

DAS HOCHWASSER DES DEZEMBERS 2002 AUS DER SICHT DES PROGNOSEMODELLS WESTSTEIERMARK

Ein Bericht des hydrographischen Dienstes Steiermark in Zusammenarbeit mit
Dr. Maximilian Heilig

1. Einleitung

Im Auftrag des hydrographischen Dienstes (HD) Steiermark wurde für die weststeirischen Einzugsgebiete der Kainach, Lassnitz und Sulm ein Hochwasserprognosemodell entwickelt (Auftragnehmer Dr. Heilig), das vor Kurzem zum größten Teil fertiggestellt wurde. Momentan ist die Anbindung an die online - Datenbank des HD noch nicht bewerkstelligt, d.h. es sind noch keine tatsächlichen online - Prognosen möglich, allerdings sollte die endgültige Fertigstellung im Laufe dieses Jahres abgeschlossen sein. Nichtsdestotrotz wurde das Hochwasser vom Dezember des vorigen Jahres in der Südweststeiermark herangezogen, um zu testen, wie das Modell im Anfallsfall reagiert hätte. Bevor die Ergebnisse aufgezeigt werden, wird grundsätzlich auf den Aufbau bzw. die Systematik des Prognosemodells eingegangen.

2. Aufbau des Prognosemodells

Das Prognosemodell setzt sich modular aus 3 Flussgebietsmodellen zusammen, die im folgenden näher erläutert werden:

2.1 Das Flussgebietsmodell der Kainach

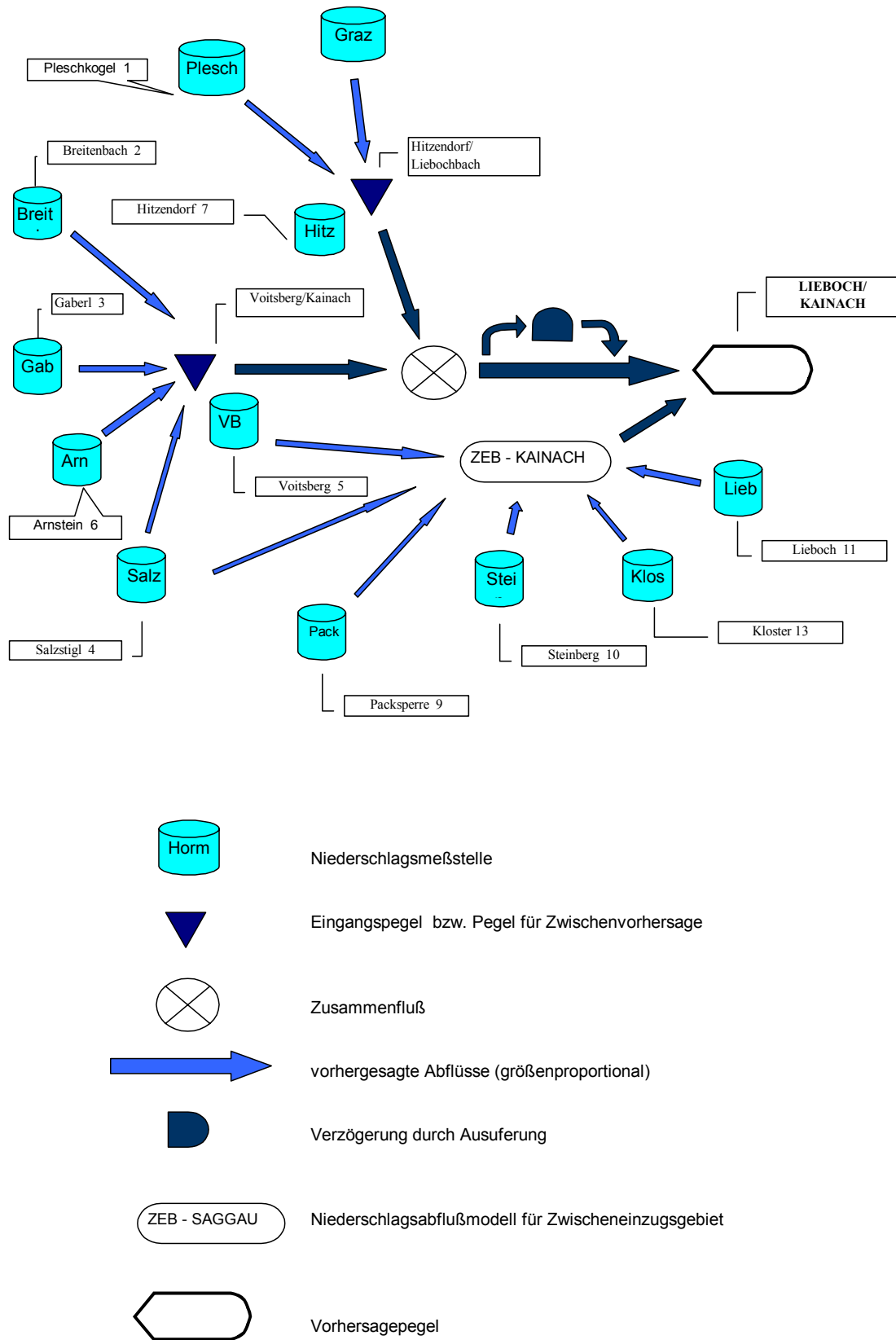
Die Durchflüsse am Pegel Hitzendorf/Liebochbach werden mit einem Niederschlags - Abflussmodell (NA – Modell) mit dem aus den Stationen Hitzendorf, Pleschkogel und Graz berechneten Gebietsregen vorhergesagt, Voitsberg/ Kainach mit dem Gebietsregen aus Breitenbach, Gaberl, Salzstiegl, Voitsberg und Arnstein. Das große Zwischeneinzugsgebiet der Kainach, welches mit 485.7km² fast zwei Drittel des gesamten Einzugsgebietes der Kainach beim Pegel Lieboch ausmacht wird mit einem NA - Modell mit den Stationen Salzstiegl, Voitsberg, Hitzendorf, Packsperre, Steinberg, Lieboch und Kloster vorhergesagt.

EZB Bezeichnung	EZBHMNR	Eingangsbereichsstationen Gebietsregenmodelle Kainach						
Voitsberg/Kainach	1	Breitenbach	Gaberl	Salzstiegl	Voitsberg	Arnstein		
Hitzendorf/Liebochbach	2	Pleschkogel	Hitzendorf	Graz				
Lieboch/Kainach	3	Salzstiegl	Voitsberg	Hitzendorf	Packsperre	Steinberg	Lieboch	Kloster
Zwischeneinzugsgebiet Lieboch/Kainach	3	Salzstiegl	Voitsberg	Hitzendorf	Packsperre	Steinberg	Lieboch	Kloster

Tabelle 1: Zuordnung der Niederschlagsstationen im Flussgebietsmodell der Kainach

Für die Vorhersage bedeutet der große Anteil des nicht erfassten Zwischeneinzugsgebietes einen Unsicherheitsfaktor, der die Güte der Vorhersage beeinträchtigt. Ein zusätzlicher Pegel an der Teigitsch sollte eine Verbesserung bringen. Das NA - Modell für Lieboch ist im Regelfall nicht im Einsatz, es ist ein Ersatzmodell für den Ausfall der Pegel Voitsberg und Hitzendorf.

FLUSSGEBIETSMODELL KAINACH

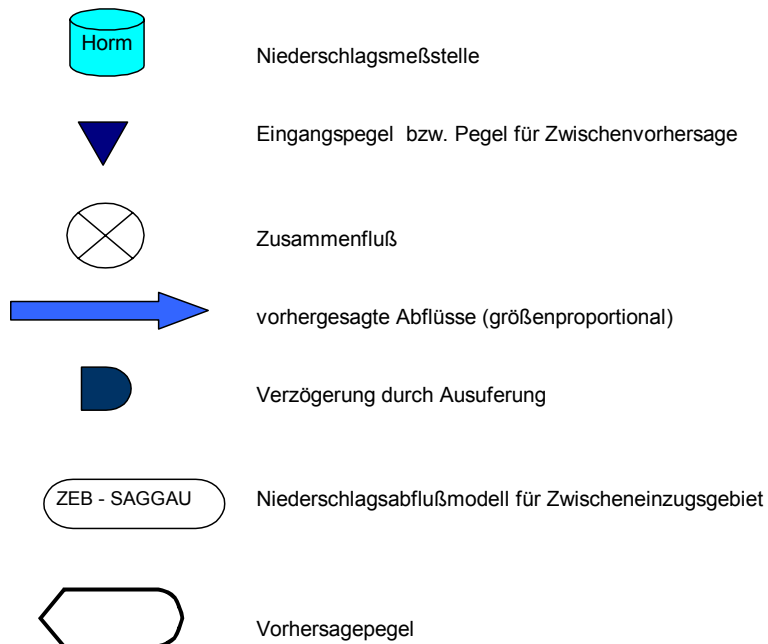
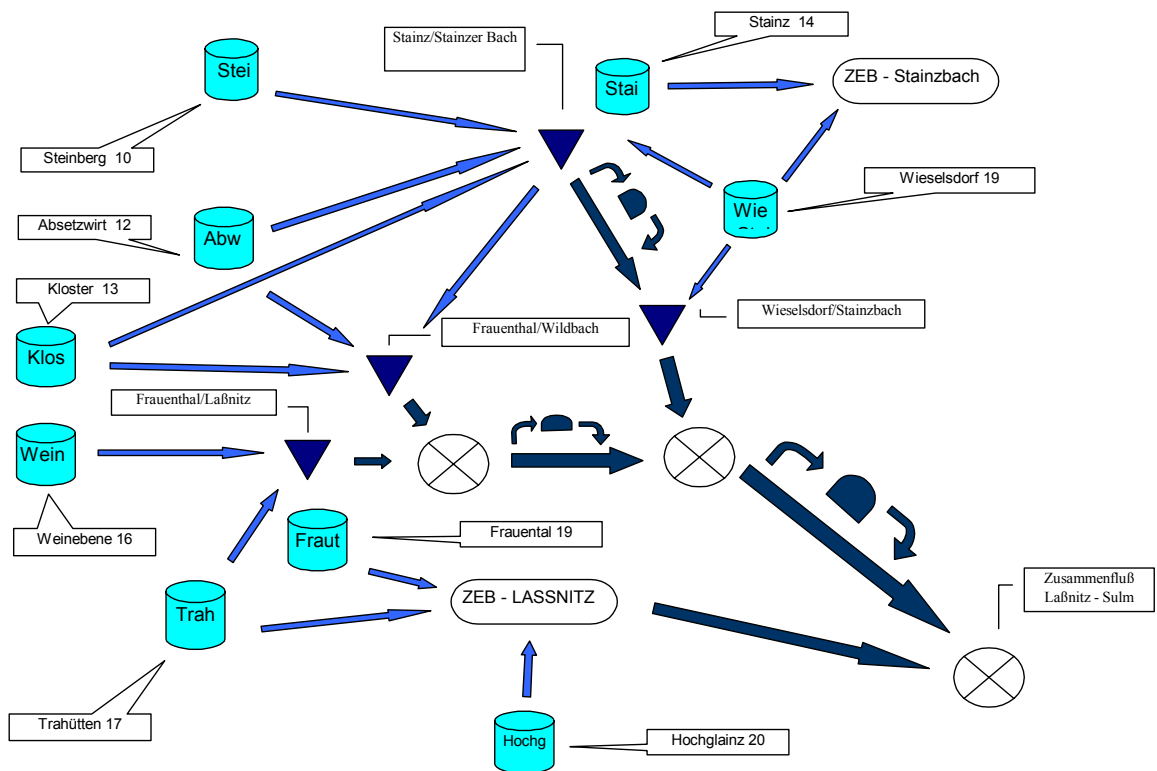


Entwurf : Dr. Maximilian Heilig

Abbildung 1: Schema des Flussgebietsmodells Kainach

2.2 Das Flussgebietsmodell der Lassnitz

FLUSSGEBIETSMODELL LASSNITZ



Entwurf : Dr. Maximilian Heilig

Abbildung 2: Schema des Flussgebietsmodells Lassnitz

Die Pegel Frauental/Lassnitz, Frauental/Wildbach und Stainz/Stainzbach werden mit reinen NA Modellen vorhergesagt, für den Pegel Wieselsdorf/Stainzbach kommt ein mit NA - Modellen für die Zwischeneinzugsgebiete kombiniertes Wellenablaufmodell (WANA – Modell) zum Einsatz. Das reine NA - Modell für Wieselsdorf ist ein Ersatzmodell für den Ausfall des Pegels Stainz.

EZB Bezeichnung	EZBHMNR	Eingangs Niederschlagsstationen Gebietsregenmodelle Lassnitz					
Frauental/Lassnitz	4	Weinebene	Trahütten	Frauental			
Frauental/Wildbach	5	Absetzwirt	Kloster(O)	Stainz	Frauental		
Stainz/Stainzer Bach	6	Steinberg	Absetzwirt	Kloster(O)	Stainz		
Wieselsdorf/Stainzbach	7	Steinberg	Absetzwirt	Kloster(O)	Stainz	Wieselsdorf	
ZEB-Stainzbach/Wieselsdorf	14	Stainz	Wieselsdorf				
ZEB-Leibnitz/Laßnitzanteil	15	Trahütten	Frauental/L	Hochgleinz			

Tabelle 2: Zuordnung der Niederschlagsstationen im Flussgebietsmodell der Lassnitz

Die Ausuferungen zwischen Stainz und Wieselsdorf werden ebenso wie jene unterhalb der beiden Pegeln Frauental mit eigenen Ausuferungskaskaden mit einer stärkeren Wellenverformung durch die Retention der Hochwasserwellen in den Ausuferungsbereichen modelliert. Der entsprechende Grenzwert wurde nach den verschiedenen Untersuchungen und dem Wellenablauf mit einem Q von $60\text{m}^3/\text{s}$ in Wieselsdorf festgelegt.

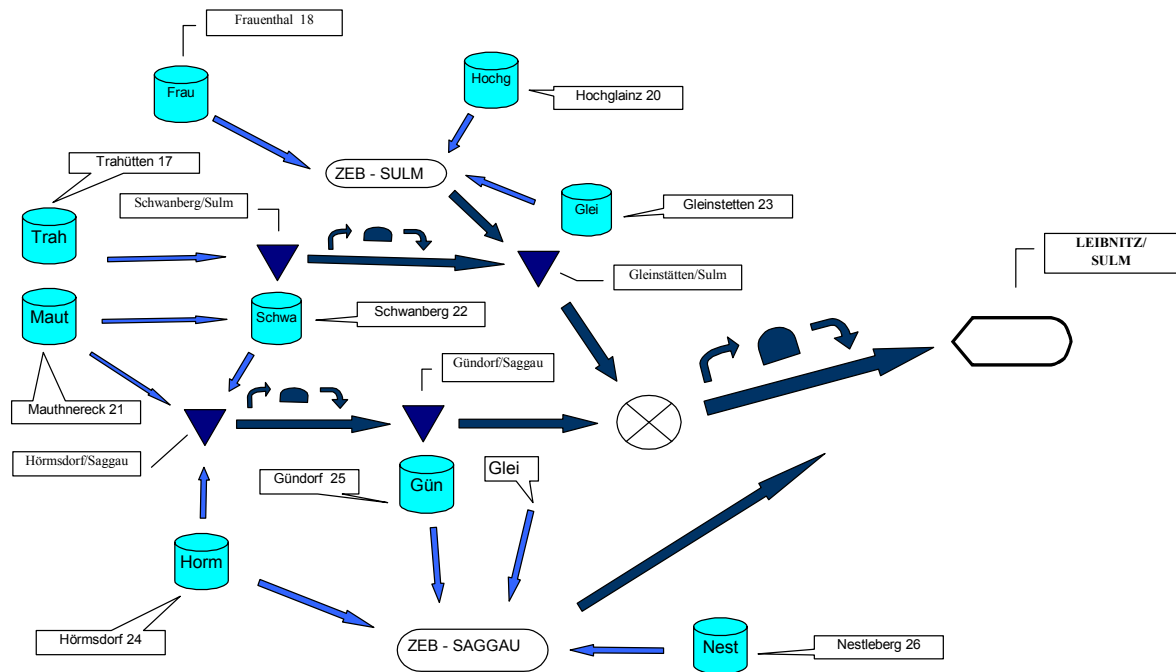
2.3 Das Flussgebietsmodell der Saggau und Sulm

Die Flussgebietsmodelle der Sulm und der Saggau beruhen ebenfalls auf einer Kombination von reinen NA Modellen für die Oberliegerpegel Schwanberg/Sulm und Hörmsdorf/Saggau und WANA Modellen für die Unterliegerpegel Gleinstätten/Sulm und Gündorf/Saggau und den Hauptpegel Leibnitz/Sulm. Aus der folgenden Tabelle kann die Zuordnung der Niederschlagsstationen zu den Pegeln entnommen werden.

EZB Bezeichnung	EZBHMNR	Eingangs Niederschlagsstationen Gebietsregenmodelle Sulm Saggau					
Schwanberg/Sulm	8	Trahütten	Mauthnereck	Schwanberg			
Gleinstätten/Sulm	9	Trahütten	Frauental/L	Hochgleinz	Mauthnereck	Gleinstätten	
Hörmsdorf/Saggau	10	Mauthnereck	Schwanberg	Hörmsdorf			
Gündorf/Saggau	11	Mauthnereck	Schwanberg	Hörmsdorf	Gündorf	Nestelberg	
ZEB-Gleinstetten/Sulm	16	Frauental/L	Hochgleinz	Gleinstätten			
ZEB-Gündorf/Saggau	17	Gleinstätten	Hörmsdorf	Gündorf	Nestelberg		
ZEB-Leibnitz/Sulm	18	Gündorf	Leibnitz/Sulm				

Tabelle 3: Zuordnung der Niederschlagsstationen im Flussgebietsmodell der Sulm

Die NA Modelle für Gleinstätten und Gündorf sind Ersatzmodelle, die bei einem Ausfall der Oberliegerpegel die Vorhersage übernehmen. Überschreitet der Pegel Gleinstätten einen Durchfluss von $100\text{m}^3/\text{s}$, so wird die Ausuferung mit einer Ausuferungskaskade mit einem zusätzlichen Retentionsterm modelliert, bei Durchflüssen von über $80\text{m}^3/\text{s}$ unterhalb von Gleinstätten wird ebenso wie bei Durchflüssen von über $90\text{m}^3/\text{s}$ unterhalb Gündorf eine Retention angenommen. Übersteigt die Summe der Zuflüsse zur Sulm $150\text{m}^3/\text{s}$ beziehungsweise der Durchfluss am Pegel Leibnitz selber diesen Wert, so wird der über diesem Wert liegende Durchfluss ebenfalls durch eine Retentionskaskade verzögert.

FLUSSGEBIETSMODELL SAGGAU -SULM


Entwurf : Dr. Maximilian Heilig

Abbildung 3: Schema des Flussgebietsmodells Sulm

2.4 Die Vorhersageverfahren

2.4.1 Niederschlagsvorhersagemodell

Das Niederschlagsmodell berechnet den Gebietsregen auf der Basis von gegenwärtig 27 Niederschlagsstationen in den Gebieten der drei Flussgebietsmodelle mittels arithmetischer Mittel und bietet eine 2 Stunden Persistenzvorhersage oder die manuelle Eingabe einer 6 stündigen Vorhersage mit anschließender zeitlicher Aufteilung nach den Niederschlagsverteilungen des DVWK an.

2.4.2 Niederschlags – Abflussmodell

Die NA - Modelle stellen optional die folgenden Verfahren für die Berechnung der Abflussbildung zur Verfügung:

- Horton
- konstanter Abflussbeiwert
- phi-Index
- dynamischer Abflussbeiwert

Der Startwert der Abflussbeiwertberechnung kann entweder gemäß der Jahreszeit vorgegeben werden (s.u.) oder mittels einer Regressionsfunktion aus den Basisabflüssen abgeschätzt werden.

Für die Abflusskonzentration stellt das Einheitsganglinienverfahren verschiedene, an historischen Hochwässern angepasste Unit Hydrographs, zur Verfügung:

- Wintermodell
- Frühjahrsmodell
- Sommermodell
- Modell für feuchte Sommer
- Modell für Extremhochwasser
- Herbstmodell

Will der Benutzer hier keine eigene Auswahl treffen, so erfolgt eine automatische Vorgabe nach folgenden Modus

Monate 12, 1, 2 und 3: Wintermodell

Monate 4 und 5: Frühjahrsmodell

Monate 6 bis 8: Sommermodell

Monate 9 und 11: Herbstmodell

Sind seit Beginn des Hochwasserereignisses Gebietsregen von über 80 mm gefallen wird das Modell für feuchte Sommer ausgewählt, sind über 150 mm gefallen, wird das Modell für Extremhochwasser vorgegeben. Die Ausgabe der Ergebnisse erfolgt automatisch in einer Tabelle.

2.4.3 Wellenablaufmodell

Entlang der Fließstrecke der Kainach und vor allem der Sulm und ihrer Zubringer (Saggau) befinden sich einige große Ausuferungsgebiete, welche die Durchflussverhältnisse in den oberen Bereichen entscheidend beeinflussen. Es kommen daher in Anlehnung an das von Professor Gutknecht an der TU Wien für die Hochwasservorhersage der Donau entwickelte Modell „Mehrkaskadenmodelle“ zum Einsatz, welche die unterschiedliche Retention bei der

Überflutung immer größerer Ausuferungszonen mit unterschiedlichen Parametern berücksichtigen.

Die Laufzeitanalysen erfolgten standardmäßig mit den Kreuzkorrelationsfunktionen. Zur Parametrisierung der Übertragungsfunktionen erwies sich das Verfahren der Ridge Regression der klassischen multiplen Regression bezüglich der Parameterkonsistenz als überlegen.

Für den Pegel Lieboch beträgt der sichere Vorhersagezeitraum etwa 2 bis 3 Stunden, nach Flutung der Ausuferungszonen könnte er länger sein. Für den Pegel Leibnitz lassen sich bis zu 3 bis 5 Stunden zuverlässige Vorhersagen erstellen, bei großen Hochwässern mit starken Ausuferungen steigt die hydrologisch abgesicherte Vorhersagefrist auf bis zu 6 Stunden. In ungünstigen Fällen (starker Anstieg, plötzliche Starkregen im nahen Einzugsbereich) können schon bei den 3 - stündigen Vorhersagen Fehler von über 20 cm auftreten.

Generell ist die Vorhersagegenauigkeit am Pegel Leibnitz am größten, was mit der hydrologischen Gesamtsituation, der Erfassung der Zuflüsse und den zahlreichen Ausuferungen zusammenhängt, die im Hochwasserfall die Dynamik der Wellenanstiege dämpfen.

3. Hochwasserereignis Dezember 2002

Im folgenden werden an den einzelnen Pegeln an der Sulm, Kainach, Lassnitz und Saggau die beobachteten Ganglinien des Hochwasserereignisses vom 1.12. bis 9.12.2002 mit den Ganglinien, die das Modell prognostiziert hätte, gegenübergestellt bzw. die maximalen Fehler aufgezeigt. Dabei ist zu erwähnen, dass der Pegel Frauental/Lassnitz während des Hochwasserereignisses ausgefallen war und daher ein Vergleich nicht möglich ist.

3.1 Kainach

3.1.1 Pegel Lieboch/Kainach

Durchflüsse und 3 Stunden Vorhersagen am Pegel Lieboch/Kainach vom 1.12. bis 9.12.2002

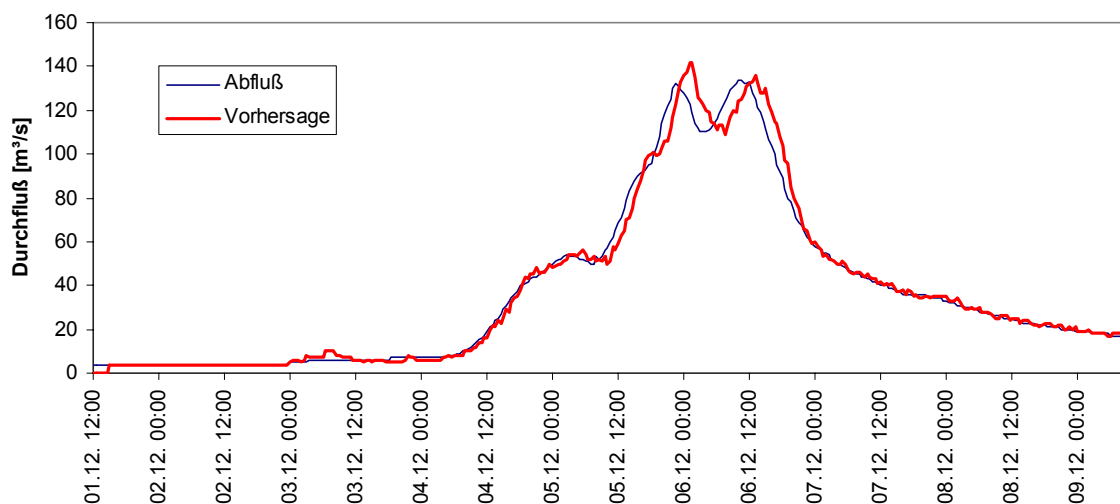


Abbildung 4: Beobachtete bzw. prognostizierte Ganglinie mit Vorhersagezeit 3 Stunden am Pegel Lieboch/Kainach

**Durchflüsse und 6 Stunden Vorhersagen am Pegel Lieboch/Kainach vom
1.12. bis 9.12.2002**

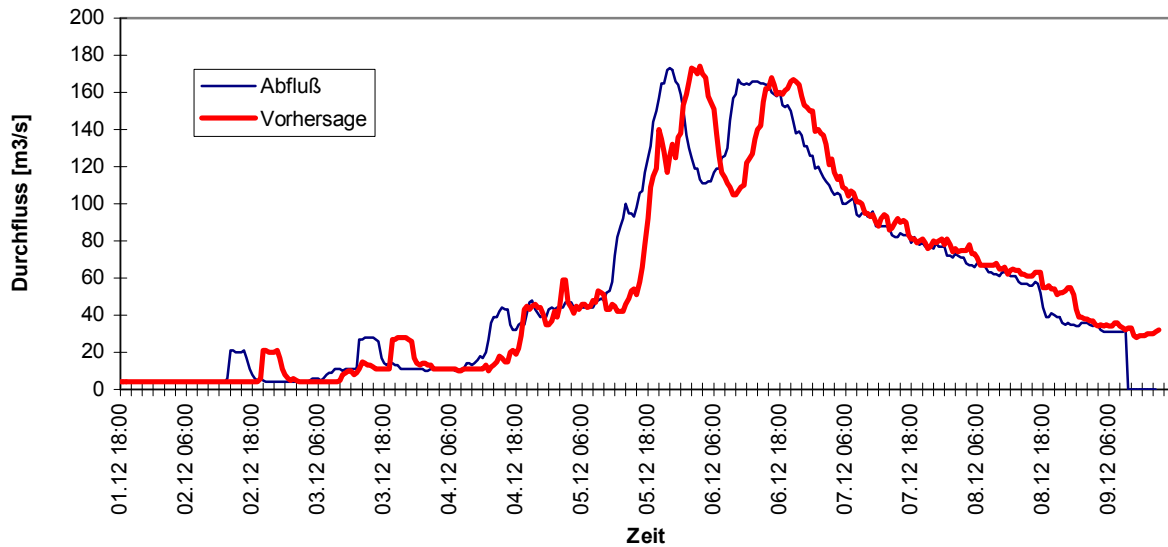


Abbildung 5: Beobachtete bzw. prognostizierte Ganglinie mit Vorhersagezeit 6 Stunden am Pegel Lieboch/Kainach

Aus den Abbildungen 4 und 5 ist zu erkennen, dass die durch das Modell prognostizierten Ganglinien zwar in der Form ziemlich exakt den beobachteten Ganglinien entsprechen, allerdings mit einer deutlichen zeitlichen Verschiebung von etwa 2-3 Stunden bei einer Vorhersagezeit von 3 Stunden und etwa 4-5 Stunden bei einer Vorhersagezeit von 6 Stunden.

Fehler in Prozent	Fehler N = 378	Vorhersagefrist in Stunden					
		1	2	3	4	5	6
Lieboch in %	Mittel	4.82	8.25	11.55	14.22	16.69	19.50
	Min	-38.47	-53.12	-69.61	-89.76	-104.42	-109.91
	Max	36.64	56.79	75.11	95.26	106.25	111.75

Standardfehler	Fehler N = 378	Vorhersagefrist in Stunden					
		1	2	3	4	5	6
Lieboch	< 0,1 s.gut	0.09	0.15	0.21	0.26	0.30	0.34

Tabelle 4: Vorhersagefehler am Pegel Lieboch in % bzw. als Standardfehler

Tabelle 4 zeigt die Vorhersagefehler des Modells am Pegel Lieboch in Prozent. Dabei ist zu erkennen, dass die maximalen Fehler bei einer 3 - Stunden - Vorhersage bei etwa 70%, bei einer Vorhersagezeit von 6 Stunden über 100 % liegen. Der mittlere Fehler liegt bei der 3 - Stunden - Prognose bei ca. 12%, bei der 6 - Stunden - Prognose bei ca. 20%. Der Standardfehler liegt bereits bei 3 Stunden über dem Qualitätskriterium für eine sehr gute Prognose, das bei 0,1 liegt und bei der 6 - Stunden - Vorhersage bereits deutlich über dem Kriterium einer guten Vorhersage von 0.2 (siehe Tabelle 4).

3.2 Sulm

3.2.1 Pegel Gleinstätten/Sulm

Durchflüsse und 3 Stunden Vorhersagen am Pegel Gleinstätten/Sulm vom 1.12. bis 9.12.2002

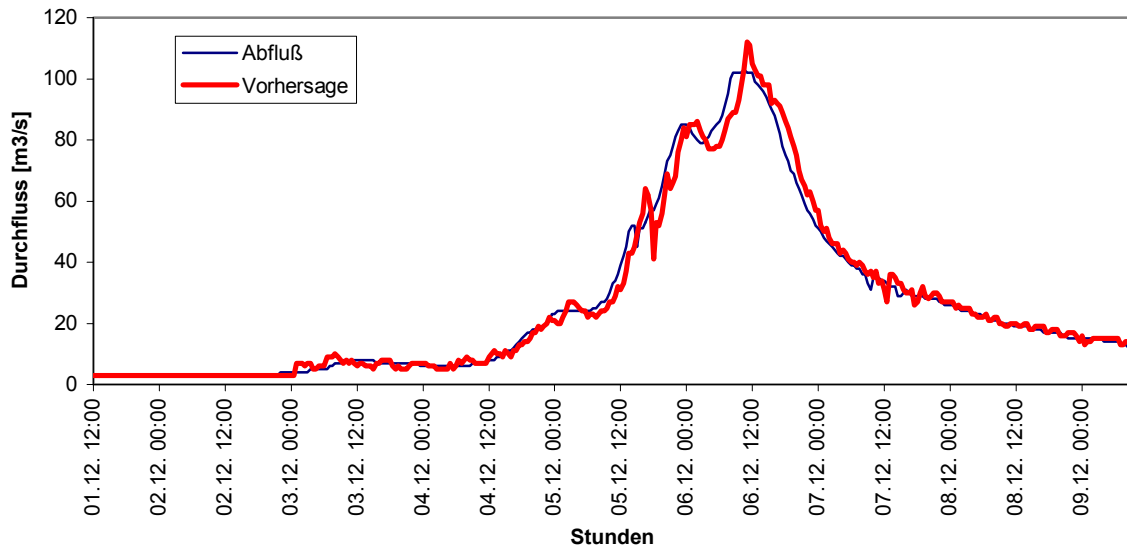


Abbildung 6: Beobachtete bzw. prognostizierte Ganglinie mit Vorhersagezeit 3 Stunden am Pegel Gleinstätten/Sulm

Durchflüsse und 6 Stunden Vorhersagen am Pegel Gleinstätten/Sulm vom 1.12. bis 9.12.2002

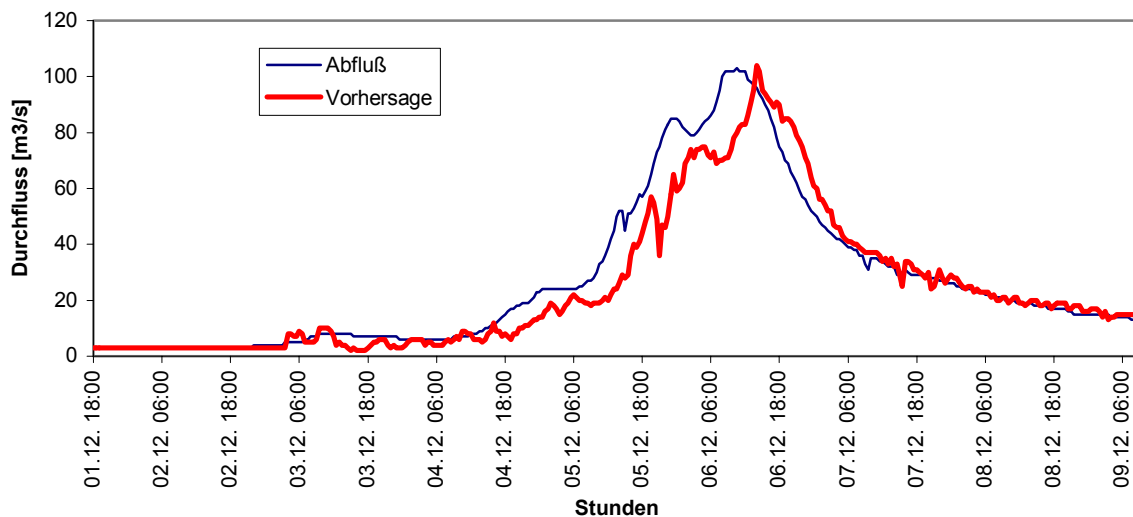


Abbildung 7: Beobachtete bzw. prognostizierte Ganglinie mit Vorhersagezeit 6 Stunden am Pegel Gleinstätten/Sulm

Abbildungen 6 und 7 zeigen die beobachteten bzw. prognostizierten Durchflussganglinien (Prognosezeit 3 bzw. 6 Stunden) am Pegel Gleinstätten/Sulm. Bei einer Vorhersagezeit von 3 Stunden erkennt man eine relativ gute Übereinstimmung der beiden Ganglinien, allerdings wird die Hochwasserspitze um einiges überschätzt. Bei der 6 - Stunden - Prognose zeigt sich wiederum eine zeitliche Verschiebung von etwa 5-6 Stunden.

Fehler in Prozent	Fehler	Vorhersagefrist in Stunden					
	N = 378	1	2	3	4	5	6
Gleinstätten in %	Mittel	3.28	5.69	8.35	11.26	15.12	20.10
	Min	-30.65	-49.81	-61.30	-76.63	-118.77	-149.42
	Max	53.64	42.15	42.15	57.47	65.13	68.96

Standardfehler	Fehler	Vorhersagefrist in Stunden					
	N = 378	1	2	3	4	5	6
Gleinstätten	< 0,1 s.gut	0.06	0.09	0.13	0.18	0.24	0.31

Tabelle 5: Vorhersagefehler am Pegel Gleinstätten in % bzw. als Standardfehler

Tabelle 5 zeigt die Prognosefehler am Pegel Gleinstätten in Prozent, wobei zu erkennen ist, dass bei einer 3 - Stunden - Prognose der mittlere Fehler bei etwa 8%, der maximale Fehler bei ca. 60% liegt, wohingegen bei einer 6 - Stunden - Vorhersage der mittlere Fehler auf ca. 20% und der maximale Fehler auf ca. 150% steigt. Der Standardfehler zeigt eine „sehr gute“ Qualität der Vorhersagen bis 2 Stunden und eine „gute“ Anpassung bis 4 Stunden an, darüber hinaus wächst die Unsicherheit der Vorhersage rasch.

3.2.2 Pegel Leibnitz/Sulm

Durchflüsse und 3 Stunden Vorhersagen am Pegel Leibnitz/Sulm vom 1.12. bis 9.12.2002

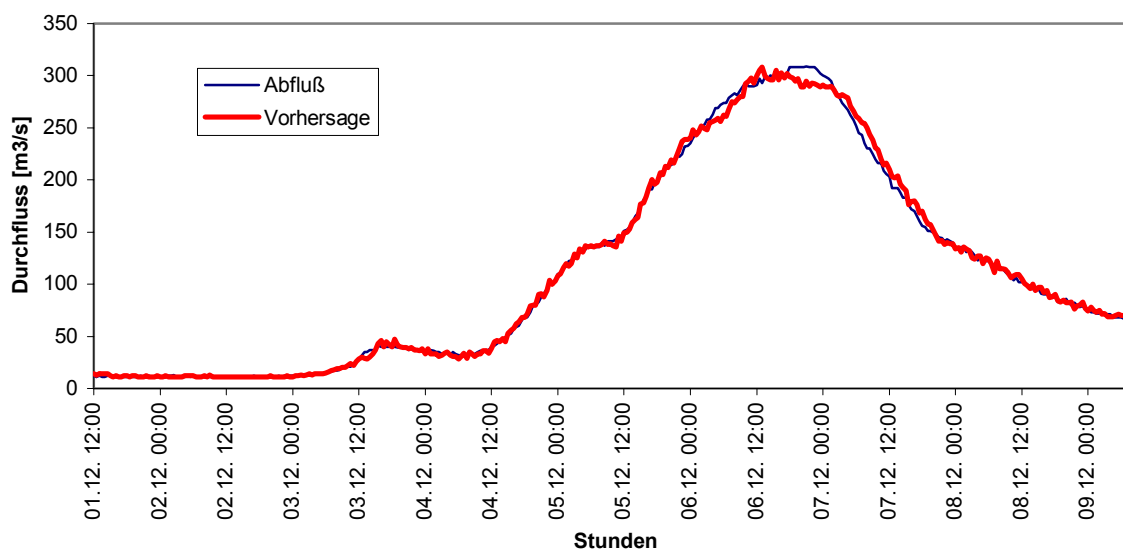


Abbildung 8: Beobachtete bzw. prognostizierte Ganglinie mit Vorhersagezeit 3 Stunden am Pegel Leibnitz/Sulm

**Durchflüsse und 6 Stunden Vorhersagen am Pegel Leibnitz/Sulm vom
1.12. bis 9.12.2002**

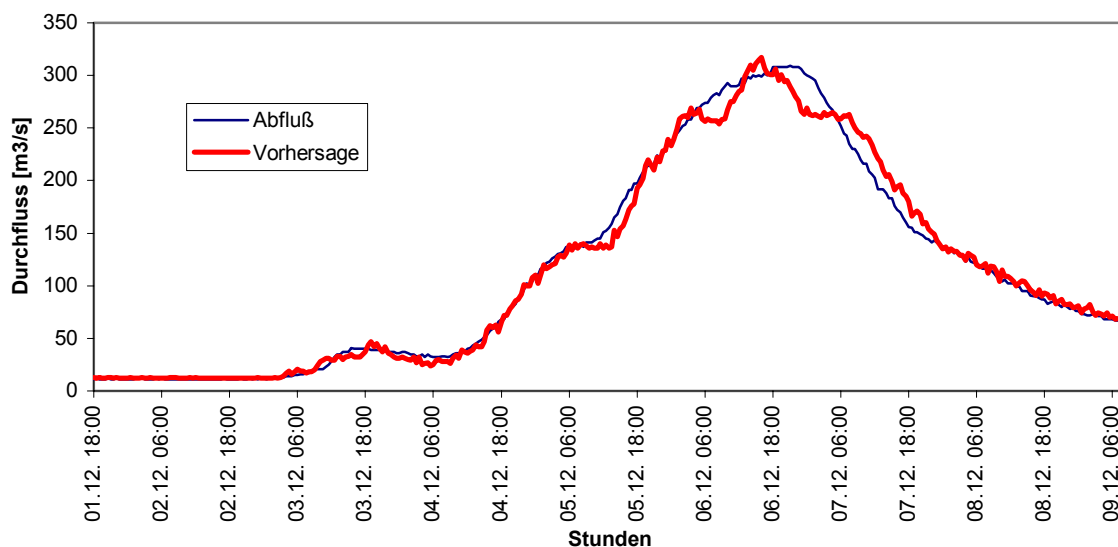


Abbildung 9: Beobachtete bzw. prognostizierte Ganglinie mit Vorhersagezeit 6 Stunden am Pegel Leibnitz/Sulm

Die Abbildungen 8 und 9 zeigen die beobachteten und prognostizierten Ganglinien am Pegel Leibnitz/Sulm, wobei diese vor allem bei der 3 - Stunden - Vorhersage sehr gut übereinstimmen, etwas schlechter bei der 6 - Stunden - Prognose.

Fehler in Prozent	Fehler N = 378	Vorhersagefrist in Stunden					
		1	2	3	4	5	6
Leibnitz in %	Mittel	1.65	2.35	3.12	4.22	5.32	6.43
	Min	- 8.15	-11.77	-17.21	-25.36	-32.61	-36.23
	Max	8.29	13.59	18.12	19.93	24.46	28.08

Standardfehler	Fehler N = 378	Vorhersagefrist in Stunden					
		1	2	3	4	5	6
Leibnitz	< 0,1 s.gut	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11

Tabelle 6: Vorhersagefehler am Pegel Leibnitz in % bzw. als Standardfehler

In Tabelle 6 sind die Prognosefehler am Pegel Leibnitz zu erkennen, bei einer 3 - Stunden - Prognose liegt der mittlere Fehler bei ca. 3%, der maximale Fehler bei ca. 18%. Für die 6 - Stunden - Prognose steigen diese Werte auf ca. 6% für den mittleren Fehler und ca. 37% für den maximalen Fehler. Der Standardfehler liegt bei einer 3 Stunden Prognose bei 0,05 was laut dem Qualitätskriterium einer sehr guten Prognose entspricht, bei einer Prognosezeit von 6 Stunden bei 0,11, also noch eine gute Vorhersage.

3.3 Saggau

3.3.1 Pegel Gündorf

Durchflüsse und 3 Stunden Vorhersagen am Pegel Gündorf/Saggaubach vom 1.12. bis 9.12.2002

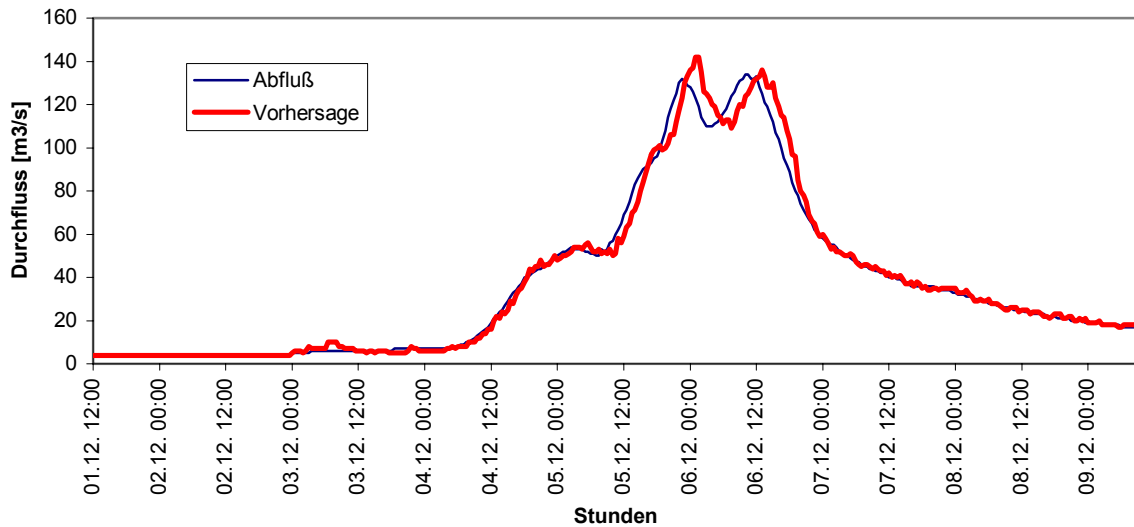


Abbildung 10: Beobachtete bzw. prognostizierte Ganglinie mit Vorhersagezeit 3 Stunden am Pegel Gündorf/Saggau

Durchflüsse und 6 Stunden Vorhersagen am Pegel Gündorf/Saggaubach vom 1.12. bis 9.12.2002

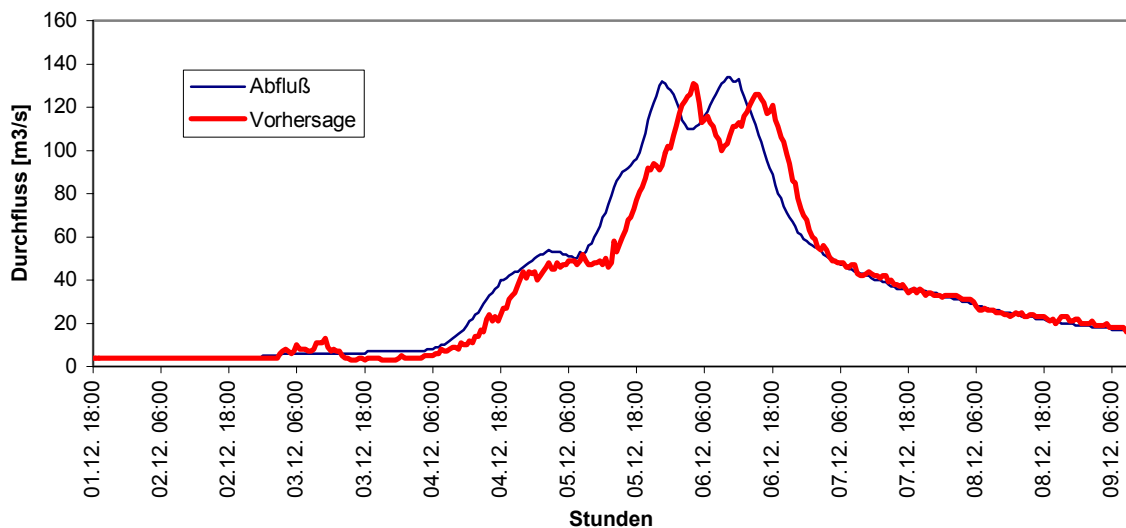


Abbildung 11: Beobachtete bzw. prognostizierte Ganglinie mit Vorhersagezeit 6 Stunden am Pegel Gündorf/Saggau

In Abbildung 10 und 11 sind die beobachteten bzw. prognostizierten Ganglinien am Pegel Gündorf/Saggau wiedergegeben, die für die 3 Stunden Prognose eine relativ gute

Übereinstimmung mit leichter Überschätzung der Hochwasserspitzen zeigen, für die 6 - Stunden - Prognose ist eine Zeitverschiebung von etwa 4-5 Stunden zu erkennen.

Fehler in Prozent	Fehler	Vorhersagefrist in Stunden					
	N = 378	1	2	3	4	5	6
Gündorf in %	Mittel	2.32	4.42	6.83	9.64	12.94	16.65
	Min	-13.60	-27.19	-43.51	-62.54	-78.86	-106.05
	Max	24.47	43.51	62.54	73.42	81.58	87.01

Standardfehler	Fehler	Vorhersagefrist in Stunden					
	N = 378	1	2	3	4	5	6
Gündorf	< 0,1 s.gut	0.04	0.08	0.13	0.17	0.22	0.27

Tabelle 7: Vorhersagefehler am Pegel Gündorf in % bzw. als Standardfehler

Tabelle 7 zeigt die Prognosefehler am Pegel Gündorf. Der mittlere Fehler liegt bei einer 3 - Stunden - Prognose bei ca. 7%, der maximale Fehler bei ca. 64%. Für eine 6 - Stunden - Prognose liegt der mittlere Fehler bei ca. 16%, der maximale Fehler bei etwa 108%. Der Standardfehler verhält sich ähnlich wie bei den Prognosen von Gleinstätten, sehr gut bis zu 2 Stunden und gut bis zu 4 Stunden, die 3 - Stunden - Prognose wäre mit 0,13 unter dem Qualitätskriterium von 0,2 für eine gute Prognose, die 6 - Stunden - Vorhersage liegt mit 0,27 darüber.

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Im vorliegenden Bericht werden für die Pegel Lieboch/Kainach, Gleinstätten/Sulm, Leibnitz/Sulm und Gündorf/Saggau die während des Hochwasserereignisses im Dezember 2002 beobachteten Ganglinien jenen Ganglinien gegenübergestellt, die das Hochwasserprognosemodell Weststeiermark für verschiedene Vorhersagefristen errechnet hätte. Dabei zeigte sich, dass vor allem bis zu einer Vorhersagezeit von 3 Stunden an allen analysierten Pegeln relativ gute Ergebnisse erzielt werden konnten, eine Vorhersagezeit von 6 Stunden mit Ausnahme des Pegels Leibnitz für alle übrigen Pegeln problematisch erscheint. Die besten Ergebnisse werden am Pegel Leibnitz erzielt, was mit der hydrologischen Gesamtsituation, der Erfassung der Zuflüsse und den zahlreichen Ausuferungen zusammenhängt, die im Hochwasserfall die Dynamik der Wellenanstiege dämpfen.

In nächster Zukunft wird einerseits die Anbindung des Hochwasserprognosemodells an die Oracle-Datenbank mit den online - Daten des hydrographischen Dienstes durchgeführt, um auch Echtzeitprognosen liefern zu können, andererseits werden auch die Wetterradardaten in das System eingebunden, womit es österreichweit erstmals möglich sein wird, Radardaten operativ für die Hochwasserprognose einzusetzen.

Anschrift der Verfasser:

Amt der Steiermärkischen Landesregierung
FA19A Referat 1 – Hydrographie
Stempfergasse 7
8010 Graz

Dr. Maximilian Heilig
Hauptstraße 9
7332 Oberpetersdorf