



Internationale Kommission zum Schutz des Rheins  
Commission Internationale pour la Protection du Rhin  
Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn

## **Empfehlung zu den Nachweisinstrumenten für die Wirksamkeit der Maßnahmen zur Reduzierung der Extremhochwasserstände**

**70. Plenarsitzung – 8./9. Juli 2004 - Bern**

## 1. Leistungsprofil für das Gesamtmodell

Als vorzuhaltendes Nachweisinstrument für die Verminderung der Hochwasserstände ist ein Wellenablaufmodell für den Rhein und die wichtigsten Nebenflüsse erforderlich.

Die meisten bekannten Modelle sind weitgehend gleichwertig, da sie im Prinzip mit gleicher Genauigkeit rechnen. Es ist allerdings sehr wichtig, dass der jederzeitige Einsatz garantiert werden muss. Dies ist nur für Modelle möglich, die ständig gepflegt werden und für die über einen längeren Zeitraum Experten verfügbar sind, die das Modell bedienen können.

Das Gesamtmodell (Rückgratmodell) soll grundsätzlich die Maßnahmen des Aktionsplans Hochwasser Rhein gemäß Maßnahmenkategorie (2) (Tab. auf Seite 16 des Aktionsplans Hochwasser) simulieren können. Das Gesamtmodell kann aus Teilmodellen zusammengesetzt werden und soll die Rheinstrecke von Basel bis zur Mündung in die Nordsee erfassen.

Das Gesamtmodell soll hinreichend viele Anbindungspunkte (Knoten) für regionale Modelle (die auch weiterhin für Detailfragen erforderlich bleiben) enthalten.

## 2. Gesamtmodell, das diesem Leistungsprofil genügt

Die Modellkomponenten, die diesem Leistungsprofil genügen, liegen vor. Für die einzelnen Rheinstrecken sind dies:

- Rhein von Basel bis Worms: Das Modell SYNHP, welches das offizielle Werkzeug zur Ermittlung von Steuerungsreglements für die Rückhaltemaßnahmen am Oberrhein darstellt. Das Modell wird von der LfU Baden-Württemberg vorgehalten. Für die wichtigsten Nebenflüsse zwischen Basel und Worms liegen ebenfalls Modelle vor.
- Rhein von Worms bis Nordsee: Modell SOBEK, welches von der BfG u.a. im Rahmen des EU-Projekt LAHoR weiterentwickelt wurde und enge Verknüpfungen aufweist zu den in Nordrhein-Westfalen und den Niederlanden verwendeten Modellgruppen. Für die wichtigen Nebenflüsse des Rheins flussabwärts von Worms liegen ebenfalls Modelle vor. Für die Rheinstrecke Lobith-Nordsee steht ein SOBEK-Baustein im RIZA zur Verfügung. Im Rahmen der IKSR-Untersuchungen soll das SOBEK-Modell von der BfG vorgehalten und betrieben werden.

Die Kopplung der genannten Modelle ist jederzeit möglich und die Funktionstüchtigkeit durch entsprechende Berechnungen nachgewiesen. Alle Teilelemente der Programmgruppe wurden kalibriert und in robusten Anwendungen erprobt.

Es wurden keine weiteren Programmsysteme geprüft, da der Aufwand, andere Modelle zu finden, zu kalibrieren und für jederzeitige Anwendungen einzurichten, zu groß und daher nicht für gerechtfertigt gehalten wird.

## 3. Empfehlung für den Betrieb des Gesamtmodells

Das gekoppelte Gesamtmodell setzt sich aus den beiden o.g Teilmodellen zusammen. Folgende Stellen werden für die Vorhaltung und den Betrieb der Teilmodelle vorgeschlagen:

- LfU Baden-Württemberg: SYNHP-Modell für den Rhein von Basel bis Worms, einschließlich wichtige Zuflüsse.
- BfG: SOBEK-Modell für den Rhein von Worms bis Nordsee, einschließlich wichtige Zuflüsse.

Am Knoten Worms werden die Berechnungsergebnisse der LfU für die Weiterberechnung durch die BfG übergeben.

Die Wirksamkeitsnachweise für den Aktionsplan Hochwasser sollen durch die BfG in einer Gesamtschau für die IKSR dargestellt werden. Dabei sind alle gegebenenfalls gelieferten Teilnachweise an den Anbindungspunkten (Knoten) zum Rückgradmodell wie für Teilstrecken des Rheins zu berücksichtigen.

Für die Zulieferung der Daten werden die in Anlage 3 2 gelisteten Zuflussknoten festgelegt. Jede Kontaktstelle soll in eigener Verantwortung die für den eigenen Knoten benötigten Daten ermitteln.

Die Kontaktstellen sollen der BfG folgende Daten liefern:

- Die für den eigenen Knoten ausschlaggebenden extremen Hochwässer, wobei nicht die Jährlichkeiten sondern die Wassermengen angegeben werden sollen.
- Die Wirkungen der im APH genannten seit 1995 umgesetzten und bis 2005 geplanten relevanten Maßnahmen.
- Bei der Angabe der Wirkungen der Maßnahmen ist zu beachten, dass die vielen Maßnahmen sich nicht linear addieren, sondern sich wechselseitig in ihrer Wirkung beeinflussen.
- Die Ergebnisse sollen als Abflussganglinien (mit und ohne Maßnahmen) bereitgestellt werden.

*Falls Fragen zur Wirksamkeit der umgesetzten Maßnahmen für die IKSR beantwortet werden sollen, ist eine schnelle Simulation innerhalb von 7 bis 10 Tagen („innerhalb einer überschaubaren Mehrtagesfrist“; Beschluss AG H) einer abgelaufenen Hochwasserwelle, unter der Annahme, dass keine Maßnahmen umgesetzt worden wären, notwendig. Diese schnelle Simulation kann nur dadurch gewährleistet werden, dass die benötigten Teildaten den Modellbetreibern schnell geliefert und von diesen weitergeleitet werden. Die hohe Genauigkeit der Teildaten ist von geringerer Priorität.*

Die Kontaktstellen sollen daher zusätzlich zu den oben gelisteten Daten, nach einer abgelaufenen Hochwasserwelle und innerhalb einer überschaubaren Mehrtagesfrist, die Abflussganglinien der abgelaufenen Hochwasserwelle, unter der Annahme liefern, dass keine Maßnahmen umgesetzt worden wären.

#### **4. Festlegung der Hochwassertypen und Schwellenwerte für extreme Hochwasser**

*Da die Rechner heute sehr viel leistungsfähiger sind als noch vor ein paar Jahren, können im Prinzip alle dokumentierten historischen Hochwasserwellen für die Berechnungen verwendet werden. Aus der Sicht der Rechnerkapazität ist keine Festlegung der Typen-Hochwasser mehr notwendig.*

Folgende Hochwassertypen werden festgelegt:

- Kollektive von Hochwassern, die abschnittsbezogen für Bemessungsaufgaben erstellt wurden.
- Hochwasser, die im Rahmen der Wirksamkeitsstudie ausgewählt wurden.

Die Schwellenwerte sollen von den für die Knoten zuständigen Kontaktstellen benannt werden. In Einzelfällen (wenn z. B. besonders hohe Schwellenwerte gefordert sind) kann der Einsatz eines Niederschlags-Generators zur Wellensimulation (Anl. 4) sinnvoll sein. Dieses Verfahren wird auch für geeignet gehalten, Plausibilitätskontrollen hinsichtlich anderweitig erzeugter extremer Modellhochwasser damit durchzuführen.

## Anlage 1

## Die Wellenablaufmodelle SYNHP und SOBEK

### 1. Einleitung

Das Wellenablaufmodell SOBEK wird bei der BfG und beim RIZA zur Untersuchung großräumiger Auswirkungen von Ausbau- und Retentionsmaßnahmen auf den Hochwasserablauf für den Rhein flussabwärts von Worms sowie dessen wichtige Nebenflüsse eingesetzt. Für nachfolgend genannte Gewässerstrecken wurden Modelle neu erstellt: 267 km Ober- und Mittelrhein, 252 km Main, 51 km Mosel bzw für 229 km Mittel- und Niederrhein grundlegend überarbeitet.

Das Wellenablaufmodell SYNHP für den Rhein von Basel bis Worms ist gemäß Beschluß des Technischen Ausschusses der Ständigen Kommission (für den Ausbau des Oberrheins) das offizielle Werkzeug zur Ermittlung von Steuerreglements für die Rückhalte- und Retentionsmaßnahmen am Oberrhein und kann die Auswirkungen vorhandener und zukünftiger Maßnahmen auf den Abfluß am Oberrhein darstellen. Es wird für die Fragestellungen der Ständigen Kommission von der LfU Baden-Württemberg, dem LfW Rheinland-Pfalz und der HLUG in Hessen vorgehalten und betrieben, sowie auch für die Fragestellungen der IKSR als Nachweisinstrument für den Rheinabschnitt zwischen Basel und Worms eingesetzt.

### 2. Speicherkaskaden-Modell SYNHP

Das synoptische Hochwasserablaufmodell SYNHP gehört zur Familie der hydrologischen Modelle, deren Berechnungsverfahren auf der Kontinuitäts- und der Bewegungsgleichung beruhen. SYNHP baut auf einem Modell der BfG auf und wurde zu Beginn der 80er Jahre in der Landesanstalt für Umweltschutz (LFU) Baden-Württemberg zur Simulation der Hochwasserverhältnisse am Oberrhein entwickelt. Die Bewegungsgleichung wird hierbei durch den Ansatz von linearen Einzelspeichern ersetzt, wobei die Speicher einzelnen Flussabschnitten entsprechen. SYNHP berechnet zeitschrittweise (synoptisch) den Abfluss beliebiger Gewässerstrecken.

Bei der Kalibrierung des Modells wird für jeden einzelnen Speicher eine Volumen-Abfluss-Beziehung ermittelt. Aus den gegebenen Zuflüssen, der Kontinuitätsgleichung und der Volumen-Abfluss-Beziehung kann dann der Abfluss am unteren Ende eines jeden Speichers bzw. Flussabschnittes berechnet werden. Im obersten Flussabschnitt wird eine Zuflussganglinie (z.B. Messdaten) vorgegeben. Die Zuflüsse in den unteren Flussabschnitten ergeben sich jeweils aus dem berechneten Abfluss am unteren Ende des nächst höher gelegenen Flussabschnittes. Zuflüsse aus Nebengewässern werden dem Modell als Ganglinien (z.B. Messdaten) zur Verfügung gestellt. Neben der Translation von Durchflussswellen und deren Verformung durch unterschiedliche Gerinnegeometrien ermöglicht das Modell die Berechnung von gesteuerten und nichtgesteuerten Retentionsvorgängen im Fluss und in Poldern.

Das SYNHP-Modell wird vom „Ständigen Ausschuss Oberrhein“ für die Rheinstrecke Basel bis Worms als offizielles Werkzeug zur Ermittlung von Steuerreglements für die Rückhalte- und Retentionsmaßnahmen am Oberrhein verwendet. Mit ihm können unterschiedliche Retentions-szenarien berechnet werden. Das Modell gilt für den Zustand des Oberrheins nach Ausbau mit Staustufen. Das SYNHP-Modell findet weiterhin Verwendung für die Untersuchung von Veränderungen des Hochwasserablaufs im Bereich Basel–Maxau–Worms infolge von Ausbaumaßnahmen. So können zur Zeit vorhandene und zukünftige bzw. geplante Retentionsmaßnahmen berücksichtigt werden. Falls eine vorhandene Welle über die Randbedingung „Leistungsfähigkeit des Rheins zwischen den Dämmen“ hinausgeht, bietet das Modell die Möglichkeit zur Begrenzung des Durchflusses. Darüber hinaus wur-

den im Laufe der letzten 15 Jahre SYNHP-Modelle für den Oberrhein auch vor Ausbau mit Staustufen sowie für die Mosel, die Saar und den Main entwickelt.

Bei der LfU BW kann das SYNHP-Modell von Basel bis Worms gekoppelt betrieben werden mit den von Baden-Württemberg entwickelten Wasserhaushaltmodellen für sämtliche baden-württembergische Oberrheinzuflüsse sowie mit vereinfachten Verfahren zur Berücksichtigung der Zuflüsse aus dem Elsaß.

### 3. Hydrodynamisches Modell SOBEK

Mit dem eindimensionalen hydrodynamischen Abflussmodell SOBEK lassen sich Abflüsse, Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten ermitteln. Des Weiteren kann das Modell Salzintrusionsvorgänge, Gewässergüte und Sedimenttransport auch in tidebeeinflussten Bereichen berechnen. Die Berücksichtigung von Ausbaumaßnahmen zum Hochwasserschutz erfolgt über ein Retentionsmodul. Hierbei werden instationäre Veränderungen des Hochwasserereignisses während beispielsweise der Füllung eines Retentionspolders berechnet. Ein Grundwassermodul für die Berücksichtigung von Austauschvorgängen zwischen Fluss- und Grundwasser steht ebenfalls zur Verfügung.

SOBEK ist eine Entwicklung von Delft Hydraulics und dem Staatlichen Amt für Integralverwaltung der Binnengewässer und für Abwasserreinigung (RIZA) in den Niederlanden. Die Abflussberechnungen von SOBEK beruhen auf den Saint-Venant-Gleichungen. Die allgemeine Differentialgleichung der Spiegellinie enthält sowohl die Kontinuitätsgleichung als auch die Bewegungsgleichung mit teils optionaler Berücksichtigung von Konvektion, Wasserspiegelgefälle, Dichte und Energieverlusten - ausgelöst durch die Rauheit der Gewässersohle -, Windeffekten und weiteren lokal beschränkten Einflussfaktoren. Das Gleichungssystem wird nach dem Preissmann-Box-Verfahren (finite Differenzenmethode) numerisch gelöst. Hierbei werden die zu berechnenden Werte jeweils aus den Werten der Nachbarknoten zum vorherigen Rechenzeitschritt berechnet. Die zeitliche Diskretisierung erfolgt nach impliziten Verfahren.

Die Geometrie eines Gewässers wird in SOBEK durch eine Serie aufeinander folgender Querprofile definiert, wobei das Gerinne eingeteilt wird in Hauptgerinne und Überflutungsräume, so dass Bühnenfelder und Vorländer einschließlich Sommerdeiche und Polder berücksichtigt werden können. Zuflüsse aus dem Einzugsgebiet oberhalb der Modellstrecke und von Nebengewässern werden als Abflussganglinien am oberen und seitlichen Modellrand zugegeben. Mit einem umfangreichen Angebot an Modulen zur Berechnung der Wirkung von Stauwehren, Schleusen, Pumpen etc. können gesteuerte und ungesteuerte Stauhaltungen, wie sie sowohl in Deutschland als auch in den Niederlanden vorkommen, simuliert werden.

Mit der neuesten SOBEK-Version stehen Module zur Berechnung gesteuerter und ungesteuerter Retentionsmaßnahmen zur Verfügung. Wichtige Eingabeparameter sind Retentionsvolumen, mittlere Sohlhöhe des Retentionsraums, Größe der Ein- und Auslaufbauwerke (Schwellenhöhe und -länge, Höhe der (Schütz-) Öffnung) sowie die Lage am Fluss. Zur Steuerung der Füllung und Entleerung dieser Retentionsräume können Wasserstände und Abflüsse im Fluss und im Retentionsraum selber angegeben werden, nach denen die Bauwerke zu öffnen bzw. zu schließen sind. Für die Schaffung von Retentionsraum entlang des Flusses durch Maßnahmen, die Teile des Querprofils verändern (z. B. Deichrückverlegungen), müssen die Querprofile im Modell geändert werden.

Zur Modellierung von Hochwasserwellen wurde das Abflussmodell am Niederrhein mit einem einfachen, auf physikalischen Gesetzmäßigkeiten beruhenden Grundwassermodell gekoppelt, das im Preprocessing die Austauschvorgänge zwischen Grund- und Flusswasser berechnet. Ausgehend von dem Gesetz nach Darcy und unter Einhaltung der Kontinuitätsbedingungen für das im Grundwasser gespeicherte Wasservolumen werden der

Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser sowie die Grundwasserstände für jeden Flussabschnitt berechnet. Der Geologie am Niederrhein entsprechend gehen Infiltrationskoeffizienten, effektive Porositäten des Grundwasserleiters sowie die Breite des am Austauschvorgang beteiligten Grundwasserleiters entlang des Gewässers als Modellparameter ein.

Zusätzlich enthält SOBEM das Gewässergütemodell DELWAQ, das auf die hydraulische Berechnung aufsetzt und optional genutzt werden kann.

## Anlage 2

Knoten - Nummer	Gewässer	Gewässer – Kilometer [km]	Knotenname	Kontaktstelle
<b>Rhein</b>				
1	Rhein	148,3	Rheinfelden	BWG
2	Rhein	165,1	Pegel Basel	BWG
3	Rhein	169,2	Wiese	LfU, Karlsruhe
4	Rhein	253,6	Leopoldskanal	LfU, Karlsruhe
5	Rhein	284,0	Ill-Entlastung	SNS
6	Rhein	298,2	Kinzig	LfU, Karlsruhe
7	Rhein	311,3	Ill	SNS
8	Rhein	316,0	Acher + Rench	LfU, Karlsruhe
9	Rhein	334,5	Moder	SNS
10	Rhein	344,5	Murg	LfU, Karlsruhe
11	Rhein	345,8	Sauer	SNS
12	Rhein	371,2	Alb	LfU, Karlsruhe
13	Rhein	380,7	Pfinz	LfU, Karlsruhe
14	Rhein	384,8	Queich	LfW, Mainz
15	Rhein	400,2	Speyerbach	LfW, Mainz
16	Rhein	428,2	Neckar	LfU Karlsruhe
17	Rhein	454,5	Weschnitz	HLUG, Wiesbaden
18	Rhein	473,5	Modau	HLUG, Wiesbaden
19	Rhein	496,6	Main	BfG
20	Rhein	518,8	Selz	LfW, Mainz
21	Rhein	529,1	Nahe	LfW, Mainz
22	Rhein	540,3	Wisper	HLUG, Wiesbaden
23	Rhein	585,7	Lahn	BfG
24	Rhein	592,3	Mosel	BfG
25	Rhein	599,9	Saynbach	LfW, Mainz
26	Rhein	608,7	Nette	LfW, Mainz
27	Rhein	610,2	Wied	LfW, Mainz
28	Rhein	629,5	Ahr	LfW, Mainz
29	Rhein	659,4	Sieg	LUA, Düsseldorf
30	Rhein	703,3	Wupper	LUA, Düsseldorf
31	Rhein	736,6	Erft	LUA, Düsseldorf
32	Rhein	780,1	Ruhr	LUA, Düsseldorf
33	Rhein	797,8	Emscher	LUA, Düsseldorf
34	Rhein	814,5	Lippe	LUA, Düsseldorf
<b>Neckar</b>				
35	Neckar	202,6	Pegel Plochingen	LfU, Karlsruhe
36	Neckar	197,8	Körsch	LfU, Karlsruhe
37	Neckar	170,5	Rems	LfU, Karlsruhe
38	Neckar	156,5	Murr	LfU, Karlsruhe
39	Neckar	136,7	Enz	LfU, Karlsruhe
40	Neckar	110,3	Zaber	LfU, Karlsruhe
41	Neckar	124,5	Lein	LfU, Karlsruhe
42	Neckar	110,3	Sulm	LfU, Karlsruhe
43	Neckar	106,6	Kocher	LfU, Karlsruhe



44	Neckar	103,0	Jagst	LfU, Karlsruhe
45	Neckar	81,2	Elz	LfU, Karlsruhe
46	Neckar	56,9	Itter	LfU, Karlsruhe
47	Neckar	34,2	Elsenz	LfU, Karlsruhe
<b>Main</b>				
48	Main	378,4	Pegel Trunstadt	LfW, München
49	Main	354,4	Nassach	LfW, München
50	Main	299,1	Schwarzach	LfW, München
51	Main	215,6	Wern	LfW, München
52	Main	211,1	Fränk. Saale	LfW, München
53	Main	198,2	Lohr	LfW, München
54	Main	182,3	Hafenlohr	LfW, München
55	Main	165,5	Aalbach	LfW München
56	Main	156,6	Tauber	LfU, Karlsruhe
57	Main	125,9	Erf	LfW, München
58	Main	105,7	Mümling	LfW, München
59	Main	95,7	Sulzbach	LfW, München
60	Main	83,2	Aschaff	LfW, München
61	Main	77,2	Gersprenz	LfW, München
62	Main	66,8	Kahl	LfW, München
63	Main	55,5	Kinzig	HLUG, Wiesbaden
64	Main	49,9	Rodau	HLUG, Wiesbaden
65	Main	24,9	Nidda	HLUG, Wiesbaden
66	Main	18,5	Schwarzbach	HLUG, Wiesbaden
67	Main	8,1	Wickerbach	HLUG, Wiesbaden
<b>Lahn</b>				
68	Lahn	-3,2	Pegel Gießen-Klärwerk	HLUG, Wiesbaden
69	Lahn	0,1	Kleebach	HLUG, Wiesbaden
70	Lahn	13,0	Dill	HLUG, Wiesbaden
71	Lahn	42,3	Weil	HLUG, Wiesbaden
72	Lahn	73,8	Emsbach	HLUG, Wiesbaden
73	Lahn	78,0	Elbbach	HLUG, Wiesbaden
74	Lahn	84,1	Aar	LfW, Mainz
75	Lahn	111,1	Gelbach	LfW, Mainz
76	Lahn	171,9	Mühlbach	LfW, Mainz
<b>Mosel</b>				
77	Mosel	241,9	Pegel Perl	BfG
78	Mosel	206,1	Sauer	LfW, Mainz
79	Mosel	200,8	Saar	BfG
80	Mosel	183,6	Kyll	LfW, Mainz
81	Mosel	162,5	Salm	LfW, Mainz
82	Mosel	133,8	Lieser	LfW, Mainz

Saar				
83	Saar	91,6	Pegel Saarbrücken – St. Arnual	
84	Saar	77,2	Köllerbach	LfU, Saarbrücken
85	Saar	74,3	Rossel	LfU, Saarbrücken
86	Saar	70,2	Bist	LfU, Saarbrücken
87	Saar	58,3	Prims	LfU, Saarbrücken
88	Saar	50,6	Nied	LfU, Saarbrücken
89	Saar	11,8	Leukbach	LfW, Mainz

Legende: LfW: Landesamt für Wasserwirtschaft Mainz (Rheinland-Pfalz) (D)  
Landesamt für Wasserwirtschaft München (Bayern) (D)  
HLUG: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (D)  
LfU: Landesamt für Umweltschutz Karlsruhe (Baden-Württemberg) (D)  
Landesamt für Umweltschutz Saarbrücken (Saarland) (D)  
LUA: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (D)  
WSA: Wasser- und Schifffahrtsamt (D)  
SNS: Service de la Navigation de Strasbourg (F)  
BWG: Bundesamt für Wasser und Geologie (CH)

Anmerkung: Im Falle nicht vorhandener oder zeitnah nicht möglicher Lieferung von Ganglinien werden in den Modellen kumulative Zwischeneinzugsgebietsabflüsse berücksichtigt. Im Fall nicht berücksichtigter Pegel in der Knotenliste wird bei Lieferung entsprechender Ganglinien der Zwischeneinzugsgebietsabfluss punktuell eingearbeitet.

## Anlage 3

## Ein Stochastischer Niederschlagsgenerator -Verfahrenserläuterung-

Zur physikalisch basierten Erstellung von Bemessungsabflüssen für den Rhein wurde eine neue Methode (Parmet et al., 1999) entwickelt. Die Entwicklung wurde durch das RIZA koordiniert und erfolgte in Zusammenarbeit mit dem KNMI und der Bundesanstalt für Gewässerkunde. Die erste Komponente dieser Methode bildet ein stochastisch multivariabler Wetter-Generator, der für das Einzugsgebiet lange simultane Reihen für Niederschläge und Temperaturen erzeugt.

Das zu Grunde liegende Prinzip ist das "Nearest-Neighbour Resampling": Die historischen Tage mit den zugehörigen gemessenen Niederschlags- und Temperaturwerten werden in einer neuen zeitlichen Abfolge aneinandergesetzt, wobei jedoch nur solche Tage auf einen Tag folgen können, die in der historischen Reihe auf einen ähnlichen Tag gefolgt sind. Ein historischer Tag kann hierbei mehrmals vorkommen, so dass eine beliebig lange Reihe erzeugt werden kann.

Konkret werden folgende Schritte wiederholt abgearbeitet:

1. Eine bestimmte Anzahl von Tagen, die dem letzten simulierten Tag (bzw. dem Anfangswert) ähnlich sind ("*nearest neighbours*"), werden gesucht.  
Kriterien für die Ähnlichkeit sind hierbei:
  - arithmetisches Mittel der Temperatur von 34 Stationen  
(zwei Gebirgsstationen in der Schweiz blieben unberücksichtigt)
  - arithmetisches Mittel der Niederschlagshöhen von 34 Stationen
  - Anteil der 34 Stationen mit Niederschlag  $\geq 0.1\text{mm}$  (zur Unterscheidung von großräumigen und lokal beschränkten Niederschlägen)

Die Suche nach ähnlichen Tagen ist auf den Zeitraum 30 Tage vor bis 30 Tage nach dem zu simulierenden Kalendertag beschränkt. Somit ist ausgeschlossen, dass ein Sommertag in der generierten Zeitreihe im Winter vorkommt, und es ergibt sich ein realistischer Jahresgang (hierbei spielt außerdem die Standardisierung der Eingangswerte eine Rolle, auf die hier jedoch nicht eingegangen wird).

2. Einer der ähnlichen Tage wird zufällig ausgewählt. Hierbei ist die Wahrscheinlichkeit, einen bestimmten Tag auszuwählen, größer, je größer die Ähnlichkeit ist.
3. Der Tag, der in der gemessenen Reihe auf den ausgewählten Tag folgt, wird als nächster simulierter Tag verwendet.

Nähere Einzelheiten zur Methode des Nearest Neighbour-Resampling können nachgesehen werden in Rajagopalan und Lall (1999), Wójcik et al. (2000) und Buishand und Brandsma (2001).

Tägliche Temperaturen und Niederschlagsdaten für die 35 Jahre des Zeitabschnitts 1961 - 1995 wurden für 36 Stationen im Einzugsgebiet des Rheins bereitgestellt. Davon liegen 25 in Deutschland, 1 in Luxemburg, 4 in Frankreich und 6 in der Schweiz.

Weil Niederschlag  $P$  und die Temperatur  $T$  von der atmosphärischen Zirkulation abhängig sind, sind drei tägliche Zirkulationen zusätzlich zu berücksichtigen:

- (1) Relative Vorticity (Wirbelstärke)  $Z$ ,
- (2) Stärke der westlichen Zuströmungen  $W$ ,
- (3) Stärke der südlichen Zuströmungen  $S$ .

Diese Zirkulationsindices wurden aus Tagesmittelwerten des Luftdrucks auf Meereshöhen für Gitterpunkte auf einem regelmäßigen Netz von 5° Breite und 10° Länge errechnet.

Vor dem "Resampling" werden die Daten saisonbereinigt. Die saisonale Variabilität wird weiter reduziert durch die eingegrenzte Suche der "Nearest-Neighbours", innerhalb eines gleitenden Zeitfensters, zentriert auf den Bezugs- Tag. Das Zeitfenster umfasst 61 Tage.

Damit der Vektor  $D_t$  mit den charakteristischen Eigenschaften nicht so groß wird, erfolgt eine Summenstatistik der beobachteten Daten von 34 der 36 Stationen (2 schweizerische Gebirgsstationen wurden ausgeschlossen). Für die Parameter Niederschlag und Temperatur werden die arithmetischen Mittel der standardisierten täglichen Werte herangezogen. Des Weiteren wird der Anteil  $F$  der Stationen mit  $P \geq 0,1$  mm berücksichtigt. Der Anteil  $F$  dient zur Unterscheidung zwischen großräumigen und konvektiven Niederschlägen.

Abbildung 1 zeigt Gumbel Verteilungen der 10- Tages Maxima der Winterniederschläge für die flächengemittelten Niederschläge der 34 Stationen, welche im Vektor  $D_t$  genutzt werden.

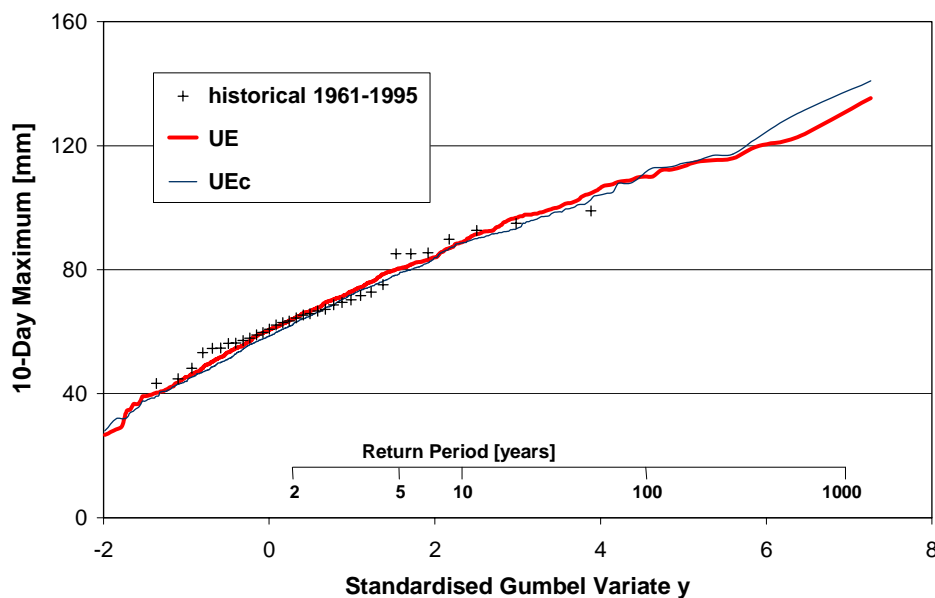


Abb. 1: Gumbel-Verteilung für 10 Tage Maxima der Winterniederschläge von beobachteten und simulierten Daten (Simulation über 1000 Jahre).

Die Abbildung zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen historischer und simulierter Verteilung. Heutige, realistische Mehrtages- Niederschläge sind viel größer, als der größte historische Mehrtages- Niederschlag der Zeitreihe 1961-1995, welcher in der Simulation verwendet wurde. Das ist vor allem aus Sicht der Niederschlags- Abfluss- Modellierung interessant.

Die Grafik zeigt, dass der größte simulierte 10- Tages- Niederschlag den historisch gemessenen um bis zu 40% überschreitet, was nach obiger Argumentation realistisch erscheint..

Für das Land Baden-Württemberg ist ein weiterer Niederschlagsgenerator verfügbar, dessen Ergebnisse mit den regionalen Niederschlags-Extremwertanalysen des Deutschen Wetterdienstes übereinstimmen (LfU, 2000).

## Literatur:

Buishand, T.A., Brandsma, T. (2001): Multi-site simulation of daily precipitation and temperature in the Rhine basin by nearest-neighbor resampling. *Water Resour. Res.* , 37: 2761-2776. American Geophysical Union (AGU). Washington.

LfU, 2000: Niederschlagsreihen für die Langzeitsimulation. Reihe Siedlungswasserwirtschaft, Heft 14, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.

Parmet B., Buishand, T.A., Brandsma, T., Mülders, R., (1999): Design discharge of the large rivers in The Netherlands – towards a new methodology. In: *Hydrological Extremes: Understanding, Predicting, Mitigating*. Proceedings of IUGG 99 Symposium HS1. L. Gottschalk, J.-C. Olivry, D. Reed and D. Rosbjerg (Eds.). IAHS Publ. No. 255. IAHS Press. Wallingford.

Rajagopalan, B., Lall, U. (1999): A k-nearest-neighbour simulator for daily precipitation and other variables. *Water Resour., Res.*, 35: 3089-3101. American Geophysical Union (AGU). Washington.

Wójcik, R., Beersma, J.J., Buishand, T.A. (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.