 5: Distribution of extreme values of maximum precipitation for the 10-day duration level. Observed and simulated values in the hydrological winter half-year.

The values were generated on a daily value basis as a 1000-year time series with the stochastic precipitation generator.

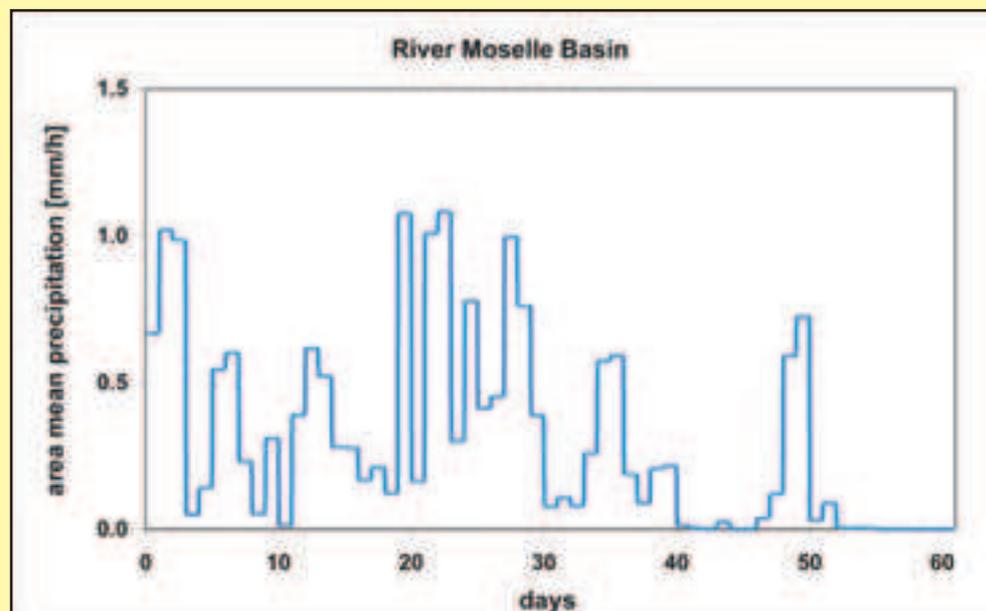


Fig. 6: Precipitation data generated with the stochastic precipitation generator. The time series shown was chosen according to the criterion of the greatest sum of a 30-day period from the simulation of a 1000-year series. The data represent the areal precipitation for the Moselle catchment.

Mit Hilfe der Verfahren wurden beispielhaft im Einzugsgebiet der Mosel (28.152 km²) hochwasserrelevante Belastungsszenarien des Niederschlages erstellt und in Verbindung mit dem für das Gebiet vorliegenden makroskaligen N-A-Modell sowie den bestehenden Wellenablaufmodellen für die Flüsse Saar und Mosel die s.g. Referenzhochwasser berechnet.

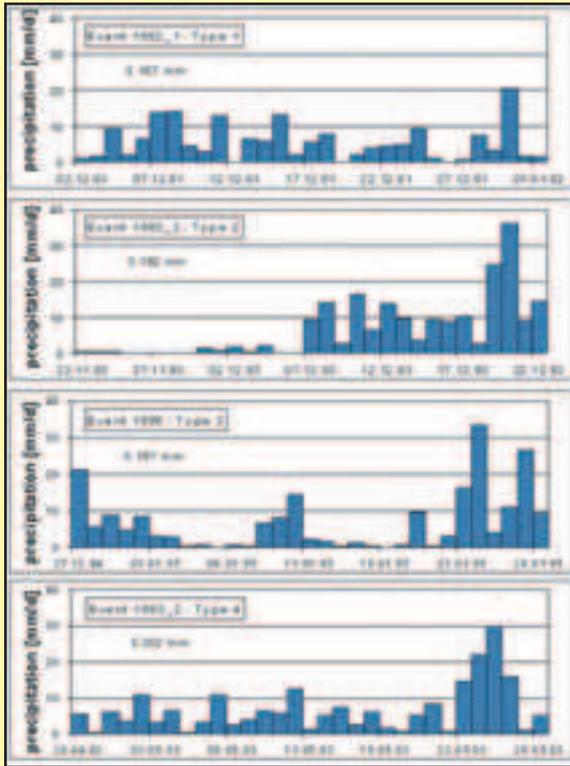
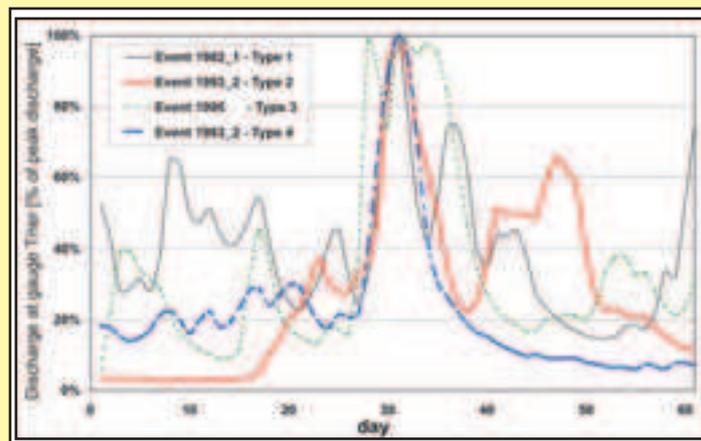


Abb. 7: Gebietsniederschlagshöhen für das Moselgebiet für ausgewählte und klassifizierte Hochwasserereignisse. Die Klassifizierung erfolgte nach dem zeitlichen Muster der Niederschlagshöhen in einem 30-tägigen Zeitraum vor Eintreffen des Scheitels am Pegel Trier.

Abb. 8: Normalisierte Ganglinien von Hochwasserganglinien, die mit dem Modell HBV-SMHI und ausgewählten und klassifizierten Niederschlagsreihen simuliert wurden. Diese stellen die „Referenzhochwasser“ dar, die beispielsweise als Belastungsszenarien für unterhalb gelegene Flussstrecken verwendet werden können.



With the help of these procedures, flood-relevant impact scenarios of precipitation, as exemplified in the Moselle catchment area (28.152 km²), were set up and, in conjunction with the existing macro-scale rainfall/runoff model for the area and the flow-routing models for the rivers Saar and Moselle, the so-called reference floods were calculated.

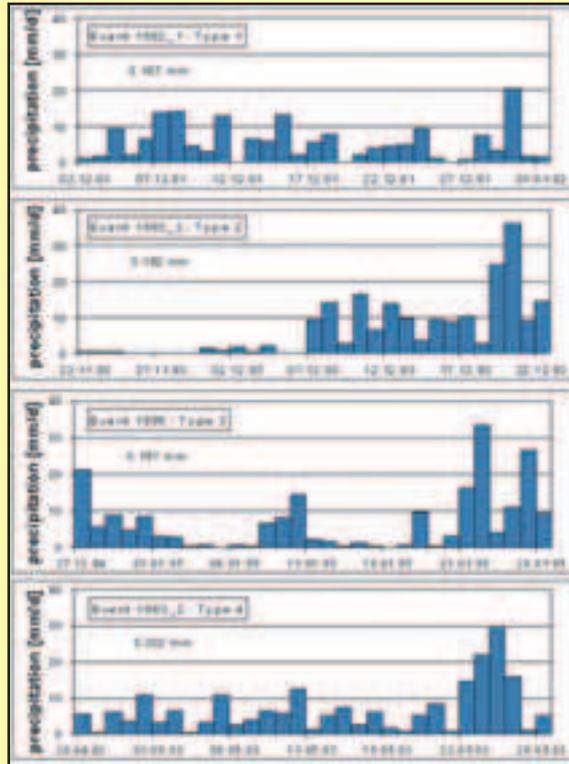
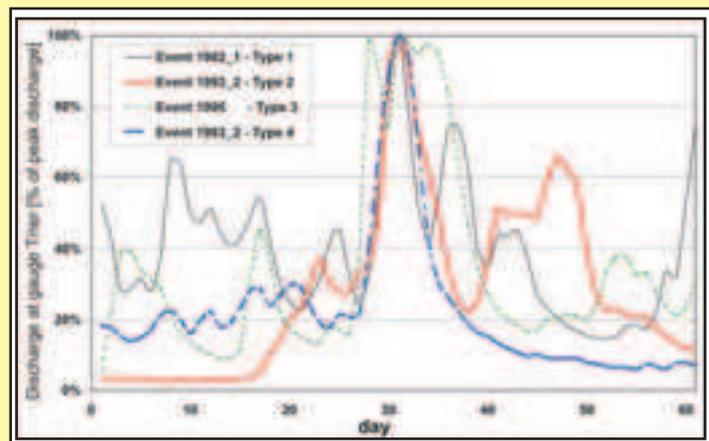


Fig. 7: Areal precipitation depths for selected and classified flood events in the Moselle catchment. The classification resulted from the chronological pattern of the precipitation depths in a 30-day period before the flood crest reached the gauge at Trier.

Fig. 8: Normalized hydrographs of flood hydrographs that were simulated with the HBV-SMHI model and selected and classified precipitation series. These represent the “reference floods” that can be used, for example, as impact scenarios for river reaches further downstream.



Operativer Betrieb komplexer Flussgebietsmodelle

Die innerhalb des Flussgebietsmodells zum Einsatz kommenden hydrologischen und hydrodynamischen Modelle werden in der Regel von verschiedenen Arbeitsgruppen betrieben. Auch werden die Modelle selbst, oft schon auf Grund des Rechenaufwandes auch in verschiedenen Betriebsarten (ereignisbezogen, Kontinuumsläufe) angewendet. Zudem kommen bei den verschiedenen Szenarien eine Vielzahl an Modellergebnissen zusammen. Zur Abarbeitung der im FIRM-Konzept festgelegten Modellkopplung bietet es sich deshalb an, eine Datenbank in Verbindung mit einem Internet- oder Intranet-basierten System aufzubauen, das den im FIRM Konzept formulierten Ansprüchen genügt. Innerhalb eines derartigen Systems sollte auch ein flussgebietsweites Inventar von Hochwasserrückhaltemaßnahmen aufgebaut und gepflegt werden. Maßnahmen, die eine Dämpfung von Hochwasserwellen für Einzugsgebietsflächen von 100 km² bis 300 km² erwarten lassen, sollten darin aufgenommen werden.

Die für die Simulationsrechnungen eingesetzten Modelle sind ständig dem Stand von Wissenschaft und Technik anzupassen. Insbesondere ist der Modellaufbau bei der N-A-Modellierung zu verfeinern. Auf eine Austauschbarkeit der im Rahmen der Methodik eingesetzten Modelle ist zu achten.

Mit der Integration der verschiedenen Komponenten der im Rahmen des Projektes formulierten Methodik in ein Software-gestütztes System, wird ein kontinuierlich wachsendes Wissenssystem aufgebaut, das mittel- und langfristig die Basis zur Wirkungsabschätzung dezentraler Hochwasserrückhaltemaßnahmen im Rheingebiet liefern kann.

Die mit einer hydrologischen Modellierung systembedingt verbundenen Unsicherheiten und die damit verbundene Schwierigkeit der Interpretation und Wertung der Ergebnisse sind Gegenstand der aktuellen hydrologischen Forschung. Das hier vorgestellte methodische Rüstzeug ist deshalb kontinuierlich weiterzuführen.

Functional operation of complex river basin models

The hydrological and hydrodynamic models used in the river basin model are usually operated by various working groups. The models themselves are used in different modes of operation (event-related, continuum run), often owing to the complexity of the calculations. In addition, with the various scenarios a large number of results are amassed. In order to implement the linking of models as stipulated in the FIRM concept, it is recommended to set up a database in conjunction with an internet or intranet-based system that satisfies the requirements specified in the FIRM concept. Such a system should also include an up-to-date catchment-wide inventory of flood retention measures, with which an attenuation of flood waves for catchment areas of 100 to 300 km² can be expected.

The models used for the simulation computations are to be constantly scientifically and technically updated. Especially the model set-up for the rainfall/runoff modelling has to be improved. Care should be taken that the models used within the framework of the methodology can be exchanged.

With the integration of the different elements of the methodology into a software-supported system, a structure of increasing knowledge is built up that can in the medium and long term provide the basis for the assessment of the effects of decentralised flood retention measures in the Rhine basin.

The uncertainties linked to a hydrological modelling due to the system and hence the difficulties in interpreting and evaluating the results are currently the subject of hydrological research. The methodological structure presented here should therefore be maintained.

Literatur

- Bronstert, A., A.Bárdossy, C. Bismuth, H. Buiteveld, N. Busch, M. Disse, H. Engel, U. Fritsch, Y. Hundecha, R. Lammersen, D. Niehoff, N. Ritter (2003): Quantifizierung des Einflusses der Landoberfläche und der Ausbaumaßnahmen am Gewässer auf die Hochwasserbedingungen im Rheingebiet. KHR-Bericht Nr. II-18, Lelystad
- Buishand, T. and T. Brandsma (2000): Multi-site simulation of daily precipitation and temperature in the Rhine basin by nearest-neighbour resampling. Preprint 2000-14, KNMI, De Bilt (Submitted to Water Resour. Res.)
- Internationale Kommission zum Schutze des Rheins (IKSR) (1998): Aktionsplan Hochwasser. Selfpublisher, Koblenz (www.iksr.org)
- Internationale Kommission zum Schutze der Mosel und der Saar (IKSMS) (1999): Aktionsplan Hochwasser im Einzugsgebiet von Mosel und Saar. Selfpublisher, Trier (www.iksms-cipms.org)
- Krahe, P. and D. Herpertz (Edt.) (2001): Generation of Hydrometeorological Reference Conditions for the Assessment of Flood Hazard in large River Basins. CHR-Report no I-20, Lelystad
- Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (1995): Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz. Selfpublisher, Wiesbaden
- Naeff, F., S. Scherrer and A. Faeh (1998): Die Auswirkungen des Rückhaltevermögens natürlicher Einzugsgebiete bei extremen Niederschlagsereignissen auf die Grösse extremer Hochwasser. Schlussbericht NFP 31. vdf Hochsch.-Verl. ETH, Zürich
- Scherrer, S. and F. Naef, (2002): A decision scheme to indicate dominant hydrological flow processes on temperate grassland. Hydrological Processes, in press
- Wójcik, R., J.J. Beersma, and T.A. Buishand, (2000): Rainfall generator for the Rhine basin. Multi-site generation of weather variables for the entire drainage area. KNMI publication 186-IV. KNMI, De Bilt.

Links:

IRMA-SPONGE Projekt (www.irma-sponge.org).

Internationale Kommission zum Schutze des Rheins (www.iksr.org)

International Kommission zum Schutze der Mosel und der Saar (www.iksms-cipms.org)

www.ikone-online.de

www.hlug.de/medien/wasser/rkh

www.wasser.rlp.de/hochwasser/

www.stua-si.nrw.de/sieg/

References:

- Bronstert, A., A.Bárdossy, C. Bismuth, H. Buiteveld, N. Busch, M. Disse, H. Engel, U. Fritsch, Y. Hundecha, R. Lammersen, D. Niehoff, N. Ritter (2003): Quantifizierung des Einflusses der Landoberfläche und der Ausbaumaßnahmen am Gewässer auf die Hochwasserbedingungen im Rheingebiet. KHR-Bericht Nr. II-18, Lelystad
- Buishand, T. and T. Brandsma (2000): Multi-site simulation of daily precipitation and temperature in the Rhine basin by nearest-neighbour resampling. Preprint 2000-14, KNMI, De Bilt (Submitted to Water Resour. Res.)
- International Commission for the Protection of the Rhine (ICPR) (1998): Action Plan on Flood Defence. Selfpublisher, Coblenz (www.iksr.org)
- International Commission for the Protection of the Moselle and the Saar (ICPMS) (1999): Action Plan on Floods in the catchment of the Moselle and the Saar. Selfpublisher, Trier (www.iksms-cipms.org)
- Krahe, P. and D. Herpertz (Edt.) (2001): Generation of Hydrometeorological Reference Conditions for the Assessment of Flood Hazard in large River Basins. CHR-Report no I-20, Lelystad
- Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (1995): Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz. Selfpublisher, Wiesbaden
- Naeff, F., S. Scherrer and A. Faeh (1998): Die Auswirkungen des Rückhaltevermögens natürlicher Einzugsgebiete bei extremen Niederschlagsereignissen auf die Grösse extremer Hochwasser. Schlussbericht NFP 31. vdf Hochsch.-Verl. ETH, Zürich
- Scherrer, S. and F. Naef, (2002): A decision scheme to indicate dominant hydrological flow processes on temperate grassland. Hydrological Processes, in press
- Wójcik, R., J.J. Beersma, and T.A. Buishand, (2000): Rainfall generator for the Rhine basin. Multi-site generation of weather variables for the entire drainage area. KNMI publication 186-IV. KNMI, De Bilt.

Links:

IRMA-SPONGE project (www.irma-sponge.org).

International Commission for the Protection of the Rhine (www.iksr.org)

International Commission for the Protection of the Moselle and the Saar (www.iksms-cipms.org)

www.ikone-online.de

www.hlug.de/medien/wasser/rkh

www.wasser.rlp.de/hochwasser/

www.stua-si.nrw.de/sieg/

Die Ergebnisse zum DEFLOOD-Projekt liegen in Form des Abschlussberichtes bei der KHR vor. Eine erweiterte Zusammenfassung findet sich auf der Internetseite des IRMA-SPONGE Projektes (www.irma-sponge.org). Weitere Informationen zur KHR können auch unter www.chr-khr.org eingesehen werden.

Vertragspartner:

KHR (Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes), Lelystad, NL

Unterauftragnehmer:

BfG (Bundesanstalt für Gewässerkunde), Koblenz, D

RIZA (Staatliches Amt für Integralverwaltung der Binnengewässer und für Abwasserreinigung), Arnhem, NL

BWG (Bundesamt für Wasser und Geologie), Bern, CH

Assoziierte Vertragspartner:

ETH (Eidgenössische Technische Hochschule), Zürich, CH

geomer GmbH, Heidelberg, D

KNMI (Königliches Niederländisches Meteorologisches Institut), De Bilt, NL

Universität Trier, Trier, D

The results of the DEFLOOD project have been compiled in a final report and are available from CHR. An extended summary can be found on the Internet page of this IRMA-SPONGE project (www.irma-sponge.org). Further information on CHR is given on www.chr-khr.org.

Project partner:

CHR (International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin), Lelystad, Netherlands

Subcontractor:

BfG (Federal Institute of Hydrology), Coblenz, Germany

RIZA (Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment), Arnhem, Netherlands

BWG (Federal Office of Water and Geology), Bern, Switzerland

Associated contractors:

ETH (Swiss Federal Institute of Technology), Zurich, Switzerland

geomer, GmbH, Heidelberg, Germany

KNMI (Royal Netherlands Meteorological Institute), De Bilt, Netherlands

Trier University, Trier, Germany

Allgemeine Information über die Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR)

Die KHR ist eine Organisation, in der wissenschaftliche Institutionen der Rheinanliegerstaaten gemeinsam hydrologische Grundlagen für die nachhaltige Entwicklung im Rheingebiet erarbeiten.

Mission und Aufgaben der KHR sind:

Erweiterung der Kenntnisse über die Hydrologie des Rheingebietes durch:

- gemeinsame Untersuchungen
- Austausch von Daten, Methoden und Informationen
- Entwicklung standardisierter Verfahren
- Veröffentlichungen in einer eigenen Schriftenreihe

Beiträge zur Lösung von grenzüberschreitenden Problemen durch die Entwicklung, Verwaltung und Bereitstellung von:

- Informationssystemen (KHR-Rhein-GIS)
- Modellen, wie z. B. Wasserhaushaltsmodelle und das Rhein-Alarmmodell

Die Länder, die sich daran beteiligen, sind:

die Schweiz, Österreich, Deutschland, Frankreich, Luxemburg und die Niederlande.

Beziehung zur UNESCO und WMO.

Die KHR wurde 1970 anlässlich der UNESCO-Empfehlung zur Förderung einer engeren Zusammenarbeit in internationalen Flussgebieten gegründet. Seit 1975 erfolgt die Fortsetzung der Arbeiten im Rahmen des Internationalen Hydrologischen Programms (IHP) der UNESCO und des HWRP (Hydrological Water Resources Programme) der WMO.

Für weitere Informationen über die KHR, siehe unsere Webseite: www.chr-khr.org

General Information on the International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin (CHR)

The CHR is an organisation in which scientific institutes of the Rhine riparian states develop joint hydrological measures for sustainable development of the Rhine basin.

CHR's mission and tasks:

Acquiring knowledge of the hydrology of the Rhine basin through:

- joint research
- exchange of data, methods and information
- development of standardised procedures
- publications in the CHR series

Making a contribution to the solution of cross-border problems through the formulation,

- management and provision of:
 - information systems (CHR Rhine GIS)
 - models, e.g. models for water management and the Rhine Alarm model

Co-operating countries:

Switzerland, Austria, Germany, France, Luxembourg and the Netherlands.

Relationship with UNESCO and WMO

The CHR was founded in 1970 following advice by UNESCO to promote closer co-operation in international river basins. Since 1975, the work has been continued within the framework of the International Hydrological Programme (IHP) of the UNESCO and the Hydrological Water Resources Programme (HWRP) of the WMO.

For more information on the CHR, refer to the web site: www.chr-khr.org

CHR/KHR (1978): Das Rheingebiet, Hydrologische Monographie. Staatsuitgeverij, Den Haag/
Le bassin du Rhin. Monographie Hydrologique. Staatsuitgeverij, La Haye. ISBN 90-12017-75-0
Nicht mehr lieferbar

Berichte der KHR**CHR Reports**

- I-1 GREBNER, D. (1982): Objektive quantitative Niederschlagsvorhersagen im Rheingebiet.
Stand 1982 (nicht mehr lieferbar) / Prévisions objectives et quantitatives des précipitations
dans le bassin du Rhin. Etat de la question en 1982 (édition épuisée)
- I-2 GERHARD, H.; MADE, J.W. VAN DER; REIFF, J.; VREES, L.P.M. DE (1983): Die
Trocken- und Niedrigwasserperiode 1976. (2. Auflage 1985) / La sécheresse et les basses eaux
de 1976 (2ème édition, 1985). ISBN 90-70980-0 1 -0
- I-3 HOFIUS, K. (1985): Hydrologische Untersuchungsgebiete im Rheingebiet / Bassins de
recherches hydrologiques dans le bassin du Rhin. ISBN 90-70980-02-9
- I-4 BUCK, W.; KIPGEN, R.; MADE, J.W. VAN DER; MONTMOLLIN, F. DE; ZETTL, H.;
ZUMSTEIN, J.F. (1986): Berechnung von Hoch- und Niedrigwasserwahrscheinlichkeit im
Rheingebiet / Estimation des probabilités de crues et d'étiages dans le bassin du Rhin. ISBN
90-7098003-7
- I-5 TEUBER, W.; VERAART, A.J. (1986): Abflußermittlung am Rhein im deutsch-
niederländischen Grenzbereich / La détermination des débits du Rhin dans la région
frontalière germano-hollandaise. ISBN 90-70980-04-5
- I-6 TEUBER, W. (1987): Einfluß der Kalibrierung hydrometrischer Meßflügel auf die
Unsicherheit der Abflußermittlung. Ergebnisse eines Ringversuchs / Influence de l'étalonnage
des moulinets hydrométriques sur l'incertitude des déterminations de débits. Résultats d'une
étude comparative. ISBN 90-70980-05-3
- I-7 MENDEL, H.G. (1988): Beschreibung hydrologischer Vorhersagemodelle im
Rheineinzugsgebiet / Description de modèles de prévision hydrologiques dans le bassin du
Rhin. ISBN 90-7098006-1
- I-8 ENGEL, H.; SCHREIBER, H.; SPREAFICO, M.; TEUBER, W.; ZUMSTEIN, J.F. (1990):
Abflußermittlung im Rheingebiet im Bereich der Landesgrenzen / Détermination des débits
dans les régions frontalières du bassin du Rhin. ISBN 90-70980-10-x
- I-9 CHR/KHR (1990): Das Hochwasser 1988 im Rheingebiet / La crue de 1988 dans le bassin
du Rhin. ISBN 90-70980-11-8
- I-10 NIPPES, K.R. (1991): Bibliographie des Rheingebietes / Bibliographie du bassin du Rhin.
ISBN 90-70980-13-4
- I-11 BUCK, W.; FELKEL, K.; GERHARD, H.; KALWEIT, H.; MALDE, J. VAN; NIPPES,
K.R.; PLOEGER, B.; SCHMITZ, W. (1993): Der Rhein unter der Einwirkung des Menschen -
Ausbau, Schifffahrt, Wasserwirtschaft / Le Rhin sous l'influence de l'homme - Aménagement,
navigation, gestion des eaux. ISBN 90-70980-17-7
- I-12 SPREAFICO, M.; MAZIJK, A. VAN (Red.) (1993): Alarmmodell Rhein. Ein Modell für
die operationelle Vorhersage des Transportes von Schadstoffen im Rhein. ISBN 90-70980-18-
5
- I-13 SPREAFICO, M.; MAZIJK, A. VAN (réd.) (1997): Modèle d'alerte pour le Rhin. Un
modèle pour la prévision opérationnelle de la propagation de produits nocifs dans le Rhin.
ISBN 9070980-23-1

- I-14 EMMENEGGER, CH.; et al. (1997): 25 Jahre KHR. Kolloquium aus Anlaß des 25jährigen Bestehens der KHR / 25 ans de la CHR. Colloque à l'occasion du 25e anniversaire de la CHR. ISBN 90-70980-24-x
- I-15 ENGEL, H. (1997): Fortschreibung der Monographie des Rheingebietes für die Zeit 1971-1990 / Actualisation de la Monographie du Bassin du Rhin pour la période 1971-1990. ISBN 90-7098025-8
- I-16 GRABS, W. (ed.) (1997): Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin. ISBN 90-70980-26-6
- I-17 ENGEL, H. (1999): Eine Hochwasserperiode im Rheingebiet. Extremereignisse zwischen Dez.1993 und Febr. 1995. ISBN 90-70980-28-2
- I-18 KOS, Th.J.M.; SCHEMMER, H; JAKOB, A. (2000): Feststoffmessungen zum Vergleich von Messgeräte und Messmethoden im Rhein, 10-12 März 1998. ISBN 90-36953-54-5
- I-19 BARBEN, M.; et al. (2001): Übersicht über Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen – Erfahrungen aus den Rheinanliegerstaaten. ISBN 90-36954-11-8
- I-20 KRAHE, P.; HERPERTZ, D. (2001): Generation of Hydrometeorological Reference Conditions for the Assessment of Flood Hazard large River Basins - Papers presented at the International Workshop held on March 6 and 7, 2001 in Koblenz. ISBN 90-36954-18-5
- I-21 KRAHE, P. et al. (2004): Entwicklung einer Methodik zur Analyse des Einflusses dezentraler Hochwasserrückhaltemaßnahmen auf den Abfluss des Rheins/ Development of Methodologies for the Analysis of the Efficiency of Flood Reduction Measures in the Rhine Basin on the basis of Reference Floods. ISBN 90-36956-74-9

Katalog/Catalogue 1 SPROKKEREEF, E. (1989): Verzeichnis der für internationale Organisationen wichtigen Meßstellen im Rheingebiet / Tableau de stations de mesure importantes pour les organismes internationaux dans le bassin du Rhin. ISBN 90-70980-08-8.

Berichte unter der Schirmherrschaft der KHR

Reports under CHR's patronage

- II-1 MADE, J.W. VAN DER (1982): Quantitative Analyse der Abflüsse (nicht mehr lieferbar) / Analyse quantitative des débits (édition épuisée)
- II-2 GRIFFIOEN, P.S. (1989): Alarmmodell für den Rhein / Modèle d'alerte pour le Rhin. ISBN 9070980-07-x
- II-3 SCHRÖDER, U. (1990): Die Hochwasser an Rhein und Mosel im April und Mai 1983 / Les crues sur les bassins du Rhin et de la Moselle en avril et mai 1983. ISBN 90-70980-09-6
- II-4 MAZIJK, A. VAN; VERWOERDT, P.; MIERLO, J. VAN, BREMICKER, M., WIESNER, H.; (1991): Rheinalarmmodell Version 2.0 - Kalibrierung und Verifikation / Modèle d'alerte pour le Rhin version 2.0 - Calibration et vérification. ISBN 90-70980-12-6
- II-5 MADE, J.W. VAN DER; (1991): Kosten-Nutzen-Analyse für den Entwurf hydrometrischer Meßnetze / Analyse des coûts et des bénéfices pour le projet d'un réseau hydrométrique. ISBN 9070980-14-2
- II-6 CHR/KHR (1992): Contributions to the European workshop Ecological Rehabilitation of Floodplains, Arnhem, The Netherlands, 22-24 September 1992. ISBN 90-70980-15-0
- II-7 NEMEC, J. (1993): Comparison and selection of existing hydrological models for the simulation of the dynamic water balance processes in basins of different sizes and on different scales. ISBN 90-70980-16-9
- II-8 MENDEL, H.G. (1993): Verteilungsfunktionen in der Hydrologie. ISBN 90-70980-19-3
- II-9 WITTE, W.; KRAHE, P.; LIEBSCHER, H.J. (1995): Rekonstruktion der Witterungsverhältnisse im Mittelrheingebiet von 1000 n. Chr. bis heute anhand historischer hydrologischer Ereignisse. ISBN 90-70980-20-7

- II-10 WILDENHAHN, E.; KLAHOLZ, U. (1996): Grobe Speicherseen im Einzugsgebiet des Rheins. ISBN 90-70980-21-5
- II 11 SPREAFICO, M.; LEHMANN, C.; SCHEMMER, H.; BURGDORFFER, M.; KOS, T.L. (1996): Feststoffbeobachtung im Rhein, Beschreibung der Meßgeräte und Meßmethoden. ISBN 90 70980 22 3
- II 12 SCHÄDLER, B. (Red.) (1997): Bestandsaufnahme der Meldesysteme und Vorschläge zur Verbesserung der Hochwasservorhersage im Rheingebiet. Schlußbericht der IKSAR Arbeitseinheit 'Meldesysteme / Hochwasservorhersage' Projektgruppe 'Aktionsplan Hochwasser' / Annonce et prévision des crues dans le bassin du Rhin. Etat actuel et propositions d'amélioration. Rapport final de l'unité de travail 'Systèmes d'annonce / prévision des crues'. Groupe de projet 'Plan d'action contre les inondations'. ISBN 90 70980 27 4
- II 13 DRÖGE, B.; HENOCH, H.; KELBER, W.; MAHR, U.; SWANENBERG, T.; THIELEMANN, T.; THURM, U. (1999): Entwicklung eines Längsprofils des Rheins. Bericht für die Musterstrecke von Rhein km 800-845. Arbeitsgruppe 'Sedimenttransport im Rhein' Projekt 3. ISBN 90 70980 29 0
- II 14 MAZIJK, A. VAN; LEIBUNDGUT, CH.; NEFF, H.P. (1999): Rhein Alarm Modell Version 2. 1. Erweiterung um die Kalibrierung von Aare und Mosel. Kalibrierungsergebnisse von Aare und Mosel aufgrund der Markierversuche 05/92, 11/92 und 03/94. ISBN 90 70980 30 4
- II 15 KWADIJK, J.; DEURSEN, W. VAN (1999): Development and testing of a GIS based water balance model for the Rhine drainage basin. ISBN 90 70980 31 2
- II-16 MAZIJK, A. VAN; GILS, J.A.G. VAN; WEITBRECHT, V.; VOLLSTEDT, S. (2000): Analyse und Evaluierung der 2D-Module zur Berechnung des Stofftransportes in der Windows-Version des Rheinalarmmodells in Theorie und Praxis. ISBN 90-36953-55-3
- II-17 SPREAFICO, M.; WEINGARTNER, R. et al; (2002): Proceedings International Conference on Flood Estimation, March, 6-8, 2002 Berne, Switzerland. ISBN 90-36954-60-6
- II-18 BRONSTERT, A, et al; (2003): LAHoR – Quantifizierung des Einflusses der Landoberfläche und der Ausbaumaßnahmen am Gewässer auf die Hochwasserbedingungen im Rheingebiet. ISBN 90-70980-32-0
- II-19 KROEKENSTOEL, D.F.; VELZEN, E.H. VAN (2003): Morphologische Berechnungen mit Sedimentmischungen – Zukunftsmusik oder eine realistische Alternative? ISBN 90-36954-98-3

KOLOPHON

Publikation der KHR
Sekretariat, Postfach 17
8200 AA, Lelystad
Niederlande

Email: info@chr-khr.org
Website: www.chr-khr.org

Drucker:
Drukkerij Roos en Roos, Arnhem

ISBN: 90-36956-74-9

COLOPHON

CHR Publication
Secretariat, P.O. Box 17,
8200 AA, Lelystad
The Netherlands

Email: info@chr-khr.org
Website: www.chr-khr.org

Printing:
Drukkerij Roos en Roos, Arnhem

ISBN: 90-36956-74-9