

Abschätzung der Hochwassersituation des Rabnitzbaches und der oberen Raab

Masterarbeit

Verfasst und eingereicht von

Leonhard Rotteneder

Betreuer: ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn Hubert Holzmann

Wien im Mai 2013

Vorwort/Danksagung

Diese Masterarbeit wurde am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau unter der professionellen und ausdauernden Betreuung von ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Hubert Holzmann durchgeführt. Die vorliegende Arbeit wurde zum besseren Verständnis der hydrologischen Situation im Bereich der oberen Raab erstellt. Des Weiteren ergibt sich daraus die Möglichkeit, Rückschlüsse zur hydrologischen Situation benachbarter Einzugsgebiete zu prüfen. (Vgl. Holzmann, Stangl 2012)). Die Zusammenarbeit mit Frau Stangl stellte sich als einfach und zielorientiert dar, wofür ich mich bedanken möchte.

Aufgrund der freudigen Tatsache, dass ich im Oktober 2010 Vater wurde und ich neben der Bearbeitung dieser Masterarbeit meine Ylvi betreute, hat sich deren Abschluss etwas verzögert. Die Zeit, die ich fand, um diese Arbeit voranzutreiben, hat mir meine liebe Sonja verschafft. Außerdem freue ich mich, dass mir meine Eltern dieses Studium ermöglicht haben.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort/Danksagung	V
Inhaltsverzeichnis	VII
Abstract (Deutsch)	1
Abstract (Englisch)	2
1 Einleitung und Zielsetzung	3
2 Untersuchungsgebiet	4
2.1 Geographische Lage	4
2.2 Geologie und Geomorphologie	5
2.3 Klima	7
2.3.1 Fischbacher Alpen mit Grazer Bergland und Wechsel	8
2.3.2 Passailer Becken	8
2.3.3 Randgebirgsfuß Schöckl/Zetz	8
2.3.4 Weizer - Gleisdorfer Riedelland	9
2.4 Hydrologie	10
2.4.1 Durchschnittliche Jahresniederschläge	10
2.4.2 Saisonalität der Abflüsse	10
2.4.3 Saisonalität der Niederschläge	10
2.4.4 Normierte mittlere Hochwasserspende	10
2.4.5 Ereignisbezogene Abflussbeiwerte	11
2.5 Gewässerökologie	12
3 Materialien und Methodik	13
3.1 Datenquellen	13
3.2 Extremwertstatistik	16
3.3 NA Modellierung	17
3.3.1 Niederschlags und Abfluss Daten	18
3.3.2 Ermittlung der Gebietsniederschläge	18
3.3.3 Abflussbildung	18
3.3.4 Übertragungsfunktion	20
3.3.5 Ablauf von Hochwasserwellen im Gewässer	21
3.4 Verwendete Software	22
3.4.1 Datenbehandlung	22
3.4.2 Regionalisierung	23
3.4.3 NA-Modellierung	24
3.4.4 Dokumentation	24
4 Modellbildung und Funktionalitäten	25
4.1 Loss Method: SCS Curve Number	25
4.2 Transformation: Clark Unit Hydrograph	25
4.3 Basisabfluss: Recession	25
4.4 Routing: Muskingum	26
4.5 Räumliche Gliederung	27
4.6 Methodenfestlegung der Teilprozesse	30
4.7 Synthetische Niederschläge	33
5 Ergebnisse der Untersuchung	37
5.1 HQ Werte der Steiermärkischen Landesregierung	37

5.2	Ergebnisse HQ Statistik	37
5.2.1	Arzberg/Moderbach	38
5.2.2	Arzberg/Raab	38
5.2.3	Mitterndorf/Raab	38
5.2.4	St. Ruprecht/Weizbach	39
5.2.5	St. Ruprecht/Raab	39
5.2.6	Flöcking/Rabnitzbach	39
5.2.7	Takern II/Raab	39
5.3	Ergebnisse Parameteroptimierung	40
5.3.1	Arzberg/Moderbach	40
5.3.2	Arzberg/Raab	43
5.3.3	Mitterndorf/Raab	47
5.3.4	St. Ruprecht/Weizbach	51
5.3.5	St. Ruprecht/Raab	54
5.3.6	Flöcking/Rabnitzbach	58
5.3.7	Takern II/Raab	61
5.3.8	Validierung des Gesamtgebiets	66
5.4	Ergebnisse synthetische Niederschläge	68
5.4.1	Arzberg/Moderbach	68
5.4.2	Arzberg/Raab	68
5.4.3	Mitterndorf/Raab	68
5.4.4	St. Ruprecht/Weizbach	69
5.4.5	St. Ruprecht/Raab	69
5.4.6	Flöcking/Rabnitzbach	69
5.4.7	Takern II/Raab	69
6	Diskussion	70
6.1	Diskussion der Niederschlags – Abfluss - Analyse	70
6.2	Verbesserungsmöglichkeiten des Niederschlags – Abfluss - Modells	71
	Literaturverzeichnis	72
	Tabellenverzeichnis	74
	Abbildungsverzeichnis	75
	Anhang A – Quellcode AWK	78
	Anhang B – Modellerte Niederschlagsereignisse	79

Abstract (Deutsch)

Es wird in der vorliegenden Arbeit eine Niederschlag – Abfluss - Modellierung (N-A - Modellierung) der oberen Raab und des Rabnitzbaches durchgeführt, um die extremwertstatistischen Werte abzusichern. Die Größe des Untersuchungsgebiets beträgt circa 400 km². Die Erstellung des N-A Modells erfolgt durch Kalibrierung und Validierung mittels beobachteter Niederschlagsereignisse und den resultierenden Abflussganglinien. Die Fließstrecken werden durch eine zwei Parameter Wellenverformung beschrieben. Die Erstellung des Modells erfolgt mittels HEC-HMS. Weiters werden die extremwertstatistisch bestimmten Hochwasserwerte der Pegel im Untersuchungsgebiet mittels des N-A Modells verglichen. Zu diesem Zweck werden Bemessungsniederschläge unterschiedlicher Dauerstufen und Jährlichkeiten auf das Untersuchungsgebiet angewandt. Es wird diejenige Dauerstufe, bei welcher die Modellantwort den größten Scheitelabfluss liefert, zum Vergleich herangezogen. Aufgrund der punktuellen Charakteristik der Bemessungsdaten ist eine einzugsflächenbezogene Abminderung des Niederschlages notwendig. Der Vergleich zeigt, dass die Scheitelabflüsse aus dem N-A Modell für Hochwasserereignisse mit kleiner Jährlichkeit nur gering von jenen aus der Extremwertstatistik abweichen. Bei größeren Jährlichkeiten werden große Unterschiede festgestellt. Dies liegt am unzureichenden Modellansatz für die Fließstrecken, bei welchem Ausuferungen und Rückhaltebecken nicht berücksichtigt sind. Es bestätigt sich, wie auch im Hydrologischen Atlas zu sehen ist, die große Variabilität der Abflussbeiwerte und der Niederschläge im Untersuchungsgebiet. Im Zuge der Modellbildung werden mehrere Ereignisse ausgeschieden, da die erfassten Niederschlagsdaten sich in ihrer räumlichen Dichte als unzureichend erweisen.

Abstract (Englisch)

In this work a rainfall-runoff-model was applied for the upper reach of the river Raab and for the Rabnitzbach. The size of the area under investigation is about 400 km². In the first step the creation of the rainfall-runoff-model is made by calibration, the model is validated in the second step. These steps are done with observed rainfall and discharge events. The channel model is done with the Muskingum method. The rainfall-runoff-model was created with HEC-HMS developed by the American Corps of Engineers. A statistical modeling of extreme values was made for the gauge data in the area under investigation. These results are compared with the values from the rainfall-runoff-model with rainfall design events. The result of this comparison is that floods with high frequency are good described by the rainfall-runoff-model, but events with a low frequency, like a 100-years flood, is poorly described by the model based on the fact that the model for the channels is crude. The channel model is calibrated with floods of higher frequency and so the processes of flooding and flood retention by control basins are not described.

1 Einleitung und Zielsetzung

Es sollte mit dieser Arbeit eine Alternative zum Ansatz einer rein statischen Auswertung der beobachteten Hochwasserereignisse erfolgen. Das heißt, für die Pegel im Untersuchungsgebiet wurden bisher Auswertungen mittels Extremwertstatistik der beobachteten Zeitreihen vorgenommen. Die Zeitreihen für einige Pegel sind mit 22 Jahren relativ kurz. Um den statistischen Ansatz zu ergänzen, soll eine Niederschlags- Abfluss Beziehung für das Untersuchungsgebiet gefunden werden. Dies ist vor allem wichtig, um Ereignisse mit großem Wiederkehrintervall abzusichern. Für die Modellierung soll das Softwarepaket HEC-HMS zum Einsatz kommen. Dieses Paket wurde zur Erstellung von sogenannten lumped Modellen entwickelt. Das heißt, ein komplexes System wie die Abflussbildung wird mit einigen wenigen Parametern beschrieben. Außerdem handelt es sich bei HEC-HMS um ein Freeware Tool, was eine weitere Verwendung der gefundenen Daten vereinfacht. Zur Erstellung der Niederschlags – Abfluss Beziehung sollen Niederschlags und Abflussdaten des hydrographischen Dienstes des Lebensministeriums und Niederschlagsdaten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik herangezogen werden. Mit diesen Daten soll das Modell mit beobachteten Niederschlags- und Abflussdaten kalibriert und mit unabhängigen Ereignissen validiert werden. Weiters sollen mit den gefundenen Parametersets Bemessungsniederschläge unterschiedlicher Dauerstufen und unterschiedlicher Jährlichkeiten auf das Einzugsgebiet aufgebracht werden. So kann versucht, werden die Bemessungshochwässer HQ100 und HQ300, welche aus statistischen Daten gewonnen wurden, abzusichern. Außerdem ist es mit dem Vorhandensein von Niederschlags- Abfluss Beziehungen einfacher möglich, Regionalisierungen für unbeobachtete Einzugsgebiete vorzunehmen.

2 Untersuchungsgebiet

In diesem Kapitel wird ein Überblick über die Strukturen des Untersuchungsgebiets gegeben. Es wird versucht, über die Themenbereiche Geographie, Geologie und Geomorphologie, Klima, Hydrologie und Ökologie ein gesamtheitliches Bild des untersuchten Einzugsgebietes zu vermitteln.

2.1 Geographische Lage

In Abbildung 1, rot umrandet, zu sehen ist die Lage des Untersuchungsgebietes. Es wird im Norden vom sogenannten Almenland begrenzt, im mittleren Bereich befindet sich das Grazer Bergland und im Süden endet das Untersuchungsgebiet am Beginn des oststeirischen Hügellandes. Das Untersuchungsgebiet wird durch den Pegel Takern II begrenzt, welcher sich ca. 9 km südlich von Gleisdorf befindet. Die Lauflänge der Raab im Untersuchungsgebiet beträgt ca. 42,2 km. Die Größe des untersuchten Einzugsgebietes beträgt 498,9 km²

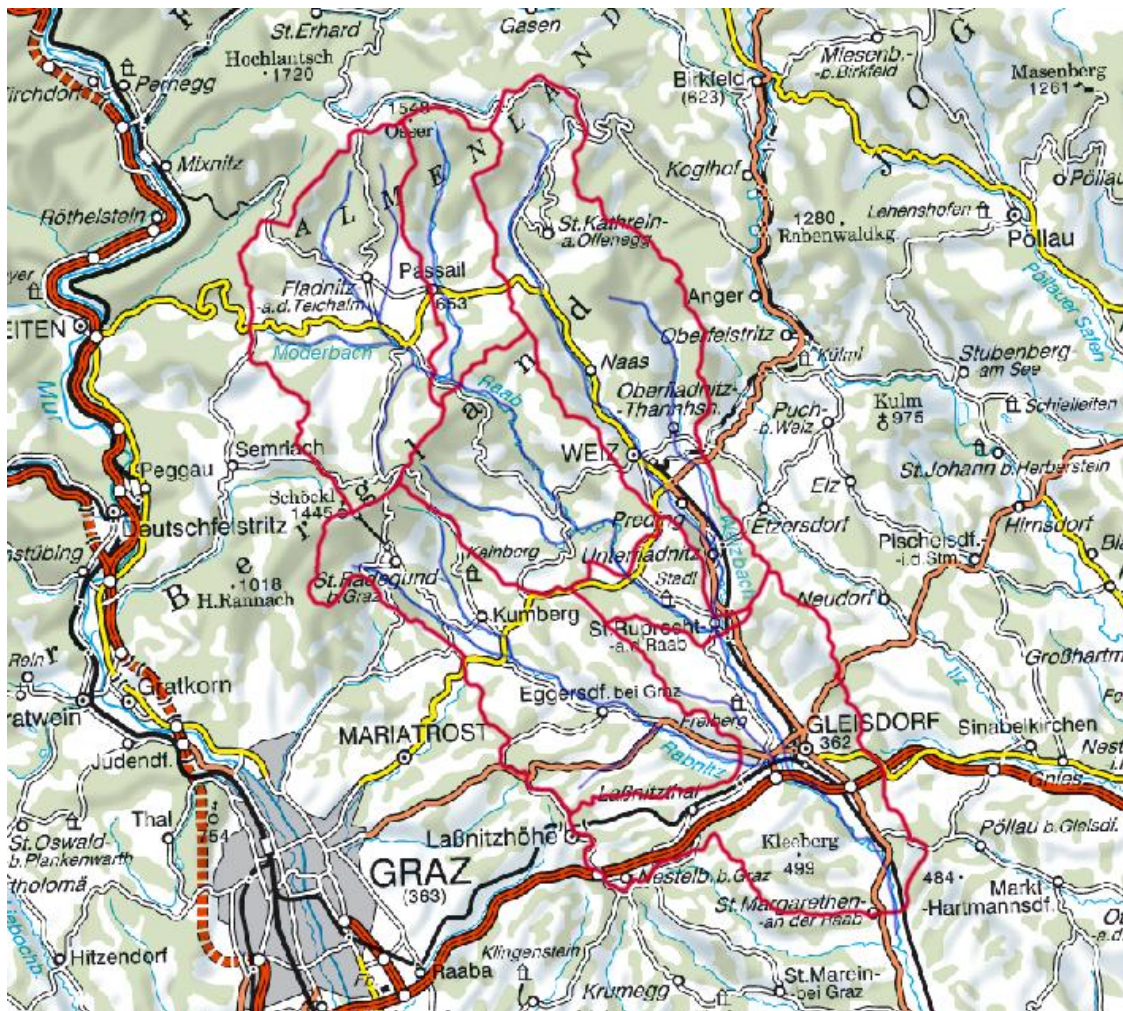


Abbildung 1: Geografische Lage des Untersuchungsgebietes – Ausschnitt ÖK 500 (BEV) und EZ aus dem Hydrologischen Atlas

2.2 Geologie und Geomorphologie

Wie in Abbildung 2 zu sehen, teilt sich das Untersuchungsgebiet in zwei große Gruppen. Nördlich von Weiz ist metamorphes Gestein, welches den Zentralalpen zuzuordnen ist, vorhanden. Das Einzugsgebiet südlich von Weiz wird durch ein tertiäres Becken gebildet. Nachfolgend noch eine etwas detailliertere Besprechung der Geologie der untersuchten Flussräume, wobei Abbildung 2 als Unterstützung der Erklärung dienen soll.

- Die Raab

Die Raab entspringt an der Teichalm, welche hauptsächlich aus schwach metamorphen Kalken gebildet wird. Um Passail wird inneralpines Jungtertiär durchflossen, welches dann von Gesteinen der Murauer Gruppe abgelöst wird. Nun, ca. 4 km südlich von Passail am Zusammenfluss von Moderbach und Raab, dem Beginn der Raabklamm, bildet hauptsächlich altpaläozoischer Bänderkalk das Hauptgestein. Etwa 4 km flussabwärts, ist ein Wechsel zu polymetamorphem Grundgebirge, welches vor allem aus Glimmerschiefer und Paragneis gebildet wird, zu beobachten. Nun circa 4 km nördlich von St. Ruprecht wird das Einzugsgebiet aus einem tertiären Becken gebildet. In diesem verlässt die Raab auch das Untersuchungsgebiet.

- Der Moderbach

Das Einzugsgebiet des Moderbaches wird im Norden von schwach metamorphem Gestein und im Süden von höher metamorphen Gesteinen gebildet. 3,6 km südlich von Passail mündet der Moderbach in die Raab.

- Der Weizbach

Das obere Einzugsgebiet des Weizbaches bis Weiz besteht ausschließlich aus schwach metamorphem Grundgebirge. Zum überwiegenden Teil sind hier Bänderkalke und Phyllite anzutreffen. Ab Weiz wird wiederum ein Tertiäres Becken durchflossen. Der Weizbach mündet bei St. Ruprecht in die Raab.

- Die Rabnitz

An der Rabnitz finden sich im oberen Einzugsgebiet nur kleine Bereiche von polymetamorphem Grundgebirge. Dieses besteht hauptsächlich aus Glimmerschiefer und Paragneis. Der Hauptteil des Einzugsgebietes wird aus Tertiärgesteinen gebildet. Die Rabnitz mündet bei Gleisdorf in die Raab.

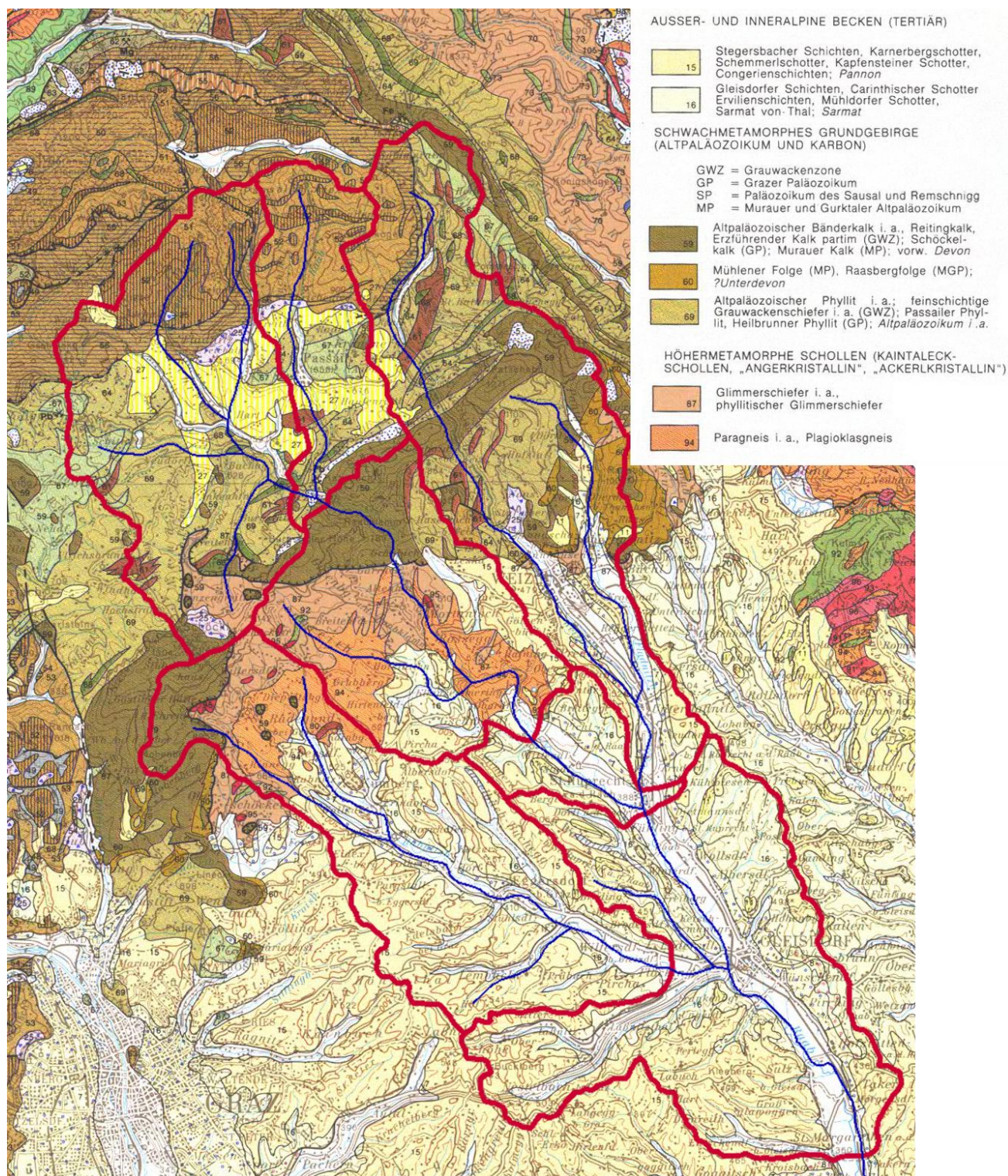


Abbildung 2: Geologie des Untersuchungsgebietes – Ausschnitt Geologische Karte der Steiermark 1:200.000 (Flügel und Neubauer 1984) und EZ aus dem Hydrologischen Atlas

2.3 Klima

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in der nemoralen oder auch warm gemäßigten Klimazone.

Für die Steiermark wird im Landes-Umwelt-Informationssystem eine klimatische Einteilung vorgenommen (Prettenthaler 2010). Das Untersuchungsgebiet hat nach dieser Einteilung Anteile an den Zonen: Fischbacher Alpen mit Grazer Bergland und Wechsel (Abbildung 3, C.3), Passailer Becken (Abbildung 3, B.5), Randgebirgsfuß Schöckl/Zetz (Abbildung 3, B.7), und Weizer - Gleisdorfer Riedelland (Abbildung 3, A.6), wobei hier noch das Wort Riedel erklärt werden soll. Es handelt sich um einen schmalen, langgestreckten Geländerücken zwischen zwei Tälern. Diese Geländeform ist charakteristisch für das sogenannte Riedelland.

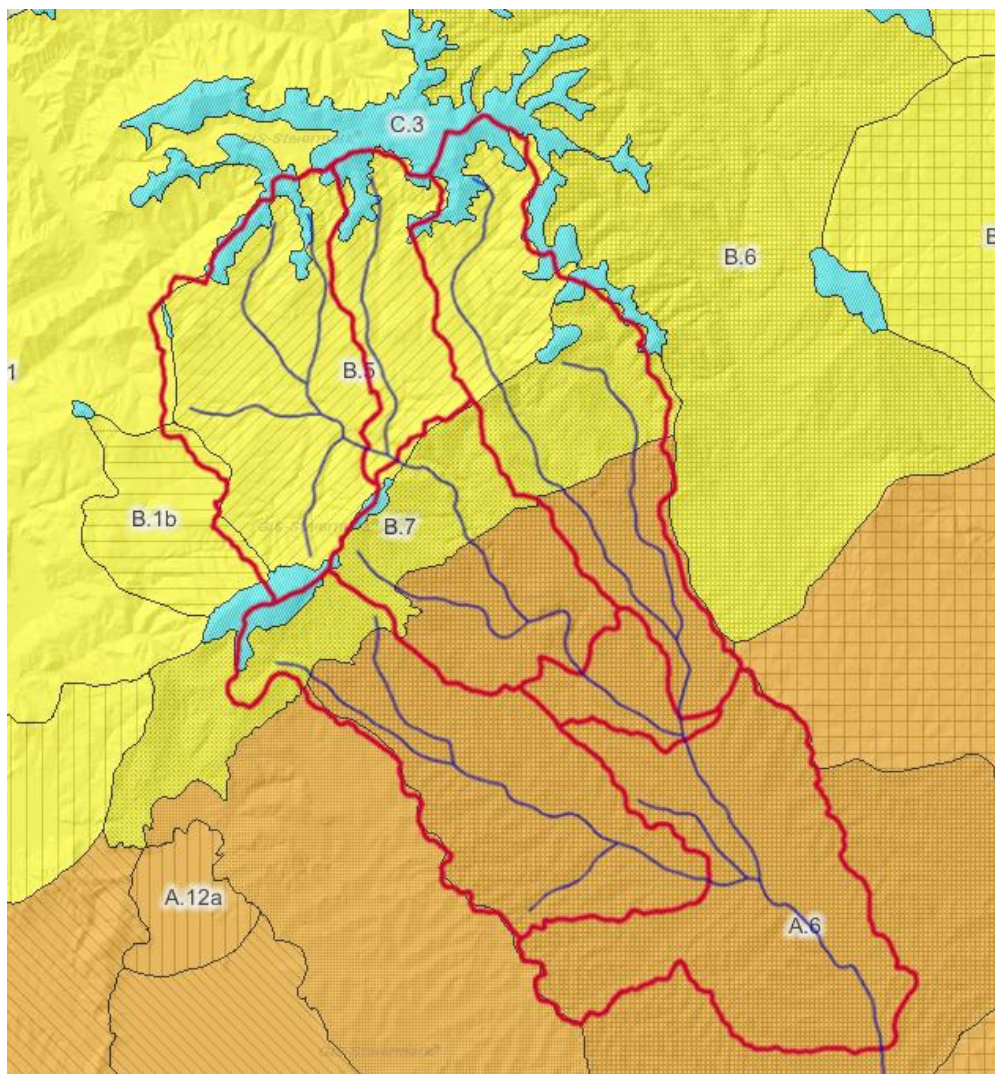


Abbildung 3: Ausschnitt aus: Klimaregionen der Steiermark (Prettenthaler 2010) und dem Hydrologischen Atlas

Anschließend (in den Kapiteln 2.3.1 bis 2.3.4) wird ein stark gekürzter Auszug aus den Beschreibungen zu den Klimaregionen des Landes Steiermark gegeben. (Prettenthaler 2010)

2.3.1 Fischbacher Alpen mit Grazer Bergland und Wechsel

Diese sind in Abbildung 3 in hellblau unter der Nummer C.3 zu finden.

Charakteristik

Ein Charakteristikum ist ein Sommermaximum im Niederschlag und die große Unwetterhäufigkeit, wobei 40-50 Tage mit Gewitter im Jahr den Durchschnitt darstellen.

Temperatur

Die mittleren Temperaturen liegen im Jänner bei $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ und im Juli bei $15-16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bei der Sonnenscheindauer wird ein Durchschnittswert von 30-38 % erreicht.

Niederschlag

Die Niederschläge in Kammlagen erreichen Jahressummen von 1200 bis 1300 mm. Die Zunahme der Niederschläge mit der Höhe ist gering.

2.3.2 Passailer Becken

Das Passailer Becken ist in Abbildung 3, in Gelb mit grauen Linien, unter der Nummer B.5 zu finden.

Charakteristik

Aufgrund seiner abgeschirmten Lage weist das Becken ausgesprochen kontinentale Züge auf.

Temperatur

Bei Arzberg im unteren Teil des Beckens sich oft Kaltluftstau vor der Raabtalklamm. Auch ist dieser Bereich überdurchschnittlich nebelgefährdet. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt $6-8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Niederschlag

Auch die Niederschlagsverhältnisse sind eher kontinental, mit gewitterreichen Sommern, hoher Unwetterwahrscheinlichkeit und schneearmen Wintern. Weiters beträgt der mittlere Jahresniederschlag 850-1250 mm.

2.3.3 Randgebirgsfuß Schöckl/Zetz

Der Randgebirgsfuß Schöckl/Zetz ist in Abbildung 3, in Gelb mit grauen Punkten, unter der Nummer B.7 zu finden.

Charakteristik

Dieser Abschnitt ist thermisch begünstigt im Vergleich zu Bereichen gleicher Höhenlage im Murtal oder auch im Passailer Becken. Aufgrund der relativ großen Höhendifferenz zwischen Talsohle und Kammbereich entwickelt sich durch Hangwindzirkulation eine große Gewitterbereitschaft. Die Jahresmitteltemperatur beträgt 4-8 C° und die mittlere Jahresniederschlagshöhe 850-1250 mm.

2.3.4 Weizer - Gleisdorfer Riedelland

Das Weizer – Gleisdorfer Riedelland ist in Abbildung 3, in Orange mit grauen Punkten, unter der Nummer A.6 zu finden.

Charakteristik

Als typisch kann die kleinteilige Struktur, mit Riedeln und dazwischenliegenden Tälern, in diesem Gebiet angesehen werden. Ein weiteres Charakteristikum für diese Zone ist die große Unwetterbereitschaft. Diese kann durch die Lage am Rand des Gebirges einerseits und mit dem ausreichenden Feuchtepotential durch die Nähe zur Adria andererseits begründet werden.

Temperatur

Durch entstehende Kaltluftseen sind die Riedelkuppen mit etwa 80 Frosttagen pro Jahr weniger gefährdet als die Tallagen mit 140 bis 145 Tage Frost pro Jahr.

Die Temperaturen haben ein Jännermittel von -4 C° bis -1 C° und erreichen im Juli Werte von 17 C° bis 19 C°. Das Jahresmittel liegt bei 7,5 C° bis 9,7 C°.

Niederschlag

Auch in dieser Zone sind Schneearme Winter (Jännermittel: 30 mm) und gewitterreiche Sommer (Juli 130 mm) zu beobachten.

2.4 Hydrologie

2.4.1 Durchschnittliche Jahresniederschläge

Zu den mittleren Jahresniederschlagssummen ist zu sagen, dass diese im nördlichen gebirgigen Teil 1000-1250mm betragen und nach Süden abnehmen, wobei sie im Mittelteil 850-1000 mm und im Süden des Untersuchungsgebietes 700-850 mm betragen. Zum Vergleich werden im nördlichen Weinviertel Jahresniederschlagssummen von circa 500 mm und inneralpin 3000 mm erreicht. Wird die mittlere jährliche Abflusshöhe aus der Wasserbilanz errechnet, ergeben sich für den Norden des Untersuchungsgebietes Niederschlagshöhen von 700-850 mm und im Süden von 550-700 mm.

Auch sehr interessant für die vorliegende Arbeit ist eine Untersuchung aus dem Hydrologischen Atlas (2007) über beobachtete extreme Tages- und Zweitagesniederschläge. Hier ist zu erkennen, dass die extremen Tagesniederschläge zwischen 75 – 100 mm und die Zweitagesniederschläge zwischen 100-150 mm liegen.

2.4.2 Saisonalität der Abflüsse

Im Untersuchungsgebiet zeigt sich, laut Hydrologischem Atlas (2007), bei den Pegeln nördlich von St. Ruprecht, dass diese eine mittlere Saisonalität der Jahreshöchsthochwässer aufweisen, welche in den Juli fallen. Mittlere Saisonalität bedeutet einen Saisonalitätsfaktor zwischen 0,3 und 0,7. Hier heißt ein Wert von 0, Hochwässer treten über das ganze Jahr verteilt auf, ein Wert von 1 bedeutet alle Hochwässer treten an einem Tag auf. Südlich von St. Ruprecht treten die Jahreshöchsthochwässer auch mit einer mittleren Ausprägung der Saisonalität im August auf.

2.4.3 Saisonalität der Niederschläge

Im Randbereich des Untersuchungsgebietes treten die Jahreshöchstniederschläge mit mittlerer Saisonalität im Juli auf. Im Zentralbereich des Untersuchungsgebietes ist die Saisonalität der Jahreshöchstniederschläge stark ausgeprägt und am häufigsten treten diese Niederschläge ebenfalls im Juli auf.

2.4.4 Normierte mittlere Hochwasserspende

In Tabelle 1 wird ein Überblick über die normierte mittlere Hochwasserspende im Untersuchungsgebiet gegeben. Sie gibt Auskunft darüber, wie viel Wasser [m^3/s] jeder Quadratkilometer bei einem durchschnittlichen Hochwasserereignis zum Abfluss beiträgt. Die Bandbreite der normierten mittleren Hochwasserspende reicht von $1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ im

Bregenzerwald (durch Staulagen) bis $0,1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ im Wiener Becken. (Hydrologischer Atlas 2007) Die großen Variationskoeffizienten des Untersuchungsgebietes finden sogar im Hydrologischen Atlas (2007) Erwähnung, wenn es heißt: „*Sehr große Werte des Variationskoeffizienten treten auch in der Oststeiermark (Oberlauf der Raab) auf. Diese Gegenden sind durch eine massive Gewittertätigkeit bekannt.*“

Tabelle 1: Abflussspenden im Untersuchungsgebiet und Variationskoeffizient (Hydrologischer Atlas 2007)

NAME	MHq in [$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$]	CV
Arzberg (Moderbach)	0,286	0,9251
Arzberg (Raab)	0,222	0,6218
Mitterdorf an der Raab	0,271	0,7872
St.Ruprecht a. d. R. (Weizbach)	0,265	1,0862
St.Ruprecht a. d. R. (Raab)	0,26	0,5668
Flöcking	0,202	0,521
Takern II	0,241	0,4628

2.4.5 Ereignisbezogene Abflussbeiwerte

Der ereignisbezogene Abflussbeiwert wurde für viele Hochwasserereignisse in einem Einzugsgebiet bestimmt. Der Abflussbeiwert gibt wieder, welcher Anteil eines Niederschlagsereignisses direkt zum Abfluss kommt. Abbildung 4 gibt für jede Abflussmessstelle eine Übersicht über die Streuung der Abflussbeiwerte. Im gelben Rechteck liegen 60% der Werte, die Striche nach oben geben den Abflussbeiwert des jeweils größten Ereignisses wieder.

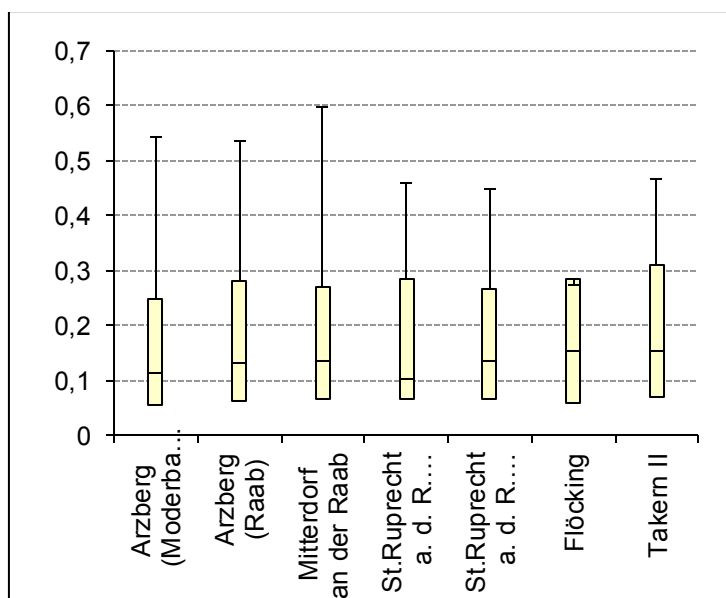


Abbildung 4: Ereignisbezogene Abflussbeiwerte im Untersuchungsgebiet (Hydrologischer Atlas 2007)

2.5 Gewässerökologie

Hier wird nicht auf die gesamte Bandbreite der Gewässerökologie eingegangen, sondern versucht anhand der Einteilung der Fischregionen auf die Besonderheiten des Untersuchungsgebietes hinzuweisen.

Ursprung – St. Ruprecht

Im Quellgebiet (Krenal) sind keine Fische anzutreffen. Das Gebiet bis Arzberg ist der oberen Forellenregion (Epirhithral) zuzuordnen. Der Raababschnitt von Arzberg bis St. Ruprecht gehört der unteren Forellenregion (Metarhithral) an. Der Hauptfisch ist die Bachforelle, sie findet durch die niedrigen Wassertemperaturen und den hohen Sauerstoffgehalt gute Lebensbedingungen vor. (Adler 1993)

St. Ruprecht – Takern II

Dieser Bereich gehört der Barbenregion (Epipotamal) an. Das Fehlen der Äschenregion (Hyporhithral) an der Raab ist erklärbar durch die recht hohen sommerlichen Wassertemperaturen von bis zu 20° C. Die Äsche bevorzugt einen Temperaturbereich von 12-18 ° C. (Adler 1993)

3 Materialien und Methodik

In diesem Abschnitt werden die im Zuge dieser Arbeit angewandten Methoden und ihre theoretischen Grundlagen beschrieben. Sie beinhalten die Niederschlags erfassung, und die gewählte Abflussbildung.

3.1 Datenquellen

Nach Recherche im Hydrologischen Atlas für Österreich (2007) wurden die für die Untersuchung maßgebenden Pegel und Niederschlagsmessstellen ausgewählt. In Tabelle 2 sind die beschafften Abflussmessstellen angeführt und in Abbildung 5 wird ein Überblick über deren Lage im Untersuchungsgebiet gegeben.

Tabelle 2: Verwendete Abflussmessstellen

Name	Gewässer	HZB-Nummer	Länge der Datenreihe	EG [km ²]	Herkunft	
Takern II	Raab	210971	1976 - 2009	498,9	HZB	Stundenwerte
Flöcking	Rabnitzbach	211888	1991 - 2009	94	HZB	Stundenwerte
St. Ruprecht an der Raab	Raab	211706	1984 - 2009	300,8	HZB	Stundenwerte
St. Ruprecht an der Raab	Weizbach	210963	1976 - 2009	93,7	HZB	Stundenwerte
Mitterndorf an der Raab	Raab	211599	1980 - 2009	183,7	HZB	Stundenwerte
Arzberg	Raab	211698	1982 - 2009	119,1	HZB	Stundenwerte
Arzberg	Moderbach	210955	1976 - 2009	82,4	HZB	Stundenwerte

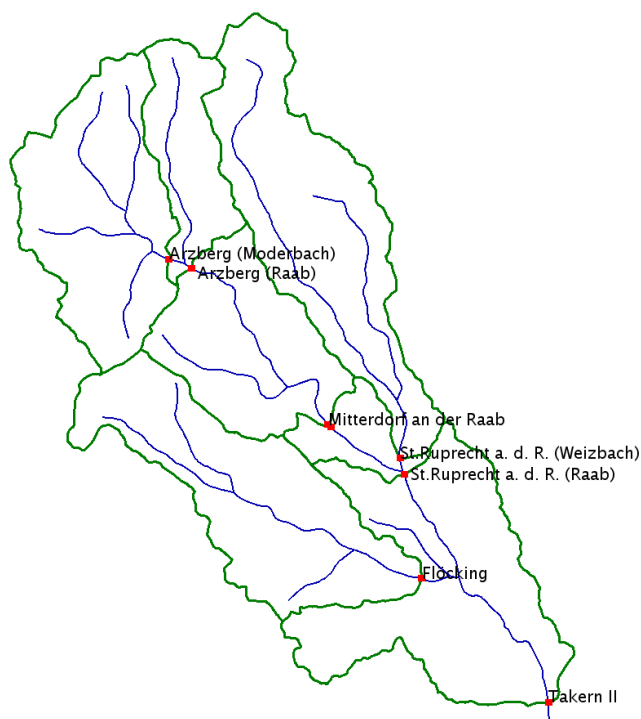


Abbildung 5: Lage der verwendeten Abflussmessstellen (Hydrologischer Atlas 2007)

In Tabelle 3 werden die angeforderten Niederschlagsmessstellen angeführt. Für die Modellierung konnten nur Niederschlagsmessstellen verwendet werden, für welche Stundenwerte vorhanden waren. Zu Kontrollzwecken wurden aber auch die Tagessummen aller Niederschlagsmessstellen im Untersuchungsgebiet angefordert. In Tabelle 3 sind jene Messstellen fett markiert, die aufgrund der oben genannten Anforderungen für die N/A Modellierung verwendet wurden. Außerdem wird in Abbildung 6 ein Überblick über deren Lage im Untersuchungsgebiet gegeben.

Tabelle 3: Niederschlagsmessstellen (hervorgehoben die zur Modellierung verwendeten Messstellen)

Name	HZB-Nummer	Länge der Datenreihe	Herkunft	
Sinabelkirchen	111062	01.01.1961 - 01.01.2009	HZB	Tagessummen
St. Ruprecht an der Raab	123083	01.01.2004 - 01.01.2009	HZB	Stundensummen
Laßnitzhöhe	110866	01.02.1990 - 08.06.2011	ZAMG	Stundensummen
St. Radegrund	110858	24.04.1986 - 08.06.2011	ZAMG	Stundensummen
Schöckl	110841	01.12.1992 - 08.06.2011	ZAMG	Stundensummen
Weiz	110825	01.06.2007 - 08.06.2011	ZAMG	Stundensummen
St. Johann bei Herberstein	111054	01.01.1961 - 01.01.2009	HZB	Tagessummen
Graz Universität	112094	01.07.1988 - 08.06.2011	ZAMG	Stundensummen
Graz Andritz	112086	17.09.2007 - 01.01.2009	HZB	Stundensummen
Gratkorn	112078	01.01.1971 - 01.01.2009	HZB	Tagessummen
Eichberg	123042	01.01.1994 - 01.01.2009	HZB	Tagessummen
Semriach	112045	01.01.1971 - 01.01.2009	HZB	Tagessummen
Frohnleiten	112037	30.04.2004 - 01.01.2009	HZB	Stundensummen
Anger	123075	01.06.2001 - 01.01.2009	HZB	Tagessummen
Birkfeld (Schule)	123117	01.01.2000 - 01.01.2009	HZB	Stundensummen
Fladnitzberg	111401	01.01.1988 - 01.01.2009	HZB	Tagessummen
Hohenau an der Raab	111369	01.01.1981 - 01.01.2009	HZB	Tagessummen
Breitenau bei Mixnitz	112003	01.01.2007 - 01.01.2009	HZB	Stundensummen

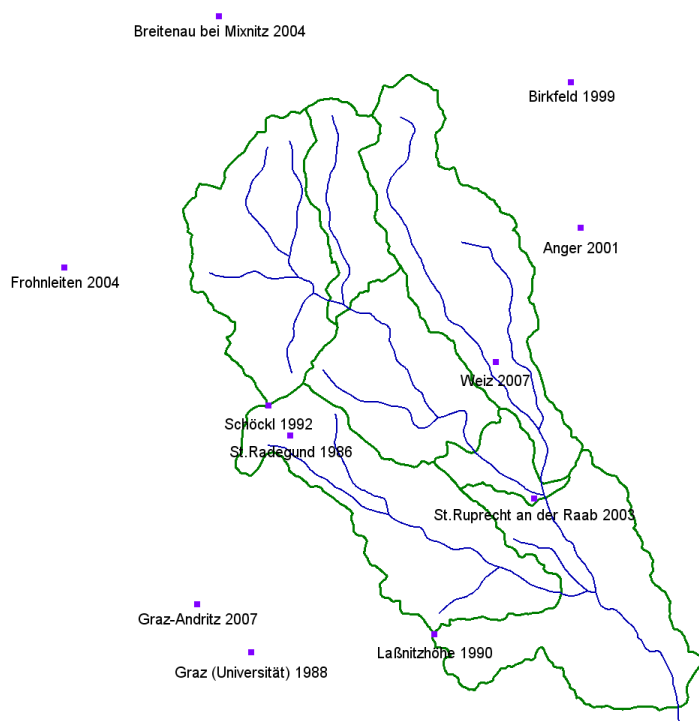


Abbildung 6: Verwendete Niederschlagsmessstationen und Beobachtungsbeginn (Hydrologischer Atlas 2007)

Das Einzugsgebiet und das Gewässernetz des Untersuchungsgebietes wurden dem digitalen HAÖ (Hydrologischer Atlas Österreich 2007) entnommen.

Bemessungsniederschläge dienen als Grundlage für viele Planungen in der Wasserwirtschaft. Sie sind in einem Gitternetz mit 6 km x 6 km flächendeckend für ganz Österreich ausgewertet. Die Bemessungsniederschläge für jeden Gitterpunkt reichen von 5 Minuten bis 6 Tage und für Jährlichkeiten von 1 – 100 Jahren. (Weilguni 2011)

Die Bemessungsniederschläge wurden dem elektronischen Auftritt des Hydrographischen Dienstes kurz eHYD des Lebensministeriums entnommen. (BMLFUW 2011) Die Bemessungsniederschläge setzen sich einerseits aus MaxMod-Daten und andererseits aus ÖKOSTRA-Daten zusammen. Bei den MaxMod Daten handelt es sich um Modelldaten aus einem konvektiven Niederschlagsmodell, welche auch unter dem Namen LorenzSkoda Daten bekannt sind. Die ÖKOSTRA Daten sind die extremwertstatistische Auswertung von beobachteten Niederschlägen. (Nachtnebel et al., 2005)

Weiters wurden die bisher verwendeten HQ-Abflussmengen von der Steiermärkischen Landesregierung zu Vergleichszwecken zur Verfügung gestellt.

3.2 Extremwertstatistik

In der vorliegenden Arbeit wurde auch eine Extremwertstatistische Auswertung der beobachteten Hochwasserereignisse angestrebt. Diese Methode ist als Standard anzusehen. Anschließend wurden die Ergebnisse der extremwertstatistischen Analyse mit denen der Niederschlag – Abfluss Analyse verglichen. Auch die meisten Berechnungen von HQ Ereignissen welche von Landesregierungen zur Bemessung von Hochwasserschutzmaßnahmen herangezogen werden beruhen auf extremwertstatistischen Auswertungen. Als eine der gängigsten extremwertstatistischen Verteilungen wurde die Gumbelverteilung gewählt.

Die Gumbelverteilung ist eine 2 parametrische Verteilung mit fester Schiefe $c_s = 1.1396$.

Die Verteilungsfunktion nach Gumbel lautet wie folgt:

$$F(x) = e^{-e^{\frac{x-c}{d}}}$$

$F(x)$ gibt die Wahrscheinlichkeit einer Unterschreitung $P(X < x)$ an. Die Parameter c (Lageparameter; Modalwert) und d (Maßstabsparameter) lassen sich nach der Momentenmethode als Funktion von Mittelwert und Standardabweichung darstellen als (Vgl. Nachtnebel et al (2009)):

$$d = \frac{\sqrt{6}}{\pi} s_x = 0.7797 * s_x$$

$$c = \bar{x} - 0.5772 * d$$

Es werden die Jährlichkeiten 2, 5, 10, 30, 100 und 300 ausgewertet.

3.3 NA Modellierung

Ziel der Niederschlags - Abflussmodellierung ist es, den natürlichen (beobachteten) Abfluss anhand eines Niederschlagsereignisses möglichst genau vorhersagen zu können. In Abbildung 7 wird ein Überblick über die Modellansätze und deren Beziehungen in der Hydrologie gegeben. Die Niederschlags – Abfluss Analyse findet sich in diesem Diagramm bei den Integrierten Modellen wieder.

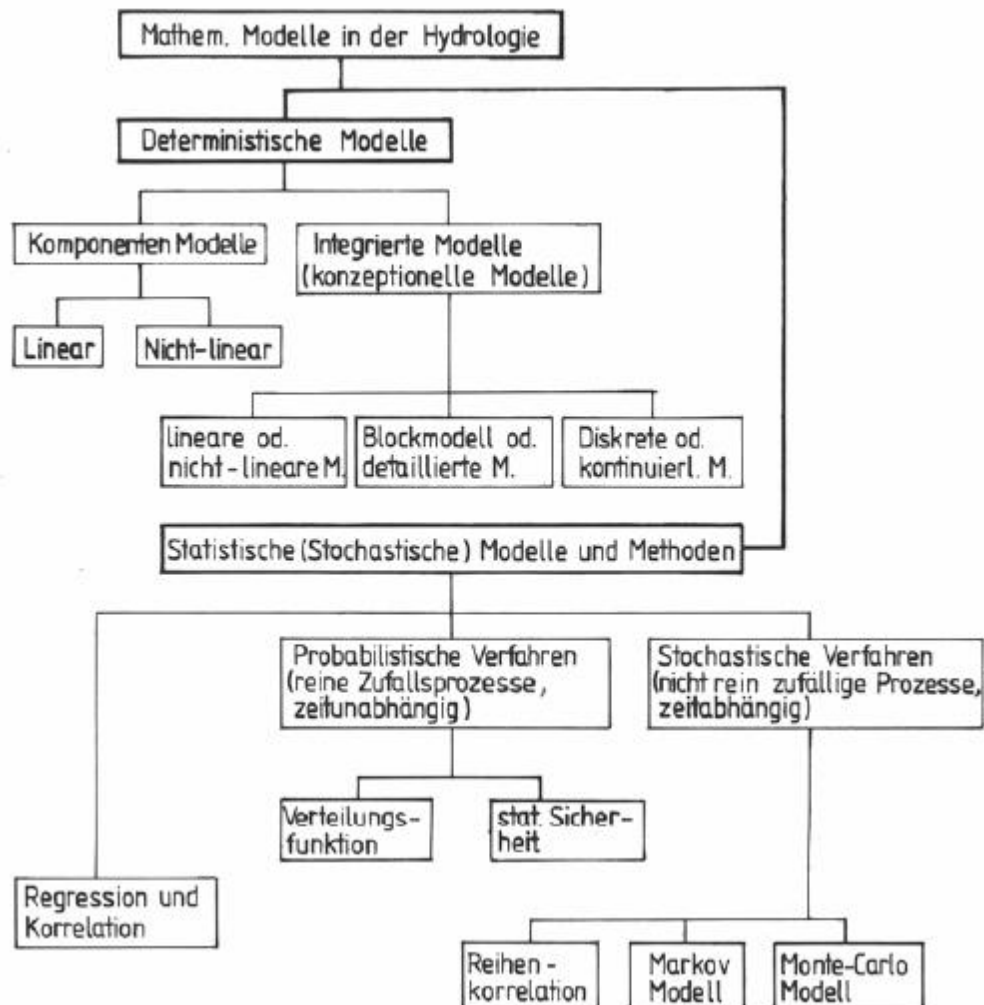


Abbildung 7: Modelle in der Hydrologie Maniak (2010)

Die Vorgehensweise, wie sie hier beschrieben wird, ist an das Lehrbuch von Maniak (2010) angelehnt (Kapitel 3.3.1 bis 3.3.5). Die Erstellung eines Niederschlags - Abfluss Modells gliedert sich in folgende Schritte:

3.3.1 Niederschlags und Abfluss Daten

Beschaffung und Prüfung der Niederschlags- und Abfluss Daten (siehe auch Kapitel 3.1)

Hier ist insbesondere darauf zu achten, dass die Messwerte in einer ausreichenden zeitlichen Auflösung vorliegen. Nach Maniak (2010) ist bei einer Einzugsgebietsgröße von 20 -100 km² eine zeitliche Auflösung der Daten von einem Messwert pro Stunde erforderlich. Das kleinste Teileinzugsgebiet der vorliegenden Untersuchung weist eine Größe von 22 km² auf.

3.3.2 Ermittlung der Gebietsniederschläge

Für die Analyse ablaufender Hochwasserereignisse ist es notwendig, von punktförmigen Regenmessungen auf den Gebietsniederschlag zu schließen. Es gibt mehrere Methoden der Berechnung des Gebietsniederschlages: Einerseits die Polygonmethode, bei der der Raum dem jeweilig nächsten Regenmesser zugeordnet wird. Andererseits die Inverse Distanzen Methode, welche in dieser Arbeit Anwendung findet (siehe auch Kapitel 3.4.2). Bei einem Blockregen tritt der größte Abfluss im Gewässer dann ein, wenn die Regendauer mindestens der Fließzeit vom Einzugsgebietsrand bis zum Gebietsauslass (~Konzentrationszeit t_c) entspricht. Wie bei Maniak (2010) beschrieben, führt nicht ein Blockregen (gleichmäßige Überregnung des Einzugsgebietes) zwangsläufig zum größten Scheitelabfluss. Welcher Intensitätsverlauf des Niederschlages den größten Scheitelabfluss am Gebietsauslass hervorruft, ist von der Form des Einzugsgebietes abhängig.

3.3.3 Abflussbildung

Hier wird behandelt, wie aus dem ermittelten Gebietsniederschlag der abflusswirksame Niederschlag wird. Abbildung 8 zeigt, wie ein detailliertes Abflussbildungsmodell aufgebaut ist. Bei der Abflussbildung kann entweder, wie bei Blockmodellen, nur der Basisabfluss abgetrennt werden oder ein detailliertes Modell erstellt werden. Bei detaillierten Modellen werden die Verteilung des Niederschlages, die Anfangsverluste (Interzeption, Niederschlag Muldenrückhalt) sowie der Abfluss aus Teileinzugsgebieten als unabhängige Vorgänge behandelt. Beim Abfluss wiederum kann nach oberirdischem und oberflächennahem Abfluss und Grundwasserabfluss unterschieden werden.

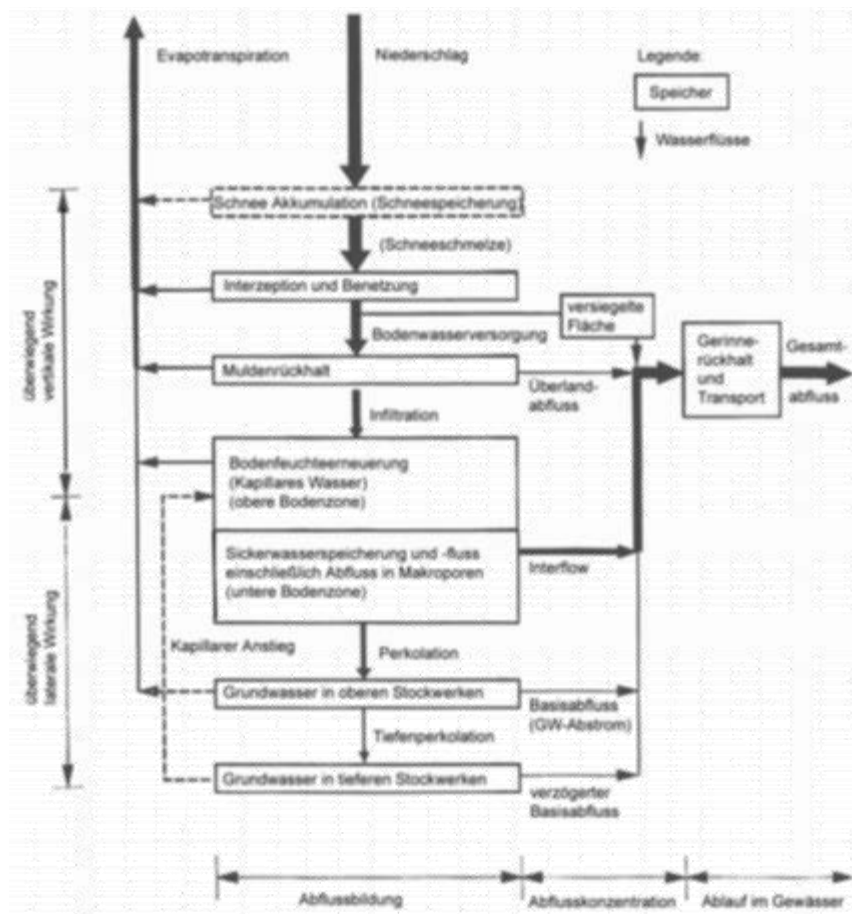


Abbildung 8: Detailliertes Modell zur Niederschlag - Abfluss - Analyse (Maniak 2010)

3.3.3.1 Interzeption und Muldenrückhalt

Als Interzeption wird der Prozess bezeichnet, welcher den Niederschlag an der Pflanze zurückhält. Von der Pflanze kann der Niederschlag zum Boden weiter abfließen, wieder verdunsten oder in die Pflanze aufgenommen werden. Bestimmt wird die Interzeption über die Differenz von Bruttoniederschlag zu durchtropfendem Niederschlag.

Die Größe des Muldenrückhalts ist direkt von der Oberflächenstruktur abhängig. In flachen Einzugsgebieten ist der Muldenrückhalt besonders groß. Er kann einerseits experimentell mittels Regensimulator und andererseits indirekt über den Vergleich der Summenkurven des Oberflächenabflusses und der Infiltration ermittelt werden.

3.3.3.2 Infiltration

Nachdem die Anfangsverluste, in Form von Interzeption und Muldenrückhalt abgezogen wurden, beginnt die Infiltration. Wenn die Regenkonzentration geringer als die Infiltrationskapazität ist, findet kein Oberflächenabfluss statt. Bei sehr starken Regenereignissen findet auch oberflächlicher Abfluss statt. Nun kann den verschiedenen Abflusskomponenten eine spezifische Fließzeit zugeordnet werden.

3.3.3.3 Verlustraten und Abflussbeiwerte bei einfachen Modellen

Beim Verlustratenansatz wird nicht, wie beim Konzept der Infiltration, der Boden als Speicher angesehen, sondern der Niederschlag um einen konstanten oder exponentiell abnehmenden Beiwert verringert.

3.3.3.4 Gesamtabflussbeiwert aus Gebietsgrößen

Bei Vorliegen von keinen oder nur wenigen Niederschlags – Abfluss - Beobachtungen kann der Niederschlag anhand von gebietsspezifischen Parametern geschätzt werden. Verbreitet ist das Verfahren des US Soil Conservation Service (SCS). Ziel ist es anhand von Niederschlagshöhe und einem gebietsspezifischen Charakter für den Boden den abflusswirksamen Anteil zu bestimmen. Dieser gebietsspezifische Charakter für den Boden wird Curve Number oder kurz CN genannt. Wie Merz (2009) anhand der Rückrechnung der CN von 26000 Ereignissen in Österreich gezeigt hat, ist die Bestimmung der CN ohne beobachtete Ereignisse, mit großen Unsicherheiten behaftet.

3.3.4 Übertragungsfunktion

Die Übertragungsfunktion stellt dar, wie sich der abflusswirksame Niederschlag im Einzugsgebiet, über die Zeit, am Gebietsauslass konzentriert.

3.3.4.1 Einheitsganglinienverfahren

Das Einheitsganglinienverfahren ist eines der ältesten bekannten Konzepte zur Beschreibung der Abflusskonzentration und wurde 1934 von Sherman entwickelt. Es beschreibt den Abflussverlauf von 1 mm abflusswirksamem Niederschlag, welcher eine Zeiteinheit lang dauert. Eine Voraussetzung für die Benutzung des Verfahrens ist eine homogene Überregnung des Einzugsgebietes. Durch Addition der Einheitsganglinien unterschiedlicher Größe, welche in den einzelnen Zeitschritten entsteht, kann für unterschiedliche Niederschlagsereignisse die Gebietsantwort ermittelt werden. Die Ermittlung der Einheitsganglinie erfolgt durch Rückrechnung auf diese aus beobachteten Niederschlagsereignissen.

3.3.4.2 Translationsmodelle und charakteristische Fließzeiten

Es können bei der Abflusskonzentration charakteristische Fließzeiten definiert werden. Die Verzögerungszeit ist die Zeit zwischen dem zur Hälfte gefallenem Regen und der halben Abflusssumme. Die zweite charakteristische Kenngröße ist die Konzentrationszeit, welche schon im Abschnitt 3.3.2 beschrieben wurde.

3.3.4.3 Kombinierte Translations- und Speichermodelle

Eine bessere Erfassung des Hochwasserablaufes ist möglich, wenn das Translationsmodell mit einem Speichermodell verbunden wird. Aufgrund von beobachteten Niederschlags- Abfluss- Beobachtungen oder anhand von gebietsspezifischen Parametern kann der Speicherkoeffizient K geschätzt werden.

3.3.5 Ablauf von Hochwasserwellen im Gewässer

Dieser Abschnitt dient zur Darstellung mit welchen Modellen die Verformung der Abflussganglinie von Gewässern beschrieben werden können.

3.3.5.1 Hydraulische Verfahren

Bei den hydraulischen Verfahren ist die Verformung der ablaufenden Hochwasserwelle durch physikalische Abläufe definiert. Diese sind vor allem die Kontinuitätsgleichung und die Energieerhaltung. Der Nachteil von hydraulischen Verfahren ist, dass Profildaten des Gewässers und mehrere Wasserspiegellagen und deren Abflussmengen bekannt sein müssen. Das Vorhandensein dieser Eingangsdaten legt meist die Verwendbarkeit von hydraulischen Modellen fest.

3.3.5.2 Hydrologische Verfahren

Bei den hydrologischen Verfahren wird eine Vereinfachung des physikalischen Vorganges des Wellenabflusses vorgenommen. Hier wird zwar wie bei den hydraulischen Verfahren die Kontinuität zwischen zwei Beobachtungsstellen vorausgesetzt aber zur Vereinfachung ein Speicher in Abhängigkeit vom Durchfluss angenommen. Zur Verwendung von hydrologischen Modellen ist es notwendig, dass beobachtete Wellenverformungen vorliegen und dass diese den Ausuferungsbereich ausreichend erfassen.

3.4 Verwendete Software

In diesem Kapitel wird ein Überblick über die verwendete Software gegeben

3.4.1 Datenbehandlung

- **Hydrologischer Atlas**

Der Digitale Hydrologische Atlas Österreichs (DigiHAO) ist ein nützliches Grundlagenwerk, welches in gedruckter Ausführung und digital (GIS-basierend) verfügbar ist. Er bietet einen einheitlichen Überblick über die Hydrologie Österreichs. Seine Gliederung orientiert sich am Wasserkreislauf und geht vom Niederschlag zur Verdunstung und weiter über Fließgewässer bis zu allgemeinen Wasserhaushaltsdaten. In ihm wurden die Niederschlagsmessstellen (2.1 Niederschlagsmessstellen) und die Pegelmessstellen (5.1 Wasserstands und Abflussmessstellen) entnommen. Außerdem wurde die Einzugsgebietsgliederung auf Grundlage dieses Werks vorgenommen (7.1 Bilanzierungsgebiete). Was die weitere Bearbeitung vereinfachte, war die Tatsache, dass sämtliche Karten als Shape-Dateien verfügbar sind. Für die Erstellung dieser Arbeit wurden folgende Shapefiles entnommen und teilweise modifiziert:

HydroEdge (Gewässernetz)

Wasserbilanz bzw. Wasserbilanz2 (Einzugsgebiete)

<http://www.boku.ac.at/iwhw/hao/>

- **AWK**

Für den Import der ZAMG Daten wird mittels der Scriptsprache AWK eine Importroutine programmiert, welche die Daten für HEC-DSS einlesbar macht. Formatiert sind die Daten der ZAMG so, dass alle Niederschlagsdaten eines Tages in einer Zeile zu finden sind. Das AWK Script schreibt nun die Daten in eine Liste, welche ein in HEC-DSS importierbares Format aufweist. Der Code ist im Anhang A auf Seite 78 zu finden.

<http://www.gnu.org/software/gawk/gawk.html>

- **Libre Office Calc**

Für den Import der HZB Daten findet das Programm Libre Office Calc Anwendung. Mittels der Text Import Maske ist es einfach möglich, die Daten des HZB in ein Format umzuwandeln, welches von HEC-DSS einlesbar ist.

<http://www.libreoffice.org/>

- **HEC-DSSVue**

HEC-DSSVue steht für Hydrologic Engineering Center Data Storage System Visual Utility Engine. Die erhobenen Niederschlags - und Abfluss - Daten wurden alle nach HEC-DSSVue importiert. Mit HEC-DSS ist es sehr einfach, sich einen Überblick über die verwendeten Zeitreihen zu verschaffen, da selbst lange und hoch aufgelöste Zeitreihen rasch angezeigt werden. Außerdem kann die erstellte Datenbank direkt mit HEC-HMS weiter benutzt werden.

<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-dssvue/>

3.4.2 Regionalisierung

- **Arc GIS**

Mit ArcGIS werden die Einzugsgebiete aus dem Hydrologischen Atlas für diese Arbeit zusammengelegt. Außerdem wird ArcGIS zur Ausgabe der Flächenschwerpunkte der Einzugsgebiete im WGS84 System benutzt.

<http://esri-germany.de/products/arcgis/index.html>

- **SAGA GIS**

SAGA GIS ist ein quelloffenes Programmpaket, welches hauptsächlich an der Universität Hamburg entwickelt wird. Dieses Paket wird zur Berechnung der Flächenschwerpunkte der Einzugsgebiete benutzt.

<http://www.saga-gis.org>

3.4.3 NA-Modellierung

- **HEC-HMS**

Die Software HEC-HMS wurde vom US Army Corps of Engineers entwickelt. Aufgrund der Rechtslage in den U.S.A. muss von der Armee diese Software frei zur Verfügung gestellt werden. Für die vorliegende Arbeit wird mit der Softwareversion 3.5 gearbeitet. Eine detailliertere Beschreibung der Modellansätze und Unterfunktionen ist im Kapitel Modellbildung und Funktionalitäten auf Seite 25 zu finden.

<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>

3.4.4 Dokumentation

- **Microsoft Word und Excel**

Word und Excel dienen vor allem zur Dokumentation der Ergebnisse aus den Anpassungsläufen und zur Erstellung dieser Arbeit

<http://office.microsoft.com/de-at/>

4 Modellbildung und Funktionalitäten

Es wird in dieser Arbeit ein Blockmodell (lumped model) verwendet. Im Gegensatz zu reinen Black-Box Modellen kann eine bessere Anpassung an die vorhandenen Abflussvorgänge erfolgen, andererseits ist die Komplexität geringer als bei flächendetaillierten Modellen.

4.1 Loss Method: SCS Curve Number

Das Kurvennummernverfahren (SCS Curve Number oder kurz CN) wurde vom U.S. Soil Conservation Service entwickelt. Ursprünglich bestand die Aufgabe des CN Verfahrens darin, während eines Niederschlagsereignisses die versickerte Wassermenge zu berechnen. Das Programm berechnet das Infiltrationsvolumen zum Ende jedes Zeitschrittes aufgrund des bisher gefallenen Niederschlags während eines Ereignisses. (USACE, 2011)

4.2 Transformation: Clark Unit Hydrograph

Die Clark Einheitsganglinie (Clark Unit Hydrograph) ist eine synthetische Einheitsganglinien-Methode. Das bedeutet, dass der Anwender nicht durch beobachtete Niederschlags – Abfluss - Ereignisse eine Einheitsganglinie konstruieren muss. Eine Zeit-Flächen-Beziehung wird im Programm genutzt, um die Einheitsganglinie an die Einzugsgebietsgröße anzupassen. Die resultierende Einheitsganglinie wird durch einen Linearspeicher umgeformt, um dem Flächenrückhalt Rechnung zu tragen. Die Parameter, mit denen die Clark Einheitsganglinie in HEC-HMS beschrieben wird, sind einerseits die Konzentrationszeit und andererseits der Speicherkoeffizient. Die Konzentrationszeit wird in Stunden angegeben und repräsentiert die maximale Verweilzeit im Einzugsgebiet. Der Speicherkoeffizient beschreibt den linearen Speicher, mit dem der lokale Rückhalt beschrieben wird. (USACE, 2011)

4.3 Basisabfluss: Recession

Die Retention (Recession) Basisabflussmethode nähert das typische Verhalten in einem Einzugsgebiet an, wenn nach einem Ereignis der Abfluss einer Exponentialfunktion folgend abfällt. Diese Methode wurde für eine ereignisbezogene Simulation entwickelt. Es gibt aber auch die Möglichkeit eines automatischen Resets nach jedem Starkniederschlagsereignis und sie kann daher auch für kontinuierliche Simulationen verwendet werden.

Der initiale Basisabfluss am Beginn der Simulation muss angegeben werden. Dies kann über die Angabe des Basisabflusses in m^3/s oder über $\text{m}^3/\text{s km}^2$ erfolgen. Da es im gegenständlichen Projekt bereits beobachtete Abflussdaten gibt, wird der Basisabfluss anhand der Abflussdaten geschätzt.

Die Retentionskonstante gibt den Rückgang des Basisabflusses nach einem Starkregenereignis an. Sie wird definiert als Verhältnis aus derzeitigem Basisabfluss zum Basisabfluss einen Tag zuvor.

HEC HMS bietet zwei Möglichkeiten, den Basisabfluss während eines Starkregenereignisses zurückzusetzen: Verhältnis zum Scheitelabfluss und Schwellenabflusswert. Für die vorliegende Arbeit wird das Verhältnis zum Scheitelabfluss gewählt. Hier wird der Basisabfluss zurückgesetzt, wenn der momentane Abfluss dividiert durch den Scheitelabfluss kleiner dem angegebenen Schwellenwert ist. Wird zum Beispiel ein Verhältnis zum Scheitelabfluss von 0,2 gewählt, wird der neue Basisabfluss auf 20 % des Scheitelwertes des Ereignisses festgesetzt. (USACE, 2011)

4.4 Routing: Muskingum

Das Muskingum Routing benutzt einen simplen Ansatz des Massenerhalts, um die Abflussganglinie eines Flussabschnittes zu verformen. Für die Anwendung ist die Kenntnis der Zufluss- und Abflussganglinie notwendig.

$$O_2 = (C_A - C_B)I_1 + C_B I_2 + (1 - C_A)O_1$$

$$C_A = \frac{2 * \Delta t}{2K(1 - x) + \Delta t}$$

$$C_B = \frac{\Delta t - 2Kx}{2K(1 - x) + \Delta t}$$

Der K Parameter repräsentiert die Fließzeit im Abschnitt. Er wird im vorliegenden Projekt aus bekannten Abflussganglinien geschätzt.

Der X Parameter des Muskingum Verfahrens gibt den Einfluss von Input zu Output wieder. Der Wertebereich liegt zwischen 0 und 0,5. Null bedeutet eine maximale Abschwächung und 0,5 keine Änderung von Input zu Output. Bei normalen Fließstrecken liegt der Wert zwischen 0,2 und 0,3. In diesem Projekt wird der X Parameter der Fließstrecken mit den beobachteten Ereignissen kalibriert.

Die Anzahl der Unterabschnitte ist so zu wählen, dass eine mathematisch stabile (keine negativen Abflusswerte) Simulation durchgeführt werden kann. (USACE, 2011)

4.5 Räumliche Gliederung

Als Grundlage der Einzugsgebiete wird der Hydrologische Atlas Karte: „7.1 Bilanzierungsgebiete, klimatische Wasserbilanz und Abflussverhältnisse“ verwendet.

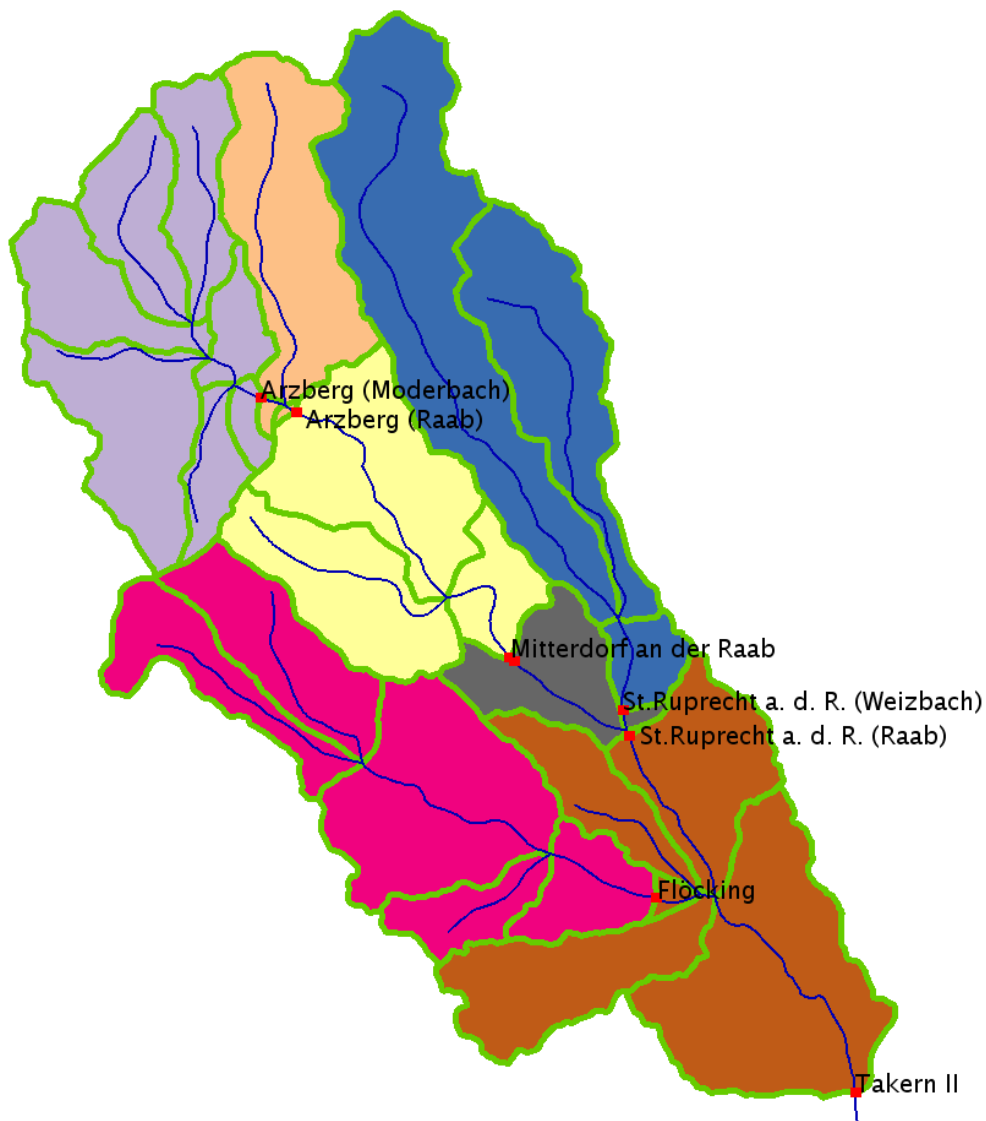


Abbildung 9: Einzugsgebieteinteilung im Hydrologischen Atlas grüne Grenzen, Einzugsgebieteinteilung für vorliegendes Projekt - farbige Flächen (Hydrologischer Atlas 2007 modifiziert)

Um eine gute Kalibrierbarkeit des Systems gewährleisten zu können, wird die Einzugsgebieteinteilung des Hydrologischen Atlas verändert. Es werden die Einzugsgebiete so zusammengelegt, dass der Gebietsauslass durch eine Pegelmessstelle begrenzt wird. So wird die Anzahl der Einzugsgebiete von 28 auf 7 verringert.

Folgende Teileinzugsgebiete sind festgelegt:

Tabelle 4: Überblick der Teileinzugsgebiete

Name des Teileinzugsgebietes	Pegelname	Fluss	Fläche [km²]
ezmoderbach	Arzberg (Moderbach)	Moderbach	82,4
ezarzberg	Arzberg (Raab)	Raab	36,7
ezmitterndorf	Mitterndorf	Raab	64,6
ezweitz	St. Ruprecht (Raab)	Raab	22,6
ezfladnitzweitz	St. Ruprecht (Weizbach)	Weizbach	93,7
eZRabnitz	Flöcking	Rabnitzbach	94,0
eZtakernII	Takern II	Raab	104,1

Nun wird das gesamte Einzugsgebiet mit den Elementen von HEC HMS nachgebildet. Es kommen drei verschiedene Elementtypen zum Einsatz:

- Subbasin zur Beschreibung der Teileinzugsgebiete
- Routing zur Beschreibung der Fließstrecken
- Junction zur Verbindung der Elemente

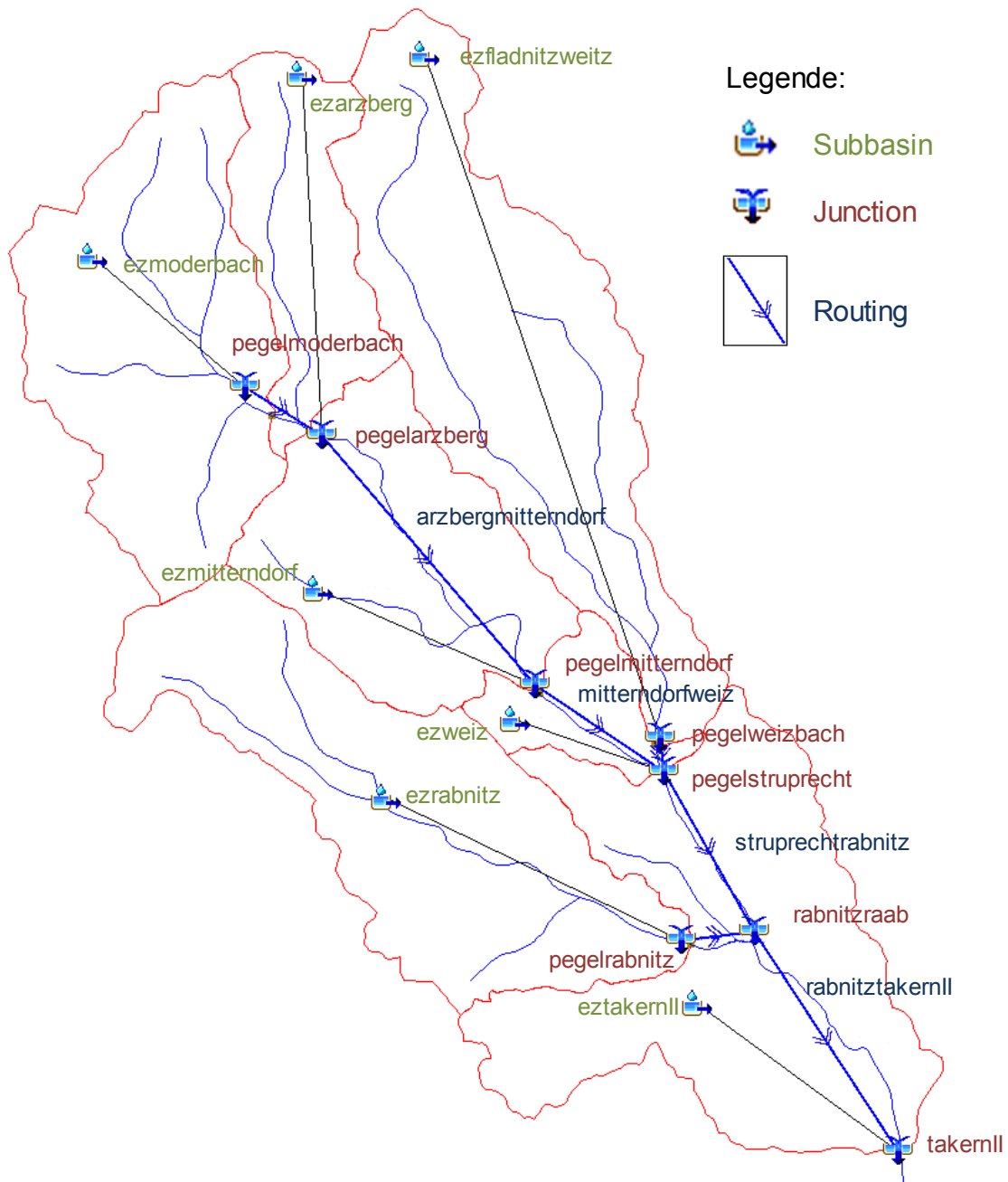


Abbildung 10: Einzugsgebietseinteilung mit HEC Elementen

Meteorologisches Modell:

Im Programm HEC HMS erfolgt die Niederschlagsdefinition über sogenannte meteorologische Modelle, in denen das Verfahren der Gebietsniederschlagsermittlung angegeben wird. Die oben genannten Niederschlagsmessstationen werden, wie oben beschrieben, in das HEC DSS System überführt und können somit direkt aus HEC HMS heraus angesprochen werden. Zur Berechnung des repräsentativen Niederschlags in einem Einzugsgebiet während eines Starkniederschlagsereignisses wird die Inverse Distanzen Methode gewählt.

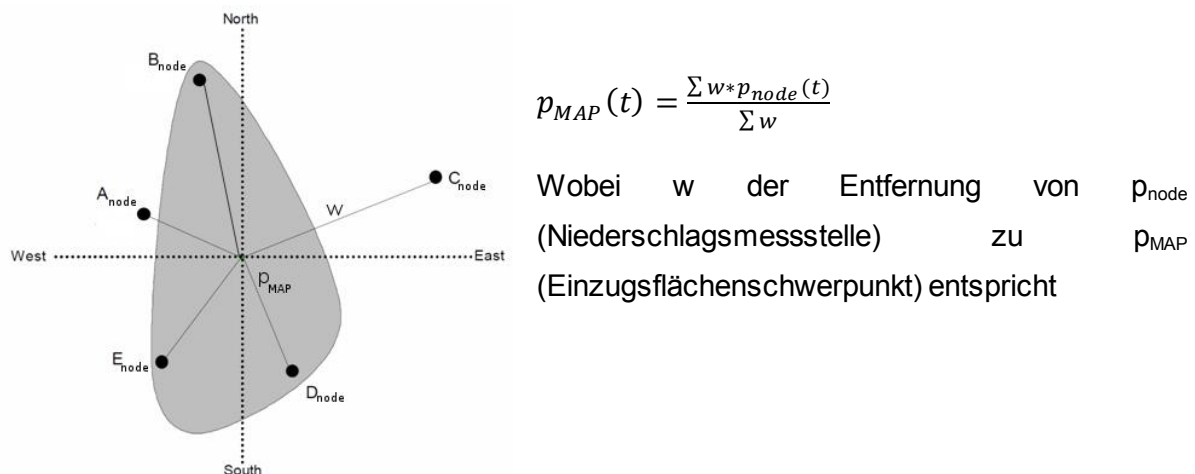


Abbildung 11: Inverse Distanzen Methode (USACE, 2000)

Als Bezugspunkt der Einzeleinzugsgebiete dient der jeweilige Flächenschwerpunkt, welcher, wie oben beschrieben, mit SAGA GIS berechnet wird. Die Koordinaten der verwendeten Niederschlagsmessstationen werden dem Hydrologischen Atlas entnommen.

4.6 Methodenfestlegung der Teilprozesse

Ziel ist es, eine möglichst große Übereinstimmung des gemessenen Abflusses am Gebietsauslass und der Modellantwort aus dem Niederschlag zu erreichen. Dazu wird ein Parametersatz so lange verändert, bis die beste Anpassung erreicht wird. Es werden die 20 größten unabhängigen Abflussereignisse des jeweiligen Pegels herangezogen. Aus diesen Ereignissen werden 15 zufällig ausgewählt, welche zur Modellkalibrierung verwendet werden sollten. Die übrigen 5 sollen zur Validierung des Modells dienen. Eine Unabhängigkeit der Ereignisse wird dann angenommen, wenn der Zeitraum zwischen ihnen eine Woche überschreitet. Jene Ereignisse, welche offensichtlich eine zu geringe Datengrundlage haben, werden vom Prozess ausgeschieden. Dies betrifft vor allem Abflussspitzen vor 1968 (keine

stündlichen Niederschlagsbeobachtungen) und Ereignisse mit starken konvektiven Charakter (z.B.: 30 Juli 2005). Die Schwierigkeit bei konvektiven Ereignissen besteht in der Schätzung des Gebietsniederschlags. Für solche Ereignisse erweist sich die Messnetzdichte als zu gering. Hier kann mit Verfahren, welche Regenradar mit in das Modell einbeziehen, wahrscheinlich eine Verbesserung der Gebietsniederschlagsabschätzung erreicht werden. Die Anwendung eines solchen Verfahrens wäre für die vorliegende Arbeit zu umfangreich gewesen.

- Als Verfahren zur Beschreibung der Teileinzugsgebiete kommen zum Einsatz:

Loss Method SCS Curve Number

Transform Method Clark Unit Hydrograph

Baseflow Method Recession

- Routing zur Beschreibung der Fließstrecken mit der

Muskingum Methode

Für jedes Teileinzugsgebiet werden Startparameter der Kalibrierung festgelegt. Die Startparameter werden so lange variiert, bis das Optimum der Zielfunktion gefunden ist.

Die Parameter für die Teileinzugsgebiete zu Beginn der Optimierung werden, wie folgt, bestimmt:

Tabelle 5: Ausgangsparameter der Teileinzugsgebiete

Initial Abstraction	5 mm
Curve Number	45 (Wald)
Time of Concentration	2h
Storage Coefficient	5h
Initial Discharge	aus Abflussganglinie zu Beginn des Ereignisses
Recession Constant:	0,5
Ratio to Peak	0,3

Die Parameter für die Fließstrecken zu Beginn der Optimierung wurden, wie folgt, bestimmt:

Tabelle 6: Ausgangsparameter der Fließstrecken

Muskingum K	2h
Muskingum X	0,3

Anhand dieser Ausgangsparameter werden Optimierungsläufe gestartet, wobei jeweils zwei Variablen als veränderlich definiert werden. Anschließend werden die Parameter mittels Nelder Mead Verfahren variiert, bis sich der Modelloutput an die beobachtete Abflussganglinie angepasst hat. Des weiteren werden diese beiden Variablen fixiert und weitere zwei Parameter optimiert. Dies erfolgt so lange, bis sich für jeden Parameter der gefundene Wert nicht mehr ändert.

Aus den gefundenen Parametern der verwendeten Kalibrierungsereignisse wird pro Teileinzugsgebiet ein gewichteter Mittelwert gebildet. Die Gewichte der Ergebnisse werden aufgrund der optischen Güte der Anpassung vergeben. Außerdem wird ebenfalls das arithmetische Mittel gebildet. Bei der Kontrolle mit den Validierungsereignissen wird keine schlechtere Anpassung bei Verwendung des Mittelwertes festgestellt, warum auch dieser für die weiteren Auswertungen herangezogen wird.

4.7 Synthetische Niederschläge

Mit den gefundenen Parametersätzen werden anschließend weitere Analysen durchgeführt. Es werden Bemessungsniederschläge unterschiedlicher Jährlichkeit und unterschiedlicher Dauerstufen auf das Einzugsgebiet aufgebracht. Die Herkunft der verwendeten Modellniederschläge werden unter 3.1 beschrieben. Diese Niederschläge stellen punktförmige Extremwerte dar. In Abbildung 12 ist der 6 km x 6 km Raster, für den es eine extremwertstatistische Auswertung gibt, für das Untersuchungsgebiet zu sehen. Der Mittelpunkt eines jeden roten Quadrats stellt einen Gitterpunkt dar.

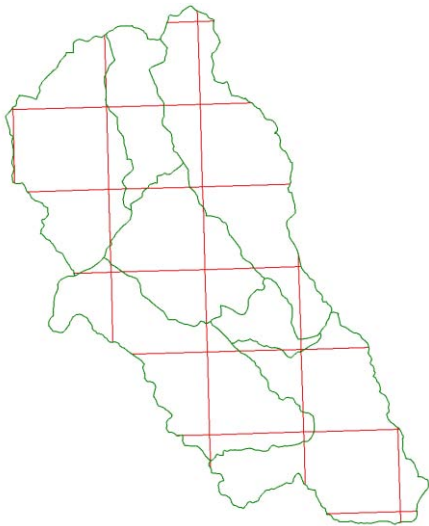


Abbildung 12: Einzugsgebiete (grün) und Starkniederschlagsgitterraster (rot) (Hydrologischer Atlas modifiziert)

Im ersten Schritt werden die punktförmigen Niederschläge flächenanteilig auf das untersuchte Einzugsgebiet bezogen. Im zweiten Schritt ist es notwendig, eine Flächenabminderung anzubringen. Die Flächenabminderung ist bei punktförmigen Niederschlägen notwendig, um der flächigen und zeitlichen Verteilung Rechnung zu tragen. Außerdem ist bei den hier verwendeten Daten einerseits schon ein 5% - Zuschlag für etwaige Messfehler enthalten und andererseits geht der Modellansatz davon aus, dass aufgrund der geringen Messnetzdicke, konvektive Ereignisse nur unzureichend beschrieben sind. (Nachtnebel et al 2005). Zur Abminderung von punktförmigen Niederschlägen werden verschiedene Formeln angewandt. Es seien hier 3 exemplarisch genannt (Lebensministerium 2011):

Sanfte Flächenabminderung nach Skoda und Lorenz (1999)

$$N_{Fläche} = N_{Punkt} * e^{-k*A^{0.5}}$$

wobei $k = 0.19 * D^{-0.56}$

A = Gebietsgröße [km²]

D = Dauerstufe [min], für D < 15 Minuten gilt D = 15 Minuten

$N_{Fläche}$ = flächenhafter Niederschlag

N_{Punkt} = punktförmiger Niederschlag

Modifizierte sanfte Flächenabminderung nach Blöschl (2009)

$$N_{Fläche} = N_{Punkt} * e^{-k*A^{0.435}}$$

wobei $k = 0.41 * D^{-0.43}$

A = Gebietsgröße [km²]

D = Dauerstufe [min], für D < 15 Minuten gilt D = 15 Minuten

$N_{Fläche}$ = flächenhafter Niederschlag

N_{Punkt} = punktförmiger Niederschlag

Flächenabminderung nach Skoda, Weilguni und Haiden (2003)

$$N_{Fläche} = N_{Punkt} * e^{-k*A^{0.59}}$$

wobei $k = 0.0447 * h_i + 0.0026$

A = Gebietsgröße [km²]

h_i = Niederschlagsintensität [mm/min] für D > 15 Minuten

$N_{Fläche}$ = flächenhafter Niederschlag

N_{Punkt} = punktförmiger Niederschlag

Während in die Flächenabminderungsformeln nach Skoda und Lorenz (1999) und Blöschl (2009) nur die Einzugsgebietsgröße und die Niederschlagsdauer eingehen, hängt die Abminderungsformel Skoda, Weilguni und Haiden (2003) auch von der Niederschlagsintensität ab. Diese Formel liefert jedoch nur sinnvolle Ergebnisse über der Konzentrationszeit und sollte vor allem für konvektiv geprägte Ereignisse verwendet werden.

Gegenüberstellung der abgeminderten Bemessungsniederschläge Dauerstufe 2h Einzugsgebiet Weiz

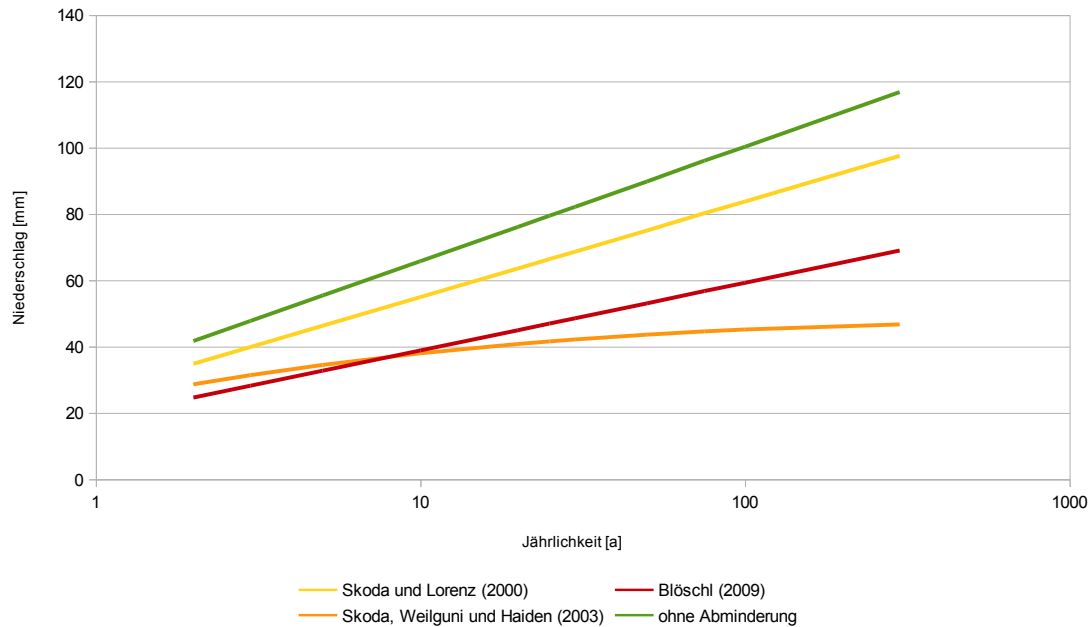


Abbildung 13: verschiedene Abminderungen für ein kleines EZ

In der vorliegenden Arbeit wird die Abminderung nach Blöschl (2009) angewandt, da sie für Ereignisse größerer Jährlichkeit eine mittlere Abminderung bedeutet.

Abminderung für die Einzugsgebiete:

Für jedes Teileinzugsgebiet muss die Abminderung neu berechnet werden. Wie in Abbildung 14 ersichtlich, ändert sich die Einzugsgebietsgröße. Daraus folgt, wie in Abbildung 15 zu sehen ist, dass die Abminderung für das Teileinzugsgebiet Moderbach einmal um 59 % und einmal um 85 % erfolgt (für $D = 15$ min und $T = 1$ a).

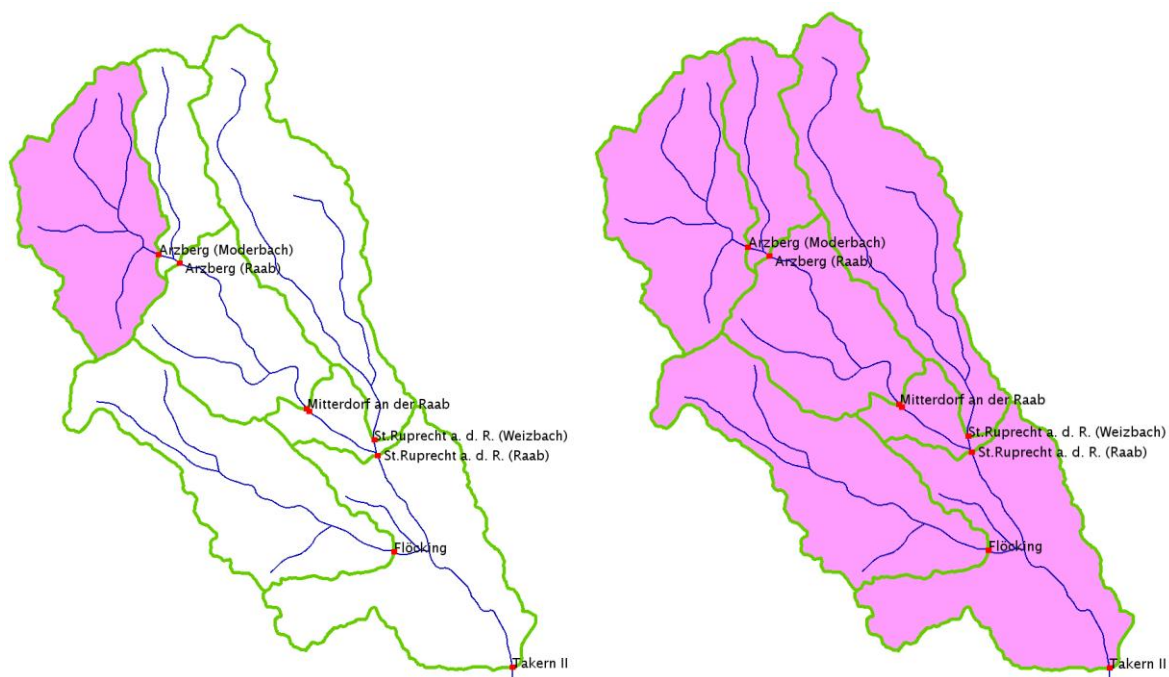


Abbildung 14a: Einzugsgebiete Markierung gesamtes EZ (Hydrologischer Atlas modifiziert) Abbildung 14b: Einzugsgebiete Markierung EZ Moderbach (Hydrologischer Atlas modifiziert)

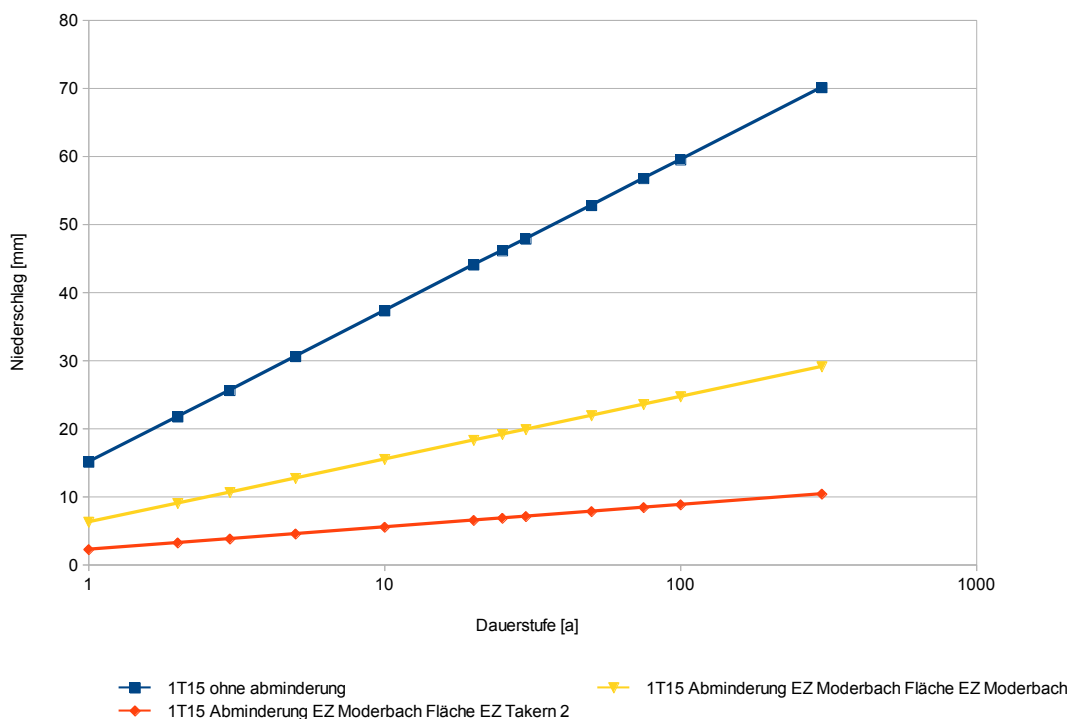


Abbildung 15: Abminderung für verschiedene EZ Größen

5 Ergebnisse der Untersuchung

Die hydrografischen Dienste der Landesregierungen definieren Schutzziele. So wird zum Beispiel ein HQ100 als Standard Schutzziel für Siedlungsräume angegeben. Nun wird die Bemessung von Hochwasserrückhaltebecken und von Hochwasserschutzdämmen dem jeweiligen Schutzziel angepasst. Des weiteren entstehen auch Auswirkungen auf den Bereich der Raumplanung und Raumordnung. So ist in vielen Bundesländern eine Neuwidmung von Bauland im HQ30 nicht möglich und im HQ100 erschwert. Weiters müssen Bauten im HQ30 Abflussbereich wasserrechtlich genehmigt werden. Nun kann die vorliegende Niederschlags - Abfluss - Modellierung dazu beitragen, die Schätzung der Abflussmengen von HQ30 und HQ100 Werten zu verbessern. Vor allem ist, unter Berücksichtigung der Landnutzung, eine Übertragung auf unbeobachtete Einzugsgebiete möglich.

5.1 HQ Werte der Steiermärkischen Landesregierung

Zu Vergleichszwecken werden in Tabelle 7 die bisher vom hydrografischen Dienst des Landes Steiermark verwendeten Hochwasserspenden angeführt. Diese Angaben sind mittels extremwertstatistischen Methoden erstellt worden. Zudem gilt es zu beachten, dass Unsicherheiten durch, zum Beispiel kurze Beobachtungszeiträume, mit Sicherheitsfaktoren begegnet wird.

Tabelle 7: HQ Werte der Messstellen im Untersuchungsgebiet der Steiermärkischen Landesregierung (Robert Schatzl 2012)

Zusammenstellung HQ-Werte Einzugsgebiet Raab						
Pegel	HQ1	HQ10	HQ30	HQ50	HQ100	HQ300
Arzberg/Moderbach	15	53	80	95	120	134
Arzberg/Raab	20	82	125	130	150	168
Mitterdorf/Raab	34	106	140	155	175	196
St. Ruprecht/Weizbach	16	45	70	83	105	126
St. Ruprecht/Raab	45	123	162	178	201	225
Flöcking/Rabnitzbach	18	53	75	90	106	119
Takern/Raab	68	140	174	189	214	240

5.2 Ergebnisse HQ Statistik

Unter Verwendung der Gumbelverteilung (plotting position = Weibull) wird für eine jährliche Zeitreihe eine HQ Statistik erstellt. Dies erfolgt anhand einer Software, die am IWHW – BOKU erstellt wurde (Holzmann und Stangl, 2012). (In dieser Tabelle wird statt des HQ500 der Wert für ein HQ300 ermittelt, da dieser besser mit den Starkniederschlagswerten aus dem e-Hyd System zusammenpasst.)

5.2.1 Arzberg/Moderbach

Beobachtungsdauer = 33 Jahre, Einzugsgebietsgröße = 84km²

Tabelle 8: HQ nach Gumbel für den Pegel Arzberg/Moderbach

Jährlichkeit	2	5	10	30	100	300
HQ (m ³ /s)	16,2	37,5	51,7	73	95,9	116,7
Konfidenzintervall	5,7	10,2	14	20,1	26,8	32,9

5.2.2 Arzberg/Raab

Beobachtungsdauer = 27 Jahre, Einzugsgebietsgröße = 119km²

Tabelle 9: HQ nach Gumbel für den Pegel Arzberg/Raab

Jährlichkeit	2	5	10	30	100	300
HQ (m ³ /s)	17,8	35,7	47,6	65,6	84,8	102,2
Konfidenzintervall	5,2	9,4	13	18,6	24,9	30,6

Auffallend ist, dass die Hochwasserwerte des Pegels Arzberg/Raab kleiner sind als die Hochwasserwerte des Pegels Arzberg/Moderbach. Nun ist es bei näherer Betrachtung so, dass fast alle Spitzenabflüsse des Pegels Arzberg/Moderbach größer sind als die Spitzenabflüsse Arzberg/Raab, aber bei kleinen Durchflüssen der Pegel Arzberg/Moderbach um circa 1/3 kleinere Abflüsse liefert als der Pegel Arzberg/Raab. Das entspricht auch circa dem Unterschied der Einzugsgebietsgröße. Dieses Verhalten ist wahrscheinlich auf einen für große Ereignisse fehlerhaften Pegelschlüssel zurückzuführen.

5.2.3 Mitterndorf/Raab

Beobachtungsdauer = 29 Jahre, Einzugsgebietsgröße = 184km²

Tabelle 10: HQ nach Gumbel für den Pegel Mitterndorf/Raab

Jährlichkeit	2	5	10	30	100	300
HQ (m ³ /s)	33,2	64,9	85,9	117,7	151,8	182,7
Konfidenzintervall	8,9	16,1	22,2	31,9	42,5	52,3

5.2.4 St. Ruprecht/Weizbach

Beobachtungsdauer = 33 Jahre, Einzugsgebietsgröße = 94km²

Tabelle 11: HQ nach Gumbel für den Pegel St. Ruprecht/Weizbach

Jährlichkeit	2	5	10	30	100	300
HQ (m ³ /s)	17,4	37,5	50,8	71,0	92,5	112,0
Konfidenzintervall	5,3	9,6	13,2	18,9	25,3	31,0

5.2.5 St. Ruprecht/Raab

Beobachtungsdauer = 25 Jahre, Einzugsgebietsgröße = 300km²

Tabelle 12: HQ nach Gumbel für den Pegel St. Ruprecht/Raab

Jährlichkeit	2	5	10	30	100	300
HQ (m ³ /s)	45,2	81,8	106	142,6	181,8	217,4
Konfidenzintervall	10,9	19,9	27,4	39,5	52,7	64,8

5.2.6 Flöcking/Rabnitzbach

Beobachtungsdauer = 18 Jahre, Einzugsgebietsgröße = 94km²

Tabelle 13: HQ nach Gumbel für den Pegel Flöcking/Rabnitzbach

Jährlichkeit	2	5	10	30	100	300
HQ (m ³ /s)	20,5	43,3	58,4	81,3	105,8	128,0
Konfidenzintervall	7,8	14,5	20,1	28,9	38,7	47,6

5.2.7 Takern II/Raab

Beobachtungsdauer = 34 Jahre, Einzugsgebietsgröße = 498km²

Tabelle 14: HQ nach Gumbel für den Pegel Takern II/Raab

Jährlichkeit	2	5	10	30	100	300
HQ (m ³ /s)	67,4	105,7	131	169,3	210,3	247,4
Konfidenzintervall	9,9	17,9	24,7	35,5	47,3	58,2

5.3 Ergebnisse Parameteroptimierung

Es wird versucht wie unter 4.6 beschrieben, für jedes Einzugsgebiet ein repräsentatives Parameterset zu finden. In diesem Kapitel sind die Ergebnisse aus der Kalibrierung und die Validierungsergebnisse für jeden Pegel angeführt.

5.3.1 Arzberg/Moderbach

Wie unter 4.6 dargestellt, wurden die Hochwasserereignisse aus Tabelle 15 ausgewählt. In der rechten Spalte ist noch vermerkt, ob das Ereignis zur Kalibrierung oder zur Validierung des Modells herangezogen wurde.

Tabelle 15: HQ Ereignisse zwischen 1988 und 2005 ab einer Größe von 13,8 m³/s am Pegel Arzberg/Moderbach

11. Jun. 1988	20,5	Kalibrierung
15. Jul. 1989	52,7	Kalibrierung
03. Aug. 1991	14,0	Validierung
02. Okt. 1993	30,1	Kalibrierung
23. Okt. 1993	19,7	Validierung
16. Sep. 1995	22,2	Kalibrierung
13. Sep. 1997	34,8	Kalibrierung
21. Aug. 1999	18,4	Validierung
17. Aug. 2002	13,8	Kalibrierung
10. Jul. 2004	35,3	Kalibrierung
30. Jul. 2005	90,5	Kalibrierung
21. Aug. 2005	45,6	Kalibrierung

Die modellierten Ereignisse sind aus Platzgründen im Anhang B ab Seite 79 zu finden. Es ist noch anzumerken, dass beim Pegel Arzberg/Moderbach relativ viele Ereignisse zur Kalibrierung herangezogen werden konnten, da die Güte der Niederschlagsdaten in diesem Bereich gut ist.

Tabelle 16: Ergebnisse der Modellkalibrierung für das EZ Moderbach

Moderbach				
		Mittelwert	Standardabweichung	Median
Baseflow Initial Flow	M3/S	1,09	0,38	0,94
Baseflow Threshold Ratio		0,35	0,08	0,36
Clark Storage Coefficient	HR	5,96	4,05	7,39
Clark Time of Concentration	HR	0,79	0,20	0,88
Curve Number		40,14	8,73	41,66
Recession Constant		0,47	1,59	0,61
Initial Abstraction		5,42	1,79	4,21

5.3.1.1 Validierungsereignis August 1999

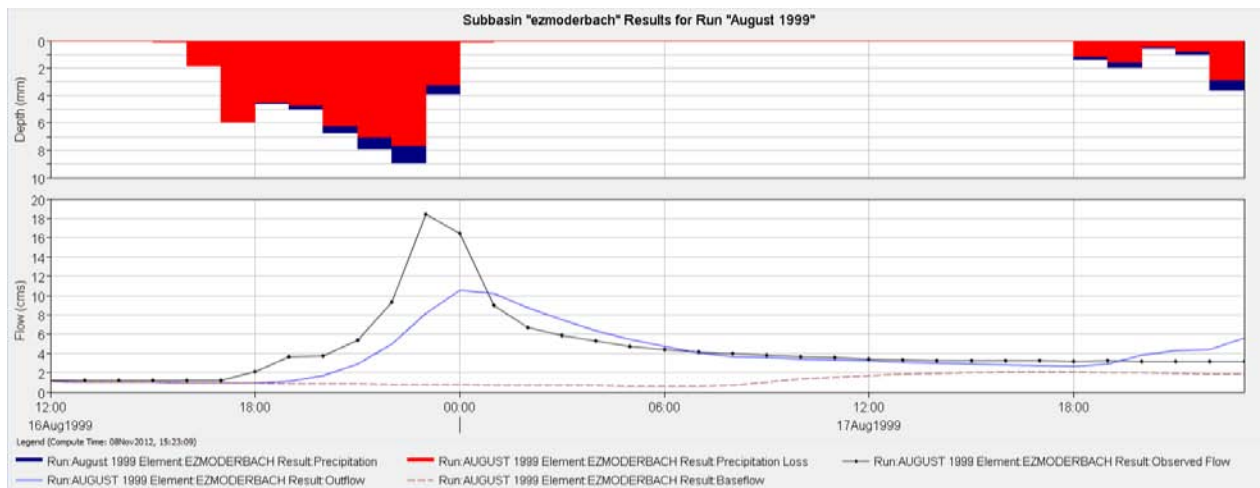


Abbildung 16: Niederschlagsabflussbeziehung aus HEC HMS im EZ Moderbach für das Validierungsereignis August 1999, ROT oben: Verlust, BLAU oben: abflusswirksamer Niederschlag, SCHWARZ unten: beobachteter Abfluss, BLAU unten: simulierter Niederschlag

Der simulierte Abfluss tritt circa mit einer Stunde Verzögerung gegenüber dem beobachteten Abflussgeschehen ein. Der zeitliche Verlauf wird recht gut im Modell wiedergegeben, die Abflussmenge wird stark unterschätzt.

5.3.1.2 Validierungsereignis August 2005

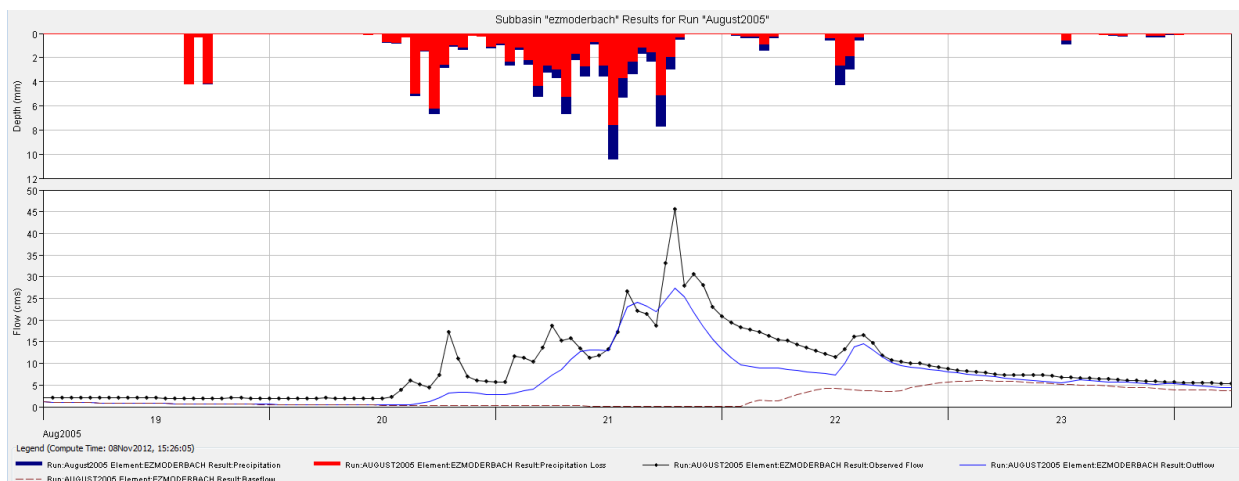


Abbildung 17: Niederschlagsabflussbeziehung aus HEC HMS im EZ Moderbach für das Validierungsereignis August 2005, ROT oben: Verlust, BLAU oben: abflusswirksamer Niederschlag, SCHWARZ unten: beobachteter Abfluss, BLAU unten: simulierter Niederschlag

Bei diesem Ereignis tritt keine Verschiebung vom Modell zum beobachteten Abfluss auf. Auch die Form des Verlaufes und der Auftrittszeitpunkt des Peaks passen gut zusammen. Die Abflussmenge wird unterschätzt.

5.3.1.3 Validierungsereignis September 1995

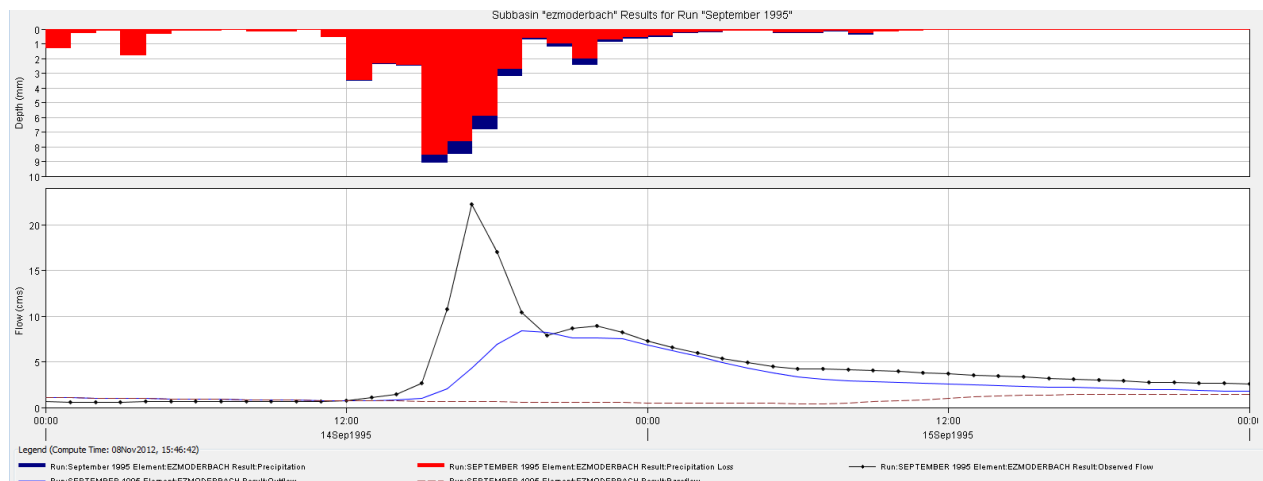


Abbildung 18: Niederschlagsabflussbeziehung aus HEC HMS im EZ Moderbach für das Validierungsereignis August 1995, ROT oben: Verlust, BLAU oben: abflusswirksamer Niederschlag, SCHWARZ unten: beobachteter Abfluss, BLAU unten: simulierter Niederschlag

Hier handelt es sich um ein Hochwasser, welches durch ein kurzes Starkniederschlagsereignis ausgelöst wurde. Die Anpassung des Modells an solche Ereignisse ist, wie unter 2.4.2 beschrieben, schwierig. Die Abflussmenge wird auch bei diesem Ereignis unterschätzt.

Zu den drei Validierungsereignissen ist noch zu sagen, dass die Scheitelabflüsse in Bezug auf die Kalibrierungsereignisse kleiner sind, und sich so die Unterschätzung der Abflussmenge erklären lässt. Kleine Niederschlagsereignisse bedingen beim SCS einen größeren Verlust.

5.3.2 Arzberg/Raab

Wie in Abbildung 5 zu sehen befindet sich der Pegel Arzberg nach dem Zusammenfluss von Moderbach und Raab. Zur Kalibrierung des Subeinzugsgebietes Arzberg wird daher der beobachtete Abfluss aus dem Pegel Arzberg/Moderbach als Eingang angesetzt und die Ergebnisse des Teileinzugsgebietes hinzugezählt. Da die Messstellen nur circa 600m voneinander entfernt liegen, wird keine Wellenverformung berücksichtigt.

Tabelle 17: HQ Ereignisse zwischen 1988 und 2005 bis zur Größe von 16,1 m³/s am Pegel Arzberg

02. Okt. 1993	22,8	Nicht verwendet
23. Okt. 1993	23,8	Kalibrierung
16. Sep. 1995	19,4	Kalibrierung
13. Sep. 1997	32,8	Validierung
16. Aug. 1999	20,4	Kalibrierung
20. Aug. 1999	16,1	Validierung
17. Aug. 2002	21,1	Validierung
10. Juli. 2004	25,1	Nicht verwendet
30. Jul. 2005	89,7	Kalibrierung
21. Aug. 2005	43,0	Kalibrierung

Die modellierten Ereignisse sind aus Platzgründen im Anhang B ab Seite 83 zu finden.

Tabelle 18: Ergebnisse der Modellkalibrierung für das EZ Arzberg

Arzberg					
			Mittelwert	Standardabweichung	Median
Baseflow Initial Flow	M3/S		0,56	0,19	0,45
Baseflow Threshold Ratio			0,41	0,04	0,40
Clark Storage Coefficient	HR		9,32	2,81	10,19
Clark Time of Concentration	HR		0,89	0,33	0,93
Curve Number			37,75	1,86	37,95
Initial Abstraction			5,65	1,36	5,54
Recession Constant			0,60	0,18	0,70

5.3.2.1 Validierungsereignis September 1997

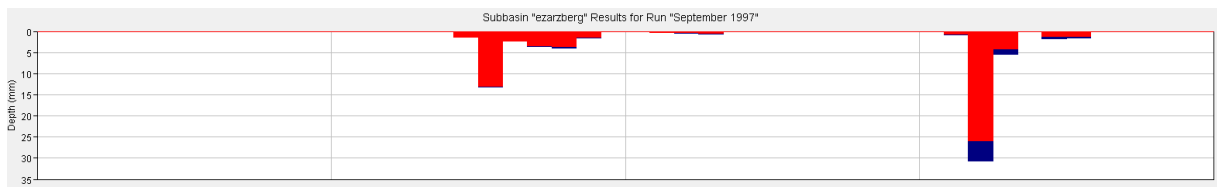


Abbildung 19: Niederschlag aus HEC HMS im EZ Arzberg für das Validierungsereignis September 1997, ROT: Verlust, BLAU: abflusswirksamer Niederschlag

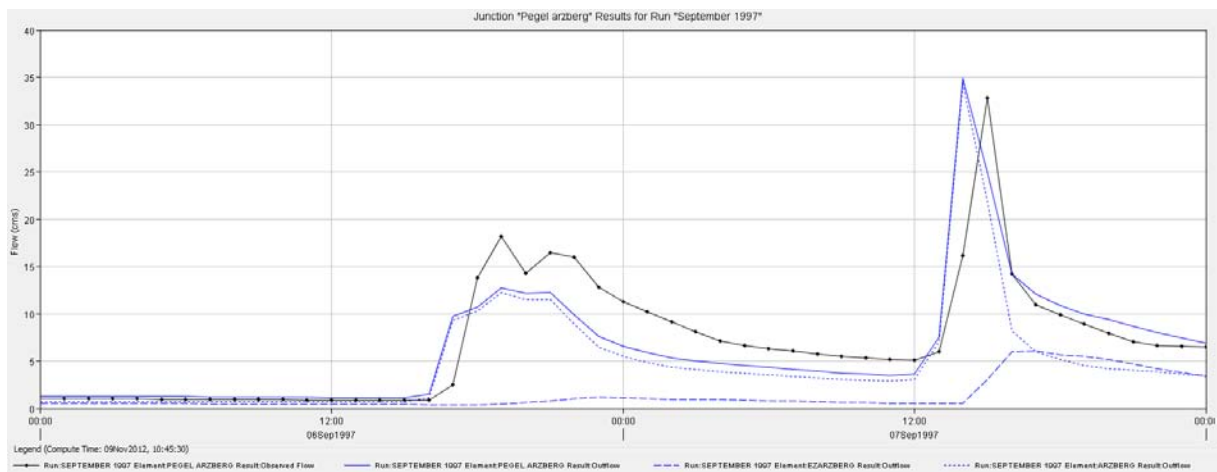


Abbildung 20: Abfluss aus HEC HMS am Pegel Arzberg (Raab) für das Validierungsereignis September 1997, SCHWARZ: beobachteter Abfluss, BLAU punktiert: Abfluss vom Pegel Arzberg (Modersbach), BLAU strichliert: modellierter Abfluss aus EZ Arzberg, BLAU: simulierter Abfluss

Am Beginn des Ereignisses ist zu sehen, dass der modellierte Abfluss aus dem Einzugsgebiet Arzberg zu gering ist. Erst mit Eintritt des Scheitelabflusses springt auch das modellierte Einzugsgebiet mit an.

5.3.2.2 Validierungsereignis August 2002

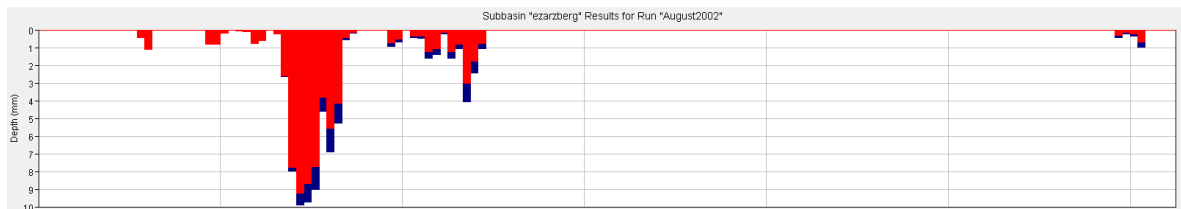


Abbildung 21: Niederschlag aus HEC HMS im EZ Arzberg für das Validierungsereignis August 2002, ROT: Verlust, BLAU: abflusswirksamer Niederschlag

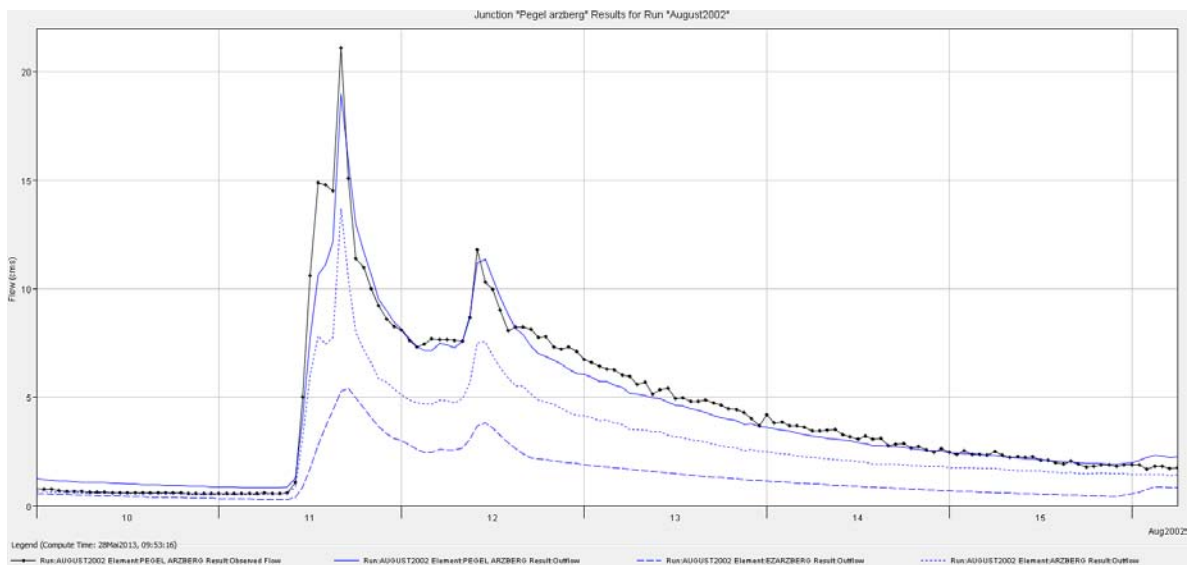


Abbildung 22: Abfluss aus HEC HMS am Pegel Arzberg (Raab) für das Validierungsereignis August 2002, SCHWARZ: beobachteter Abfluss, BLAU gepunktet: Abfluss vom Pegel Arzberg (Moderbach), BLAU gestrichelt: modellierter Abfluss aus EZ Arzberg, BLAU durchgezogen: simulierter Abfluss

Dieses Validierungsereignis weist eine gute Anpassung sowohl in der geschätzten Abflussmenge als auch beim Scheitelabfluss auf.

5.3.2.3 Validierungsereignis August 1999

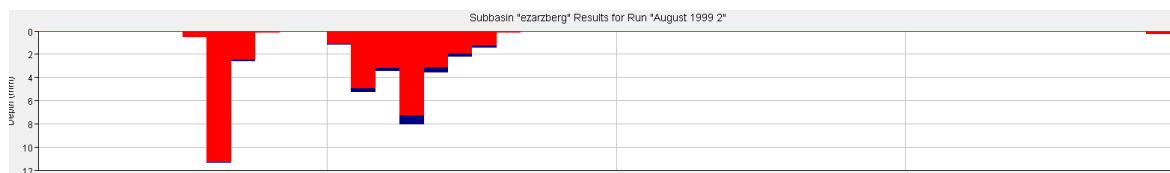


Abbildung 23: Niederschlag aus HEC HMS im EZ Arzberg für das Validierungsereignis August 1999, ROT: Verlust, BLAU: abflusswirksamer Niederschlag

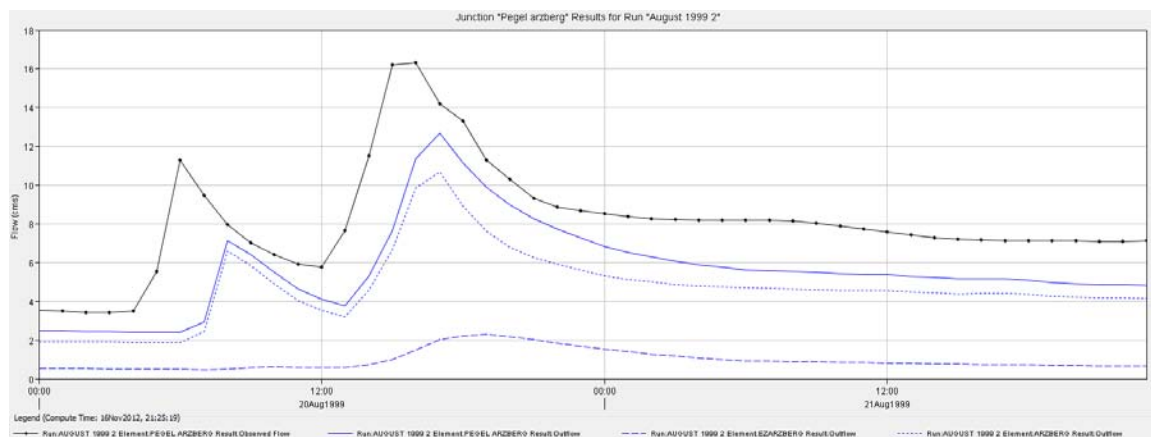


Abbildung 24: Abfluss aus HEC HMS am Pegel Arzberg (Raab) für das Validierungsereignis August 1999, SCHWARZ: beobachteter Abfluss, BLAU punktiert: Abfluss vom Pegel Arzberg (Moderbach), BLAU strichliert: modellierter Abfluss aus EZ Arzberg, BLAU: simulierter Abfluss

Bei diesem Ereignis wird der Abfluss aus dem Einzugsgebiet Arzberg unterschätzt. Auch bei diesen drei Validierungsereignissen werden eher kleine Scheitelabflüsse beobachtet, was eine Unterschätzung bei diesen erklärt.

5.3.3 Mitterndorf/Raab

Zur Modellierung des Pegels Mitterndorf wird der Pegel Arzberg als Eingangsgröße angesetzt. Aufgrund des Abstands zwischen den Pegeln kann die Wellenverformung in der Fließstrecke aber nicht vernachlässigt werden. Daher werden auch, wie unter 4.4 beschrieben die Muskingum Parameter für die Fließstrecke ermittelt.

Tabelle 19: HQ Ereignisse zwischen 1993 und 2005 bis zur Größe von 33,8 m³/s am Pegel Mitterndorf

09. Okt. 1993	51,5	Nicht verwendet
30. Okt. 1993	55,0	Kalibrierung
19. Jul. 1997	34,3	Nicht verwendet
05. Sep. 1998	99,4	Kalibrierung
21. Aug. 1999	38,8	Validierung
17. Aug. 2002	44,8	Kalibrierung
26. Jun. 2004	33,8	Validierung
10. Jul. 2004	52,9	Nicht verwendet
30. Jul. 2005	120,0	Validierung
27. Aug. 2005	79,8	Kalibrierung

Die modellierten Ereignisse sind aus Platzgründen im Anhang ab Seite 88 zu finden.

Tabelle 20: Ergebnisse der Modellkalibrierung für das EZ Mitterndorf und die Fließstrecke Arzberg-Mitterndorf

Mitterndorf					
			Mittelwert	Standardabweichung	Median
Baseflow Initial Flow		M3/S	0,62	0,09	0,56
Baseflow Threshold Ratio			0,18	0,06	0,23
Clark Storage Coefficient		HR	3,75	1,38	4,38
Clark Time of Concentration		HR	3,67	2,19	3,12
Curve Number			56,10	5,33	55,24
Recession Constant			0,19	0,22	5,30
Initial Abstraction			5,17	0,01	0,20
Arzbergmitterndorf	Muskingum K	HR	1,94	0,82	2,44
Arzbergmitterndorf	Muskingum X		0,43	0,03	0,41

5.3.3.1 Validierungsereignis August 1999

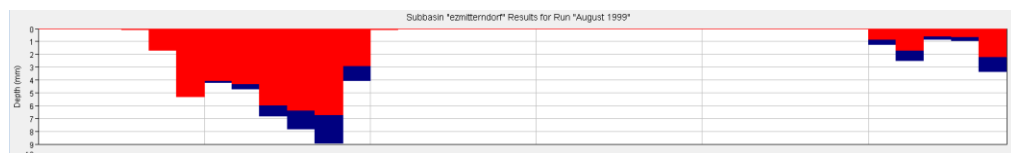


Abbildung 25: Niederschlag aus HEC HMS im EZ Mitterndorf für das Validierungsereignis August 1999, ROT: Verlust, BLAU: abflusswirksamer Niederschlag

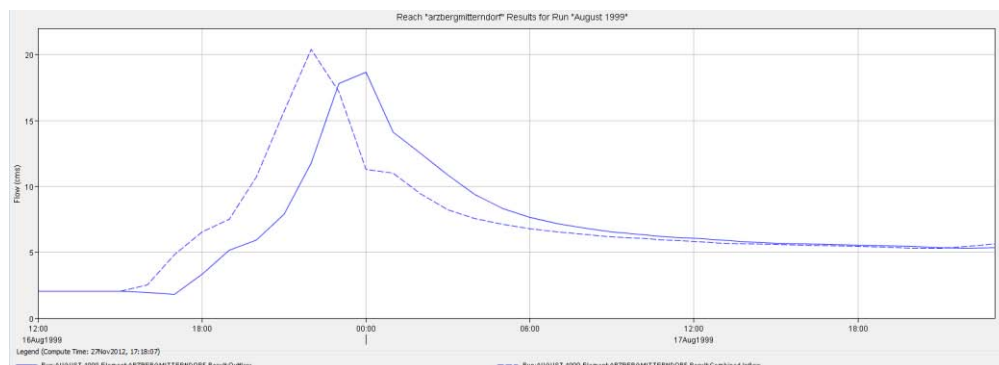


Abbildung 26: Abflussverformung aus HEC HMS zwischen Pegel Arzberg (Raab) und Pegel Mitterndorf

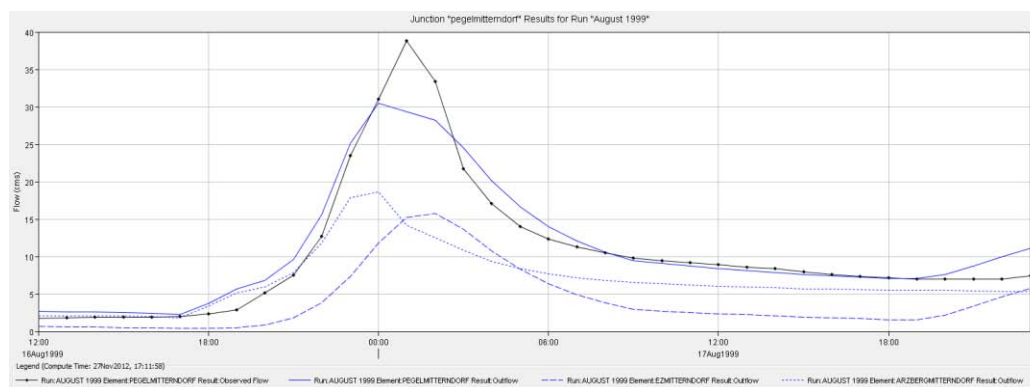


Abbildung 27: Abfluss aus HEC HMS am Pegel Mitterndorf für das Validierungsereignis August 1999, SCHWARZ: beobachteter Abfluss, BLAU punktiert: Abfluss vom Pegel Arzberg (Raab), BLAU strichliert: modellierter Abfluss aus EZ Mitterndorf, BLAU: simulierter Abfluss

Hier ist eine gute Anpassung des Modells zu erkennen. Der Scheitelabfluss wird leicht unterschätzt. Interessant ist, dass zu Beginn des Ereignisses der größere Teil des Abflussvolumens vom Oberliegerpegel stammt und erst ab dem Spitzenabfluss das Subeinzugsgebiet den größeren Beitrag zum Abfluss leistet.

5.3.3.2 Validierungsereignis August 2005

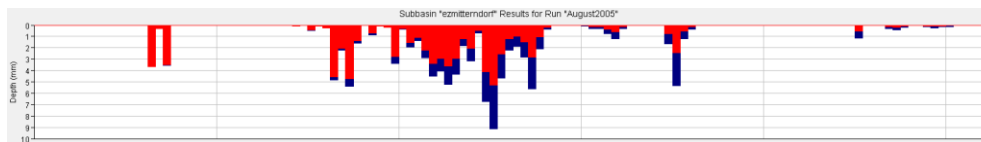


Abbildung 28: Niederschlag aus HEC HMS im EZ Mitterndorf für das Validierungsereignis August 2005, ROT: Verlust, BLAU: abflusswirksamer Niederschlag

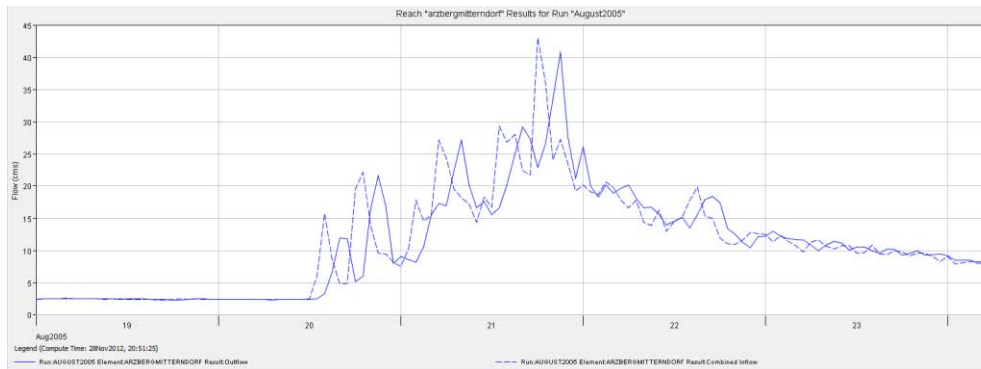


Abbildung 29: Abflussverformung aus HEC HMS zwischen Pegel Arzberg (Raab) und Pegel Mitterndorf

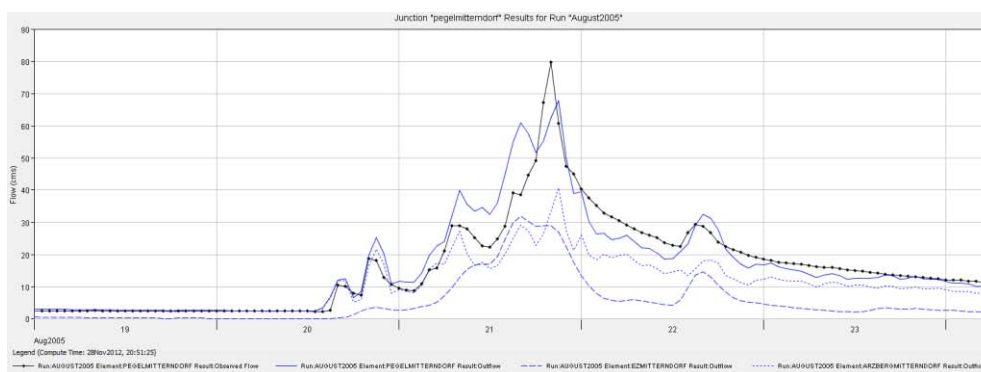


Abbildung 30: Abfluss aus HEC HMS am Pegel Mitterndorf für das Validierungsereignis August 2005, SCHWARZ: beobachteter Abfluss, BLAU punktiert: Abfluss vom Pegel Arzberg (Raab), BLAU strichliert: modellierter Abfluss aus EZ Mitterndorf, BLAU: simulierter Abfluss

Hier trägt das modellierte Einzugsgebiet eine ähnlich große Menge zum Abfluss bei wie das Oberliegerezugsgebiet, obwohl es um ein Drittel kleiner ist. Die Anpassung an den beobachteten Abfluss gelingt bei diesem Ereignis gut.

5.3.3.3 Validierungsereignis Juni 2004



Abbildung 31: Niederschlag aus HEC HMS im EZ Mitterndorf für das Validierungsereignis Juni 2004, ROT: Verlust, BLAU: abflusswirksamer Niederschlag

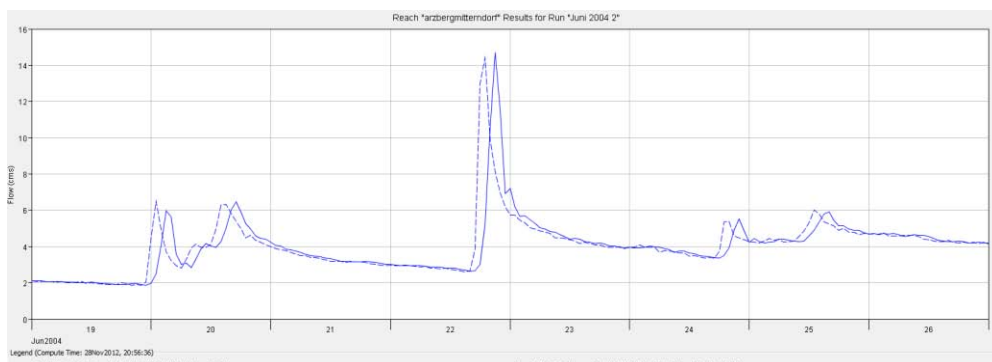


Abbildung 32: Abflussverformung aus HEC HMS zwischen Pegel Arzberg (Raab) und Pegel Mitterndorf

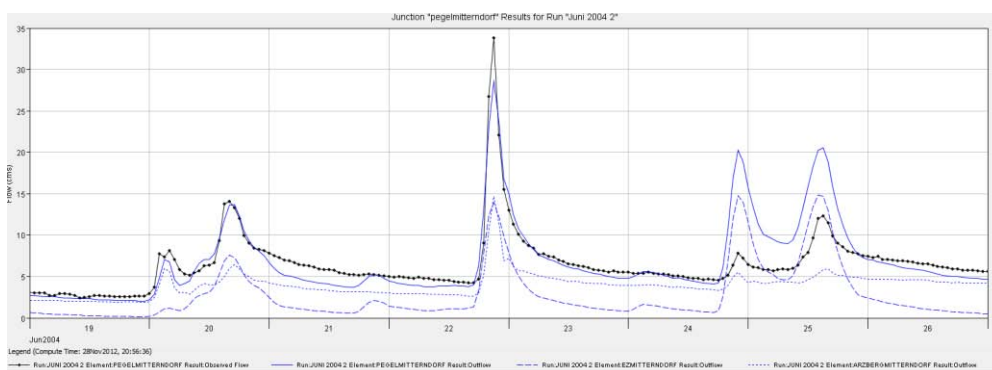


Abbildung 33: Abfluss aus HEC HMS am Pegel Mitterndorf für das Validierungsereignis Juni 2004, SCHWARZ: beobachteter Abfluss, BLAU gepunktet: Abfluss vom Pegel Arzberg (Raab), BLAU strichliert: modellierter Abfluss aus EZ Mitterndorf, BLAU: simulierter Abfluss

Auch hier ist eine gute Anpassung des Scheitelabflusses, was die Abflussmenge und den Auftrittszeitpunkt betrifft, zu erkennen. Am ablaufenden Wellenast werden die Niederschläge, welche zwei Tage nach dem Spitzenabfluss stattfinden, stark überschätzt.

5.3.4 St. Ruprecht/Weizbach

Bei diesem Subeinzugsgebiet gibt es keinen Oberliegerpegel. Im Untersuchungsgebiet befindet sich erst seit 2007 eine Niederschlagsmessstelle. Davor war die Anordnung der Messstellen recht ungünstig, was dazu geführt hat, dass nur wenige Niederschlagsereignisse plausibel zu den beobachteten Abflusswerten passen.

Tabelle 21: HQ Ereignisse zwischen 1989 und 2007 bis zur Größe von 19,1 m³/s am Pegel St. Ruprecht/Weizbach

19. Aug. 1989	22,70	Verworfen
26. Aug. 1989	27,70	Verworfen
27. Jul. 1991	41,00	Verworfen
3. Aug. 1991	32,70	Verworfen
23. Okt. 1993	26,80	Verworfen
18. Mai 1996	19,30	Nicht verwendet
05. Sep 1998	36,70	Kalibrierung, Validierung
10. Jun 2000	20,10	Validierung
26. Jun 2004	25,10	Verworfen
31. Jul 2005	25,70	Verworfen
27. Aug 2005	34,20	Kalibrierung, Validierung
25. Aug 2007	19,10	Kalibrierung

Die modellierten Ereignisse sind aus Platzgründen im Anhang B ab Seite 97 zu finden.

Während dieser Modellierung hat sich herausgestellt, dass der Zusammenhang zwischen Niederschlag und Abfluss in diesem EZ, für die oben mit „Verworfen“ gekennzeichneten Ereignisse, schwach ist. Wie zu sehen ist, ist die Anzahl der verwendbaren Hochwasserereignisse daher sehr klein geworden. Darum wird auch der Grundsatz unabhängiger Validierungsergebnisse, wie in 4.6 beschrieben, durchbrochen.

Tabelle 22: : Ergebnisse der Modellkalibrierung für das EZ Unterfladnitz/Weizbach

Fladnitz					
			Mittelwert	Standardabweichung	Median
Baseflow Initial Flow	M3/S		1,15	0,74	0,58
Baseflow Threshold Ratio			0,24	0,09	0,20
Clark Storage Coefficient	HR		3,47	3,37	0,85
Clark Time of Concentration	HR		2,61	1,19	2,56
Curve Number			50,12	7,11	49,24
Initial Abstraction			7,57	2,38	8,82
Recession Constant			0,41	0,31	0,35

5.3.4.1 Validierungsereignis September 1998

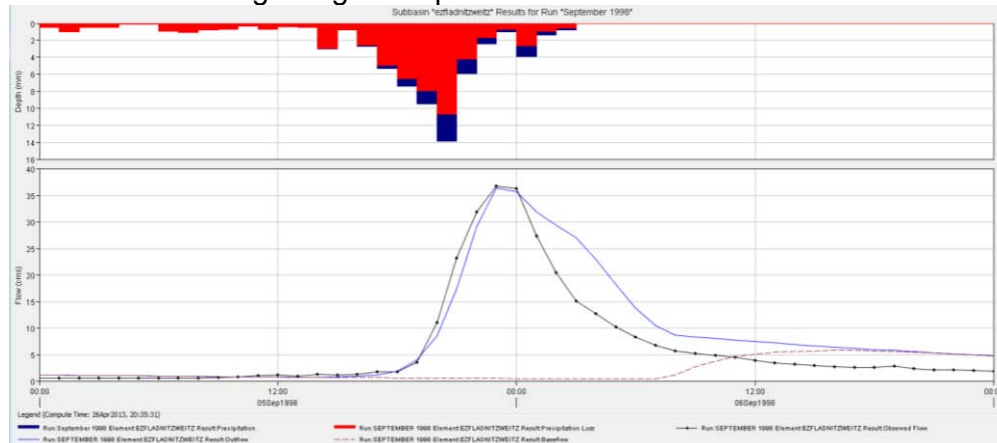


Abbildung 34: Niederschlagsabflussbeziehung aus HEC HMS im EZ Weizbach für das Validierungsereignis September 1998, ROT oben: Verlust, BLAU oben: abflusswirksamer Niederschlag, SCHWARZ unten: beobachteter Abfluss, BLAU unten: simulierter Niederschlag

Hier kann man von einer sehr guten Anpassung sprechen. Der Zeitpunkt und die Größe des Maximalabflusses werden sehr gut geschätzt. Im ablaufenden Wellenast der Abflussganglinie kommt es zu einer leichten Überschätzung.

5.3.4.2 Validierungsereignis August 2005

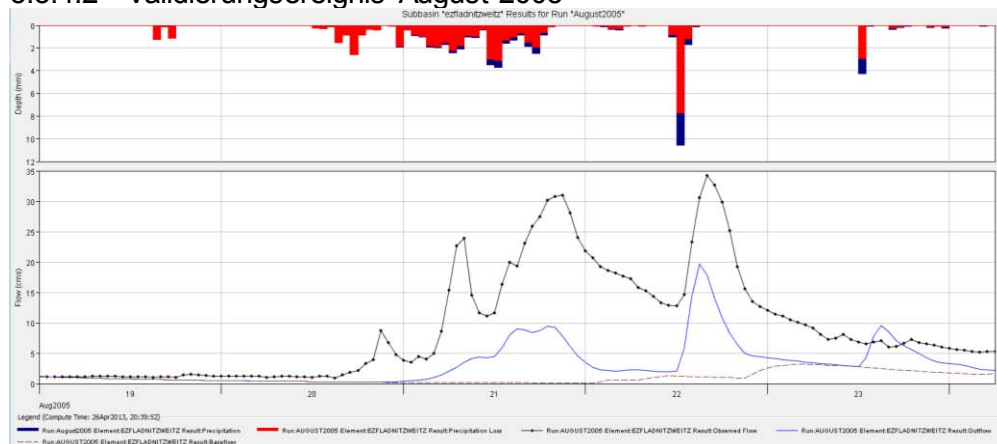


Abbildung 35: Niederschlagsabflussbeziehung aus HEC HMS im EZ Weizbach für das Validierungsereignis August 2005, ROT oben: Verlust, BLAU oben: abflusswirksamer Niederschlag, SCHWARZ unten: beobachteter Abfluss, BLAU unten: simulierter Niederschlag

Hier wird die Abflussmenge stark unterschätzt. Der Auftrittszeitpunkt der Hochwasserspitze wird gut abgebildet.

5.3.4.3 Validierungsereignis Juni 2000

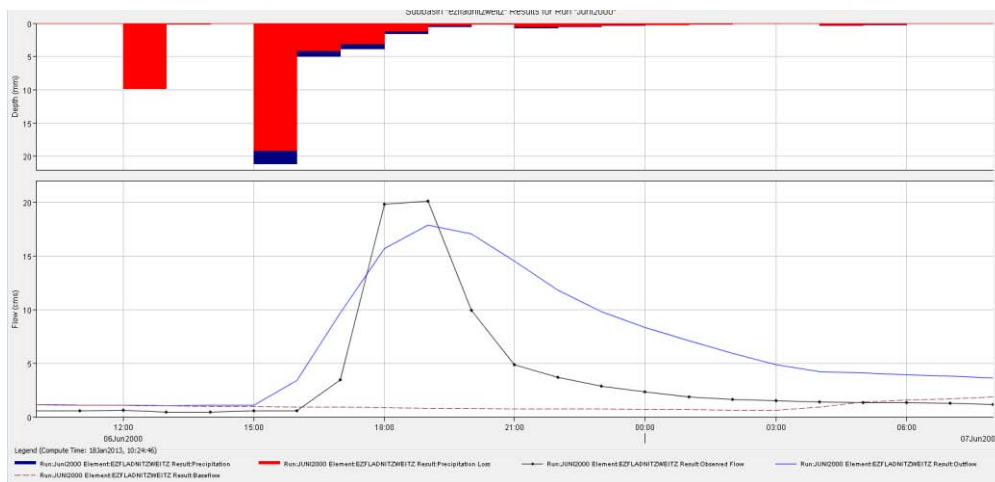


Abbildung 36: Niederschlagsabflussbeziehung aus HEC HMS im EZ Weizbach für das Validierungsereignis Juni 2000, ROT oben: Verlust, BLAU oben: abflusswirksamer Niederschlag, SCHWARZ unten: beobachteter Abfluss, BLAU unten: simulierter Niederschlag

Hier kommt es zu einer Überschätzung der Abflussmenge. Der Auftrittszeitpunkt der modellierten Hochwasserwelle liegt um 2-3 Stunden zu spät. Der Maximalabfluss wird recht gut dargestellt.

5.3.5 St. Ruprecht/Raab

Das Subeinzugsgebiet St. Ruprecht ist mit 23 km² der kleinste modellierte Bereich. Für die Fließstrecke vom Pegel Mitterndorf bis Pegel St. Ruprecht wird eine Wellenverformung mit Muskingum angesetzt. Da die Fließstrecke vom Pegel St. Ruprecht/Weizbach zum Pegel St. Ruprecht/Raab nur circa 800 m beträgt, wird hier keine Wellenverformung angesetzt.

Tabelle 23: HQ Ereignisse zwischen 1988 und 2005 bis zur Größe von 44,9 m³/s am Pegel St. Ruprecht

27. Jul. 1991	63,1	Nicht verwendet
30. Okt. 1993	86,7	Kalibrierung
31. Aug. 1996	51,8	Nicht verwendet
19. Jul. 1997	45,2	Nicht verwendet
13. Sep. 1997	61,1	Nicht verwendet
05. Sep. 1998	138	Kalibrierung
12. Sep. 1998	60,8	Nicht verwendet
21. Aug. 1999	44,9	Validierung
17. Aug. 2002	49,2	Kalibrierung
26. Jun. 2004	50,8	Validierung
06. Aug. 2005	123	Kalibrierung
27. Aug. 2005	113	Validierung

Die modellierten Ereignisse sind aus Platzgründen im Anhang B ab Seite 93 zu finden.

Tabelle 24: Ergebnisse der Modellkalibrierung für das EZ St. Ruprecht

St. Ruprecht					
			Mittelwert	Standardabweichung	Median
Baseflow Initial Flow	M3/S		0,53	0,08	0,56
Baseflow Threshold Ratio			0,34	0,01	0,34
Clark Storage Coefficient	HR		3,71	2,09	3,75
Clark Time of Concentration	HR		4,54	1,02	5,04
Curve Number			46,11	7,23	47,39
Initial Abstraction			5,57	0,26	5,37
Recession Constant			0,21	0,01	0,21
arzbergmitterndorf	HR		0,80	0,12	0,79
arzbergmitterndorf			0,50	0,00	0,50

5.3.5.1 Validierungsereignis September 1997

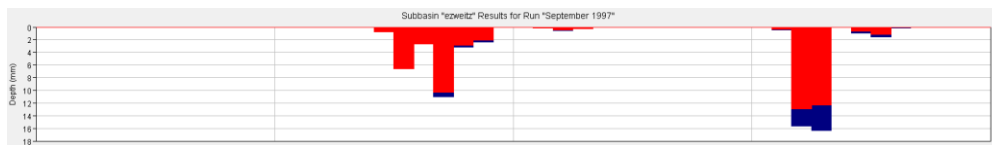


Abbildung 37: Niederschlag aus HEC HMS im EZ Weitz für das Validierungsereignis September 1997, ROT: Verlust, BLAU: abflusswirksamer Niederschlag

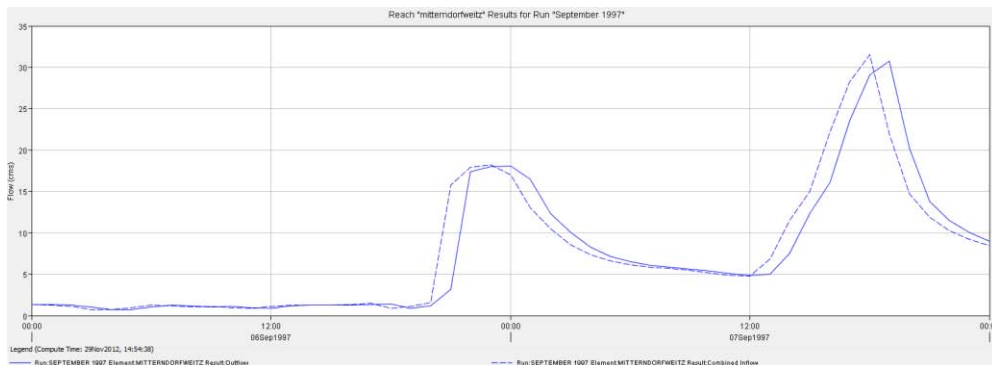


Abbildung 38: Abflussverformung aus HEC HMS zwischen Pegel Mitterndorf und Pegel St. Ruprecht

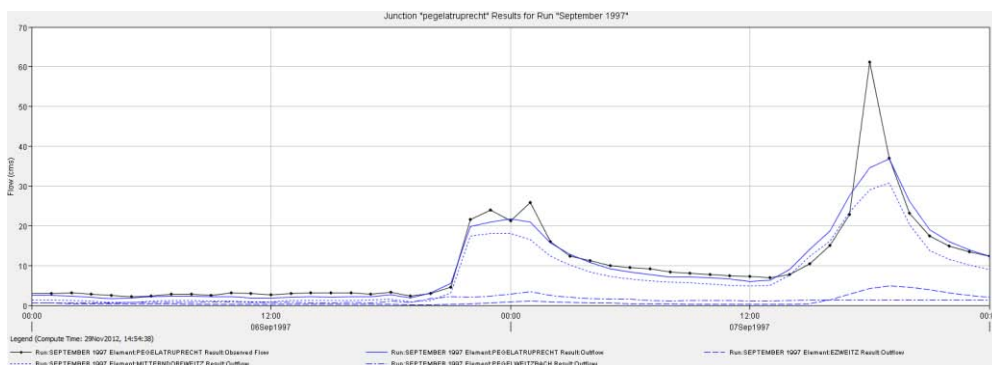


Abbildung 39: Abfluss aus HEC HMS am Pegel St. Ruprecht für das Validierungsereignis September 1997, SCHWARZ: beobachteter Abfluss, BLAU punktiert: Abfluss vom Pegel Mitterndorf, BLAU strichpunkt: Abfluss vom Pegel Weizbach, BLAU strichliert: modellierter Abfluss aus EZ Mitterndorf, BLAU: simulierter Abfluss

Der erste Niederschlag ist sowohl vom Zeitlichen als auch vom Scheitelabfluss recht gut angepasst. Beim späteren, größeren, Regenereignis wird der Spitzenabfluss deutlich unterschätzt, wobei der Abfluss aus dem modellierten Subeinzugsgebiet einen sehr geringen Beitrag zum Ereignis leistet. Zudem trägt das Einzugsgebiet des Weizbaches kaum etwas zum Abflussgeschehen bei. Eine Kontrolle der Daten ergab auch keine Lücke in den Aufzeichnungen.

5.3.5.2 Validierungsereignis Juni 2004

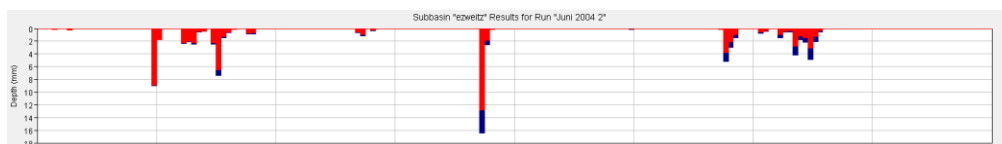


Abbildung 40: Niederschlag aus HEC HMS im EZ Weitz für das Validierungsereignis Juni 2004, ROT: Verlust, BLAU: abflusswirksamer Niederschlag

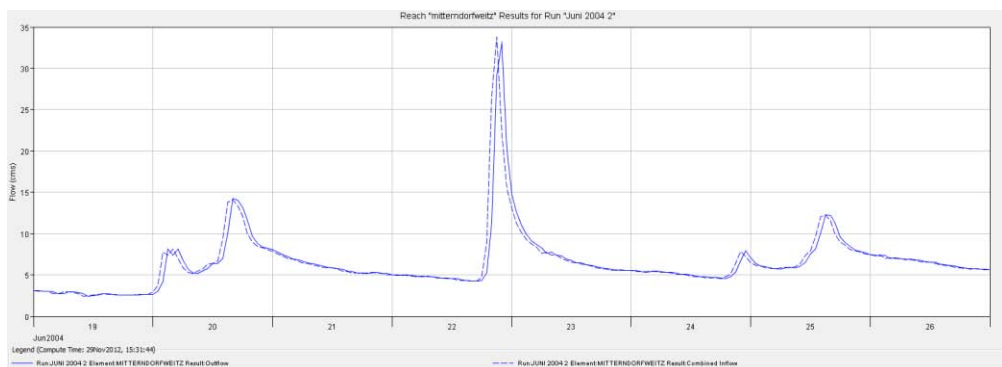


Abbildung 41: Abflussverformung aus HEC HMS zwischen Pegel Mitterndorf und Pegel St. Ruprecht

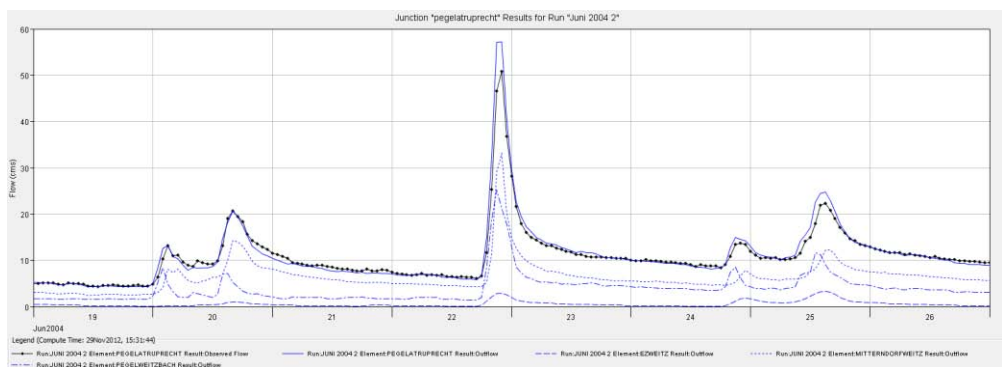


Abbildung 42: Abfluss aus HEC HMS am Pegel St. Ruprecht für das Validierungsereignis Juni 2004, SCHWARZ: beobachteter Abfluss, BLAU gepunktet: Abfluss vom Pegel Mitterndorf, BLAU gestrichelt: Abfluss vom Pegel Weizbach, BLAU gestrichelt: modellierter Abfluss aus EZ Mitterndorf, BLAU: simulierter Abfluss

Bei diesem Ereignis ist die Anpassung gut, wobei wieder der geringe Einfluss des relativ kleinen Subeinzugsgebietes festzuhalten ist.

5.3.5.3 Validierungsereignis August 2005

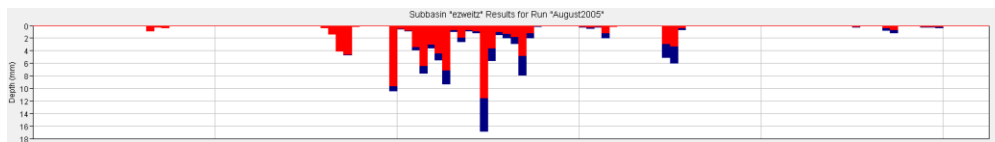


Abbildung 43: Niederschlag aus HEC HMS im EZ Weitz für das Validierungsereignis August 2005, ROT: Verlust, BLAU: abflusswirksamer Niederschlag

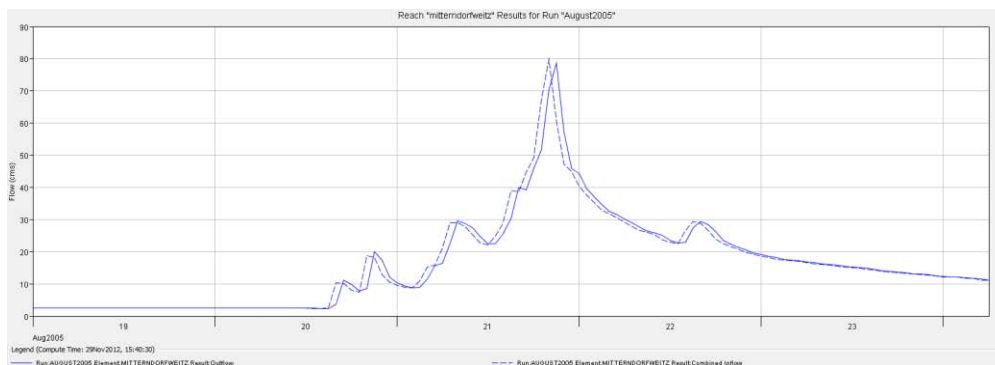


Abbildung 44: Abflussverformung aus HEC HMS zwischen Pegel Mitterndorf und Pegel St. Ruprecht

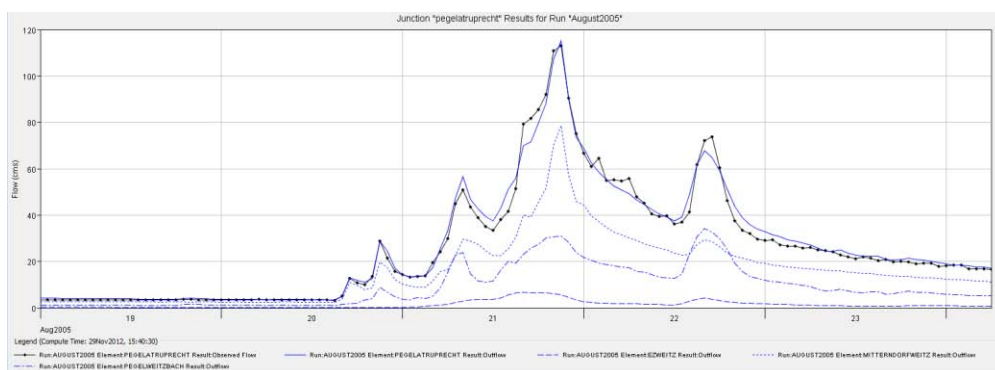


Abbildung 45: Abfluss aus HEC HMS am Pegel St. Ruprecht für das Validierungsereignis Juni 2004, SCHWARZ: beobachteter Abfluss, BLAU punktiert: Abfluss vom Pegel Mitterndorf, BLAU strichpunkt.: Abfluss vom Pegel Weizbach, BLAU strichliert: modellierter Abfluss aus EZ Mitterndorf, BLAU: simulierter Abfluss.

Beim letzten Validierungsereignis ist wieder eine gute Anpassung zu erkennen, wobei die größere Rolle den Muskingum (Fließstrecken) Parametern zukommt und das Subeinzugsgebiet wieder nur einen geringen Beitrag zum Abflussgeschehen leistet.

5.3.6 Flöcking/Rabnitzbach

Im Einzugsgebiet des Rabnitzbaches gibt es nur eine Pegelmessstelle.

Tabelle 25: HQ - Ereignisse zwischen 1991 und 2005 bis zur Größe von 17,9 m³/s am Pegel Flöcking/Rabnitzbach

03. Aug. 1991	33,6	Kalibrierung
30. Okt. 1993	19,5	Validierung
06. Apr. 1996	19,7	Kalibrierung
19. Jul. 1997	20,9	Kalibrierung
09. Aug. 1997	18,7	Nicht verwendet
04. Jul. 1998	25,6	Kalibrierung
05. Sep. 1998	57,1	Kalibrierung
17. Jul. 1999	43,6	Kalibrierung
21. Aug. 1999	17,9	Kalibrierung
26. Jun. 2004	16,9	Validierung
27. Aug. 2005	50,5	Validierung
28. Jun. 2008	83,0	Kalibrierung
19. Jul. 2008	31,4	Kalibrierung

Die modellierten Ereignisse sind aus Platzgründen im Anhang B ab Seite 101 zu finden.

Tabelle 26: Ergebnisse der Modellkalibrierung für das EZ Rabnitzbach

Rabnitzbach					
			Mittelwert	Standardabweichung	Median
Baseflow Initial Flow	M3/S		0,63	0,28	0,56
Baseflow Threshold Ratio			0,26	0,12	0,23
Clark Storage Coefficient	HR		3,63	2,58	1,91
Clark Time of Concentration	HR		4,52	1,78	4,47
Curve Number			55,53	15,31	62,85
Recession Constant			0,39	3,18	0,31
Initial Abstraction			8,97	6,01	4,35

5.3.6.1 Validierungsereignis August 2005

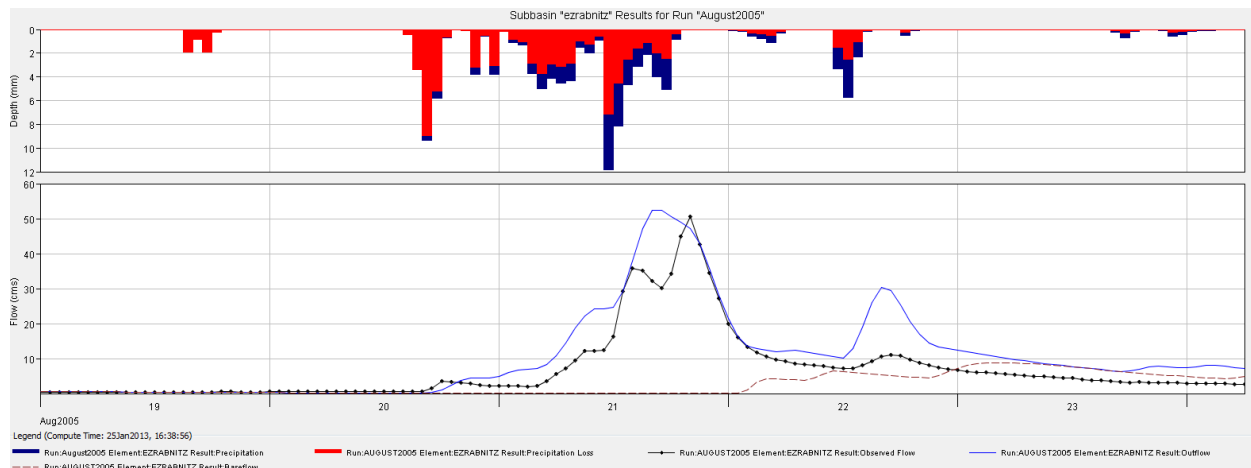


Abbildung 46: Niederschlagsabflussbeziehung aus HEC HMS im EZ Rabnitz für das Validierungsereignis August 2005, ROT oben: Verlust, BLAU oben: abflusswirksamer Niederschlag, SCHWARZ unten: beobachteter Abfluss, BLAU unten: simulierter Niederschlag

Die Anpassung dieses Hochwasserereignisses hat einen zu frühen Scheitelabfluss prognostiziert, wobei die Abflussmenge in der Spitze gut wiedergegeben werden kann.

5.3.6.2 Validierungsereignis Juni 2004

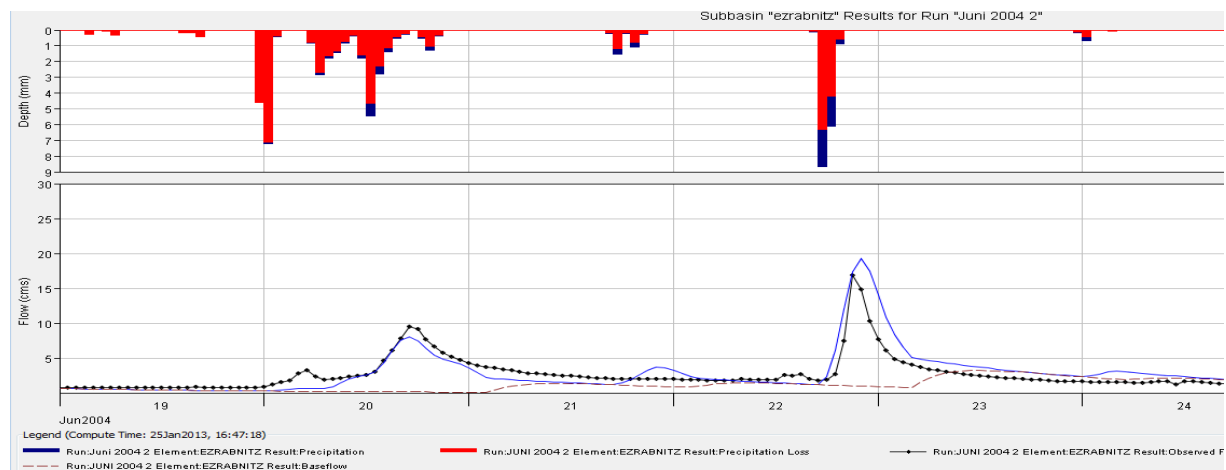


Abbildung 47: Niederschlagsabflussbeziehung aus HEC HMS im EZ Rabnitz für das Validierungsereignis Juni 2004, ROT oben: Verlust, BLAU oben: abflusswirksamer Niederschlag, SCHWARZ unten: beobachteter Abfluss, BLAU unten: simulierter Niederschlag

Die Anpassung überschätzt den Scheitelabfluss ein wenig und prognostiziert diesen um circa eine Stunde zu spät.

5.3.6.3 Validierungsereignis Oktober 1993

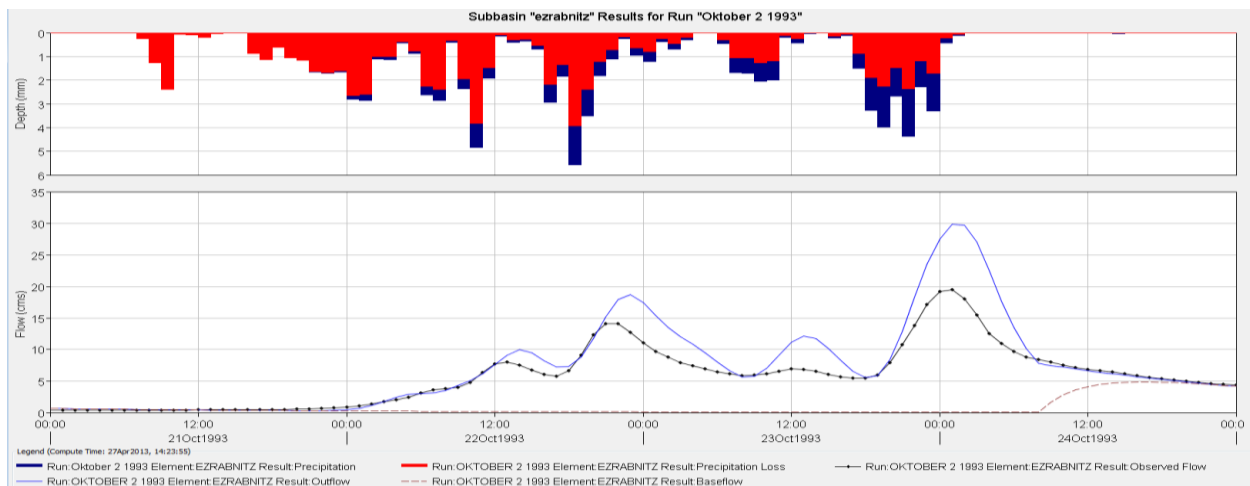


Abbildung 48: Niederschlagsabflussbeziehung aus HEC HMS im EZ Rabnitz für das Validierungsereignis Oktober 1993, ROT oben: Verlust, BLAU oben: abflusswirksamer Niederschlag, SCHWARZ unten: beobachteter Abfluss, BLAU unten: simulierter Niederschlag

Das Modell überschätzt den auftretenden Abfluss, der Zeitpunkt des Scheitelabflusses wird aber richtig getroffen.

5.3.7 Takern II/Raab

Takern II stellt den letzten Pegel des Untersuchungsgebietes dar. Die Fließstrecke vom Pegel St. Ruprecht zum Pegel Takern II wird zweigeteilt. Die Grenze bildet der Zufluss des Rabnitzbaches. Die Zweiteilung ist notwendig, da man im Modell nur an einem Junction Point einen Zubringer einbinden kann. An so einen Junction Point müssen aber die Reach Elemente enden. Es werden für beide Fließstrecken die Muskingum Parameter optimiert

Tabelle 27: HQ Ereignisse zwischen 1993 und 2008 bis zur Größe von 59,9 m³/s am Pegel Taken II

23. Okt. 1993	69,2	Nicht verwendet
30. Okt. 1993	103	Kalibrierung
06. Apr. 1996	74,9	Nicht verwendet
19. Okt. 1996	74	Nicht verwendet
13. Sep. 1997	67,4	Nicht verwendet
04. Jul. 1998	70,4	Nicht verwendet
12. Sep. 1998	127	Kalibrierung
17. Jul. 1999	98,5	Verworfen
21. Aug. 1999	71,9	Validierung
01. Apr. 2000	62	Validierung
17. Aug. 2002	59,9	Kalibrierung
26. Jun. 2004	69,4	Validierung
06. Aug. 2005	73,5	Validierung
27. Aug. 2005	146	Kalibrierung
28. Jun. 2008	87,1	Kalibrierung I
19. Jul. 2008	82,3	Validierung

Die modellierten Ereignisse sind aus Platzgründen im Anhang B auf Seite 108 zu finden.

Tabelle 28: Ergebnisse der Modellkalibrierung für das EZ TakernII und die Fließstrecken St. Ruprecht-Rabnitzbachmündung und Rabnitzbachmündung - Takern II

Takern II					
			Mittelwert	Standardabweichung	Median
TakernII	Baseflow Initial Flow	M3/S	0,9196	0,2459	0,8400
TakernII	Baseflow Threshold Ratio		0,2270	0,0874	0,2553
TakernII	Clark Storage Coefficient	HR	2,2296	1,0268	1,7333
TakernII	Clark Time of Concentration	HR	4,7930	1,8537	4,9230
TakernII	Curve Number		48,0214	7,2917	46,1180
TakernII	Initial Abstraction	MM	5,1254	0,5394	5,0000
TakernII	Recession Constant		0,5612	0,2829	0,5915
Struprechtrabnitz	Muskingum K	HR	2,2597	0,6578	2,0494
Struprechtrabnitz	Muskingum X		0,3352	0,1210	0,3106

RaabtakernII	Muskingum K	HR	3,1094	0,9491	3,6716
RaabtakernII	Muskingum X		0,3151	0,1140	0,2533

5.3.7.1 Validierungsereignis August 2005

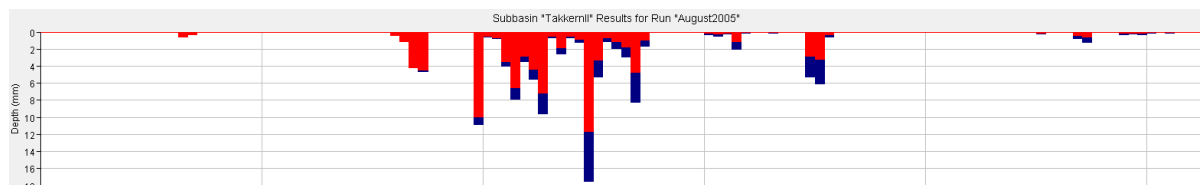


Abbildung 49: Niederschlag aus HEC HMS im EZ Takern II für das Validierungsereignis August 2005, ROT: Verlust, BLAU: abflusswirksamer Niederschlag

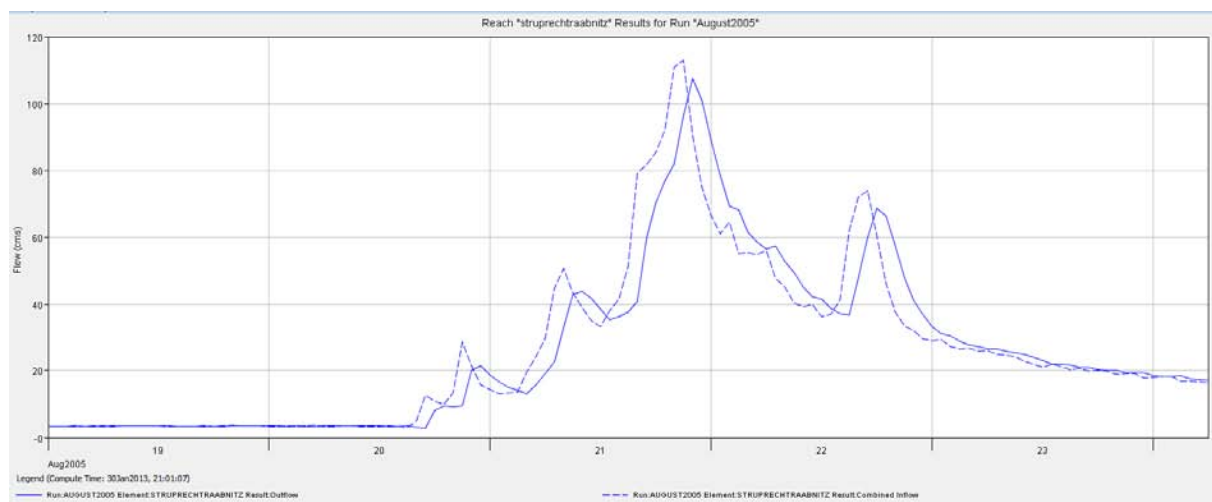


Abbildung 50: Abflussverformung aus HEC HMS zwischen Pegel St. Ruprecht und Rabnitzbachmündung

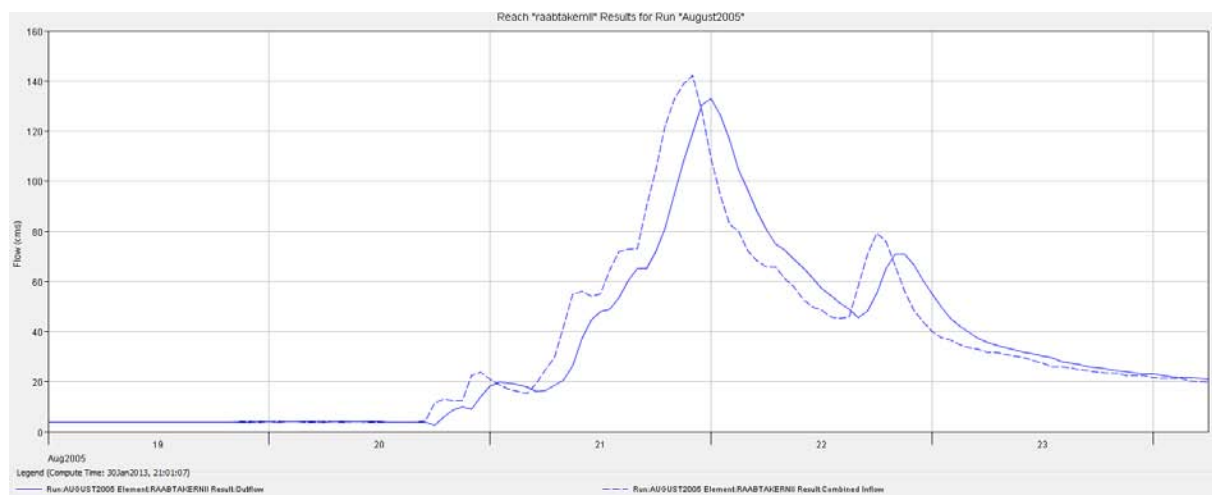


Abbildung 51: Abflussverformung aus HEC HMS zwischen Rabnitzbachmündung und Pegel Takern II

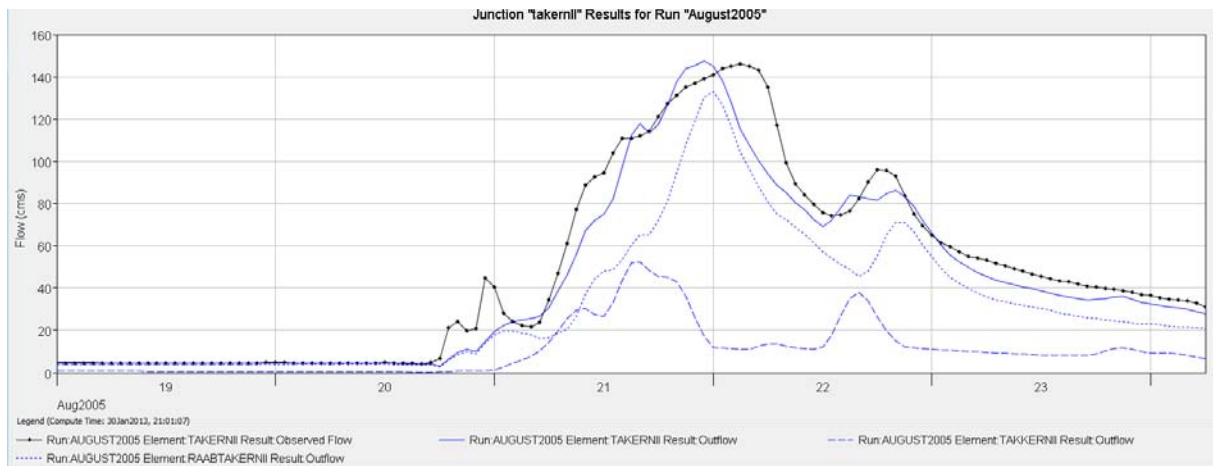


Abbildung 52: Abfluss aus HEC HMS am Pegel Takern II für das Validierungsereignis August 2005, SCHWARZ: beobachteter Abfluss, BLAU punktiert: Abfluss vom Pegel St. Ruprecht, BLAU strichliert: modellierter Abfluss aus EZ Takern II, BLAU: simulierter Abfluss

Im Allgemeinen wird die Abflussmenge leicht unterschätzt. Es ist anzunehmen, dass die Abflachung der Hochwasserspitze auf Ausuferungen des Flusses zurückzuführen ist, welche im Modell nur unzureichend abgebildet werden. Es ist auch zu sehen, dass das Einzugsgebiet Takern II zu Beginn des Ereignisses einen großen Beitrag zum Abflussgeschehen leistet.

5.3.7.2 Validierungsereignis Juli 2008



Abbildung 53: Niederschlag aus HEC HMS im EZ Takern II für das Validierungsereignis Juli 2008, ROT: Verlust, BLAU: abflusswirksamer Niederschlag

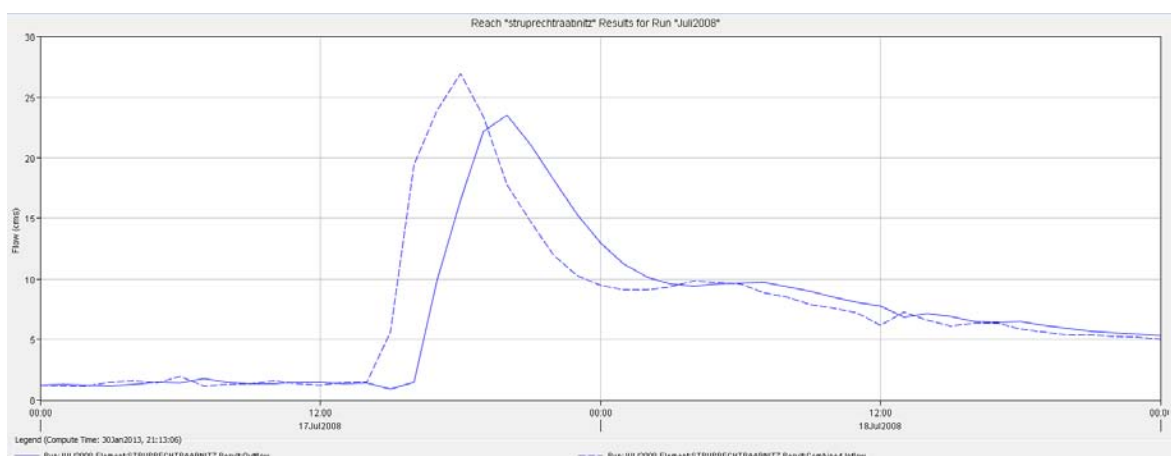


Abbildung 54: Abflussverformung aus HEC HMS zwischen Pegel St. Ruprecht und Rabnitzbachmündung

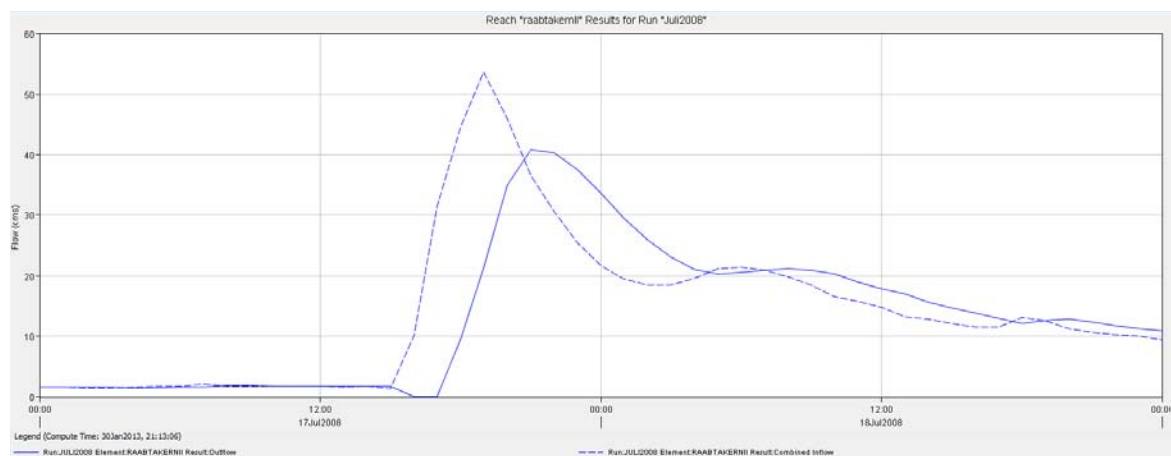


Abbildung 55: Abflussverformung aus HEC HMS zwischen Rabnitzbachmündung und Pegel Takern II

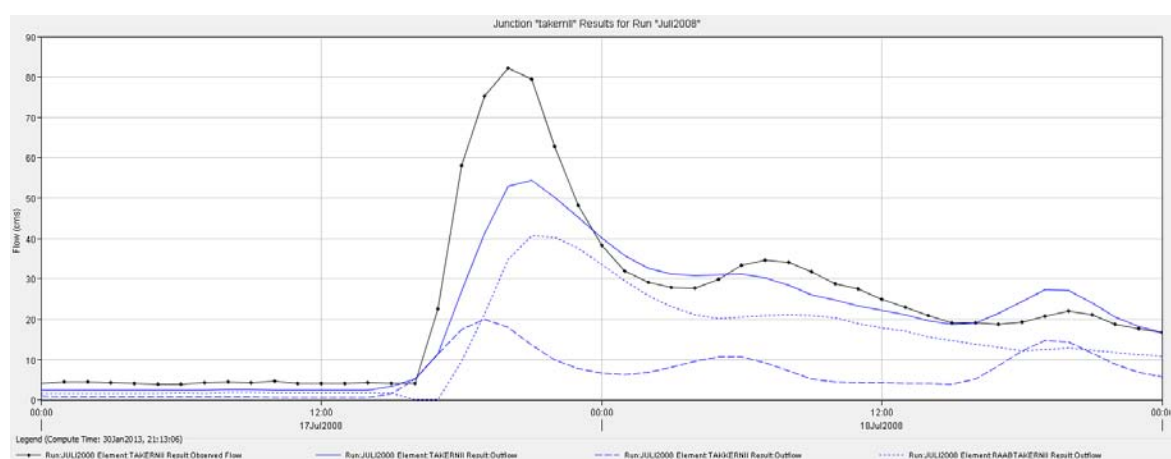


Abbildung 56: Abfluss aus HEC HMS am Pegel Takern II für das Validierungsereignis Juli 2008, SCHWARZ: beobachteter Abfluss, BLAU punktiert: Abfluss vom Pegel St. Ruprecht, BLAU strichliert: modellierter Abfluss aus EZ Takern II, BLAU: simulierter Abfluss

Die zeitliche Anpassung des Scheitelwerts ist gut getroffen, die Größe wiederum wird drastisch unterschätzt.

5.3.7.3 Validierungsereignis Juni 2004



Abbildung 57: Niederschlag aus HEC HMS im EZ Takern II für das Validierungsereignis Juni 2004, ROT: Verlust, BLAU: abflusswirksamer Niederschlag

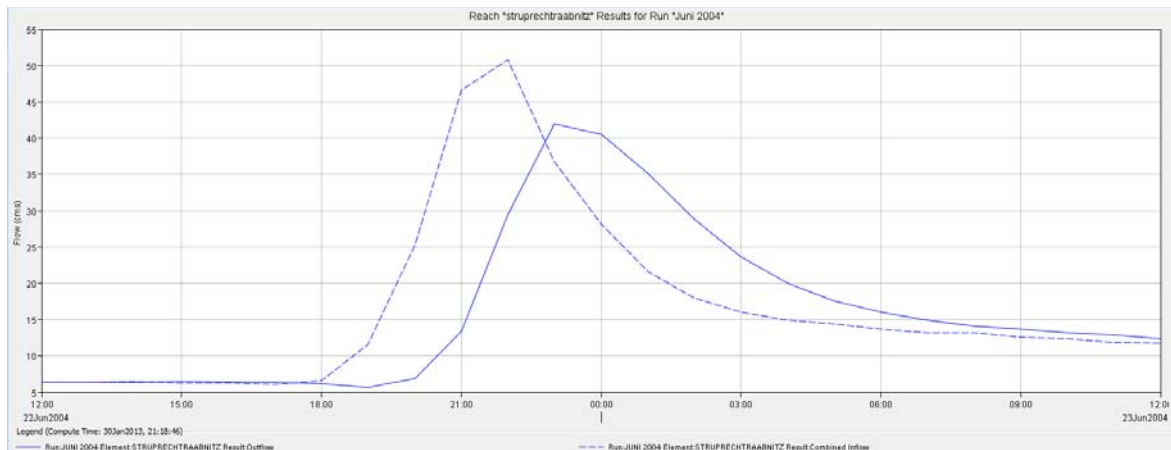


Abbildung 58: Abflussverformung aus HEC HMS zwischen Pegel St. Ruprecht und Rabnitzbachmündung

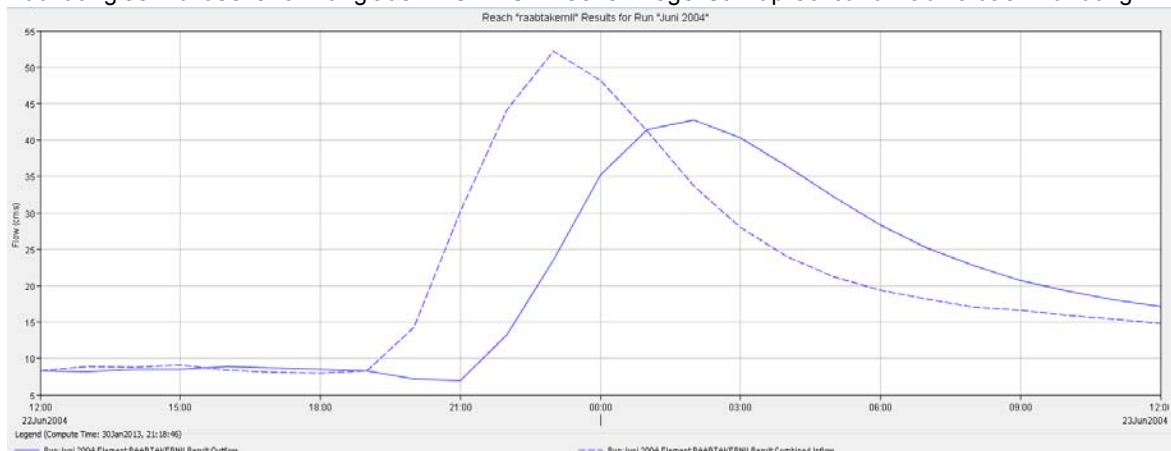


Abbildung 59: Abflussverformung aus HEC HMS zwischen Rabnitzbachmündung und Pegel Takern II

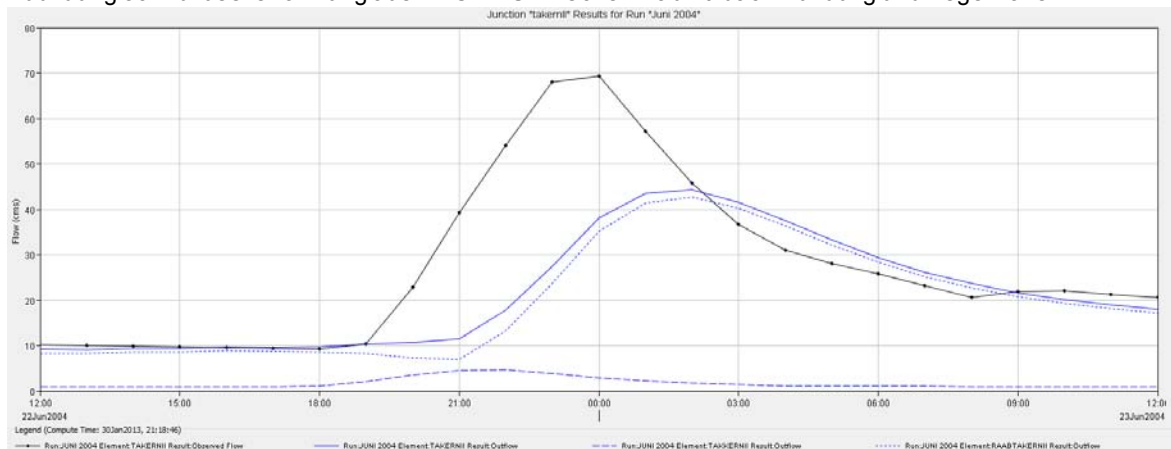


Abbildung 60: Abfluss aus HEC HMS am Pegel Takern II für das Validierungsereignis Juni 2004, SCHWARZ: beobachteter Abfluss, BLAU punktiert: Abfluss vom Pegel St. Ruprecht, BLAU strichliert: modellierter Abfluss aus EZ Takern II, BLAU simulierter Abfluss

Bei diesem Hochwasserereignis trägt das Einzugsgebiet Takern II kaum etwas zur Abflussbildung bei. Dies führt wiederum zu einer Unterschätzung des gesamten Hochwasserabflusses.

5.3.8 Validierung des Gesamtgebiets

Es werden allen Einzugsgebieten die ermittelten Parameter zugewiesen. In weiterer Folge werden die Niederschläge von drei Hochwasserereignissen auf die Einzugsgebiete aufgebracht, um die Güte des Gesamtmodells abschätzen zu können. Hier sind exemplarisch die Ergebnisse für den Pegel Takern II angeführt.

5.3.8.1 Validierungsereignis August 2005

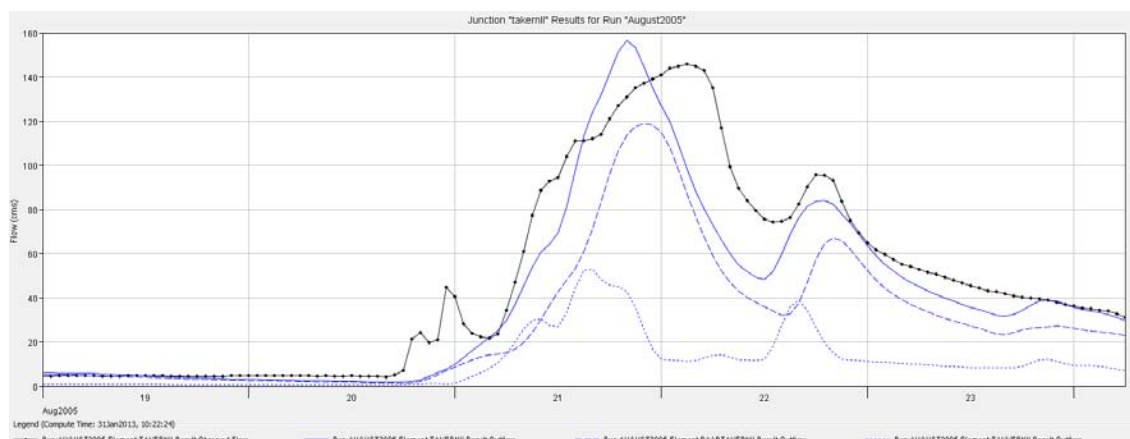


Abbildung 61: Abfluss aus HEC HMS am Pegel Takern II für das Validierungsereignis August 2005, SCHWARZ: beobachteter Abfluss, BLAU punktiert: Abfluss vom Pegel St. Ruprecht, BLAU strichliert: modellierter Abfluss aus EZ Takern II, BLAU: simulierter Abfluss

Es zeigt sich eine gute Anpassung, welche aber Ausuferungsvorgänge nicht berücksichtigt.

5.3.8.2 Validierungsereignis Juni 2004

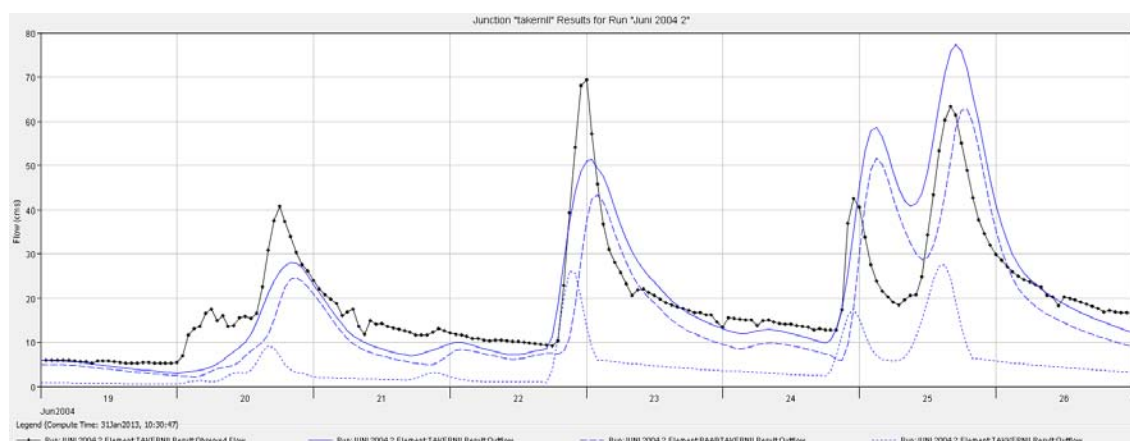


Abbildung 62: Abfluss aus HEC HMS am Pegel Takern II für das Validierungsereignis Juni 2004, SCHWARZ: beobachteter Abfluss, BLAU punktiert: Abfluss vom Pegel St. Ruprecht, BLAU strichliert: modellierter Abfluss aus EZ Takern II, BLAU: simulierter Abfluss

Der erste Peak wird unterschätzt und die letzten beiden werden überschätzt. Die Anpassung für den Scheitelabfluss ist zeitlich korrekt aber hinsichtlich der Menge unterschätzt.

5.3.8.3 Validierungsereignis August 2002

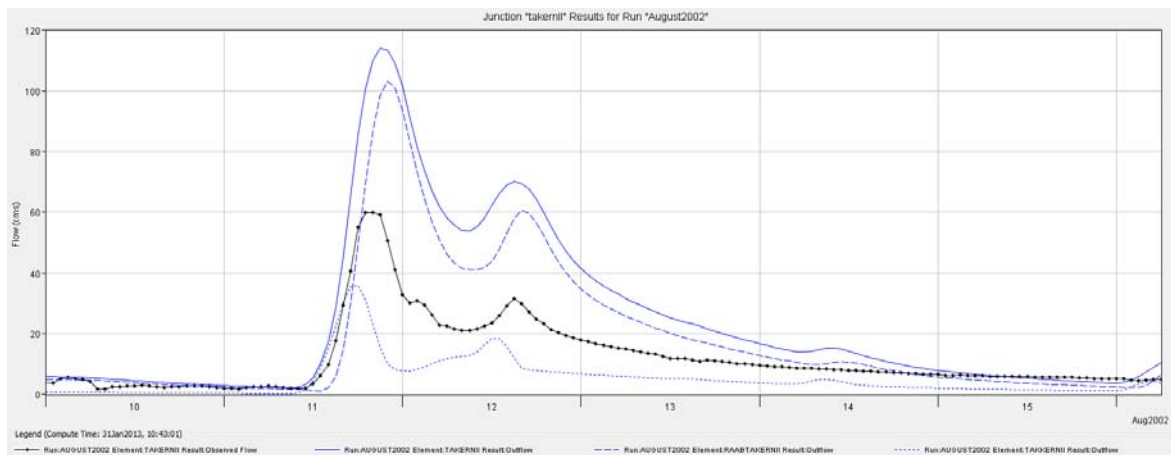


Abbildung 63: Abfluss aus HEC HMS am Pegel Takern II für das Validierungsereignis August 2002, SCHWARZ: beobachteter Abfluss, BLAU punktiert: Abfluss vom Pegel St. Ruprecht, BLAU strichliert: modellierter Abfluss aus EZ Takern II, BLAU: simulierter Abfluss

Die Anpassung ist vom zeitlichen Verlauf des Geschehens recht nahe am beobachteten Abflussverhalten, die Intensität wird aber stark überschätzt.

5.4 Ergebnisse synthetische Niederschläge

Wie in 4.7 beschrieben, werden auf das Einzugsgebiet Bemessungsniederschläge unterschiedlicher Dauerstufen und Jährlichkeit aufgebracht. Dies erfolgt über den gesamten Zeitraum kontinuierlich (Blockregen). Die Dauerstufe wird so lange variiert bis ein Maximum gefunden wird. Das heißt, es müssen mindestens 3 Dauerstufen durchgerechnet werden. Als maßgebend wird jenes Ergebnis erachtet, welches den größten Scheitelabfluss liefert. Es werden natürlich auch die unter 4.7 beschriebenen Abmilderungen angebracht.

5.4.1 Arzberg/Moderbach

Zur Findung des Maximums für ein 10-jährliches Ereignis, werden die Dauerstufen 1h, 2h 3h, 6h, 12h und 24h berechnet, wobei das Maximum bei 12h liegt. In der gleichen Form werden die maximalen Scheitelabflüsse für die Ereignisse größerer Jährlichkeiten bestimmt.

Tabelle 29: HQ mit Abminderung nach Blöschl für den Pegel Arzberg/Moderbach

Jährlichkeit	10	100	300
HQ (m3/s)	37,2	84,0	105,8
Dauerstufe [h]	12	12	12
Abminderung	0,85	0,85	0,85

5.4.2 Arzberg/Raab

Für diesen Pegel werden die Jährlichkeiten mit den Dauerstufen 6h, 12h und 24h bestimmt, wobei der Maximalabfluss bei Dauerstufe 12h auftritt.

Tabelle 30: HQ mit Abminderung nach Blöschl für den Pegel Arzberg/Raab

Jährlichkeit	10	100	300
HQ (m3/s)	48,0	102,3	132,7
Dauerstufe [h]	12	12	12
Abminderung	0,82	0,82	0,82

5.4.3 Mitterndorf/Raab

Auch hier werden die Dauerstufen 6h, 12h, und 24h berechnet und auch hier tritt der Scheitelabfluss bei einem 6h Ereignis auf.

Tabelle 31: HQ mit Abminderung nach Blöschl für den Pegel Mitterndorf/Raab

Jährlichkeit	10	100	300
HQ (m3/s)	81,9	172,2	221,2
Dauerstufe [h]	12	12	12
Abminderung	0,79	0,79	0,79

5.4.4 St. Ruprecht/Weizbach

Beim Pegel Weizbach werden die Abflüsse zu den Jährlichkeiten der Dauerstufen 2h, 6h, 12h, und 24h bestimmt. Hier tritt der Maximalabfluss bei der Dauerstufe von 6h auf.

Tabelle 32: HQ mit Abminderung nach Blöschl für den Pegel St. Ruprecht/Weizbach

Jährlichkeit	10	100	300
HQ (m ³ /s)	65,9	139,9	180,5
Dauerstufe [h]	6	6	6
Abminderung	0,78	0,78	0,78

5.4.5 St. Ruprecht/Raab

Die Bemessungsniederschläge für den Pegel St. Ruprecht werden für die Dauerstufen 6h, 12h und 24h berechnet. Der Maximalabfluss, tritt bei einem 12h Ereignis ein.

Tabelle 33: HQ mit Abminderung nach Blöschl für den Pegel St. Ruprecht/Raab

Jährlichkeit	10	100	300
HQ (m ³ /s)	136,1	270,0	347,4
Dauerstufe [h]	12	12	12
Abminderung	0,75	0,75	0,75

5.4.6 Flöcking/Rabnitzbach

Für das Einzugsgebiet des Rabnitzbaches werden die Dauerstufen von 6h, 12h und 24h berechnet.

Tabelle 34: HQ mit Abminderung nach Blöschl für den Pegel Flöcking/Rabnitzbach

Jährlichkeit	10	100	300
HQ (m ³ /s)	54,8	114,6	143,1
Dauerstufe [h]	12	12	12
Abminderung	0,84	0,84	0,84

5.4.7 Takern II/Raab

Das letzte und größte abflusswirksame Gebiet ist das des Pegel Takern II. Für diesen Pegel wurden die Dauerstufen 6h, 12h, 24h, und 48h berechnet. Die maximalen Abflüsse treten nach 24h auf.

Tabelle 35: HQ mit Abminderung nach Blöschl für den Pegel Takern II

Jährlichkeit	10	100	300
HQ (m ³ /s)	156,1	308,2	398,9
Dauerstufe [h]	24	24	24
Abminderung	0,76	0,76	0,76

6 Diskussion

Diese Arbeit wird vor allem zur Absicherung der HQ100 und HQ300 Werte erstellt. In Tabelle 36 wird ein Überblick über die Scheitelabflüsse aus den unterschiedlichen Berechnungsansätzen gegeben.

Tabelle 36: Überblick der HQ Werte vom Hydrografischen Dienst des Landes Steiermark, aus der HQ Statistik und aus der N-A Modellierung

Die verschiedenen HQ-Werte des Einzugsgebietes Raab				
Pegel	Quelle	HQ10	HQ100	HQ300
Arzberg/Moderbach	Hydrografischer Dienst	53	120	134
	Statistik	51,7	95,9	116,7
	N-A Modell	37,2	84,0	105,8
Arzberg/Raab	Hydrografischer Dienst	82	150	168
	Statistik	47,6	84,8	102,2
	N-A Modell	48,0	102,3	132,7
Mitterdorf/Raab	Hydrografischer Dienst	106	175	196
	Statistik	117,7	151,8	182,7
	N-A Modell	81,9	172,2	221,2
St. Ruprecht/Weizbach	Hydrografischer Dienst	45	105	126
	Statistik	50,8	92,5	112,0
	N-A Modell	65,9	139,9	180,5
St. Ruprecht/Raab	Hydrografischer Dienst	123	201	225
	Statistik	106	181,8	217,4
	N-A Modell	136,1	270,0	347,4
Flöcking/Rabnitzbach	Hydrografischer Dienst	53	106	119
	Statistik	58,4	105,8	128,0
	N-A Modell	54,8	114,6	143,1
Takern/Raab	Hydrografischer Dienst	140	214	240
	Statistik	131	210,3	247,4
	N-A Modell	156,1	308,2	398,9

6.1 Diskussion der Niederschlags – Abfluss - Analyse

Wie in Tabelle 36 zu erkennen ist, weichen die Scheitelabflüsse für ein 10 - jährliches Ereignis kaum voneinander ab. Bei Hochwässern mit geringerer Auftretswahrscheinlichkeit (HQ100 und HQ300) sind die Werte aus der Niederschlags- Abflussbeziehung für die Einzugsgebiete ohne Fließstrecke (Moderbach, Weizbach, Rabnitzbach) in einem kleinen Schwankungsbereich. Hingegen scheint es so zu sein, dass die Fließstrecken mit dem Muskingum Verfahren nur unzureichend abgebildet werden können. Es werden aufgrund der Kalibrierung an mittleren HQ Werten keine Phänomene, wie Ausuferung, berücksichtigt. Daher sind die Scheitelabflüsse für die Pegel St. Ruprecht, Flöcking und Takern II stark überschätzt.

6.2 Verbesserungsmöglichkeiten des Niederschlags – Abfluss - Modells

Einige Hochwasserereignisse können aufgrund einer unzureichenden Messnetzdichte nicht für die Bestimmung der Einzugsgebietsparameter herangezogen werden. Dies könnte womöglich durch eine Verbesserung der regionalisierten Niederschlagsdaten mithilfe von Regenradar erzielt werden. Zu diesem Zweck wird zurzeit an einem Projekt mit dem Namen INCA (Integrated nowcasting through Comprehensive Analysis) an der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik gearbeitet. In diesem seit 1999 laufenden Projekt werden Niederschlagswerte anhand von Niederschlagsmessstellen verfeinert und durch Fernerkundungsdaten (Regenradar, Satellitenbilder) für ein 1km-Raster berechnet (vgl. www.zamg.ac.at/forschung/synoptik/inca/ [28.05.2013]).

Zudem ist noch zu klären, ob nicht durch Variation der Niederschlagsintensität während des Ereignisses größere Scheitelabflüsse im Untersuchungsgebiet entstehen können. Dazu sollten auch anfangs- und endbetonte Bemessungsniederschläge in unterschiedlicher räumlicher Verteilung auf das Einzugsgebiet aufgebracht werden. Es ist auch zu erwarten, dass bei der Anwendung der Abminderung nach Skoda, Weilguni und Haiden für Hochwässer mit geringem Wiederkehrintervall eine bessere Anpassung erzielt wird.

Außerdem ist das Aufstellen eines detaillierteren Modells der Abflussverformung in den freien Fließstrecken wahrscheinlich zielführender. Bei diesem Modell sollten auch die Retentionsmaßnahmen, wie zum Beispiel der Hochwasserschutz in Gleisdorf, mit berücksichtigt werden.

Auch ist in dieser Arbeit die Curve Number als fixer Parameter angesehen worden. Es gibt die Möglichkeit die CN vom Anfangszustand (der Vorfeuchte) abhängig zu machen. Dann ist zu erwarten, dass eine bessere Anpassung erzielt wird.

Literaturverzeichnis

- ADLER, H (1993): Strukturökologische Aufnahme der Raab, Wien: Diplomarbeit Universität für Bodenkultur
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT - BMLFUW (2011): e-hyd – der Zugang zu hydrografischen Daten Österreichs im Internet. Verfügbar in: <http://gis.lebensministerium.at/eHYD> [01.09.2011].
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT – BMLFUW; INSTITUT FÜR WASSERWIRTSCHAFT HYDROLOGIE UND KONSTRUKTIVER WASSERBAU DER BOKU WIEN - IWHW (2007): Hydrologischer Atlas Österreichs. Wien: Österreichischer Kunst- und Kulturverlag.
- BLÖSCHL, G. (2009): Skriptum Ingenieurhydrologie (Vorl. Nr. 223.027) www.hydro.tuwien.ac.at/lehre/lva/downloads.html .
- FLÜGEL, H. UND NEUBAUER, F. (1984) Geologische Karte der Steiermark 1:200.000 Bearbeitung: 1 Bl., Farbdruck <http://www.geologie.ac.at/ecw/GK200/steiermark200.ecw> [23.02.2012]
- HOLZMANN, H., STANGL, K. (2012): Studie zum integrierten Hochwasserschutz am Schöckelbach, Zwischenbericht.
- LEBENSMINISTERIUM (2011): Leitfaden Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserkennwerten, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
- LORENZ, P., SKODA, G. (1999): Ermittlung von Flächenmitteln des Niederschlags aus punktuellen Messungen. Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes Österreichs.Nr.78: 47-65.
- MANIAK, U. (2010). Hydrologie und wasserwirtschaft: Eine einföhrung für ingenieure. Berlin [u.a.]: Springer.
- MERZ, R. (2009) Wiener Mittellungen Wasser Abwasser Gewässer, Hochwässer Bemessung, Risikoanalyse und Vorhersage Band 216 Seite 85-104
- NACHTNEBEL, H. P., FABER, R., UND LEROCH K. IWHW (2005): Risikoanalyse des bestehenden Hochwasserschutzes Stadt Gleisdorf und Umgebung. River Basin Agenda Wien
- NACHTNEBEL, H. P. IWHW (2009): Studienblätter Hydrologie und Wasserwirtschaftliche Planung <http://iwhw.boku.ac.at/LVA816300/Hydrologie%20u%20WWPL310309korrSteinbauer.pdf> [14.01.2011]
- PRETTENTHALER, F. (2010). Klimaatlas steiermark: Periode 1971 - 2000 ; eine anwenderorientierte klimatographie. Wien: Verl. der Österr. Akad. der Wiss.

- US ARMY CORPS OF ENGINEERS – USACE (2010): HEC-HMS 3.5 User's Manual Version 3.5 Aug.2010
Verfügbar unter: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation.html>
[15.05.2012].
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS – USACE (2009): HEC-DSSVue – User's Manual Version 2.0
Aug.2010 Grafische Oberfläche zum Bearbeiten von DSS Datenbankdateien. Verfügbar unter:
<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-dss/hecdssvue-documentation.htm> [15.05.2012].
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS – USACE (2000): HEC-HMS – Technical Reference Manual March
2000 Verfügbar unter: http://rivers.snre.umich.edu/639rivmod/hms_technical.pdf [12.08.2012].
- SKODA, G., WEILGUNI, V., HAIDEN, T. (2007): Konvektive Starkniederschläge – Niederschlag in 15, 60
und 180 Minuten. in : BMLFUW: HAÖ – Hydrologischer Atlas Österreichs.
- SKODA, G., WEILGUNI, V., HAIDEN, T. (2003): Konvektive Starkniederschläge. Mitteilungsblatt des
Hydrographischen Dienstes Österreichs. Nr. 82
- WEILGUNI, V (2011): eHyd – Fachkarte Bemessungsniederschlag
http://www.lebensministerium.at/dms/lmat/wasser/wasser-oesterreich/wasserkreislauf/hydrographische_daten/eHyd2008/20130328-Bemessungsniederschlag/20130328%20Bemessungsniederschlag.pdf [07.04.2013]

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: ABFLUSSSPENDEN IM UNTERSUCHUNGSGEBIET UND VARIATIONSKOEFFIZIENT (HYDROLOGISCHER ATLAS 2007).....	11
TABELLE 2: VERWENDETE ABFLUSSMESSSTELLEN	13
TABELLE 3: NIEDERSCHLAGSMESSSTELLEN (HERVORGEHOBEN DIE ZUR MODELLIERUNG VERWENDETEN MESSSTELLEN).....	14
TABELLE 4: ÜBERBLICK DER TEILEINZUGSGEBIETE	28
TABELLE 5: AUSGANGSPARAMETER DER TEILEINZUGSGEBIETE	31
TABELLE 6: AUSGANGSPARAMETER DER FLIEßSTRECKEN.....	32
TABELLE 7: HQ WERTE DER MESSSTELLEN IM UNTERSUCHUNGSGEBIET DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (ROBERT SCHATZL 2012).....	37
TABELLE 8: HQ NACH GUMBEL FÜR DEN PEGEL ARZBERG/MODERBACH	38
TABELLE 9: HQ NACH GUMBEL FÜR DEN PEGEL ARZBERG/RAAB	38
TABELLE 10: HQ NACH GUMBEL FÜR DEN PEGEL MITTERNDORF/RAAB.....	38
TABELLE 11: HQ NACH GUMBEL FÜR DEN PEGEL ST. RUPRECHT/WEIZBACH.....	39
TABELLE 12: HQ NACH GUMBEL FÜR DEN PEGEL ST. RUPRECHT/RAAB.....	39
TABELLE 13: HQ NACH GUMBEL FÜR DEN PEGEL FLÖCKING/RABNITZBACH	39
TABELLE 14: HQ NACH GUMBEL FÜR DEN PEGEL TAKERN II/RAAB.....	39
TABELLE 15: HQ EREIGNISSE ZWISCHEN 1988 UND 2005 AB EINER GRÖßE VON 13,8 M³/S AM PEGEL ARZBERG/MODERBACH.....	40
TABELLE 16: ERGEBNISSE DER MODELKALIBRIERUNG FÜR DAS EZ MODERBACH	40
TABELLE 17: HQ EREIGNISSE ZWISCHEN 1988 UND 2005 BIS ZUR GRÖßE VON 16,1 M³/S AM PEGEL ARZBERG	43
TABELLE 18: ERGEBNISSE DER MODELKALIBRIERUNG FÜR DAS EZ ARZBERG	43
TABELLE 19: HQ EREIGNISSE ZWISCHEN 1993 UND 2005 BIS ZUR GRÖßE VON 33,8 M³/S AM PEGEL MITTERNDORF	47
TABELLE 20: ERGEBNISSE DER MODELKALIBRIERUNG FÜR DAS EZ MITTERNDORF UND DIE FLIEßSTRECKE ARZBERG-MITTERNDORF	47
TABELLE 21: HQ EREIGNISSE ZWISCHEN 1989 UND 2007 BIS ZUR GRÖßE VON 19,1 M³/S AM PEGEL ST. RUPRECHT/WEIZBACH.....	51
TABELLE 22: : ERGEBNISSE DER MODELKALIBRIERUNG FÜR DAS EZ UNTERFLADNITZ/WEIZBACH	51
TABELLE 23: HQ EREIGNISSE ZWISCHEN 1988 UND 2005 BIS ZUR GRÖßE VON 44,9 M³/S AM PEGEL ST. RUPRECHT.....	54
TABELLE 24: ERGEBNISSE DER MODELKALIBRIERUNG FÜR DAS EZ ST. RUPRECHT	54
TABELLE 25: HQ - EREIGNISSE ZWISCHEN 1991 UND 2005 BIS ZUR GRÖßE VON 17,9 M³/S AM PEGEL FLÖCKING/RABNITZBACH.....	58
TABELLE 26: ERGEBNISSE DER MODELKALIBRIERUNG FÜR DAS EZ RABNITZ	58
TABELLE 27: HQ EREIGNISSE ZWISCHEN 1993 UND 2008 BIS ZUR GRÖßE VON 59,9 M³/S AM PEGEL TAKERN II	61
TABELLE 28: ERGEBNISSE DER MODELKALIBRIERUNG FÜR DAS EZ TAKERN II UND DIE FLIEßSTRECKEN ST. RUPRECHT - RABNITZBACHMÜNDUNG UND RABNITZBACHMÜNDUNG - TAKERN II.....	61
TABELLE 29: HQ MIT ABMINDERUNG NACH BLÖSCHL FÜR DEN PEGEL ARZBERG/MODERBACH.....	68
TABELLE 30: HQ MIT ABMINDERUNG NACH BLÖSCHL FÜR DEN PEGEL ARZBERG/RAAB.....	68
TABELLE 31: HQ MIT ABMINDERUNG NACH BLÖSCHL FÜR DEN PEGEL MITTERNDORF/RAAB.....	68
TABELLE 32: HQ MIT ABMINDERUNG NACH BLÖSCHL FÜR DEN PEGEL ST. RUPRECHT/WEIZBACH	69
TABELLE 33: HQ MIT ABMINDERUNG NACH BLÖSCHL FÜR DEN PEGEL ST. RUPRECHT/RAAB.....	69
TABELLE 34: HQ MIT ABMINDERUNG NACH BLÖSCHL FÜR DEN PEGEL FLÖCKING/RABNITZBACH	69
TABELLE 35: HQ MIT ABMINDERUNG NACH BLÖSCHL FÜR DEN PEGEL TAKERN II.....	69
TABELLE 36: ÜBERBLICK DER HQ WERTE VOM HYDROGRAFISCHEN DIENST DES LANDES STEIERMARK, AUS DER HQ STATISTIK UND AUS DER N-A MODELLIERUNG.....	70

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: GEOGRAFISCHE LAGE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES – AUSSCHNITT ÖK 500 (BEV) UND EZ AUS DEM HYDROLOGISCHEN ATLAS.....	4
ABBILDUNG 2: GEOLOGIE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES – AUSSCHNITT GEOLOGISCHE KARTE DER STEIERMARK 1:200.000 (FLÜGEL UND NEUBAUER 1984) UND EZ AUS DEM HYDROLOGISCHEN ATLAS ..	6
ABBILDUNG 3: AUSSCHNITT AUS: KLIMAREGIONEN DER STEIERMARK (PRETTENTHALER 2010) UND DEM HYDROLOGISCHEN ATLAS	7
ABBILDUNG 4: EREIGNISBEZOGENE ABFLUSSBEIWERTE IM UNTERSUCHUNGSGEBIET (HYDROLOGISCHER ATLAS 2007).....	11
ABBILDUNG 5: LAGE DER VERWENDETEN ABFLUSSMESSSTELLEN (HYDROLOGISCHER ATLAS 2007)	13
ABBILDUNG 6: VERWENDETE NIEDERSCHLAGSMESSSTATIONEN UND BEOBACHTUNGSBEGINN (HYDROLOGISCHER ATLAS 2007)	15
ABBILDUNG 7: MODELLE IN DER HYDROLOGIE MANIAK (2010).....	17
ABBILDUNG 8: DETAILLIERTES MODELL ZUR NIEDERSCHLAG - ABFLUSS - ANALYSE (MANIAK 2010).....	19
ABBILDUNG 9: EINZUGSGEBIETSEINTEILUNG IM HYDROLOGISCHEN ATLAS GRÜNE GRENZEN, EINZUGSGEBIETSEINTEILUNG FÜR VORLIEGENDES PROJEKT - FARBIGE FLÄCHEN (HYDROLOGISCHER ATLAS 2007 MODIFIZIERT)	27
ABBILDUNG 10: EINZUGSGEBIETSEINTEILUNG MIT HEC ELEMENTEN	29
ABBILDUNG 11: INVERSE DISTANZEN METHODE (USACE, 2000)	30
ABBILDUNG 12: EINZUGSGEBIETE (GRÜN) UND STARKNIEDERSCHLAGSGITERRASTER (ROT) (HYDROLOGISCHER ATLAS MODIFIZIERT)	33
ABBILDUNG 13: VERSCHIEDENE ABMINDERUNGEN FÜR EIN KLEINES EZ.....	35
ABBILDUNG 14A: EINZUGSGEBIETE MARKIERUNG GESAMTES EZ (HYDROLOGISCHER ATLAS MODIFIZIERT)	
ABBILDUNG 14B: EINZUGSGEBIETE MARKIERUNG EZ MODERBACH (HYDROLOGISCHER ATLAS MODIFIZIERT).....	36
ABBILDUNG 15: ABMINDERUNG FÜR VERSCHIEDENE EZ GRÖßEN.....	36
ABBILDUNG 16: NIEDERSCHLAGSABFLUSSBEZIEHUNG AUS HEC HMS IM EZ MODERBACH FÜR DAS VALIDIERUNGSEREIGNIS AUGUST 1999, ROT OBEN: VERLUST, BLAU OBEN: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG, SCHWARZ UNTEN: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU UNTEN: SIMULIERTER NIEDERSCHLAG	41
ABBILDUNG 17: NIEDERSCHLAGSABFLUSSBEZIEHUNG AUS HEC HMS IM EZ MODERBACH FÜR DAS VALIDIERUNGSEREIGNIS AUGUST 2005, ROT OBEN: VERLUST, BLAU OBEN: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG, SCHWARZ UNTEN: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU UNTEN: SIMULIERTER NIEDERSCHLAG	41
ABBILDUNG 18: NIEDERSCHLAGSABFLUSSBEZIEHUNG AUS HEC HMS IM EZ MODERBACH FÜR DAS VALIDIERUNGSEREIGNIS AUGUST 1995, ROT OBEN: VERLUST, BLAU OBEN: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG, SCHWARZ UNTEN: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU UNTEN: SIMULIERTER NIEDERSCHLAG	42
ABBILDUNG 19: NIEDERSCHLAG AUS HEC HMS IM EZ ARZBERG FÜR DAS VALIDIERUNGSEREIGNIS SEPTEMBER 1997, ROT: VERLUST, BLAU: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG.....	44
ABBILDUNG 20: ABFLUSS AUS HEC HMS AM PEGEL ARZBERG (RAAB) FÜR DAS VALIDIERUNGSEREIGNIS SEPTEMBER 1997, SCHWARZ: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU PUNKTIERT: ABFLUSS VOM PEGEL ARZBERG (MODERBACH), BLAU STRICHLIERT: MODELLIERTER ABFLUSS AUS EZ ARZBERG, BLAU: SIMULIERTER ABFLUSS.....	44
ABBILDUNG 21: NIEDERSCHLAG AUS HEC HMS IM EZ ARZBERG FÜR DAS VALIDIERUNGSEREIGNIS AUGUST 2002, ROT: VERLUST, BLAU: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG	45
ABBILDUNG 22: ABFLUSS AUS HEC HMS AM PEGEL ARZBERG (RAAB) FÜR DAS VALIDIERUNGSEREIGNIS AUGUST 2002, SCHWARZ: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU PUNKTIERT: ABFLUSS VOM PEGEL ARZBERG (MODERBACH), BLAU STRICHLIERT: MODELLIERTER ABFLUSS AUS EZ ARZBERG, BLAU: SIMULIERTER ABFLUSS.....	45
ABBILDUNG 25: NIEDERSCHLAG AUS HEC HMS IM EZ ARZBERG FÜR DAS VALIDIERUNGSEREIGNIS AUGUST 1999, ROT: VERLUST, BLAU: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG	46
ABBILDUNG 26: ABFLUSS AUS HEC HMS AM PEGEL ARZBERG (RAAB) FÜR DAS VALIDIERUNGSEREIGNIS AUGUST 1999, SCHWARZ: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU PUNKTIERT; ABFLUSS VOM PEGEL ARZBERG (MODERBACH), BLAU STRICHLIERT: MODELLIERTER ABFLUSS AUS EZ ARZBERG, BLAU: SIMULIERTER ABFLUSS.....	46
ABBILDUNG 27: NIEDERSCHLAG AUS HEC HMS IM EZ MITTERNDORF FÜR DAS VALIDIERUNGSEREIGNIS AUGUST 1999, ROT: VERLUST, BLAU: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG	48
ABBILDUNG 28: ABFLUSSVERFORMUNG AUS HEC HMS ZWISCHEN PEGEL ARZBERG (RAAB) UND PEGEL MITTERNDORF	48

ABBILDUNG 29: ABFLUSS AUS HEC HMS AM PEGEL MITTERNDORF FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS AUGUST 1999, SCHWARZ: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU PUNKTIERT: ABFLUSS VOM PEGEL ARZBERG (RAAB), BLAU STRICHLIERT: MODELLIERTER ABFLUSS AUS EZ MITTERNDORF, BLAU: SIMULIERTER ABFLUSS	48
ABBILDUNG 30: NIEDERSCHLAG AUS HEC HMS IM EZ MITTERNDORF FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS AUGUST 2005, ROT: VERLUST, BLAU: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG	49
ABBILDUNG 31: ABFLUSSVERFORMUNG AUS HEC HMS ZWISCHEN PEGEL ARZBERG (RAAB) UND PEGEL MITTERNDORF	49
ABBILDUNG 32: ABFLUSS AUS HEC HMS AM PEGEL MITTERNDORF FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS AUGUST 2005, SCHWARZ: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU PUNKTIERT: ABFLUSS VOM PEGEL ARZBERG (RAAB), BLAU STRICHLIERT: MODELLIERTER ABFLUSS AUS EZ MITTERNDORF, BLAU: SIMULIERTER ABFLUSS	49
ABBILDUNG 33: NIEDERSCHLAG AUS HEC HMS IM EZ MITTERNDORF FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS JUNI 2004, ROT: VERLUST, BLAU: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG	50
ABBILDUNG 34: ABFLUSSVERFORMUNG AUS HEC HMS ZWISCHEN PEGEL ARZBERG (RAAB) UND PEGEL MITTERNDORF	50
ABBILDUNG 35: ABFLUSS AUS HEC HMS AM PEGEL MITTERNDORF FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS JUNI 2004, SCHWARZ: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU PUNKTIERT: ABFLUSS VOM PEGEL ARZBERG (RAAB), BLAU STRICHLIERT: MODELLIERTER ABFLUSS AUS EZ MITTERNDORF, BLAU: SIMULIERTER ABFLUSS	50
ABBILDUNG 36: NIEDERSCHLAGSABFLUSSBEZIEHUNG AUS HEC HMS IM EZ WEIZBACH FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS SEPTEMBER 1998, ROT OBEN: VERLUST, BLAU OBEN: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG, SCHWARZ UNTEN: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU UNTEN: SIMULIERTER NIEDERSCHLAG	52
ABBILDUNG 37: NIEDERSCHLAGSABFLUSSBEZIEHUNG AUS HEC HMS IM EZ WEIZBACH FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS AUGUST 2005, ROT OBEN: VERLUST, BLAU OBEN: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG, SCHWARZ UNTEN: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU UNTEN: SIMULIERTER NIEDERSCHLAG	52
ABBILDUNG 38: NIEDERSCHLAGSABFLUSSBEZIEHUNG AUS HEC HMS IM EZ WEIZBACH FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS JUNI 2000, ROT OBEN: VERLUST, BLAU OBEN: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG, SCHWARZ UNTEN: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU UNTEN: SIMULIERTER NIEDERSCHLAG	53
ABBILDUNG 39: NIEDERSCHLAG AUS HEC HMS IM EZ WEITZ FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS SEPTEMBER 1997, ROT: VERLUST, BLAU: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG	55
ABBILDUNG 40: ABFLUSSVERFORMUNG AUS HEC HMS ZWISCHEN PEGEL MITTERNDORF UND PEGEL ST. RUPRECHT	55
ABBILDUNG 41: ABFLUSS AUS HEC HMS AM PEGEL ST. RUPRECHT FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS SEPTEMBER 1997, SCHWARZ: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU PUNKTIERT: ABFLUSS VOM PEGEL MITTERNDORF, BLAU STRICH-PUNKTIERT: ABFLUSS VOM PEGEL WEIZBACH, BLAU STRICHLIERT: MODELLIERTER ABFLUSS AUS EZ MITTERNDORF, BLAU: SIMULIERTER ABFLUSS	55
ABBILDUNG 42: NIEDERSCHLAG AUS HEC HMS IM EZ WEITZ FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS JUNI 2004, ROT: VERLUST, BLAU: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG	56
ABBILDUNG 43: ABFLUSSVERFORMUNG AUS HEC HMS ZWISCHEN PEGEL MITTERNDORF UND PEGEL ST. RUPRECHT	56
ABBILDUNG 44: ABFLUSS AUS HEC HMS AM PEGEL ST. RUPRECHT FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS JUNI 2004, SCHWARZ: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU PUNKTIERT: ABFLUSS VOM PEGEL MITTERNDORF, BLAU STRICH-PUNKTIERT: ABFLUSS VOM PEGEL WEIZBACH, BLAU STRICHLIERT: MODELLIERTER ABFLUSS AUS EZ MITTERNDORF, BLAU: SIMULIERTER ABFLUSS	56
ABBILDUNG 45: NIEDERSCHLAG AUS HEC HMS IM EZ WEITZ FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS AUGUST 2005, ROT: VERLUST, BLAU: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG	57
ABBILDUNG 46: ABFLUSSVERFORMUNG AUS HEC HMS ZWISCHEN PEGEL MITTERNDORF UND PEGEL ST. RUPRECHT	57
ABBILDUNG 47: ABFLUSS AUS HEC HMS AM PEGEL ST. RUPRECHT FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS JUNI 2004, SCHWARZ: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU PUNKTIERT: ABFLUSS VOM PEGEL MITTERNDORF, BLAU STRICH-PUNKTIERT: ABFLUSS VOM PEGEL WEIZBACH, BLAU STRICHLIERT: MODELLIERTER ABFLUSS AUS EZ MITTERNDORF, BLAU: SIMULIERTER ABFLUSS	57
ABBILDUNG 48: NIEDERSCHLAGSABFLUSSBEZIEHUNG AUS HEC HMS IM EZ RABNITZ FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS AUGUST 2005, ROT OBEN: VERLUST, BLAU OBEN: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG, SCHWARZ UNTEN: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU UNTEN: SIMULIERTER NIEDERSCHLAG	59

ABBILDUNG 49: NIEDERSCHLAGSABFLUSSBEZIEHUNG AUS HEC HMS IM EZ RABNITZ FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS JUNI 2004, ROT OBEN: VERLUST, BLAU OBEN: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG, SCHWARZ UNTEN: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU UNTEN: SIMULIERTER NIEDERSCHLAG	59
ABBILDUNG 50: NIEDERSCHLAGSABFLUSSBEZIEHUNG AUS HEC HMS IM EZ RABNITZ FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS OKTOBER 1993, ROT OBEN: VERLUST, BLAU OBEN: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG, SCHWARZ UNTEN: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU UNTEN: SIMULIERTER NIEDERSCHLAG	60
ABBILDUNG 51: NIEDERSCHLAG AUS HEC HMS IM EZ TAKERN II FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS AUGUST 2005, ROT: VERLUST, BLAU: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG	62
ABBILDUNG 52: ABFLUSSVERFORMUNG AUS HEC HMS ZWISCHEN PEGEL ST. RUPRECHT UND RABNITZBACHMÜNDUNG.....	62
ABBILDUNG 53: ABFLUSSVERFORMUNG AUS HEC HMS ZWISCHEN RABNITZBACHMÜNDUNG UND PEGEL TAKERN II	62
ABBILDUNG 54: ABFLUSS AUS HEC HMS AM PEGEL TAKERN II FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS AUGUST 2005, SCHWARZ: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU PUNKTIERT: ABFLUSS VOM PEGEL ST. RUPRECHT, BLAU STRICHLIERT: MODELLIERTER ABFLUSS AUS EZ TAKERN II, BLAU: SIMULIERTER ABFLUSS	63
ABBILDUNG 55: NIEDERSCHLAG AUS HEC HMS IM EZ TAKERN II FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS JULI 2008, ROT: VERLUST, BLAU: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG	63
ABBILDUNG 56: ABFLUSSVERFORMUNG AUS HEC HMS ZWISCHEN PEGEL ST. RUPRECHT UND RABNITZBACHMÜNDUNG.....	63
ABBILDUNG 57: ABFLUSSVERFORMUNG AUS HEC HMS ZWISCHEN RABNITZBACHMÜNDUNG UND PEGEL TAKERN II	64
ABBILDUNG 58: ABFLUSS AUS HEC HMS AM PEGEL TAKERN II FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS JULI 2008, SCHWARZ: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU PUNKTIERT: ABFLUSS VOM PEGEL ST. RUPRECHT, BLAU STRICHLIERT: MODELLIERTER ABFLUSS AUS EZ TAKERN II, BLAU: SIMULIERTER ABFLUSS	64
ABBILDUNG 59: NIEDERSCHLAG AUS HEC HMS IM EZ TAKERN II FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS JUNI 2004, ROT: VERLUST, BLAU: ABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG	64
ABBILDUNG 60: ABFLUSSVERFORMUNG AUS HEC HMS ZWISCHEN PEGEL ST. RUPRECHT UND RABNITZBACHMÜNDUNG.....	65
ABBILDUNG 61: ABFLUSSVERFORMUNG AUS HEC HMS ZWISCHEN RABNITZBACHMÜNDUNG UND PEGEL TAKERN II	65
ABBILDUNG 62: ABFLUSS AUS HEC HMS AM PEGEL TAKERN II FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS JUNI 2004, SCHWARZ: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU PUNKTIERT: ABFLUSS VOM PEGEL ST. RUPRECHT, BLAU STRICHLIERT: MODELLIERTER ABFLUSS AUS EZ TAKERN II, BLAU SIMULIERTER ABFLUSS	65
ABBILDUNG 63: ABFLUSS AUS HEC HMS AM PEGEL TAKERN II FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS AUGUST 2005, SCHWARZ: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU PUNKTIERT: ABFLUSS VOM PEGEL ST. RUPRECHT, BLAU STRICHLIERT: MODELLIERTER ABFLUSS AUS EZ TAKERN II, BLAU: SIMULIERTER ABFLUSS	66
ABBILDUNG 64: ABFLUSS AUS HEC HMS AM PEGEL TAKERN II FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS JUNI 2004, SCHWARZ: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU PUNKTIERT: ABFLUSS VOM PEGEL ST. RUPRECHT, BLAU STRICHLIERT: MODELLIERTER ABFLUSS AUS EZ TAKERN II, BLAU: SIMULIERTER ABFLUSS	66
ABBILDUNG 65: ABFLUSS AUS HEC HMS AM PEGEL TAKERN II FÜR DAS VALIDIERUNGSEIGNIS AUGUST 2002, SCHWARZ: BEOBACHTETER ABFLUSS, BLAU PUNKTIERT: ABFLUSS VOM PEGEL ST. RUPRECHT, BLAU STRICHLIERT: MODELLIERTER ABFLUSS AUS EZ TAKERN II, BLAU: SIMULIERTER ABFLUSS	67

Anhang A – Quellcode AWK

Das Script bewirkt, dass die Formatierung der ZAMG Daten, welche jeweils die Niederschlagsdaten eines Tages in einer Zeile darstellt, in ein Format bringt in dem alle Daten untereinander stehen.

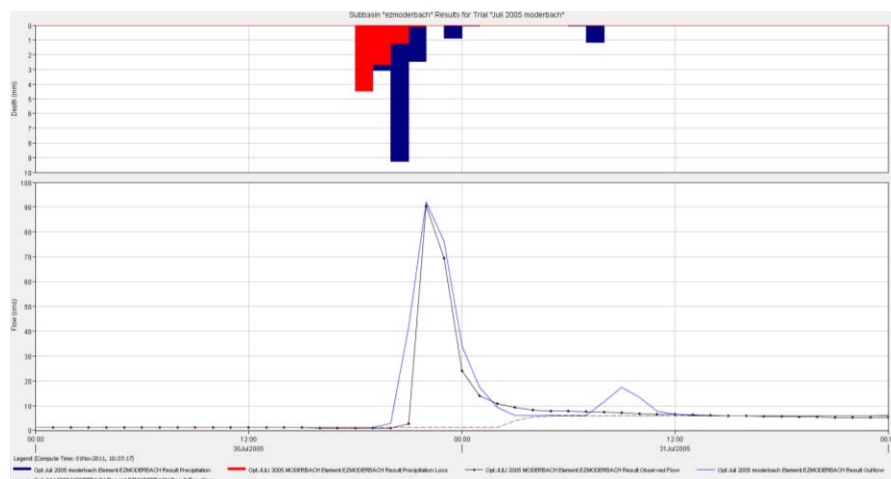
```
#!/usr/bin/awk -f
```

```
    ausgabestring = $1 " " $2 " 01:00 " $6/10 "\n" $1 " " $2 " 02:00 " $7/10
"\n" $1 " " $2 " 03:00 " $8/10 "\n" $1 " " $2 " 04:00 " $9/10 "\n" $1 " " $2 " 05:00 "
$10/10 "\n" $1 " " $2 " 06:00 " $11/10 "\n" $1 " " $2 " 07:00 " $12/10 "\n" $1 " " $2 "
08:00 " $13/10 "\n" $1 " " $2 " 09:00 " $14/10 "\n" $1 " " $2 " 10:00 " $15/10 "\n" $1 " "
$2 " 11:00 " $16/10 "\n" $1 " " $2 " 12:00 " $17/10 "\n" $1 " " $2 " 13:00 " $18/10 "\n"
$1 " " $2 " 14:00 " $19/10 "\n" $1 " " $2 " 15:00 " $20/10 "\n" $1 " " $2 " 16:00 " $21/10
"\n" $1 " " $2 " 17:00 " $22/10 "\n" $1 " " $2 " 18:00 " $23/10 "\n" $1 " " $2 " 19:00 "
$24/10 "\n" $1 " " $2 " 20:00 " $25/10 "\n" $1 " " $2 " 21:00 " $26/10 "\n" $1 " " $2 "
22:00 " $27/10 "\n" $1 " " $2 " 23:00 " $28/10 "\n" $1 " " $2 " 24:00 " $29/10 {print
ausgabestring }
```

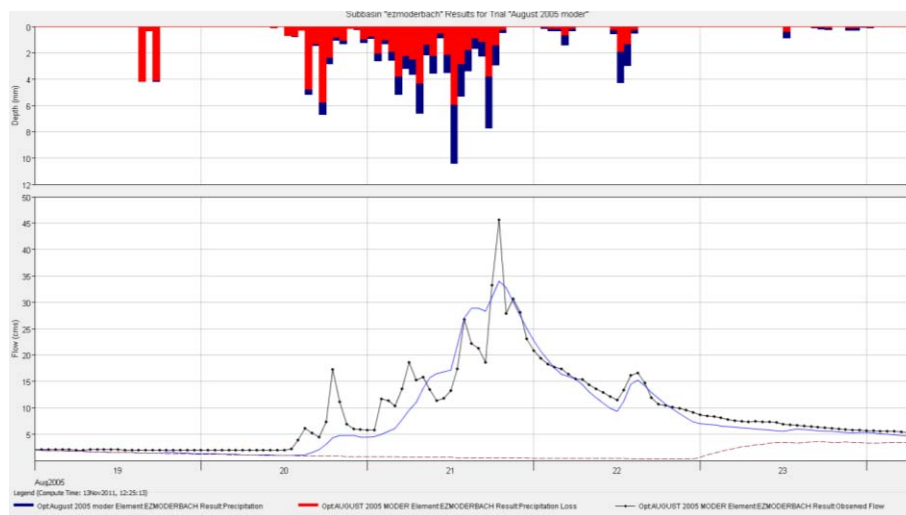

Anhang B – Modellerte Niederschlagsereignisse

Arzberg/Moderbach

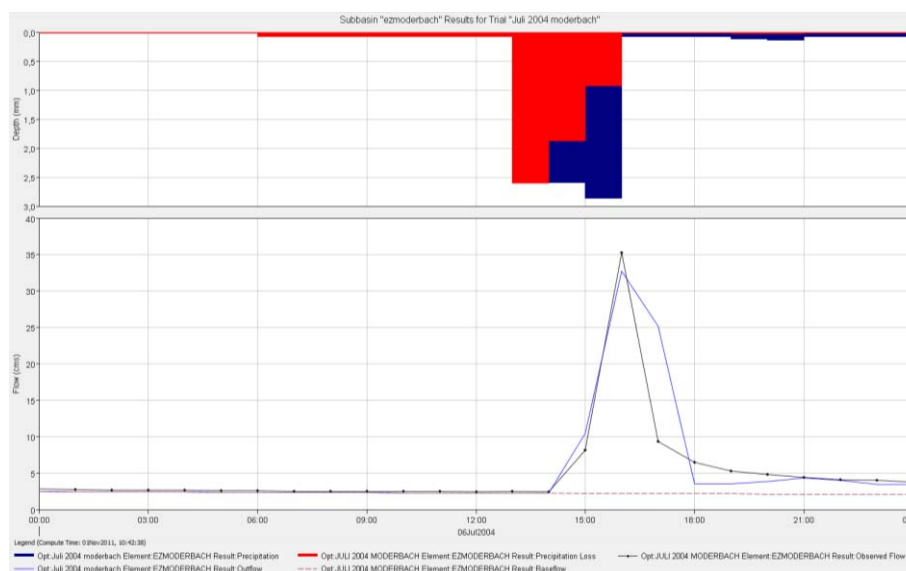
Jul 05		
Baseflow Initial Flow	M3/S	1,14
Baseflow Threshold Ratio		0,0652683
Clark Storage Coefficient	HR	0,8493
Clark Time of Concentration	HR	1,8936
Curve Number		98,746
Recession Constant		0,99069
Initial Abstraction	MM	6,36



Aug 05		
Baseflow Initial Flow	M3/S	1,94
Baseflow Threshold Ratio		0,20834
Clark Storage Coefficient	HR	10,476
Clark Time of Concentration	HR	0,88047
Curve Number		54,791
Initial Abstraction	MM	4,209
Recession Constant		0,61207

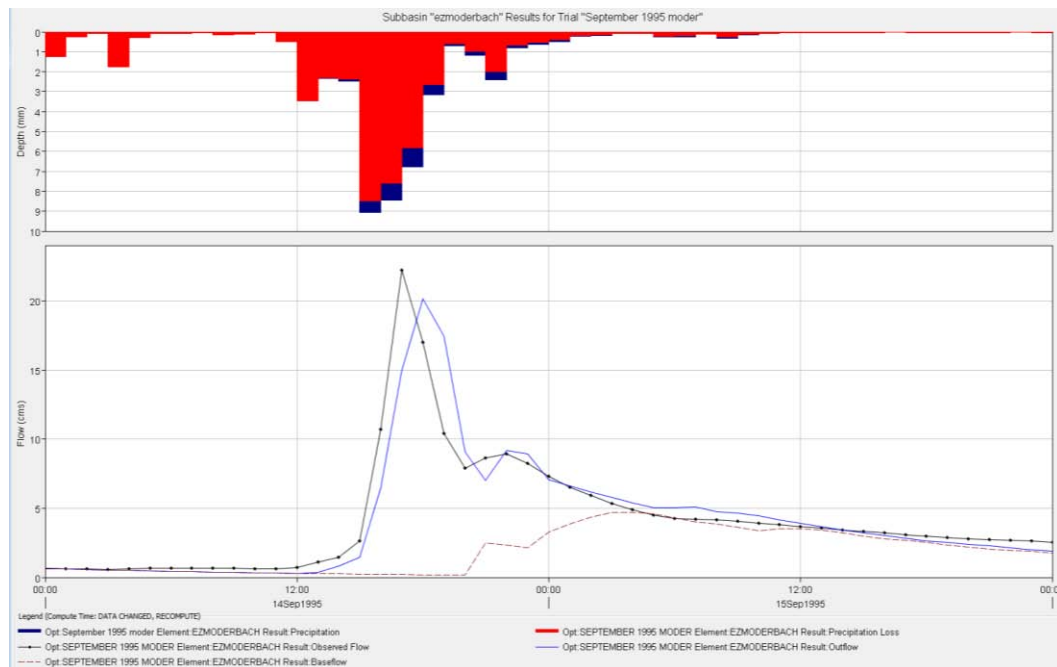


Jul 04		
Baseflow Initial Flow	M3/S	2,47
Baseflow Threshold Ratio		0,0652
Clark Storage Coefficient	HR	0,41099
Clark Time of Concentration	HR	0,7
Curve Number		98,38
Recession Constant		0,8404
Initial Abstraction	MM	3,78

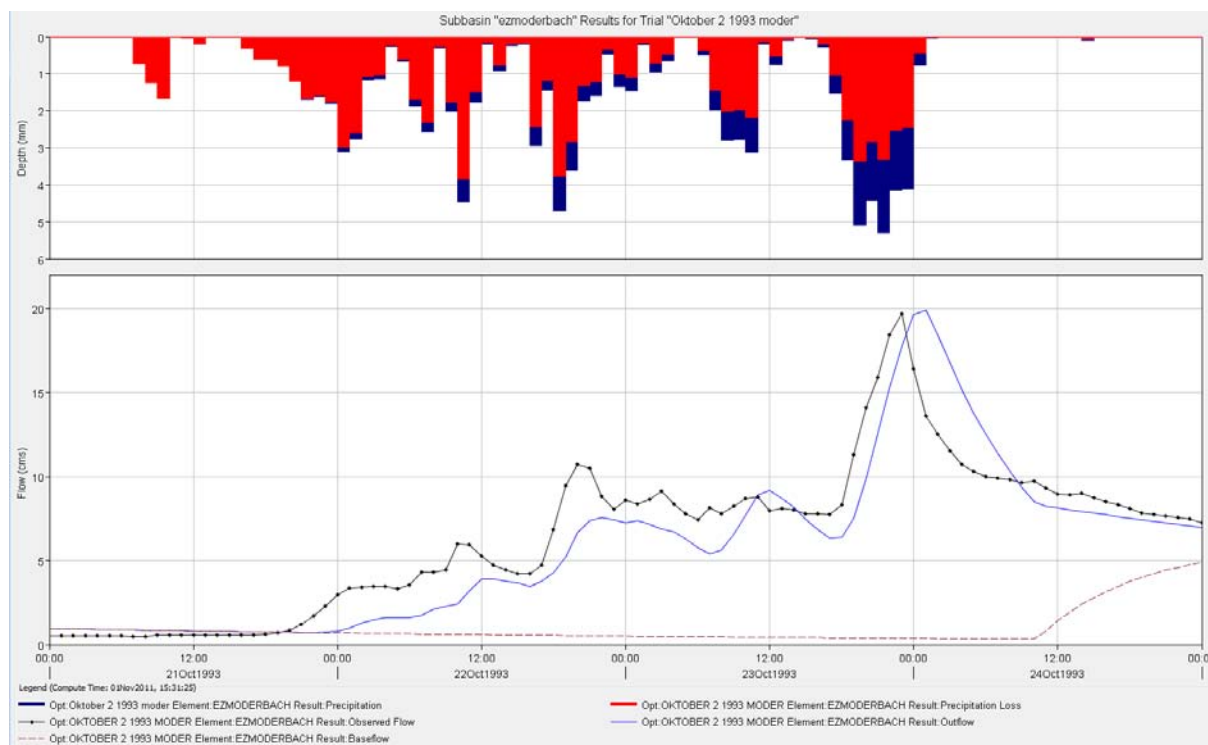


Sep 95		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,65
Baseflow Threshold Ratio		0,36115
Clark Storage Coefficient	HR	0,70329
Clark Time of Concentration	HR	0,89012
Curve Number		41,661
Recession Constant		0,200777

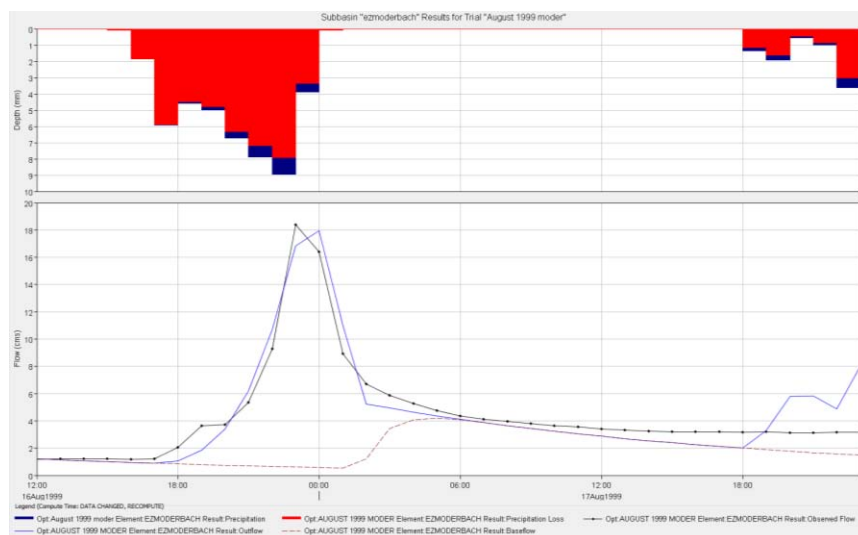
Initial Abstraction	MM	6,0347
---------------------	----	--------



Oktober 1993 2		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,94
Baseflow Threshold Ratio		0,4174
Clark Storage Coefficient	HR	10,131
Clark Time of Concentration	HR	0,30139
Curve Number		45,797
Recession Constant		0,73
Initial Abstraction	MM	7,3587

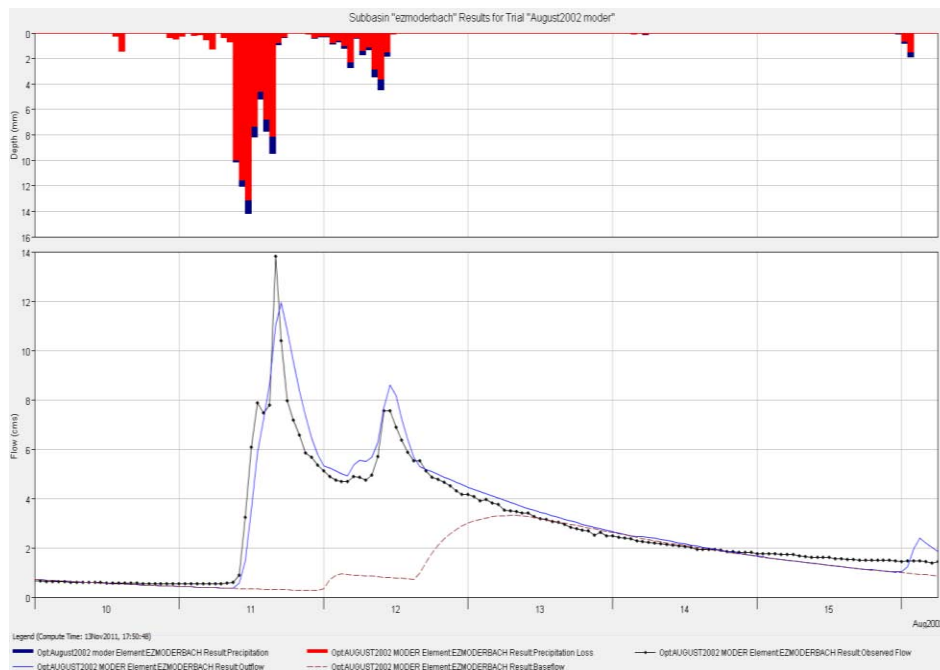


Aug 99		
Baseflow Initial Flow	M3/S	1,2
Baseflow Threshold Ratio		0,29356
Clark Storage Coefficient	HR	1,1034
Clark Time of Concentration	HR	0,81194
Curve Number		33,42
Recession Constant		0,23542
Initial Abstraction	MM	4,0854



Aug 02		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,723
Baseflow Threshold Ratio		0,44921

Clark Storage Coefficient	HR	7,3903
Clark Time of Concentration	HR	1,0728
Curve Number		25,032
Initial Abstraction	MM	5,42
Recession Constant		0,5954



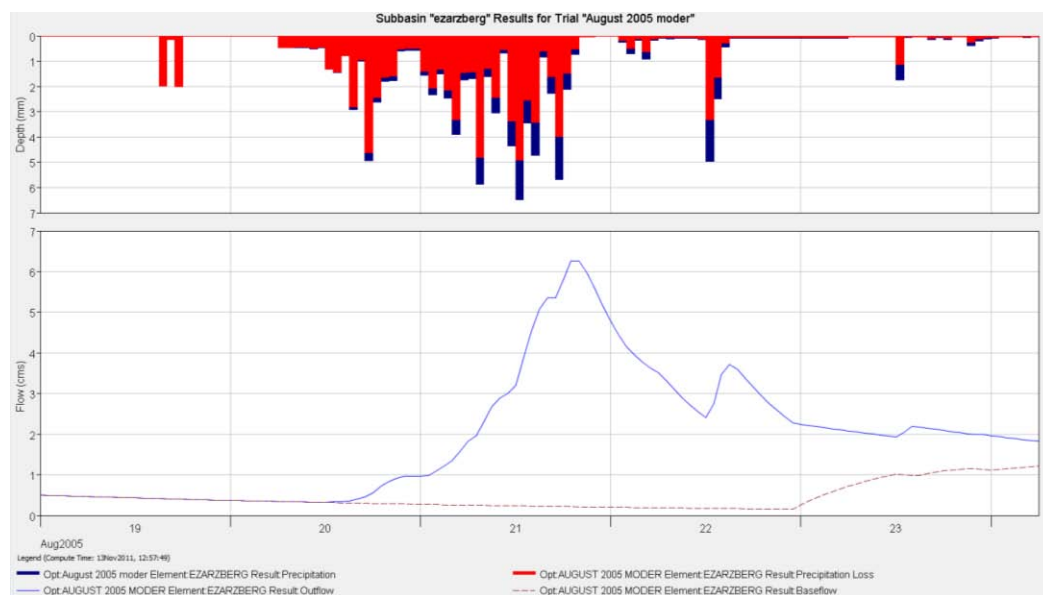
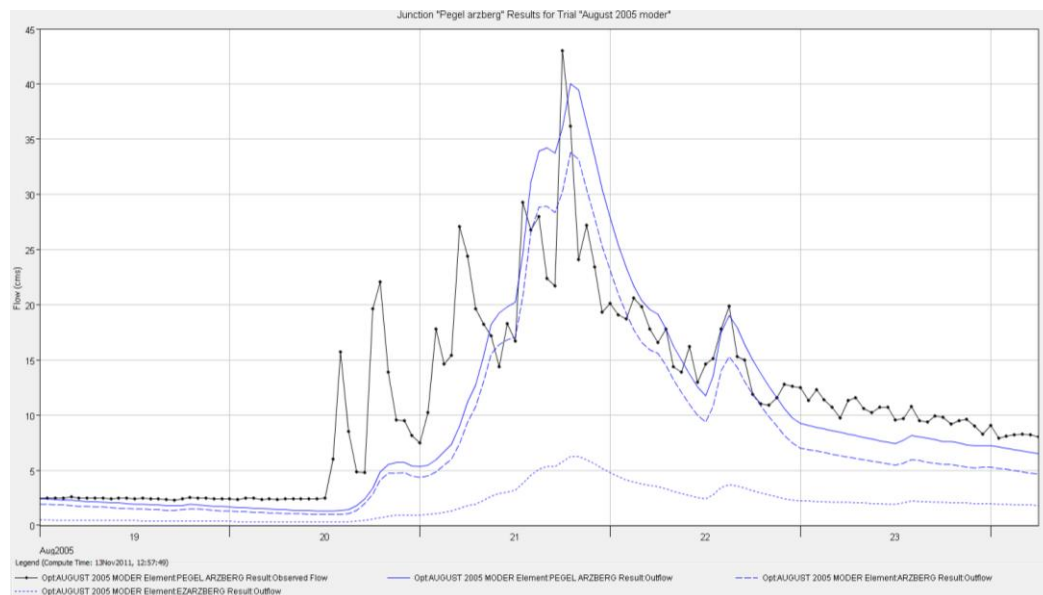
Mittelwert , Standartabweichung und Median aus den oben Angeführten Hochwasserereignissen

Moderbach					
			Mittelwert	Standartabweichung	Median
Baseflow Initial Flow	M3/S		1,09	0,38	0,94
Baseflow Threshold Ratio			0,35	0,08	0,36
Clark Storage Coefficient	HR		5,96	4,05	7,39
Clark Time of Concentration	HR		0,79	0,20	0,88
Curve Number			40,14	8,73	41,66
Recession Constant			0,47	1,59	0,61
Initial Abstraction			5,42	1,79	4,21

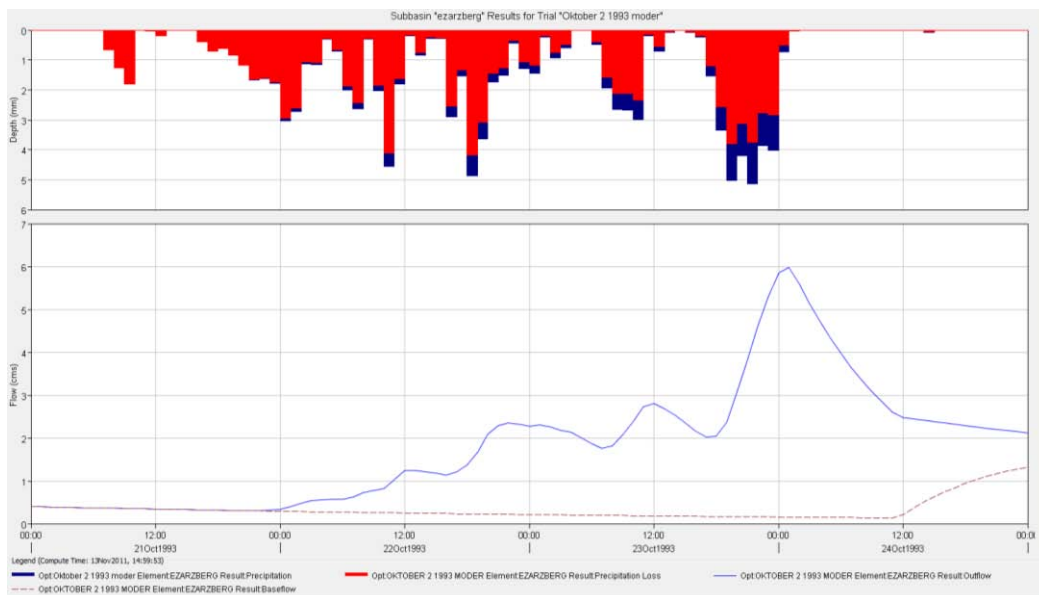
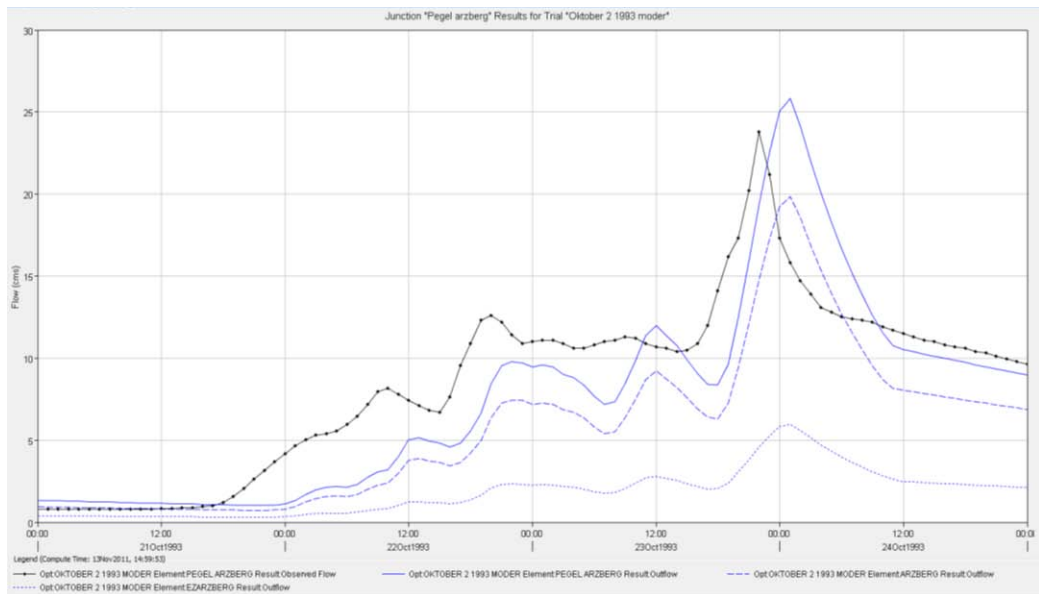
Arzberg/Raab

Aug 05		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,5
Baseflow Threshold Ratio		0,36143
Clark Storage Coefficient	HR	12,863
Clark Time of Concentration	HR	1,3981

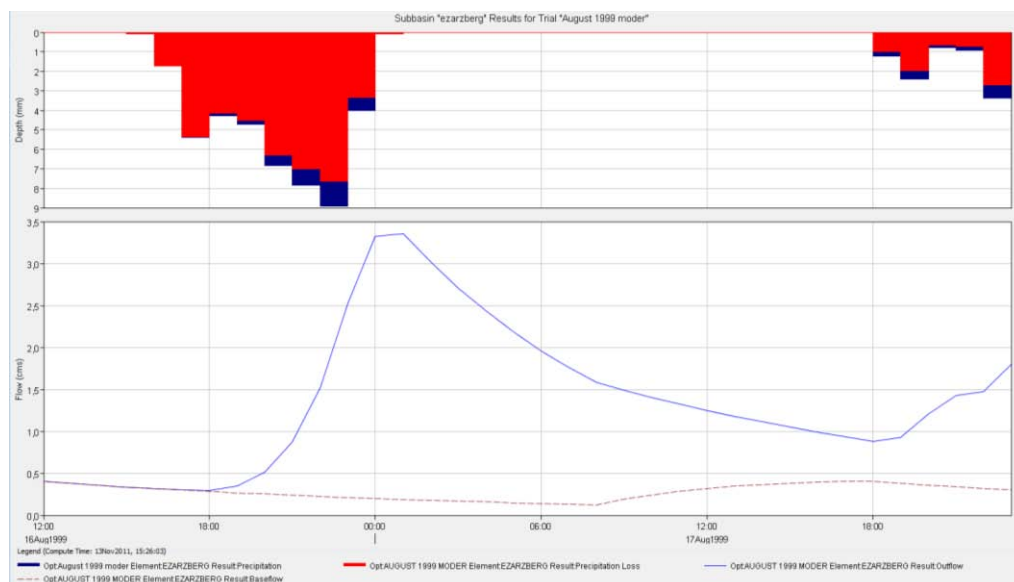
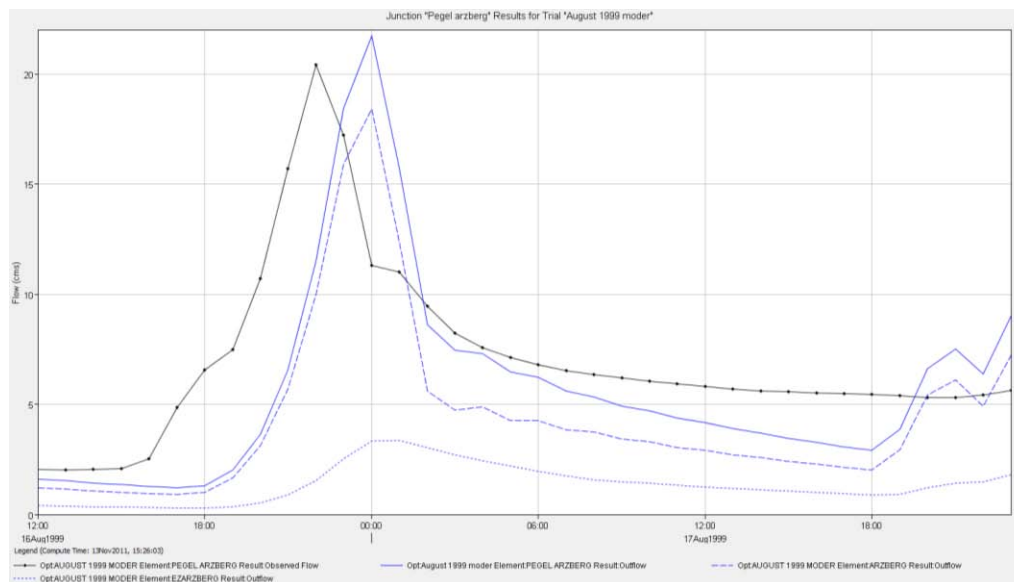
Curve Number		39,889
Initial Abstraction	MM	4,4233
Recession Constant		0,7414



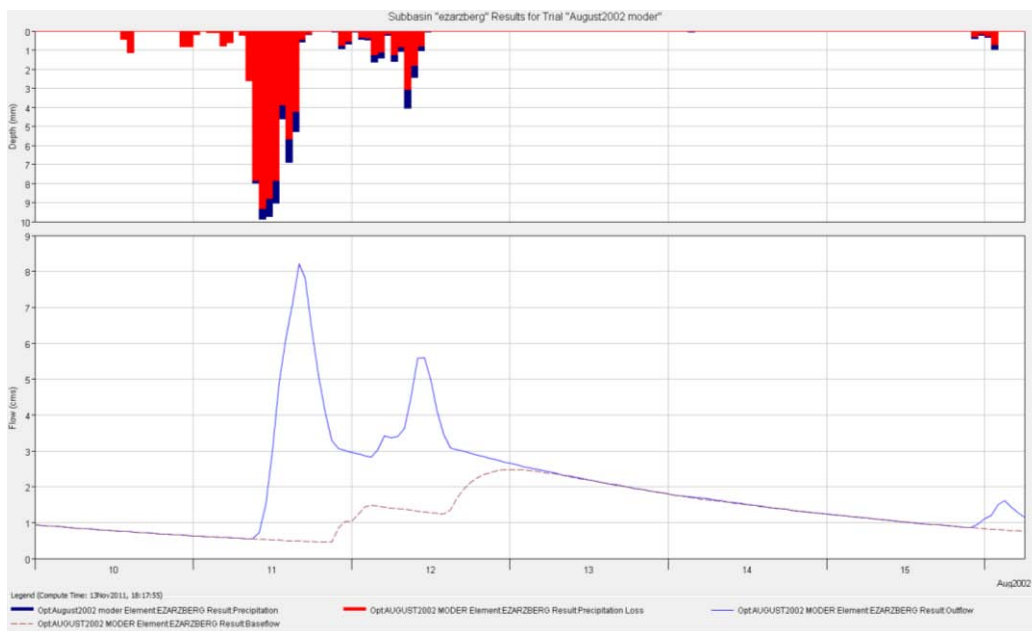
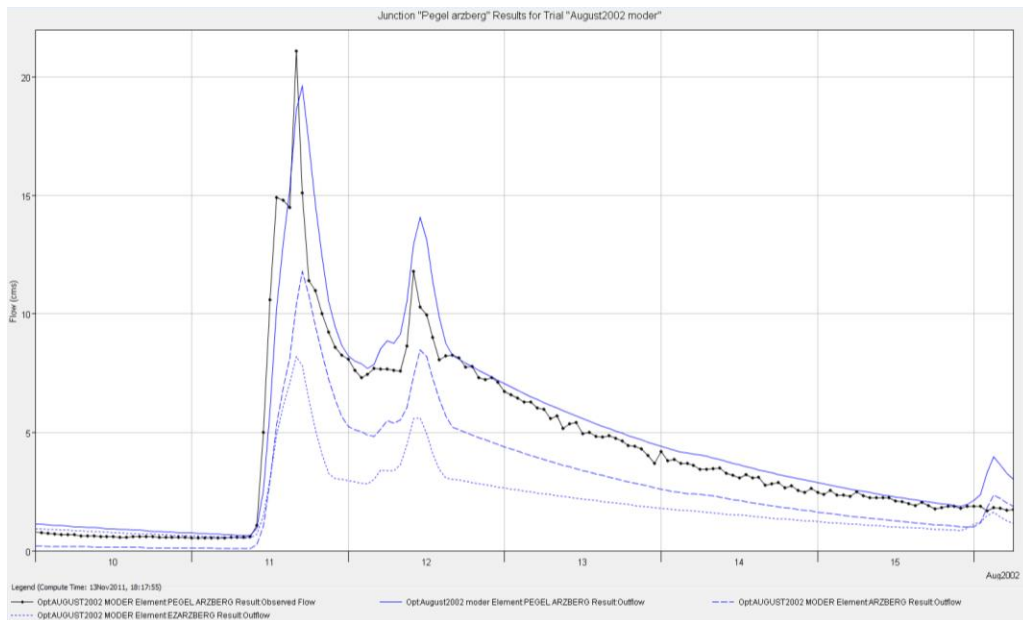
Oktober 1993 2		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,4
Baseflow Threshold Ratio		0,4174
Clark Storage Coefficient	HR	11,408
Clark Time of Concentration	HR	1,0432
Curve Number		35,219
Initial Abstraction	MM	6,6517
Recession Constant		0,73



Aug 99		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,4
Baseflow Threshold Ratio		0,47108
Clark Storage Coefficient	HR	8,9754
Clark Time of Concentration	HR	0,81194
Curve Number		39,338
Initial Abstraction	MM	4,1506
Recession Constant		0,2447



Aug 02		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,94
Baseflow Threshold Ratio		0,3773
Clark Storage Coefficient	HR	4,0535
Clark Time of Concentration	HR	0,30139
Curve Number		36,564
Initial Abstraction	MM	7,3587
Recession Constant		0,6733

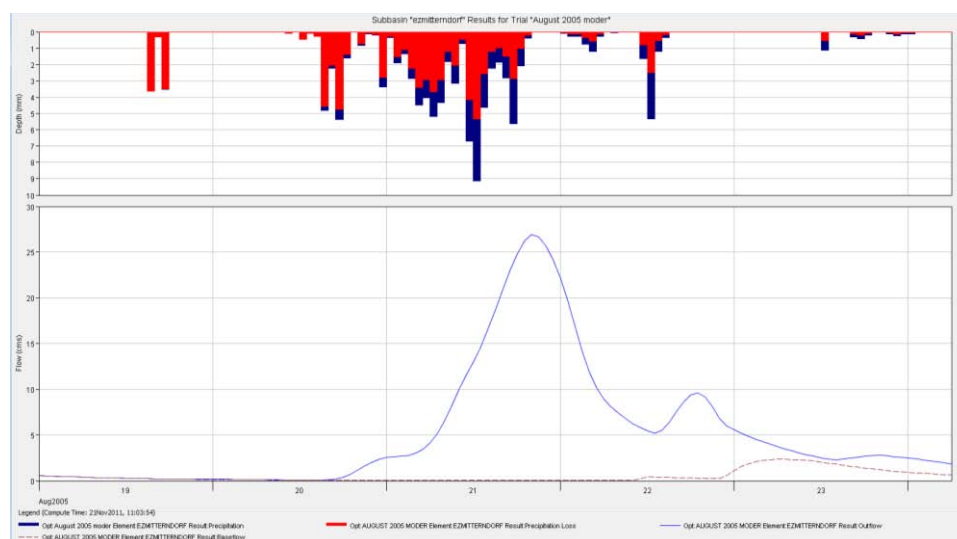
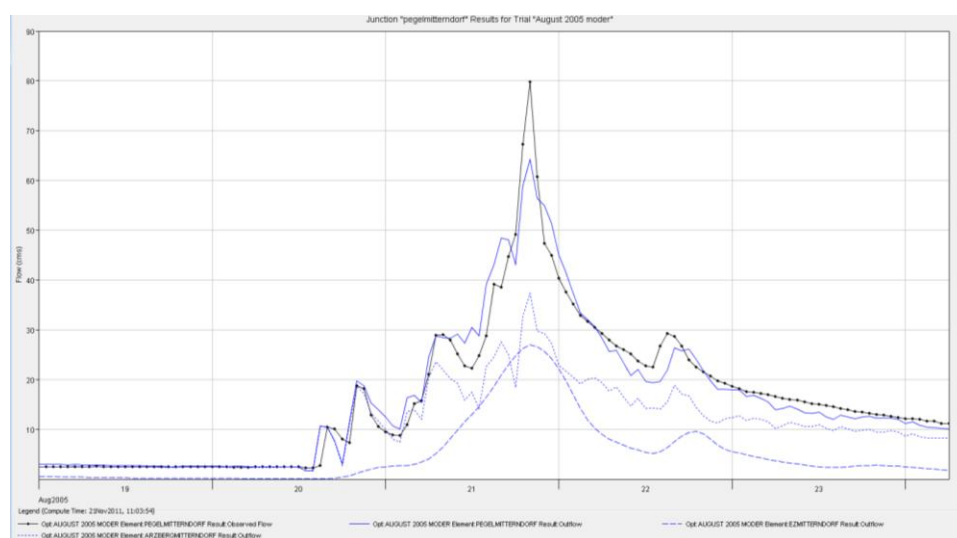


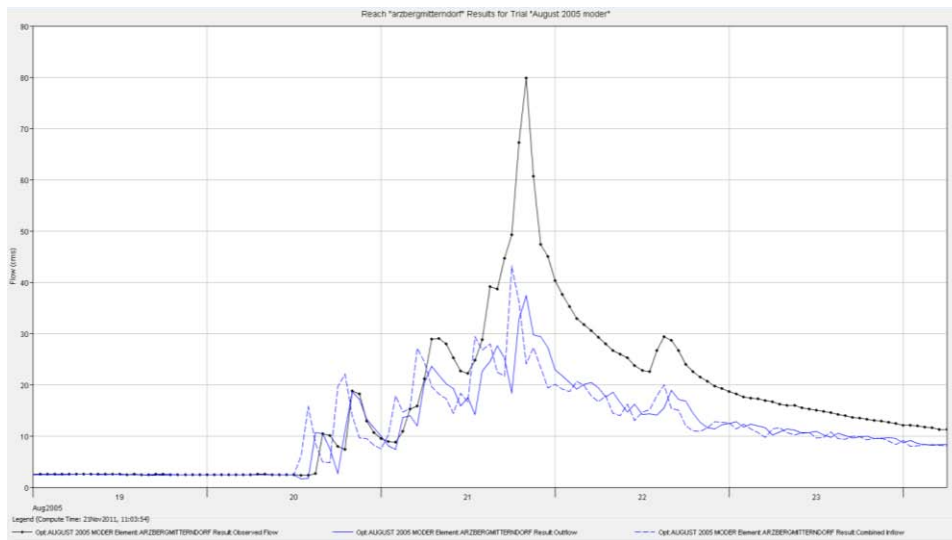
Mittelwert , Standartabweichung und Median aus den oben Angeführten Hochwasserereignissen

Arzberg					
			Mittelwert	Standartabweichung	Median
Baseflow Initial Flow	M3/S		0,56	0,19	0,45
Baseflow Threshold Ratio			0,41	0,04	0,40
Clark Storage Coefficient	HR		9,32	2,81	10,19
Clark Time of Concentration	HR		0,89	0,33	0,93
Curve Number			37,75	1,86	37,95
Initial Abstraction			5,65	1,36	5,54
Recession Constant			0,60	0,18	0,70

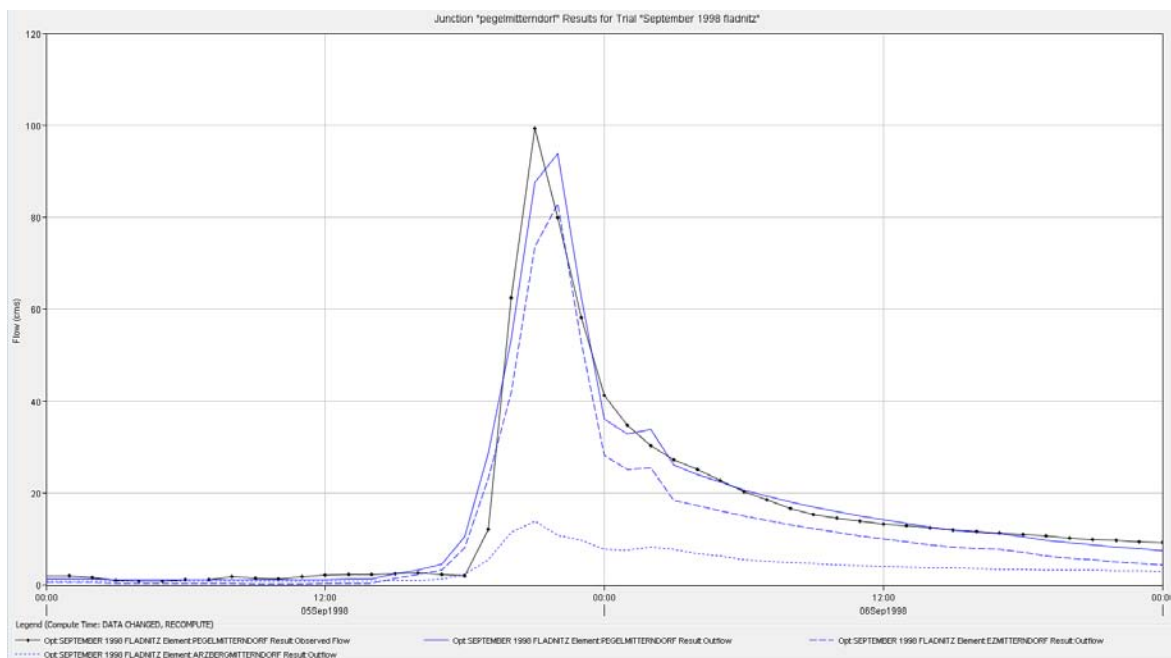
Mitterndorf/Raab

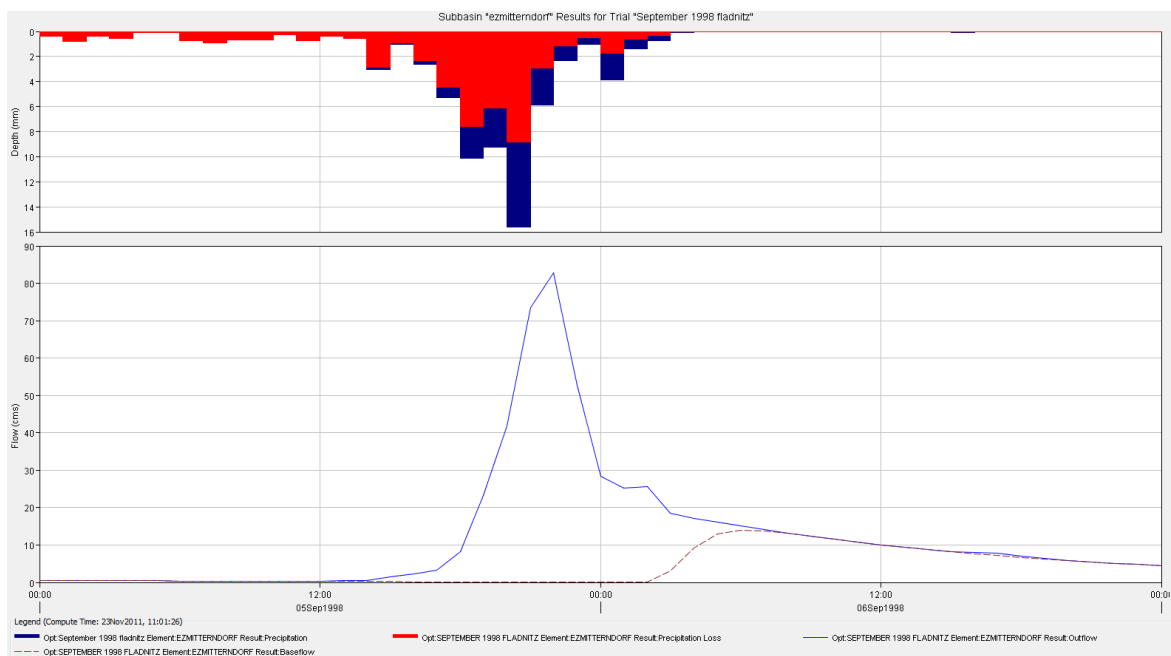
Aug 05		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,555
Baseflow Threshold Ratio		0,227175
Clark Storage Coefficient	HR	5,2617
Clark Time of Concentration	HR	7,9686
Curve Number		55,375
Initial Abstraction	MM	5,2359
Recession Constant		0,19909
Muskingum K	HR	2,3708
Muskingum X		0,39895



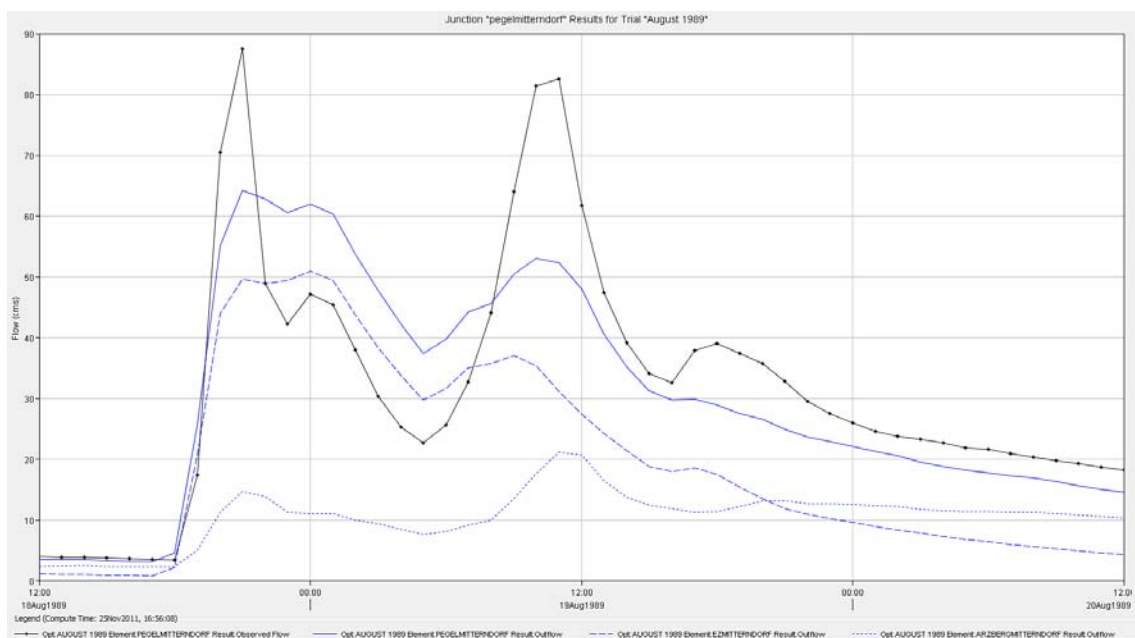


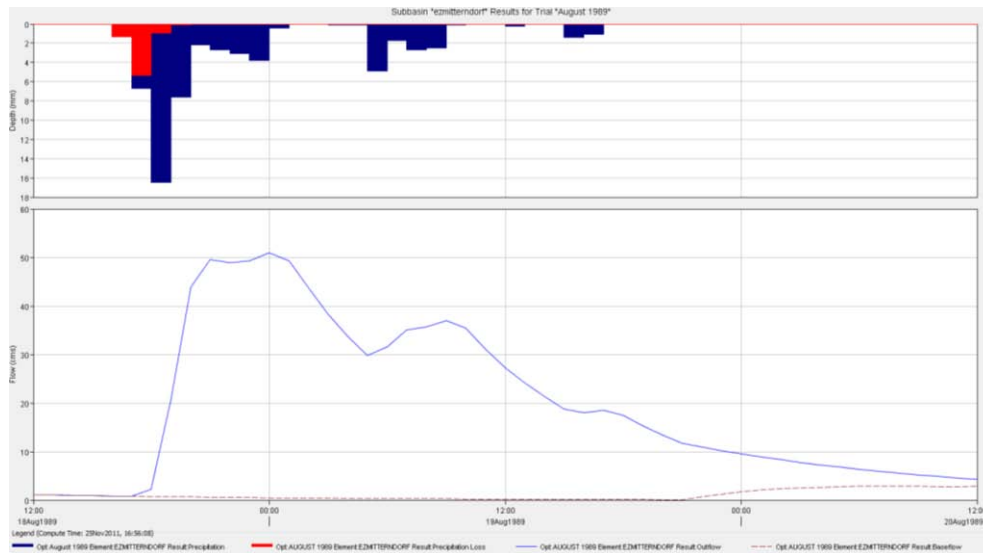
Sep 98		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,555
Baseflow Threshold Ratio		0,227175
Clark Storage Coefficient	HR	1,0002
Clark Time of Concentration	HR	0,46676
Curve Number		66,763
Initial Abstraction	MM	4,72
Recession Constant		0,19909
Muskingum K	HR	0,29445
Muskingum X		0,5



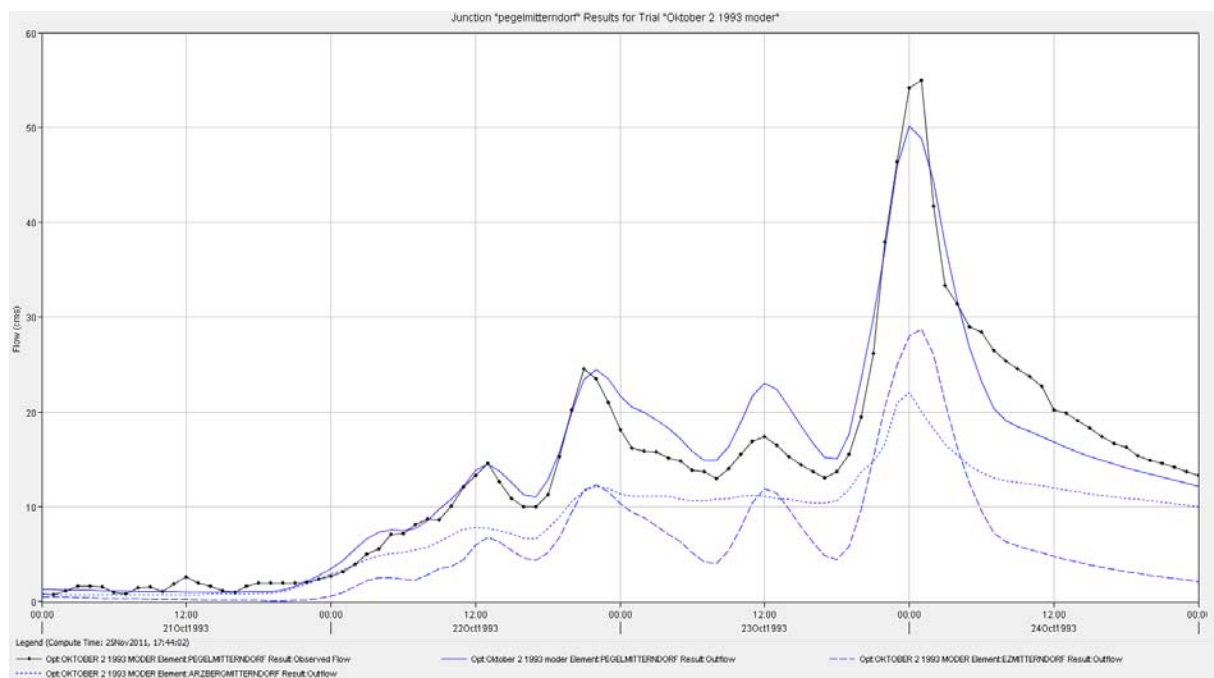


Aug 89		
Baseflow Initial Flow	M3/S	1,1
Baseflow Threshold Ratio		0,227175
Clark Storage Coefficient	HR	7,5537
Clark Time of Concentration	HR	1,0401
Curve Number		99
Initial Abstraction	MM	5,3441
Recession Constant		0,19909
Muskingum K	HR	0,67464
Muskingum X		0,16688

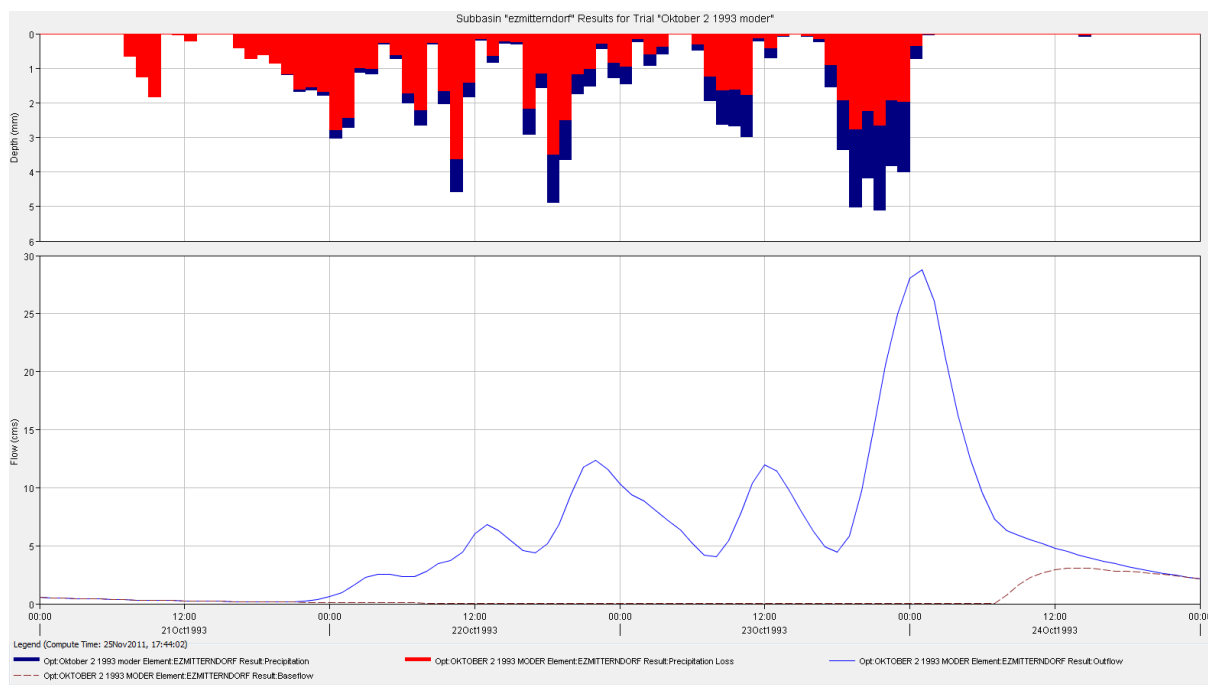




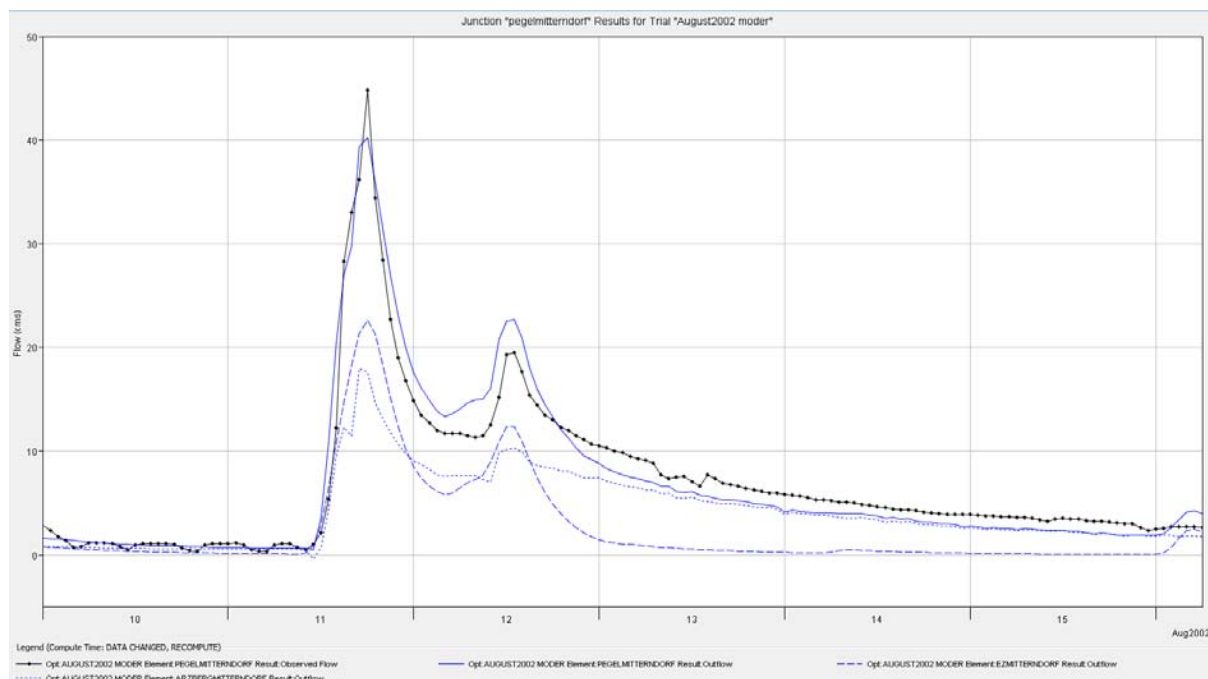
Oktober 1993 2		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,555
Baseflow Threshold Ratio		0,227175
Clark Storage Coefficient	HR	3,7805
Clark Time of Concentration	HR	2,4991
Curve Number		55,112
Initial Abstraction	MM	5,3576
Recession Constant		0,19909
Muskingum K	HR	2,5002
Muskingum X		0,40896

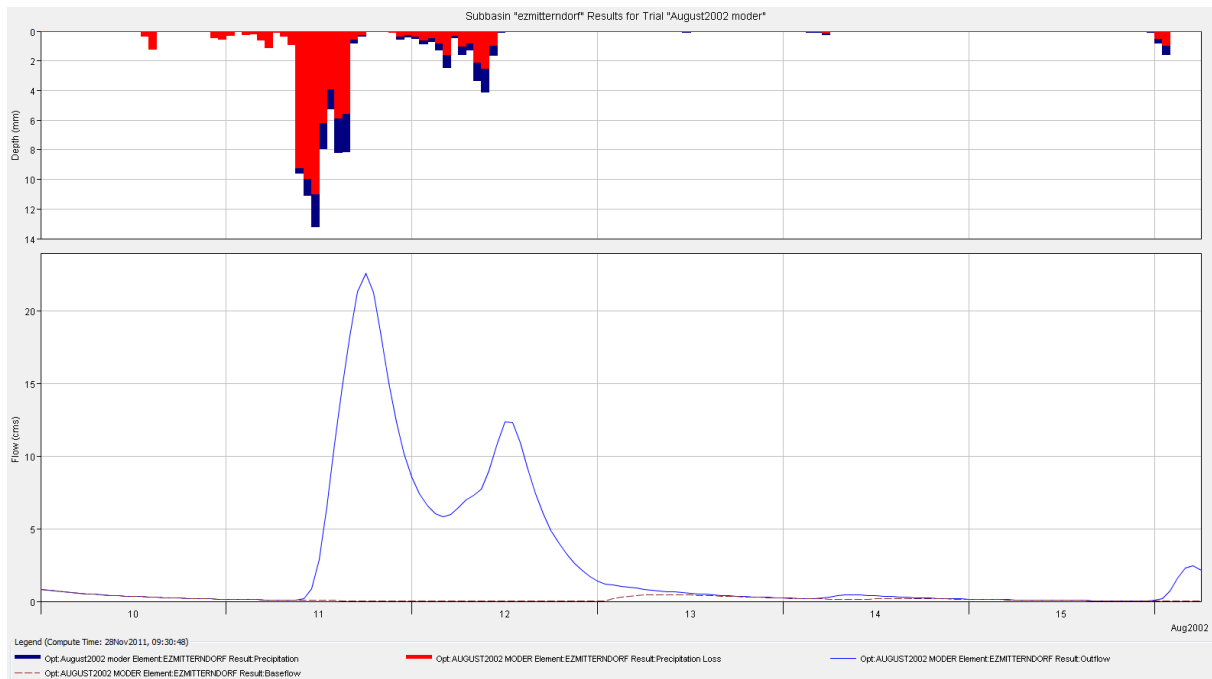


Anhang B – Modellerte Niederschlagsereignisse



Aug 02		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,8
Baseflow Threshold Ratio		0,054152
Clark Storage Coefficient	HR	4,977
Clark Time of Concentration	HR	3,7454
Curve Number		47,139
Initial Abstraction	MM	5,3577
Recession Constant		0,18075
Muskingum K	HR	2,5896
Muskingum X		0,41467





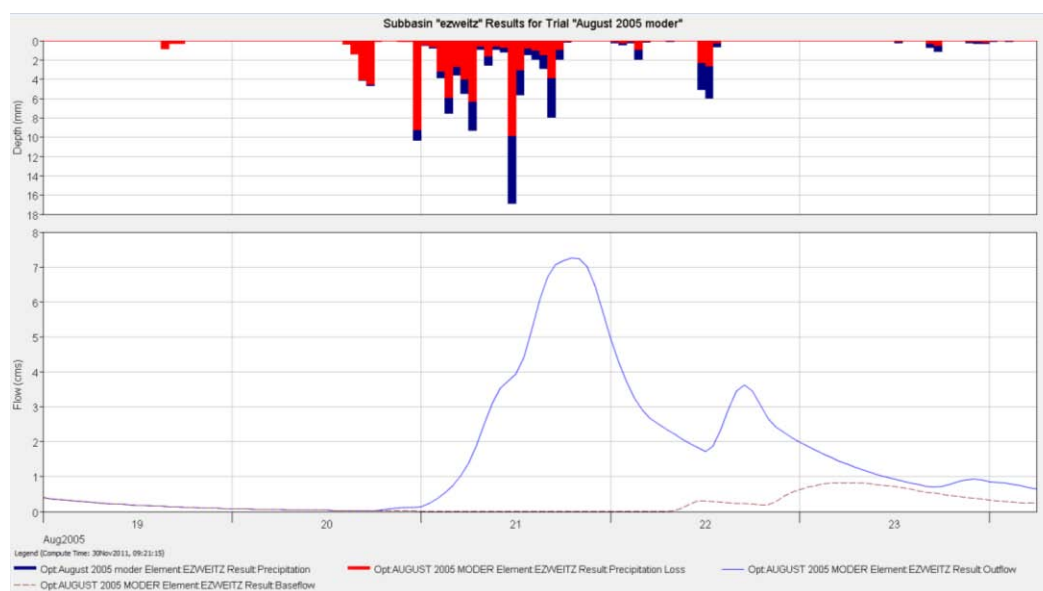
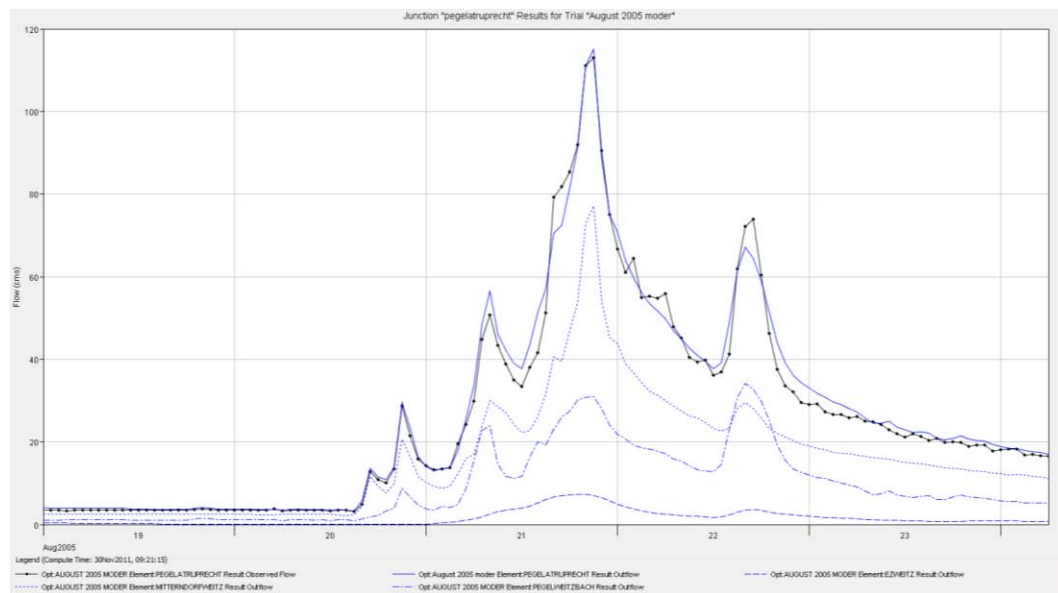
Mittelwert , Standartabweichung und Median aus den oben Angeführten Hochwasserereignissen

Mitterndorf					
			Mittelwert	Standartabweichung	Median
Baseflow Initial Flow	M3/S		0,6163	0,0919	0,5550
Baseflow Threshold Ratio			0,1839	0,0649	0,2272
Clark Storage Coefficient	HR		3,7549	1,3773	4,3788
Clark Time of Concentration	HR		3,6700	2,1870	3,1223
Curve Number			56,0973	5,3329	55,2435
Recession Constant			0,1945	0,2239	5,2968
Initial Abstraction			5,1678	0,0069	0,1991
arzbergmitterndorf	Muskingum K	HR	1,9388	0,8222	2,4355
arzbergmitterndorf	Muskingum X		0,4306	0,0347	0,4118

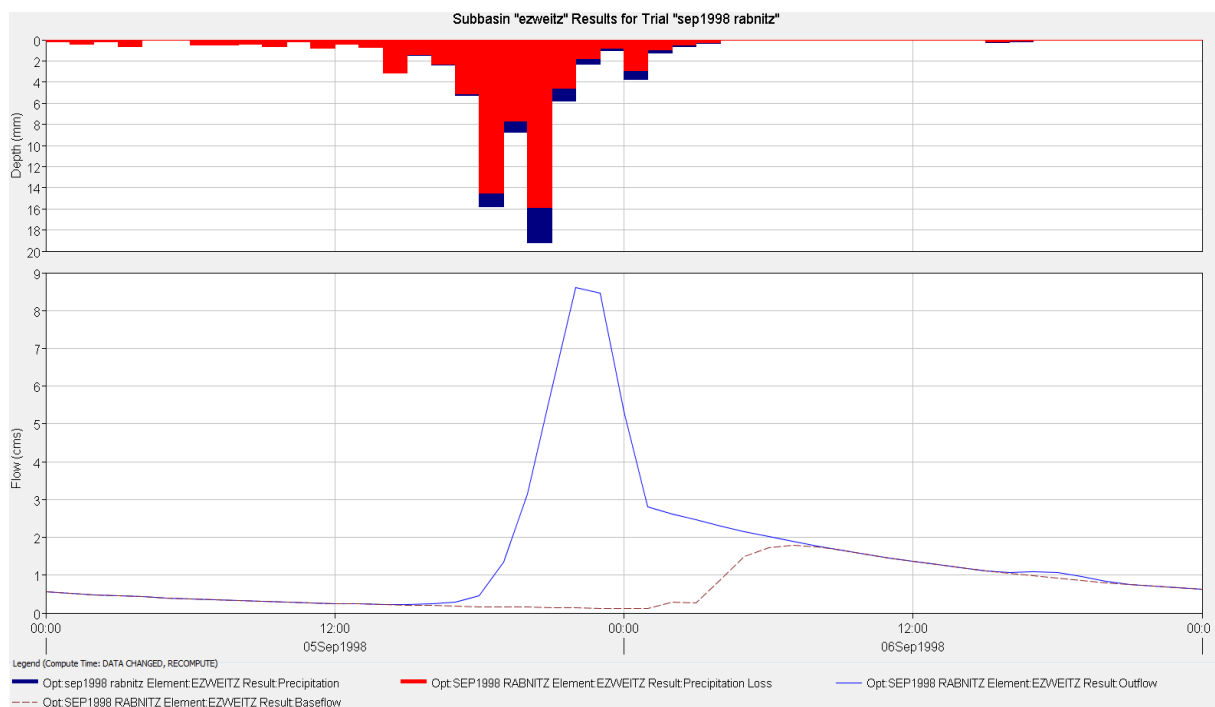
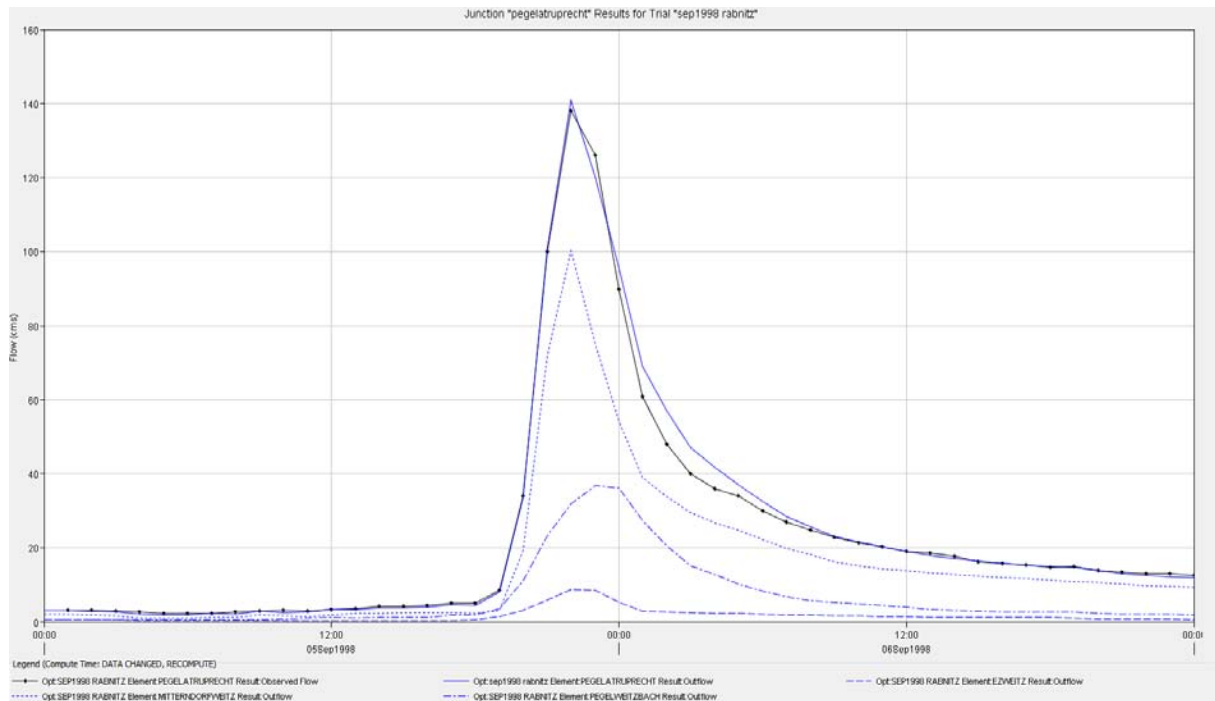
St. Ruprecht/Raab

Aug 05		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,4
Baseflow Threshold Ratio		0,3458
Clark Storage Coefficient	HR	6,8021
Clark Time of Concentration	HR	5,5579
Curve Number		55,677
Initial Abstraction	MM	5,3662
Recession Constant		0,21587

Muskingum K	HR	0,63565
Muskingum X		0,5

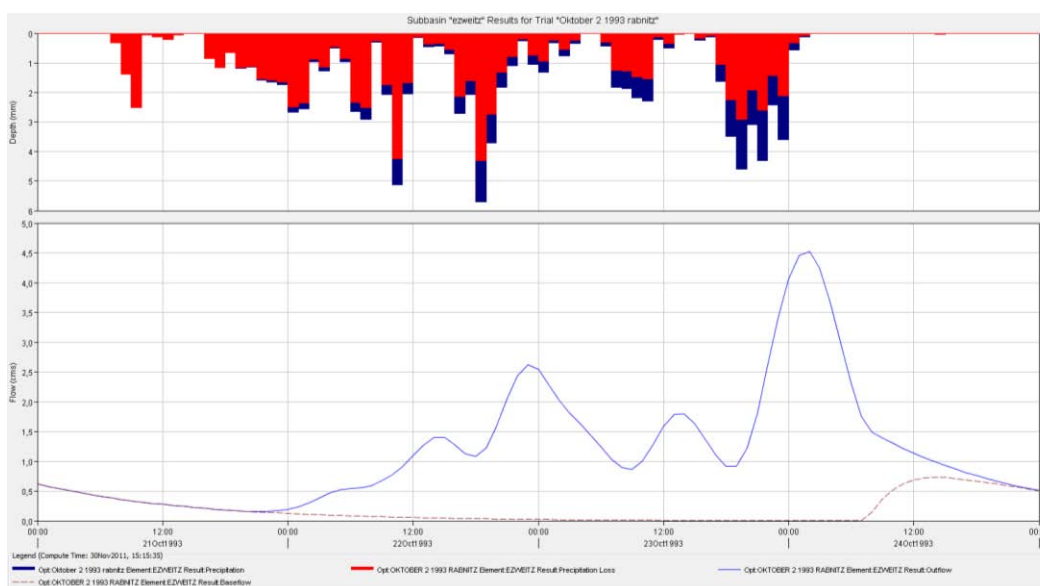
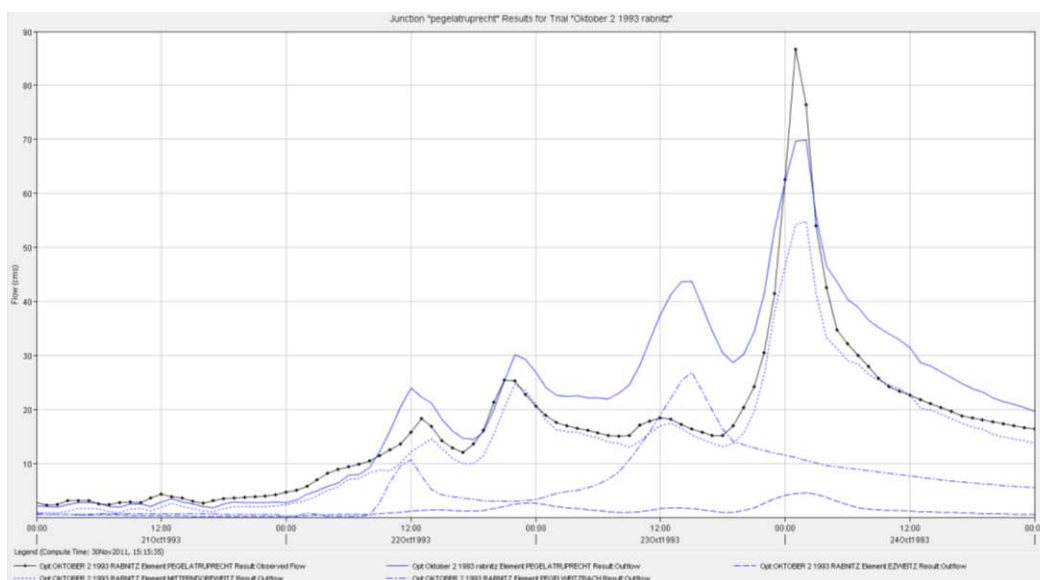


Sep 98		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,555
Baseflow Threshold Ratio		0,3254
Clark Storage Coefficient	HR	0,57299
Clark Time of Concentration	HR	3,0149
Curve Number		35,256
Initial Abstraction	MM	5,3675
Recession Constant		0,20548
Muskingum K	HR	0,78834
Muskingum X		0,5



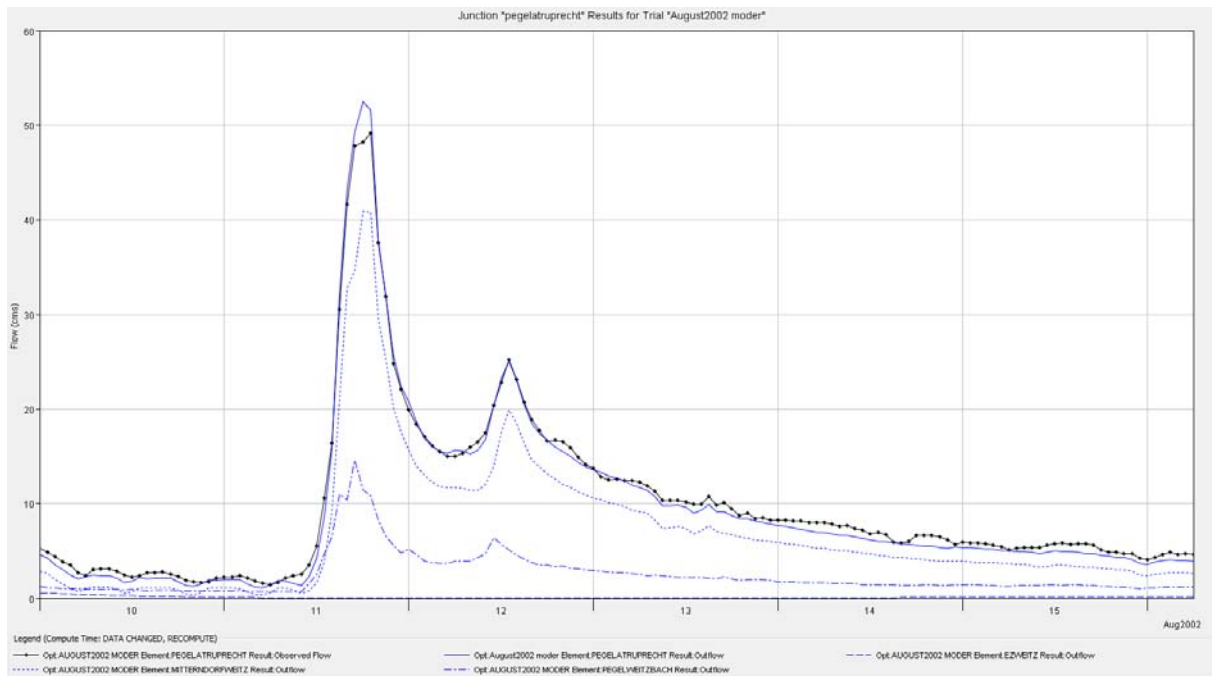
Oktober 1993 2		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,62
Baseflow Threshold Ratio		0,34
Clark Storage Coefficient	HR	3,7501
Clark Time of Concentration	HR	5,043
Curve Number		47,39
Initial Abstraction	MM	5,9542
Recession Constant		0,19909
Muskingum K	HR	0,98296

Muskingum X		0,5
-------------	--	-----



Dieses Ereignis wurde nur zur für die Muskingum Parameter berücksichtigt

Aug 02		
beste anpassung ohne Niederschlag aus EZ		
Baseflow Initial Flow	M3/S	
Baseflow Threshold Ratio		
Clark Storage Coefficient	HR	
Clark Time of Concentration	HR	
Curve Number		
Initial Abstraction	MM	
Recession Constant		
Muskingum K	HR	0,39089
Muskingum X		0,3

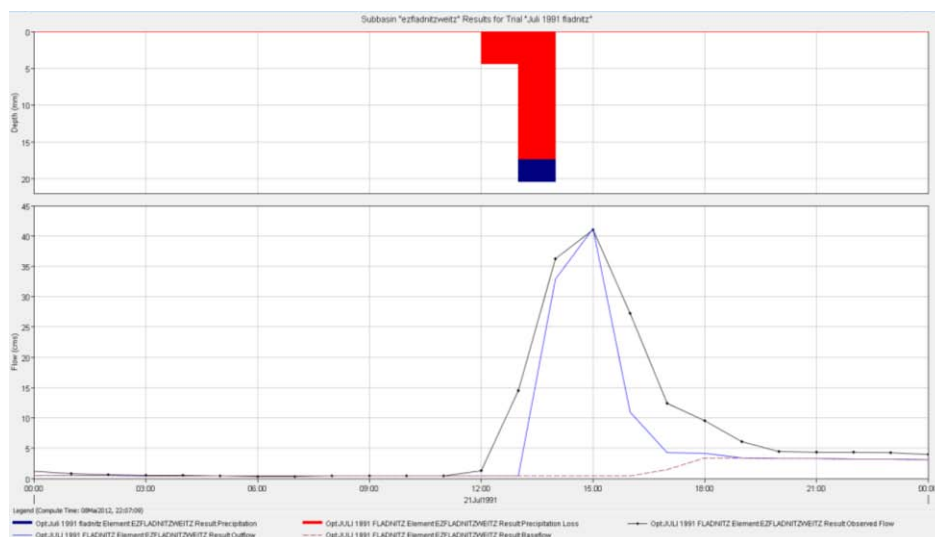


Mittelwert , Standartabweichung und Median aus den oben Angeführten Hochwasserereignissen

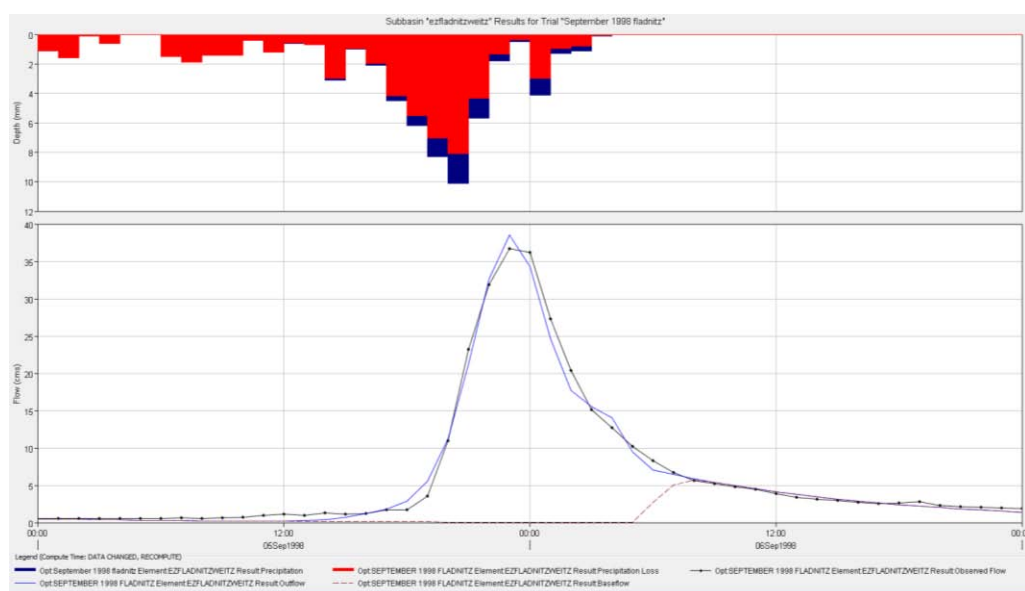
St. Ruprecht					
			Mittelwert	Standartabweichung	Median
Baseflow Initial Flow	M3/S		0,5250	0,0833	0,5550
Baseflow Threshold Ratio			0,3371	0,0078	0,3400
Clark Storage Coefficient	HR		3,7084	2,0903	3,7501
Clark Time of Concentration	HR		4,5386	1,0158	5,0430
Curve Number			46,1077	7,2344	47,3900
Initial Abstraction			5,5626	0,2610	5,3675
Recession Constant			0,2068	0,0060	0,2055
arzbergmitterndorf	Muskingum K	HR	0,8023	0,1204	0,7883
arzbergmitterndorf	Muskingum X		0,5000	0,0000	0,5000

St.Ruprecht/Weizbach

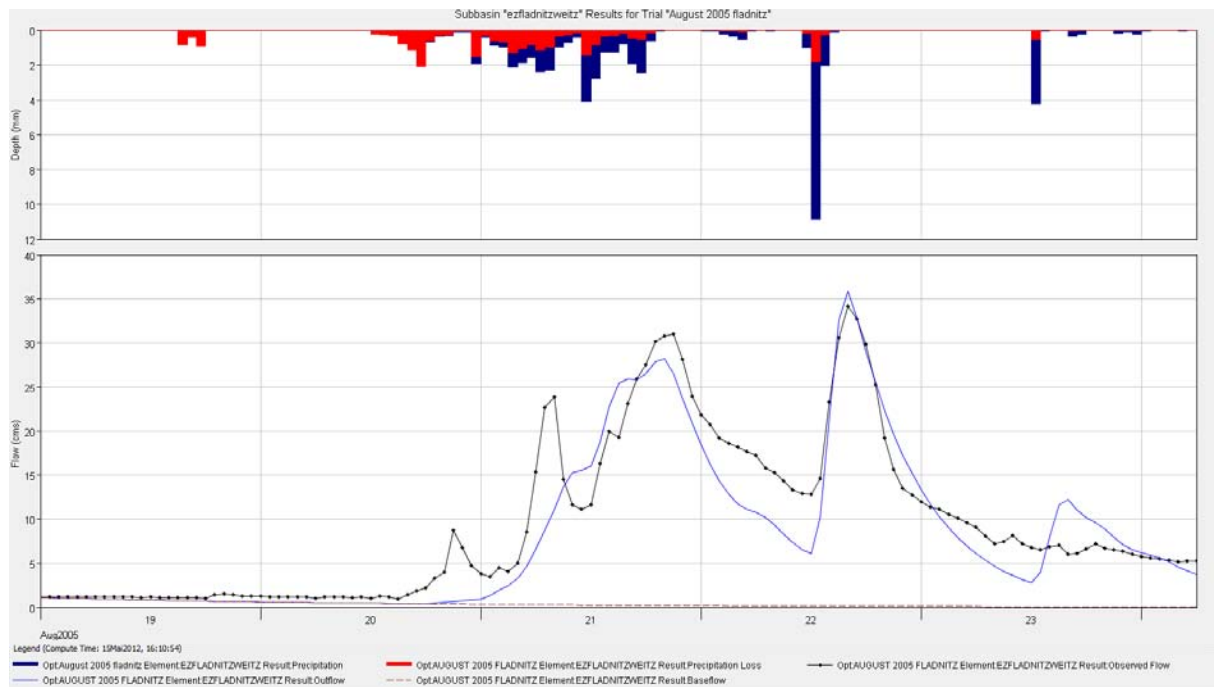
Jul 91		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,5
Baseflow Threshold Ratio		0,10247
Clark Storage Coefficient	HR	0,8496
Clark Time of Concentration	HR	1
Curve Number		67,384
Initial Abstraction	MM	3,6157
Recession Constant		0,7



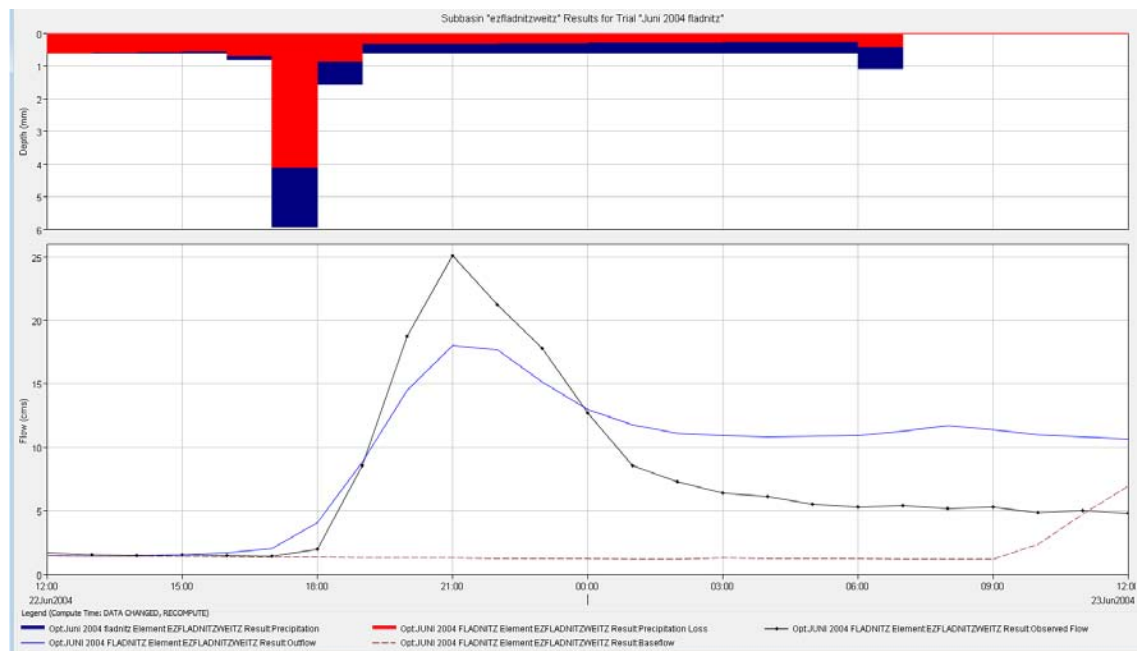
Sep 98		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,5
Baseflow Threshold Ratio		0,19417
Clark Storage Coefficient	HR	0,58299
Clark Time of Concentration	HR	4,2052
Curve Number		46,994
Initial Abstraction	MM	8,8173
Recession Constant		0,11536



Aug 05		
Baseflow Initial Flow	M3/S	1,066
Baseflow Threshold Ratio		0,0674482
Clark Storage Coefficient	HR	7,722
Clark Time of Concentration	HR	3,1544
Curve Number		89,701
Initial Abstraction	MM	6,23
Recession Constant		0,5545

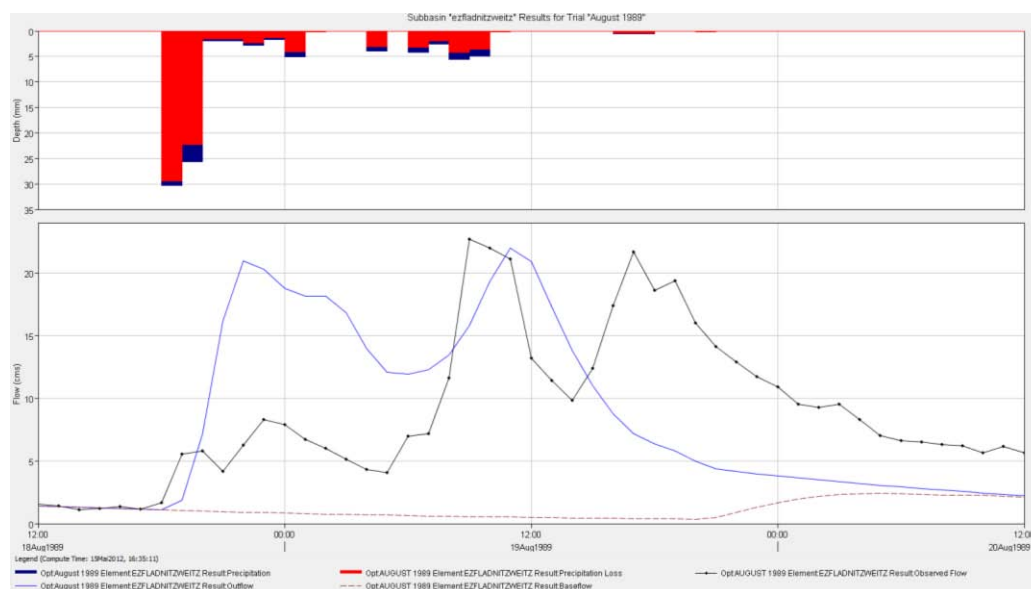


Jun 04		
Baseflow Initial Flow	M3/S	1,458
Baseflow Threshold Ratio		0,61491
Clark Storage Coefficient	HR	1,9861
Clark Time of Concentration	HR	4,2766
Curve Number		89,997
Initial Abstraction	MM	0,456
Recession Constant		0,7

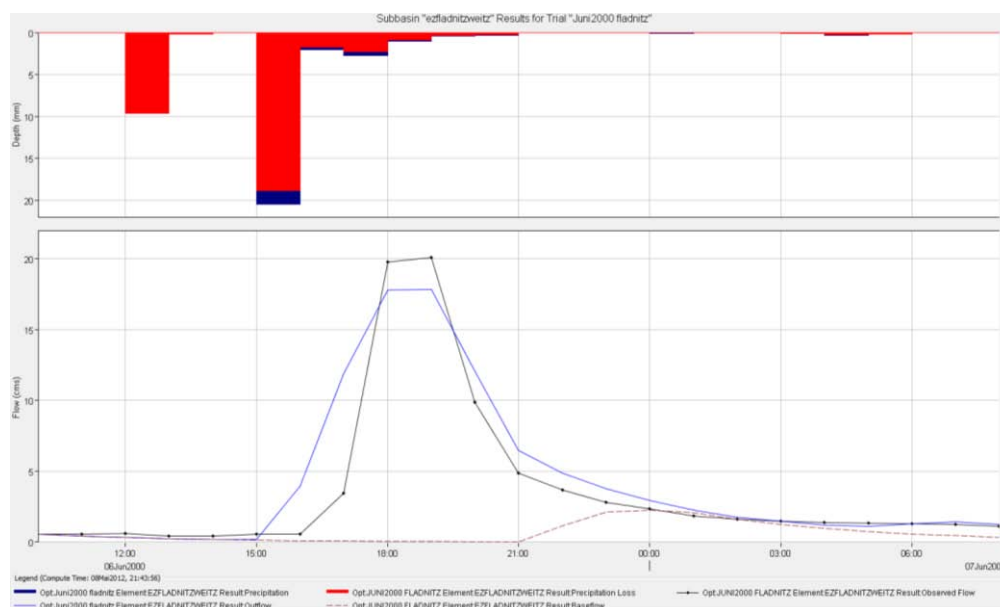


Aug 89		
Baseflow Initial Flow	M3/S	1,42

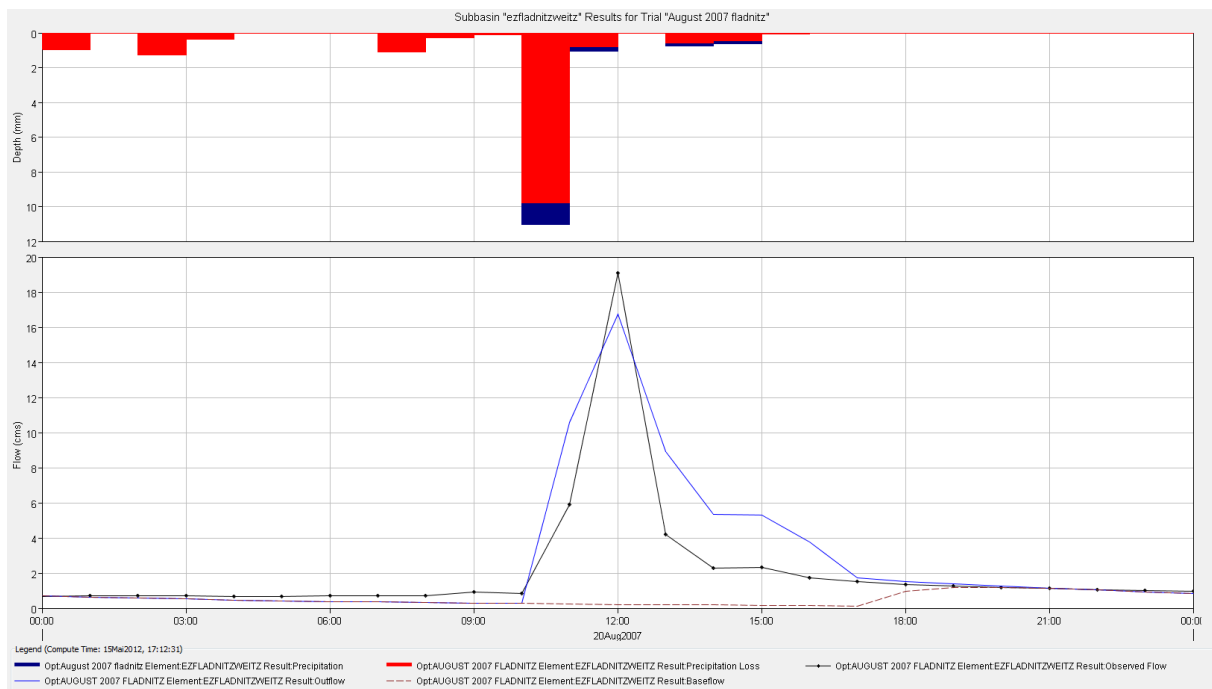
Baseflow Threshold Ratio		0,2
Clark Storage Coefficient	HR	4,2828
Clark Time of Concentration	HR	2,5591
Curve Number		36,351
Initial Abstraction	MM	10,858
Recession Constant		0,345



Jun 00		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,58
Baseflow Threshold Ratio		0,34179
Clark Storage Coefficient	HR	0,54924
Clark Time of Concentration	HR	3,985
Curve Number		49,242
Initial Abstraction	MM	8,9878
Recession Constant		0,0022568



Aug 07		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,69
Baseflow Threshold Ratio		0,098462
Clark Storage Coefficient	HR	1,1582
Clark Time of Concentration	HR	0,85837
Curve Number		77,858
Initial Abstraction	MM	5,1033
Recession Constant		0,0921811

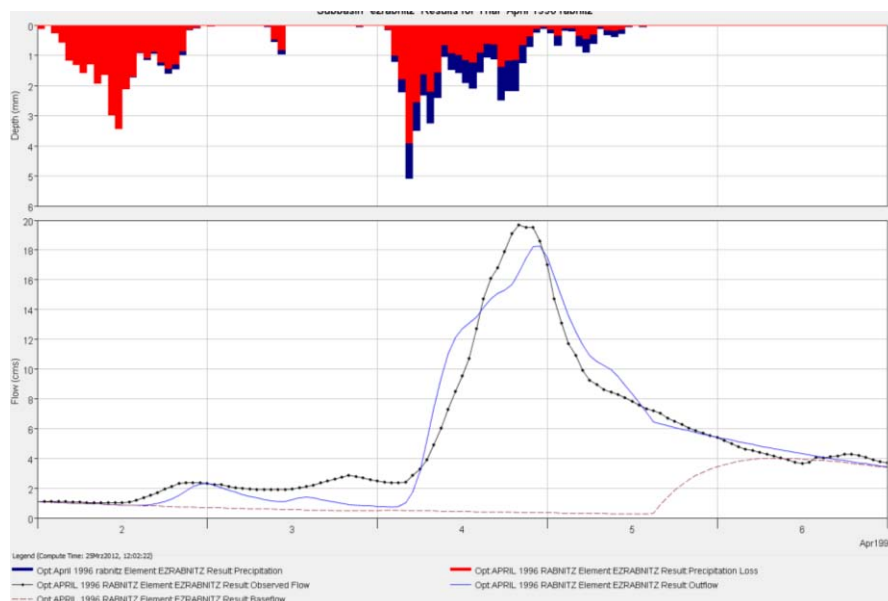


Mittelwert , Standartabweichung und Median aus den oben Angeführten Hochwasserereignissen

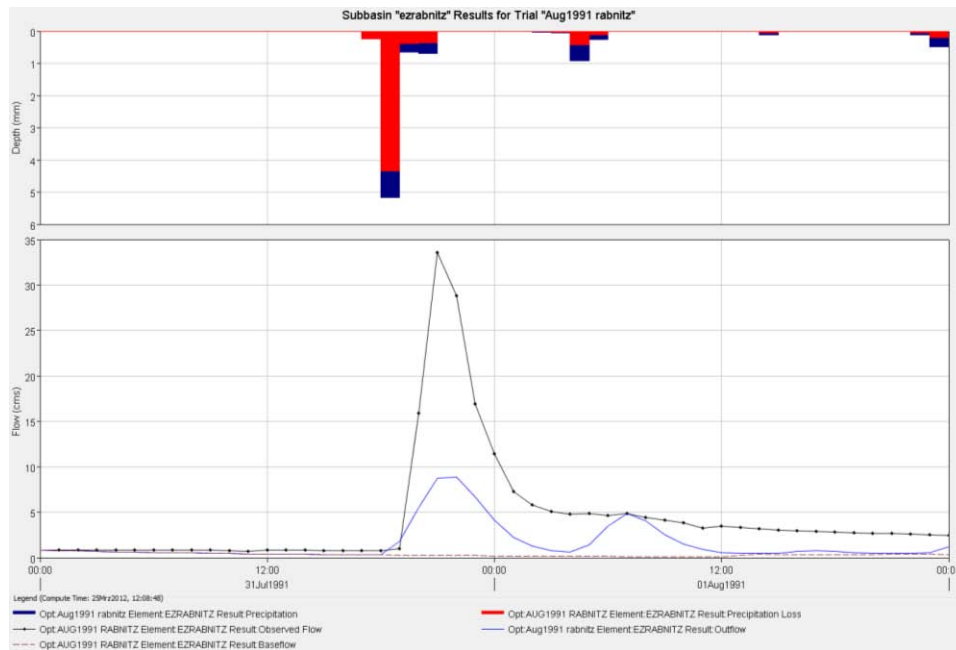
Fladnitz					
			Mittelwert	Standartabweichung	Median
Baseflow Initial Flow	M3/S		1,15	0,74	0,58
Baseflow Threshold Ratio			0,24	0,09	0,20
Clark Storage Coefficient	HR		3,47	3,37	0,85
Clark Time of Concentration	HR		2,61	1,19	2,56
Curve Number			50,12	7,11	49,24
Initial Abstraction			7,57	2,38	8,82
Recession Constant			0,41	0,31	0,35

Flöcking/Rabnitzbach

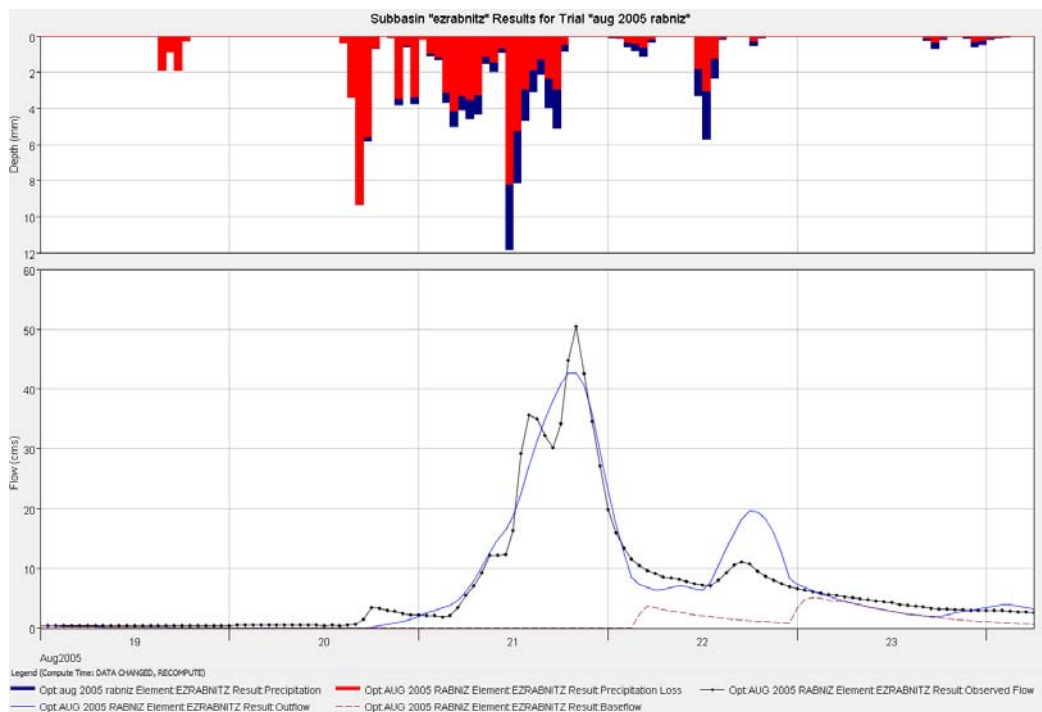
Apr 96		
Baseflow Initial Flow	M3/S	1,1
Baseflow Threshold Ratio		0,35358
Clark Storage Coefficient	HR	7,8847
Clark Time of Concentration	HR	4,408
Curve Number		66,223
Recession Constant		0,63271
Initial Abstraction	MM	18,292



Aug 91		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,82
Baseflow Threshold Ratio		0,0609525
Clark Storage Coefficient	HR	1,5863
Clark Time of Concentration	HR	2,9306
Curve Number		95,512
Recession Constant		0,253
Initial Abstraction	MM	1,8036

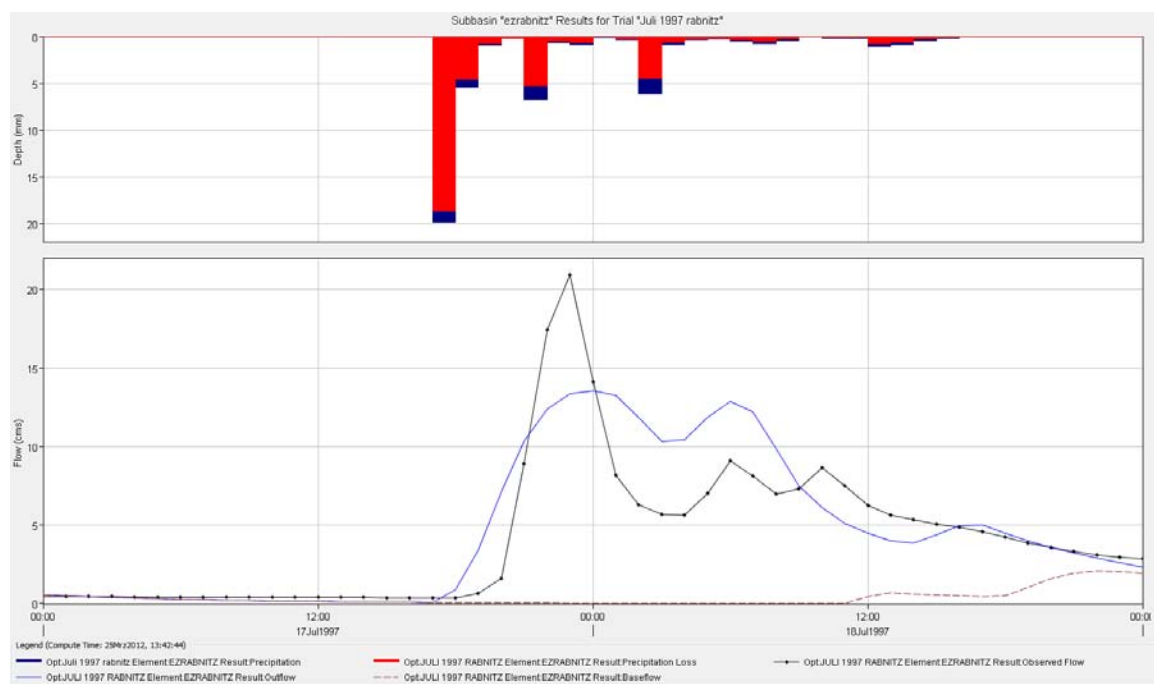


Aug 05		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,45
Baseflow Threshold Ratio		0,18492
Clark Storage Coefficient	HR	1,002
Clark Time of Concentration	HR	10,227
Curve Number		49,665
Recession Constant		0,14887
Initial Abstraction	MM	15,189

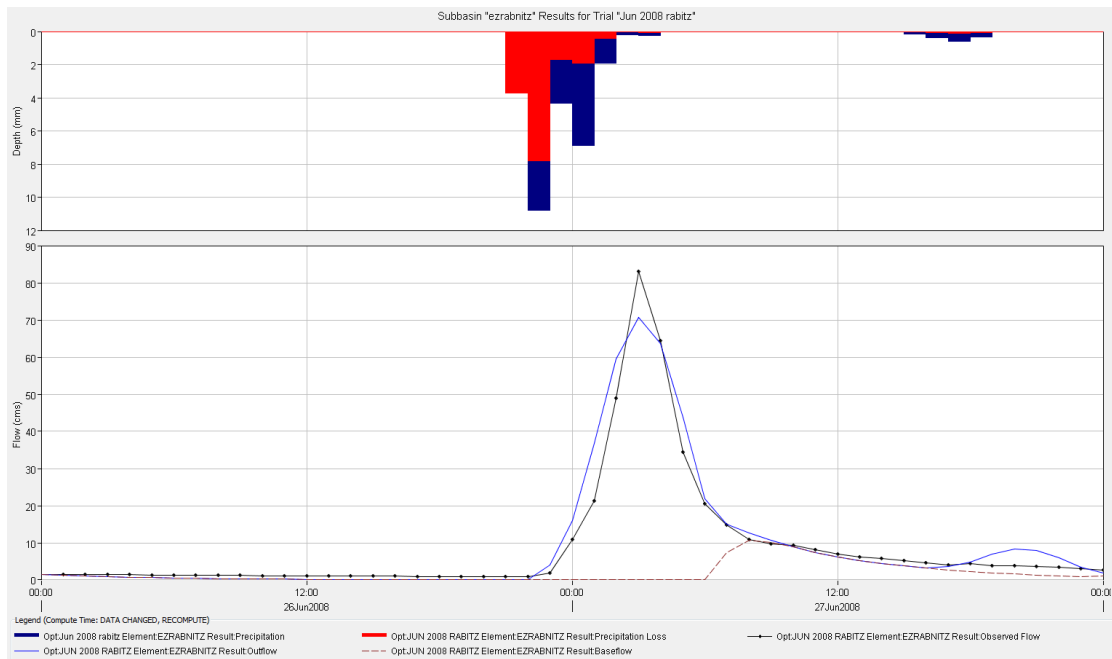


Jul 97

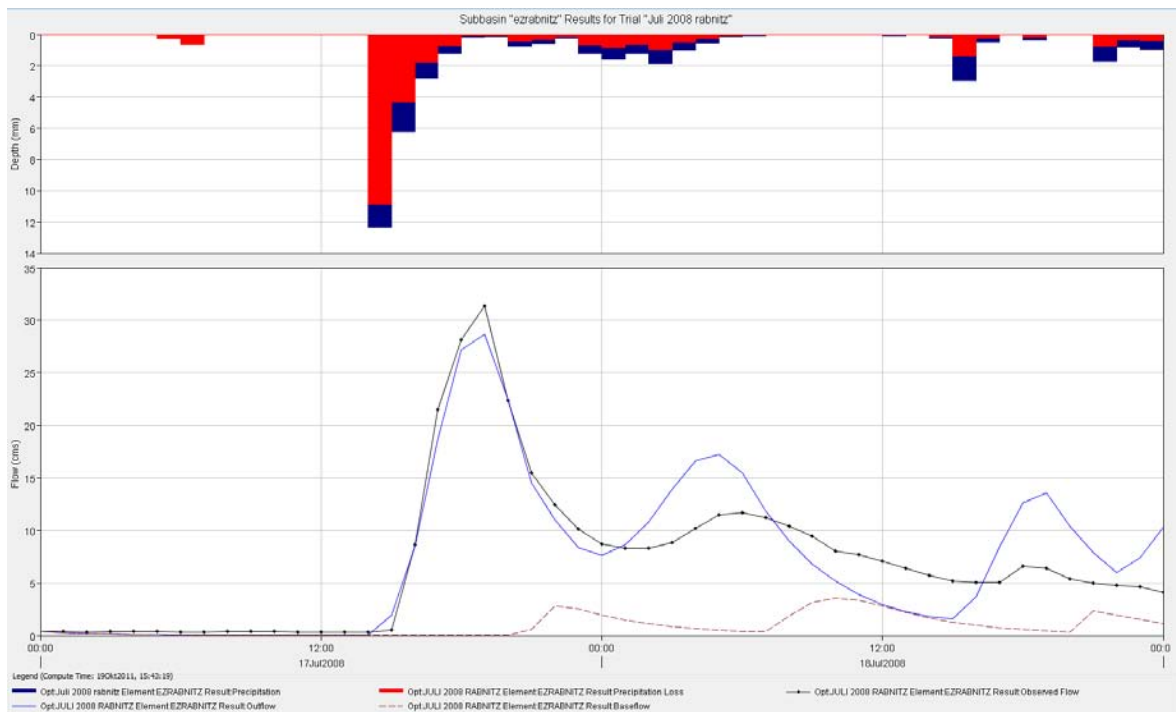
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,55
Baseflow Threshold Ratio		0,36229
Clark Storage Coefficient	HR	2,2259
Clark Time of Concentration	HR	5,1406
Curve Number		56,428
Recession Constant		0,0729811
Initial Abstraction	MM	4,0676



Jun 08		
Baseflow Initial Flow	M3/S	1,55
Baseflow Threshold Ratio		0,23755
Clark Storage Coefficient	HR	0,76696
Clark Time of Concentration	HR	4,8992
Curve Number		93,105
Recession Constant		0,0158096
Initial Abstraction	MM	5,33

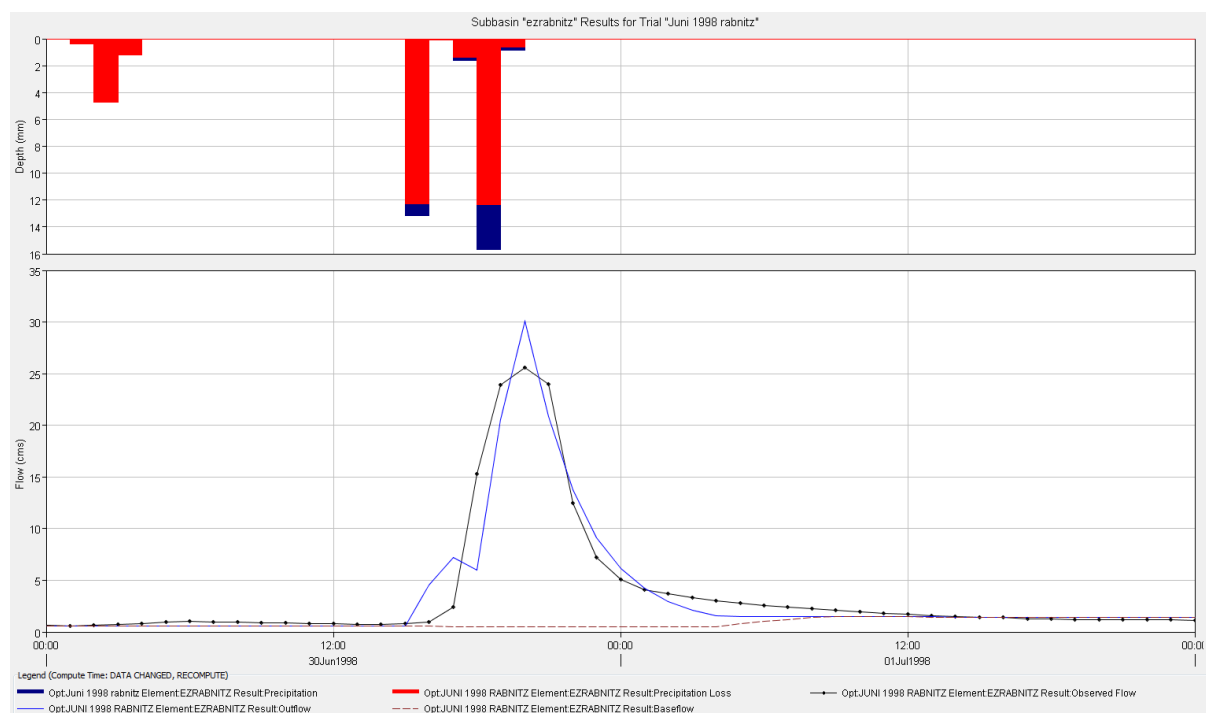


Jul 08		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,35
Baseflow Threshold Ratio		0,52416
Clark Storage Coefficient	HR	0,95809
Clark Time of Concentration	HR	4,5379
Curve Number		78,963
Recession Constant		0,0013554
Initial Abstraction	MM	2,6691

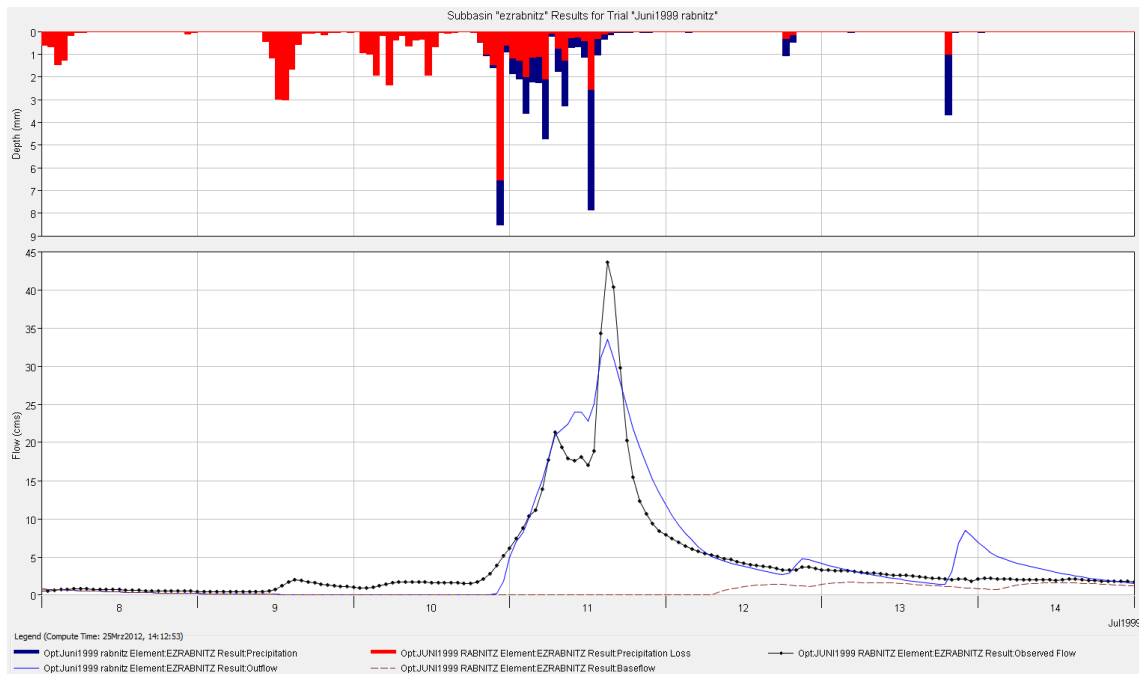


Jul 98

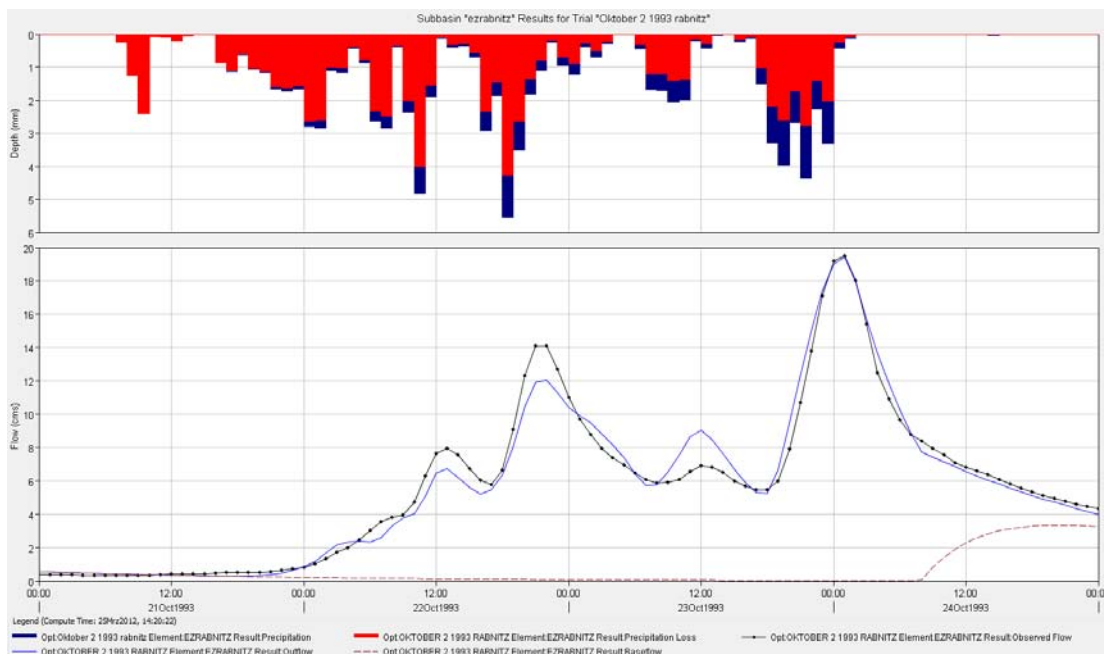
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,55
Baseflow Threshold Ratio		0,048871
Clark Storage Coefficient	HR	2,3612
Clark Time of Concentration	HR	0,97499
Curve Number		59,483
Recession Constant		0,9585
Initial Abstraction	MM	6,7492



Jul 99		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,83
Baseflow Threshold Ratio		0,15039
Clark Storage Coefficient	HR	7,9335
Clark Time of Concentration	HR	2,2453
Curve Number		82,141
Recession Constant		0,24931
Initial Abstraction	MM	25,498

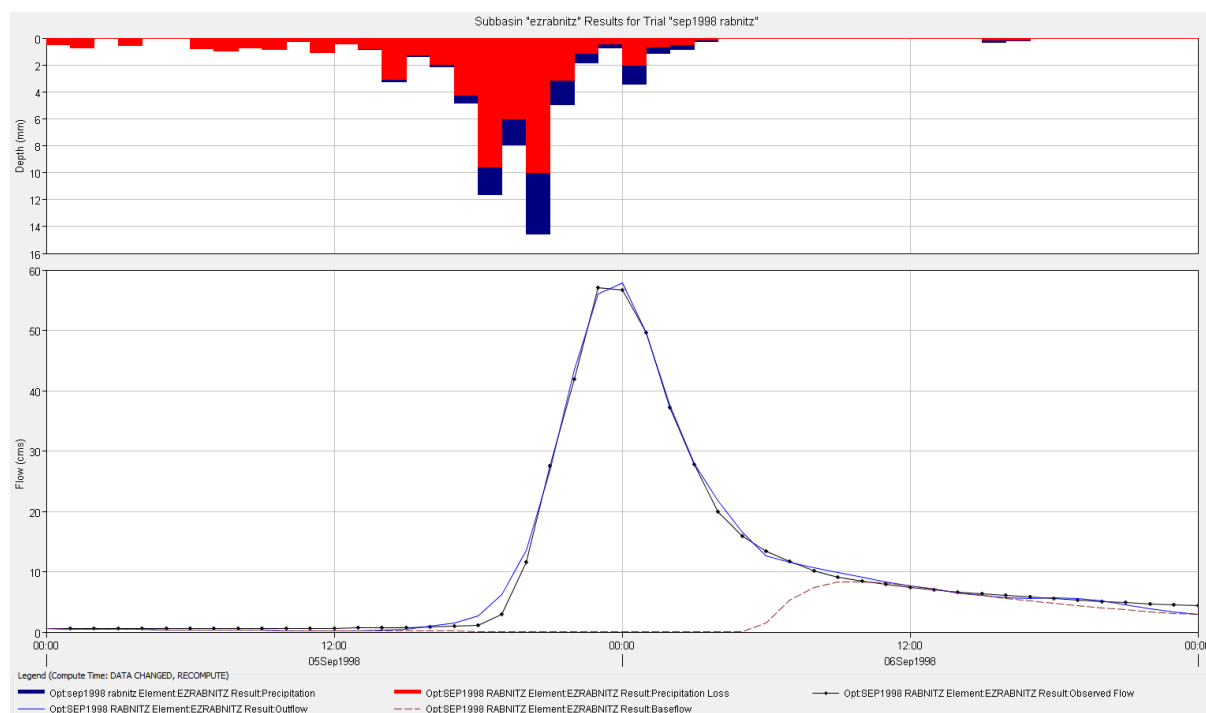


Okt 93		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,55
Baseflow Threshold Ratio		0,40011
Clark Storage Coefficient	HR	7,0043
Clark Time of Concentration	HR	1,6401
Curve Number		45,241
Recession Constant		0,37233
Initial Abstraction	MM	4,6327



Sep 98		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,56

Baseflow Threshold Ratio		0,2229
Clark Storage Coefficient	HR	1,3189
Clark Time of Concentration	HR	4,7519
Curve Number		56,156
Recession Constant		0,14093
Initial Abstraction	MM	4,9



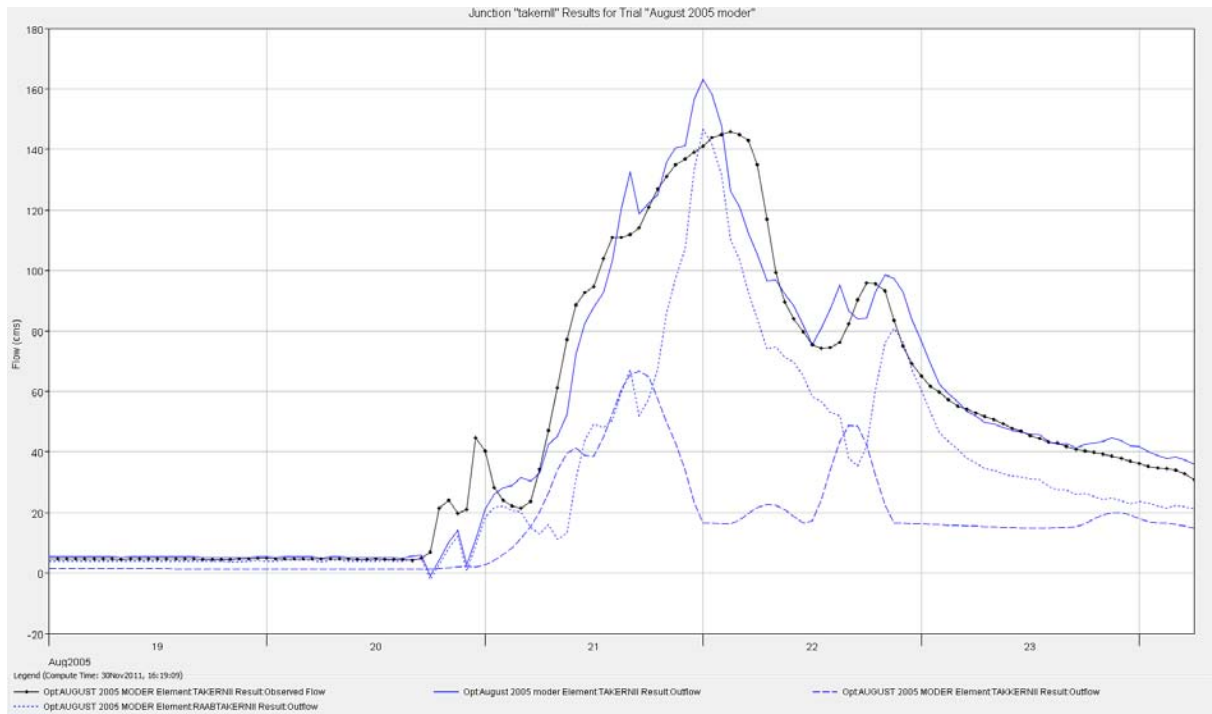
Mittelwert , Standartabweichung und Median aus den oben Angeführten Hochwasserereignissen

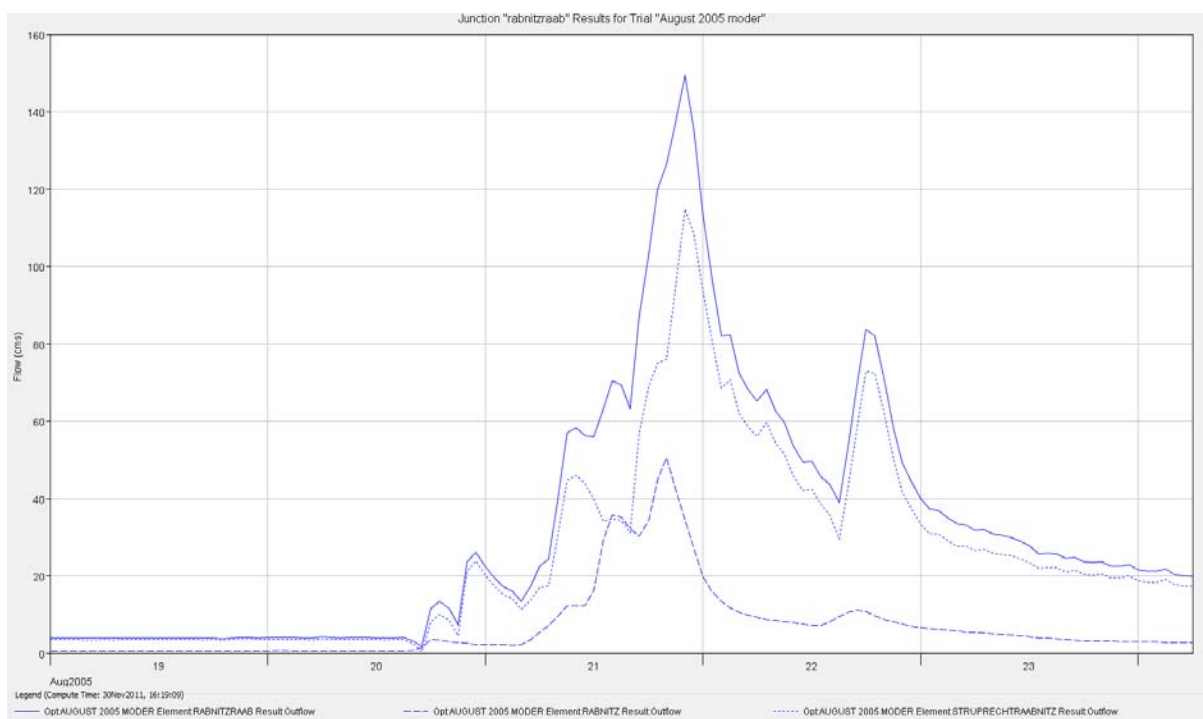
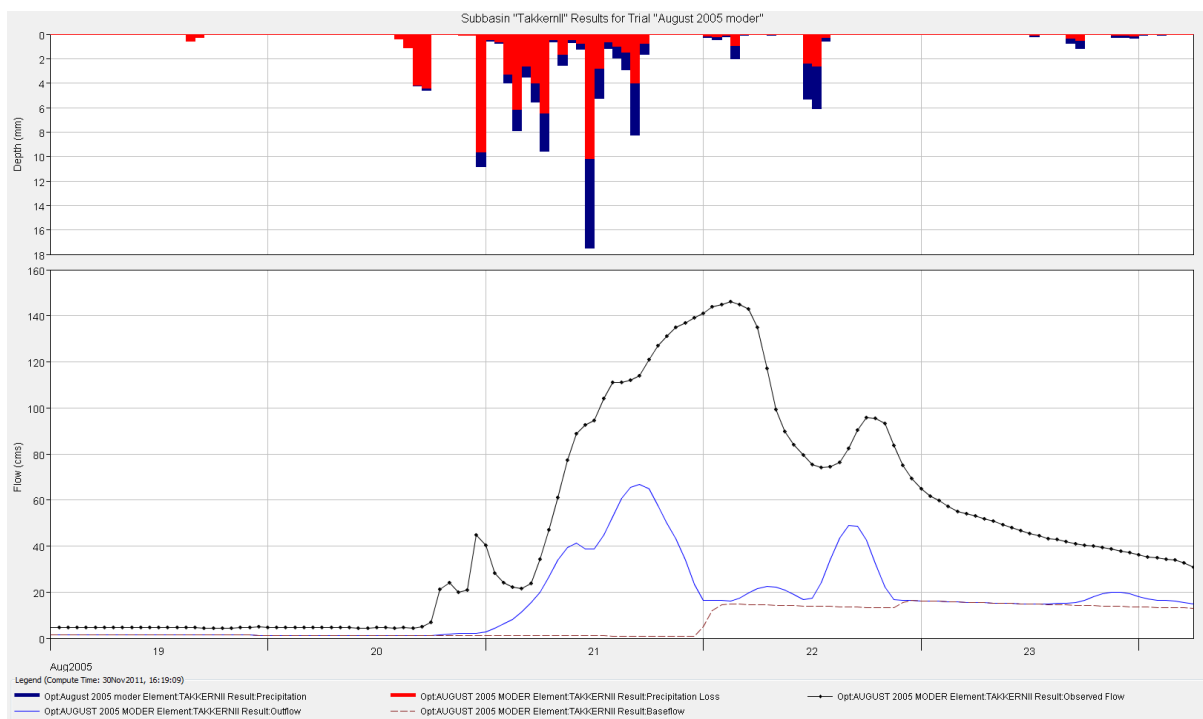
Rabnitzbach					
			Mittelwert	Standartabweichung	Median
Baseflow Initial Flow	M3/S		0,63	0,28	0,56
Baseflow Threshold Ratio			0,26	0,12	0,23
Clark Storage Coefficient	HR		3,63	2,58	1,91
Clark Time of Concentration	HR		4,52	1,78	4,47
Curve Number			55,53	15,31	62,85
Recession Constant			0,39	3,18	0,31
Initial Abstraction			8,97	6,01	4,35

Takern II/Raab

Aug 05		
Baseflow Initial Flow	M3/S	1,5
Baseflow Threshold Ratio		0,24924

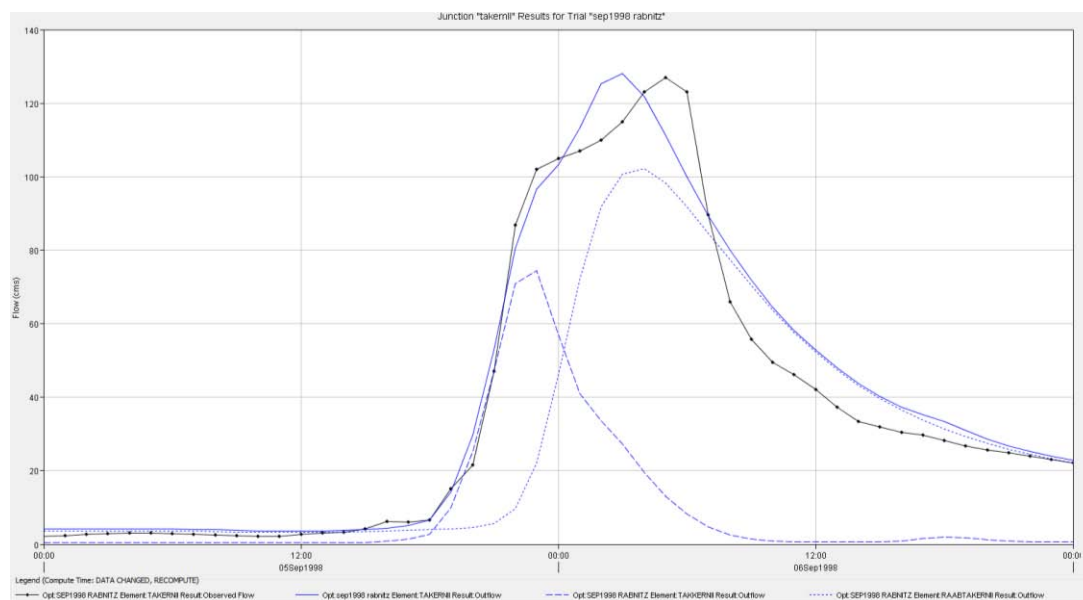
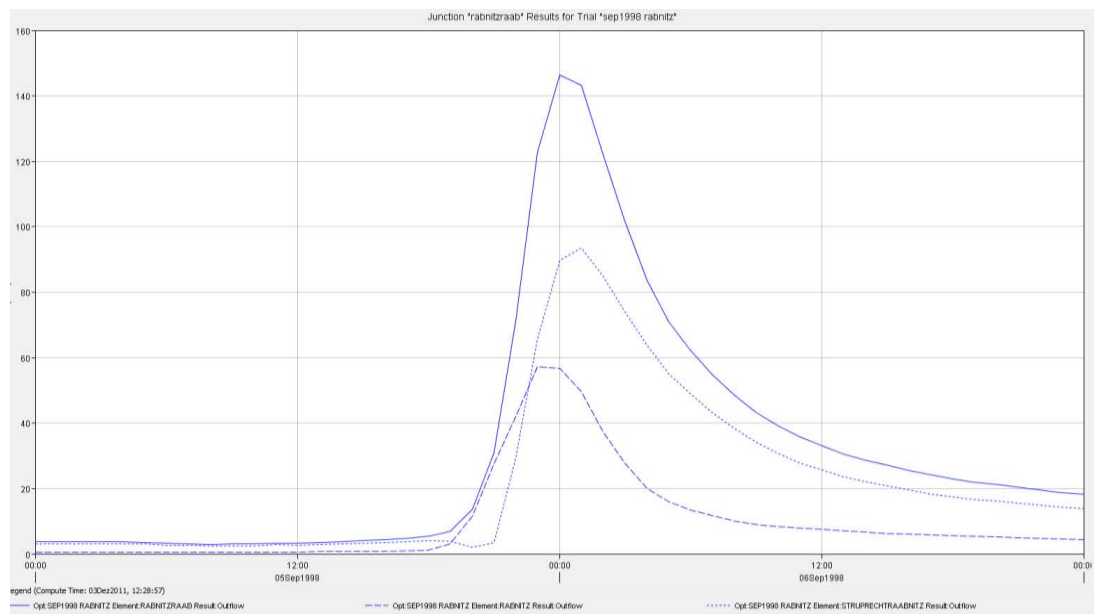
Clark Storage Coefficient	HR	1,0195
Clark Time of Concentration	HR	6,8271
Curve Number		55,887
Initial Abstraction	MM	5
Recession Constant		0,83866
struprechtrabnitz	Muskingum K	2,621
struprechtrabnitz	Muskingum X	0,5
raabtakernII	Muskingum K	3,6716
raabtakernII	Muskingum X	0,5

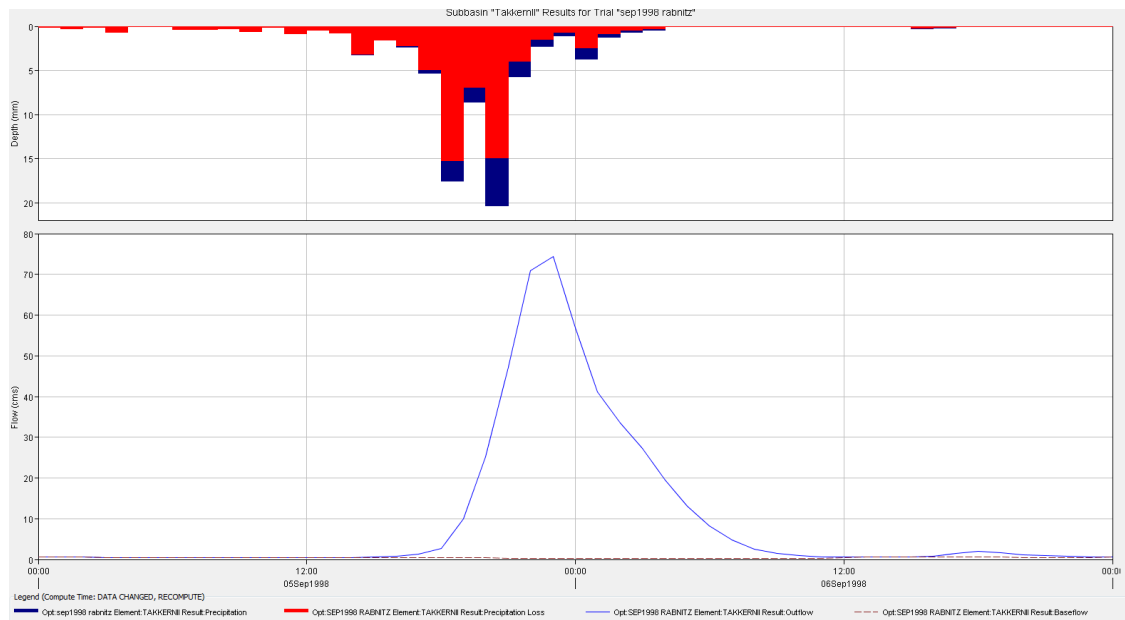




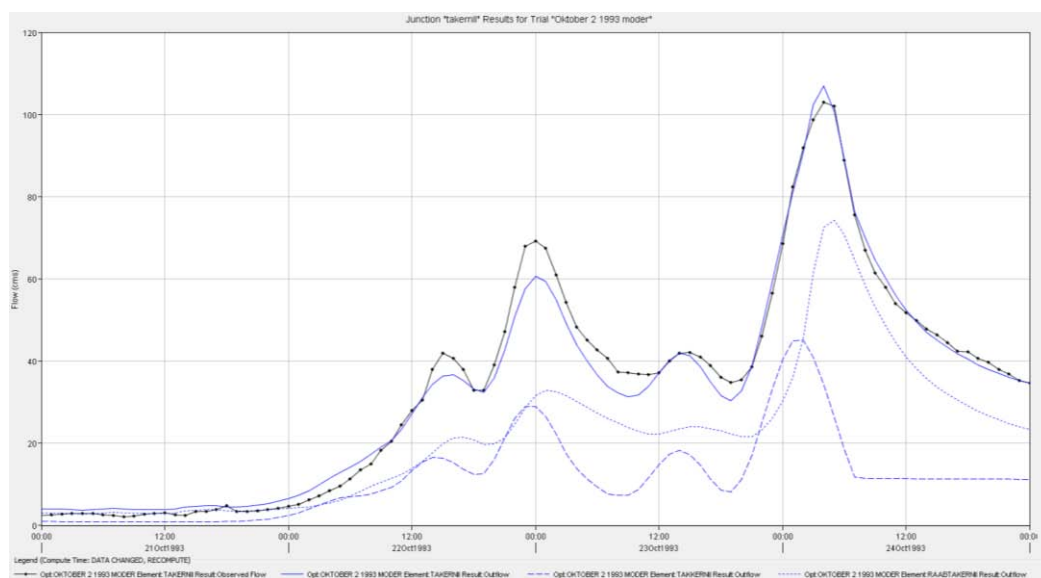
Sep 98		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,545
Baseflow Threshold Ratio		0,0083967
Clark Storage Coefficient	HR	1,7333
Clark Time of Concentration	HR	2,3724
Curve Number		46,118
Initial Abstraction	MM	4,5196
Recession Constant		0,5915

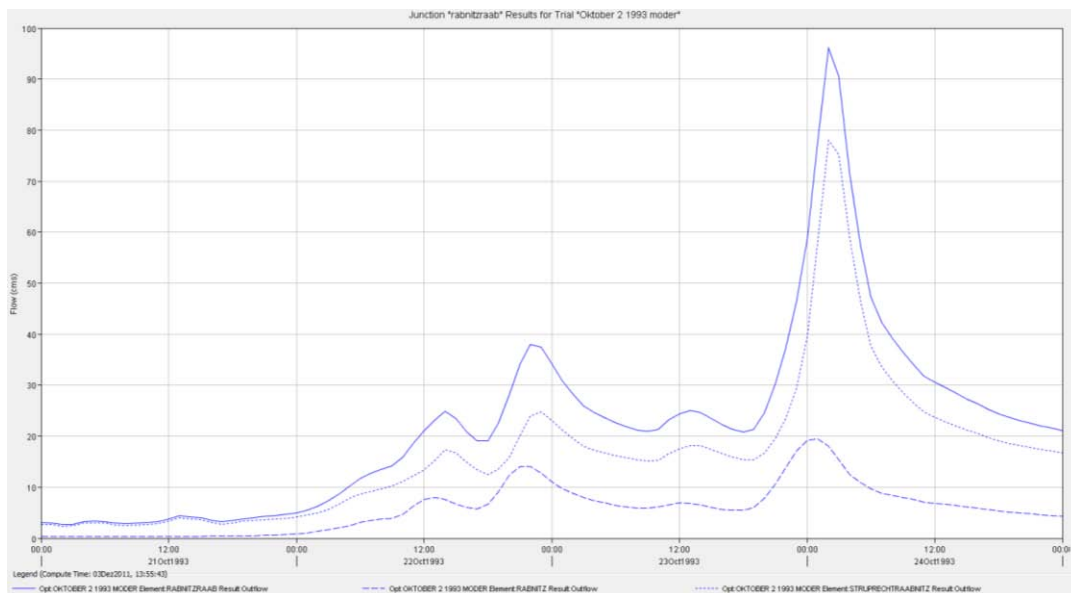
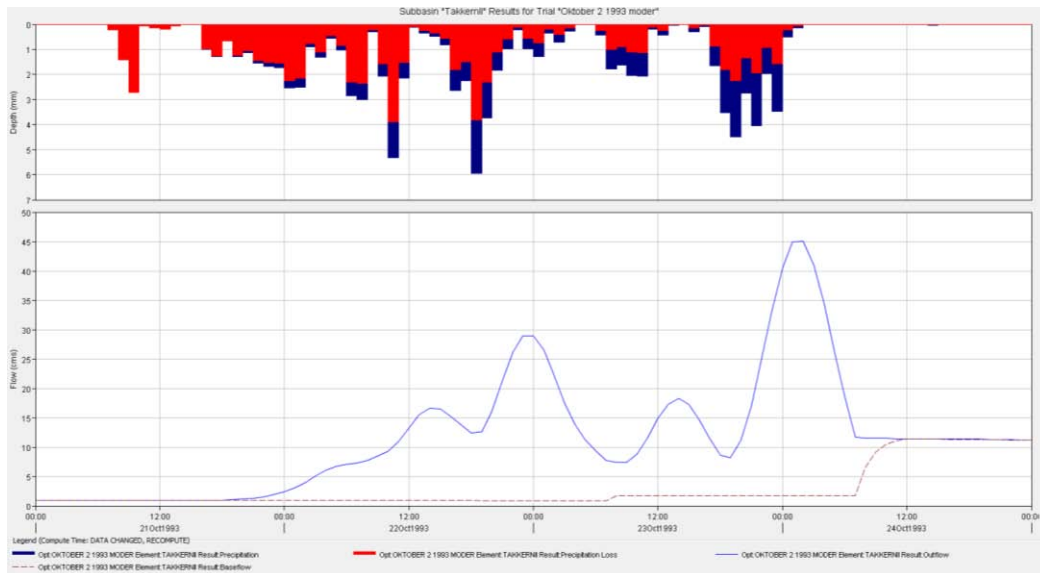
struprechtrabnitz	Muskingum K	3,5429
struprechtrabnitz	Muskingum X	0,25774
raabtakernII	Muskingum K	4,15
raabtakernII	Muskingum X	0,18013



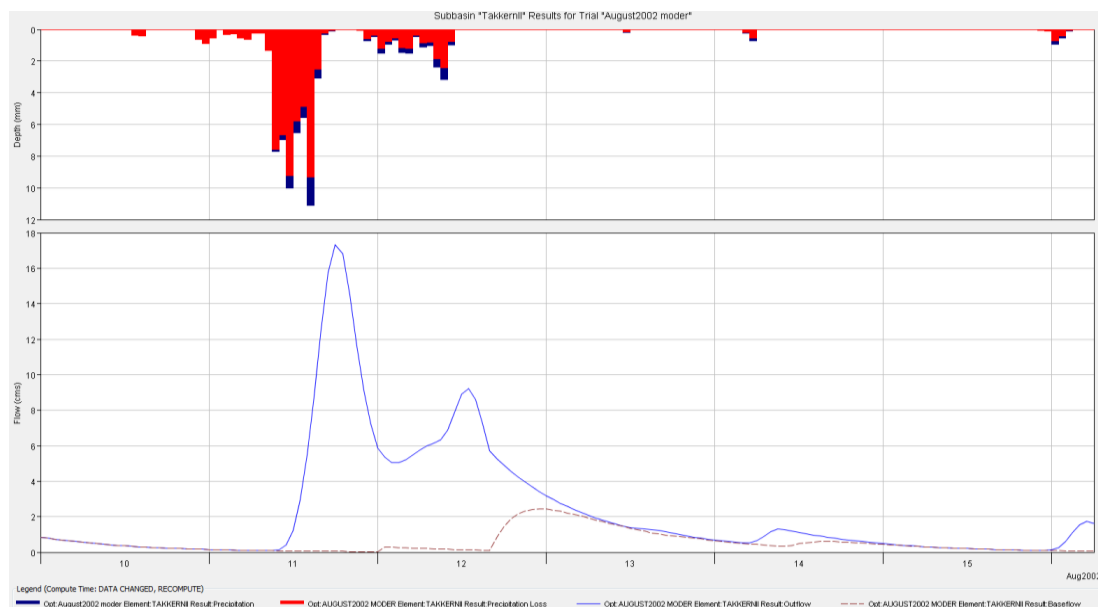
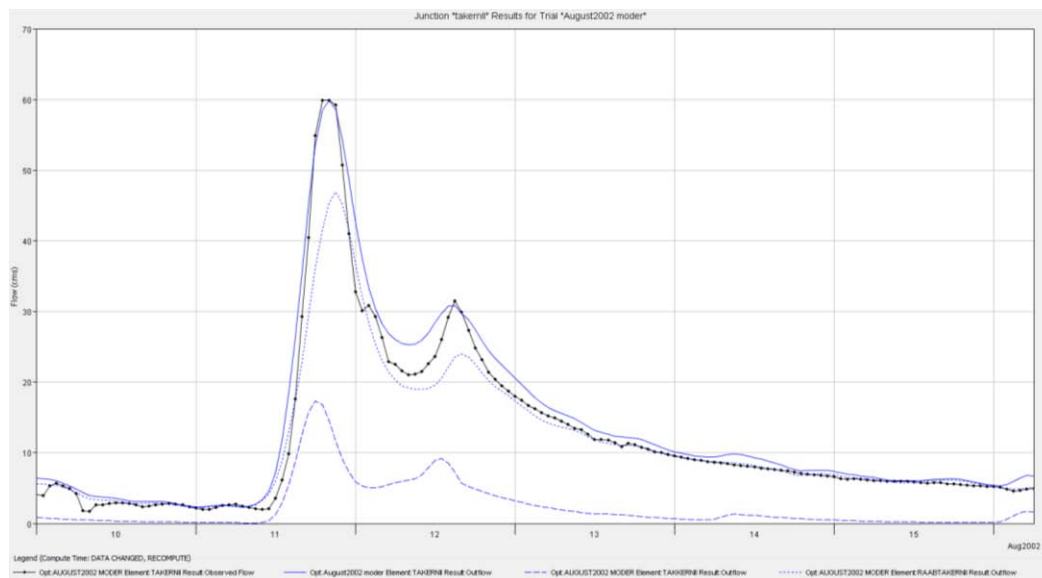


Oktober 1993 2		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,954
Baseflow Threshold Ratio		0,25534
Clark Storage Coefficient	HR	1,369
Clark Time of Concentration	HR	7,2632
Curve Number		58,385
Initial Abstraction	MM	4,5196
Recession Constant		0,9608
struprechtrabnitz	Muskingum K	1,2774
struprechtrabnitz	Muskingum X	0,3106
raabtakernII	Muskingum K	3,8792
raabtakernII	Muskingum X	0,25326

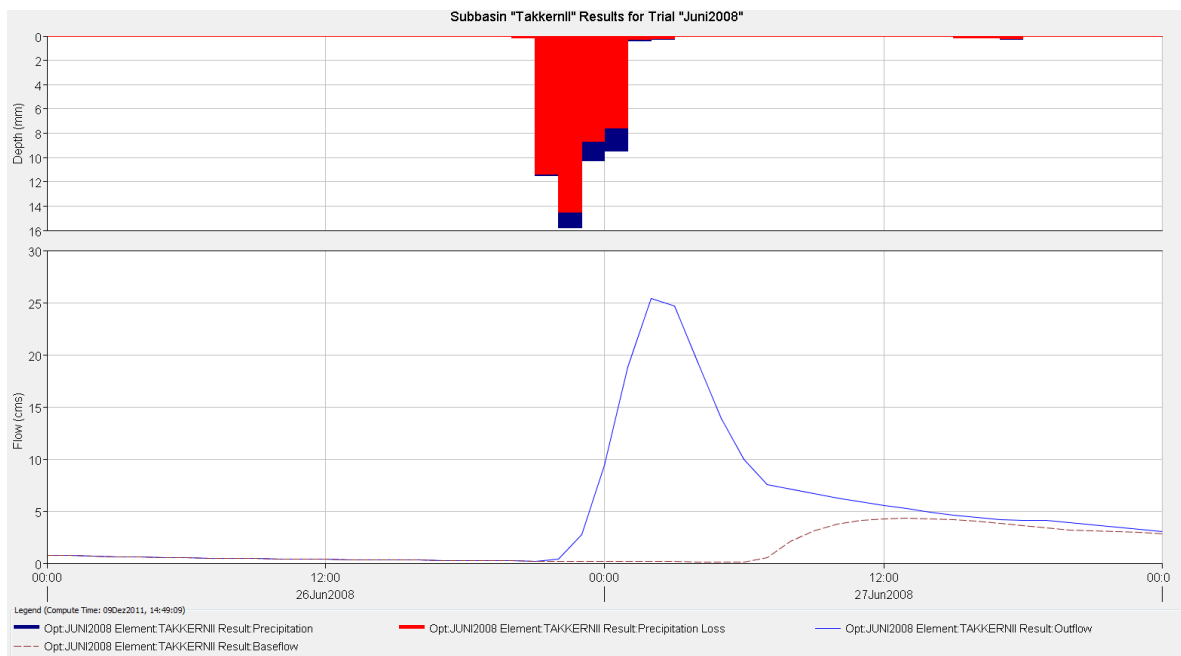
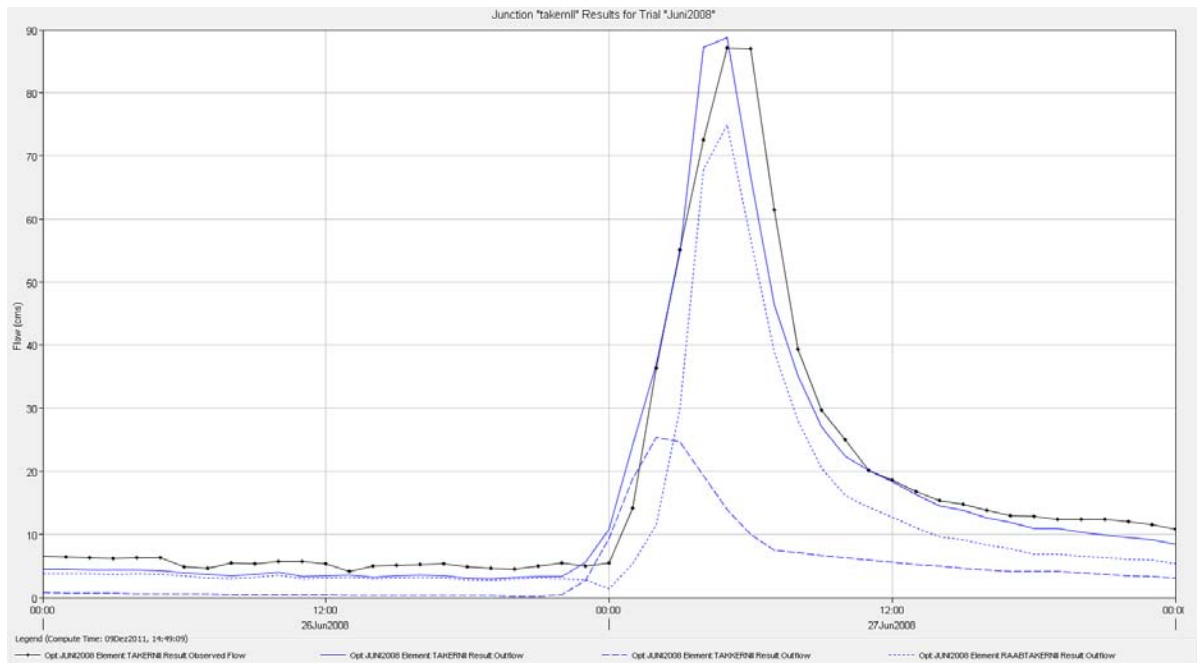




Aug 02		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,84
Baseflow Threshold Ratio		0,3235
Clark Storage Coefficient	HR	4,0653
Clark Time of Concentration	HR	4,923
Curve Number		35,286
Initial Abstraction	MM	6,4739
Recession Constant		0,18078
struprechtrabnitz	Muskingum K	1,8078
struprechtrabnitz	Muskingum X	0,13488
raabtakernII	Muskingum K	1,8078
raabtakernII	Muskingum X	0,22689



Jun 08		
Baseflow Initial Flow	M3/S	0,759
Baseflow Threshold Ratio		0,29852
Clark Storage Coefficient	HR	2,9608
Clark Time of Concentration	HR	2,5795
Curve Number		44,431
Initial Abstraction	MM	5,1137
Recession Constant		0,23437
struprechtrabnitz	Muskingum K	2,0494
struprechtrabnitz	Muskingum X	0,47287
raabtakernII	Muskingum K	2,0383
raabtakernII	Muskingum X	0,41507



Mittelwert , Standartabweichung und Median aus den oben Angeführten Hochwasserereignissen

Takkern II					
			Mittelwert	Standartabweichung	Median
TakkernII	Baseflow Initial Flow	M3/S	0,9196	0,2459	0,8400
TakkernII	Baseflow Threshold Ratio		0,2270	0,0874	0,2553
TakkernII	Clark Storage Coefficient	HR	2,2296	1,0268	1,7333
TakkernII	Clark Time of Concentration	HR	4,7930	1,8537	4,9230
TakkernII	Curve Number		48,0214	7,2917	46,118

					0	
TakkernII	Initial Abstraction	MM	5,1254	0,5394	5,0000	
TakkernII	Recession Constant		0,5612	0,2829	0,5915	
struprechtrabnitz	Muskingum K	HR	2,2597	0,6578	2,0494	
struprechtrabnitz	Muskingum X		0,3352	0,1210	0,3106	
raabtakernII	Muskingum K	HR	3,1094	0,9491	3,6716	
raabtakernII	Muskingum X		0,3151	0,1140	0,2533	