



D I P L O M A R B E I T

Master's Thesis

Ermittlung von Bemessungshochwasser grosser Jährlichkeit zur Abschätzung des Restrisikos

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen
Grades eines Diplom - Ingenieurs
unter der Leitung von

Em. O. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Dr. h. c. Dieter
Gutknecht
Projektass. Dipl.-Ing. Ines Fordinal

E222

Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie
eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Ekaterina Randelova
Matrikel-Nr. 0227096
Bulgarien, Plovdiv 4000
„Trakiya“, bl171

Wien, im November 2007

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	6
Abstract	7
I. Ziel der Diplomarbeit	8
Einleitung und Vorgehensweise	8
II. Erstellung eines NA-Modells	9
II.1 Einleitung	9
II.2 Einzugsgebiet Gailtal	10
II.3 NA-Modelle-Modellerstellung mit HEC-HMS	12
<i>II.3.1 Basin Model</i>	13
<i>II.3.2 Loss Rate (Abflussbildung)</i>	15
<i>II.3.3 Transform (Abflusskonzentration)</i>	16
<i>II.3.4 Baseflow (Basisabfluss)</i>	17
II.4 Niederschlag- und Abflussprozesse	17
II.4.1 Niederschlagsprozesse- Allgemein	17
II.4.2 Die Ganglinien des Gebietsniederschlags aus dem gerasteten Daten (bereit gestellt von Kärnten)	18
<i>II.4.2.1 Die Gebietsniederschläge</i>	18
<i>II.4.2.2 Niederschlagssummenlinien und Ereignisanalyse</i>	19
<i>II.4.2.3 Die Niederschlagssummenlinien der einzelnen Abflussereignisse</i>	22
<i>II.4.2.4 Intensitätsverteilungen-Zeitliche Verteilung des berechneten Niederschlages</i>	29
II.4.3 Der Abflussprozess	31
II.5 Kalibrierungsprozess	32
II.5.1 Allgemein	32
<i>II.5.1.1 Basisabfluss</i>	32
<i>II.5.1.2 Zwischenabfluss</i>	33
<i>II.5.1.3 Oberflächenabfluss</i>	33
II.5.2 Kalibrierung aufbasis Einzelereignisse	34
II.5.3 Ergebnisse der Kalibrierung	39
<i>II.5.3.1 Ohne Anpassung der Anfangsverlusten</i>	39
<i>II.5.3.2 Mit Anpassung der Anfangsverlusten</i>	44
<i>II.5.3.3 Mittlere Flowratios(Abfluubeiwerte)</i>	45
<i>II.5.3.3.1 Mittlere Flowratios aller 6 Ereignisse</i>	45
<i>II.5.3.3.2 Mittlere Flowratios ohne die außergewöhnliche Ereignisse</i>	48

III. Zusammenstellung von Bemessungsniederschlägen	50
III.1 Statistische Bemessungsniederschläge	50
III.2 Zusammenstellung der Bemessungsniederschläge	51
IV. Berechnung der Hochwasserabflüsse für die gewählte Bemessungsniederschläge mittels NA-Modells	51
IV.1 Vorgeschichte	51
IV.2 Berechnung der Hochwasserabflüsse mit dem Program HEC-HMS	54
V. Abschätzung des Restrisikos für die berechneten Bemessungsabflüsse	56
V.1 Auswertung für den Zeitabschnitt 1977-2002	57
V.2 Auswertung für den Zeitabschnitt 1951-2002	58
V.3 Schlussfolgerung	59
VI. Schlussbemerkungen	60
VII. Literatur	62
VIII. Anhang I	63
IX. Anhang II	74
X. Anhang III	81
XI. Anhang IV	87
XII. Anhang V	92
XIII. Anhang VI	98
XIV. Anhang VII	104
XV. Anhang VIII	106
XVI. Anhang IX	110
XVII. Anhang X	128
XVIII. Anhang XI	137

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Grundelemente eines Einzugsgebietsmodells	13
Abb. 2 Gliederung der Abflusskomponenten einer Hochwasserwelle	15
Abb. 3 Niederschlagsganglinie für das Ereignis von 03.05.2002-09.05.2002	19
Abb. 4 Niederschlagssummenlinie für das Ereignis von 20.09.1999-28.09.1999	19
Abb. 5 Niederschlagssummenlinie für das Ereignis von 10.07.2000-28.07.2000	20
Abb. 6 Niederschlagssummenlinie für das Ereignis von 20.09.2000-27.09.2000	20
Abb. 7 Niederschlagssummenlinie für das Ereignis von 03.05.2002-09.05.2002	21
Abb. 8 Niederschlagssummenlinie für das Ereignis von 05.06.2002-26.06.2002	21
Abb. 9 Niederschlagssummenlinie für das Ereignis von 14.11.2002-24.11.2002	22
Abb. 10 Intensitätsverteilungen	23
Abb. 11 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses (20.09.1999-28.09.1999)	23
Abb. 12 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses-Hauptereignis (10.07.2000-28.07.2000)	24
Abb. 13 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses-1 Sekundärereignis (10.07.2000-28.07.2000)	24
Abb. 14 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses-2 Sekundärereignis (10.07.2000-28.07.2000)	25
Abb. 15 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses-3 Sekundärereignis (10.07.2000-28.07.2000)	25
Abb. 16 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses-4 Sekundärereignis (10.07.2000-28.07.2000)	26
Abb. 17 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses (20.09.2000-27.09.2000)	26
Abb. 18 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses (03.05.2002-09.05.2002)	27
Abb. 19 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses-Hauptereignis (05.06.2002-26.06.2002)	28

Abb. 20 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses-1 Sekundärereignis (05.06.2002-26.06.2002)	28
Abb. 21 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses-2 Sekundärereignis (05.06.2002-26.06.2002)	28
Abb. 22 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses 14.11.2002-24.11.2002	29
Abb. 23 Abnahme der Intensität im Laufe der Zeit für das Ereignis 03.05.2002-09.05.2002	30
Abb. 24 Abnahme der Intensität im Laufe der Zeit für das Ereignis 03.05.2002-09.05.2002	30
Abb. 25 Die berechnete Abflussganglinie ohne Anfangsverluste für das Ereignis von 03.05.2002-09.05.2002	35
Abb. 26 Die berechnete Abflussganglinie mit Anfangsverluste für das Ereignis von 03.05.2002-09.05.2002	36
Abb. 27 Die berechnete Abflussganglinie für das Ereignis von 20.09.1999-28.09.1999	39
Abb. 28 Die berechnete Abflussganglinie für das Ereignis von 10.07.2000-28.07.2000	40
Abb. 29 Die berechnete Abflussganglinie für das Ereignis von 20.09.2000-27.09.2000	41
Abb. 30 Die berechnete Abflussganglinie für das Ereignis von 05.06.2002-27.06.2002	42
Abb. 31 Die berechnete Abflussganglinie für das Ereignis von 14.11.2002-24.11.2002	43
Abb. 32 Niederschlag-Abfluss Zusammenhang (mittels flow ratios bestimmt) für das Ereignis von 03.05.2002-09.05.2002	45
Abb. 33 Niederschlag-Abfluss Zusammenhang mit den mittleren flow ratios bestimmt	46
Abb. 34 Ergebnisse der Kalibrierung mit den mittleren flow ratios für das Ereignis von 03.05.2002-09.05.2002	47
Abb. 35 Ergebnisse der Kalibrierung mit den mittleren flow ratios ohne die außergewöhnliche Ereignisse	49
Abb. 36 Vorbefeuchtungswirksame Abflusslinienfläche	52

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Ergebnisse der Kalibrierung des Basis- Ereignisses von 03.05.2002-09.05.2002	37
Tab. 2 Ergebnisse der Kalibrierung für das Ereignis von 20.09.1999-28.09.1999	39
Tab. 3 Ergebnisse der Kalibrierung für das Ereignis von 10.07.2000-28.07.2000	40
Tab. 4 Ergebnisse der Kalibrierung für das Ereignis von 20.09.2000-27.09.2000	41
Tab. 5 Ergebnisse der Kalibrierung für das Ereignis von 05.06.2002-27.06.2002	42
Tab. 6 Ergebnisse der Kalibrierung für das Ereignis von 14.11.2002-24.11.2002	43
Tab. 7 Zusammenstellung der flow ratios (ohne Anfangsverluste)	44
Tab. 8 Zusammenstellung der flow ratios (mit Anfangsverluste)	44
Tab. 9 Abgelesene Werte der Bemessungs- Niederschläge	51
Tab. 10 Parametern, die zur Vorbefeuchtungs- bestimmung dienen	52
Tab. 11 Unterteilung des Ereignisses aufgrund der Vorbefeuchtung	53
Tab. 12 Mittlere flow ratios verschiedener Vorbefeuchtung	53
Tab. 13 Spitzenwerte der Bemessungsabflusslinien	55
Tab. 14 Statistische Höchstabflusswerte	56

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird die Ermittlung von Bemessungshochwässern grosser Jährlichkeit mithilfe eines Niederschlag-Abfluss-Modells untersucht. Ziel dieser Bearbeitungen ist Reduzierung der Unsicherheit, die i. a. mit der Ermittlung der Bemessungshochwässer mittels statistischer Methode verbunden ist. Insbesondere soll herausgearbeitet werden, wie durch die Simulation mithilfe des Niederschlag-Abfluss-Modells zusätzliche Information über die Bedingungen, unter denen sich HQn-Werte ergeben können, entstehen kann. Die Betonung liegt dabei auf der Untersuchung der Rolle der Einflussfaktoren Niederschlag und Vorbefeuchtung.

Die Untersuchungen werden für ein Teileinzugsgebiet des Gailtals erstellt. Aus einer früheren Diplomarbeit stehen dafür die Ergebnisse einer HQn-Berechnung auf statistischer Basis zur Verfügung (Evtimova, 2007). Ein Niederschlag-Abfluss-Modell für dieses Gebiet wurde bereits in einer anderen Diplomarbeit (Schindler, 2003) entwickelt. Verwendet wird dabei das HEC-HMS Programm-System des U.S.Army Corps of Engineers. Für die Bearbeitungen standen Niederschlags- und Abflussdaten für den Zeitraum von Jänner 1999 bis Dezember 2002.

Nach einer kurzen Beschreibung der Aufgabenstellung und Vorgangsweise (Kapitel I) wird zunächst in Kapitel II ein allgemeiner Überblick über die Erstellung eines Niederschlags-Abfluss-Modells, sowie eine Übersicht über das Einzugsgebiet der Gail und über die Eingangsdaten gegeben. Die Vorgangsweise der Kalibrierung und die Ergebnisse der gebietsbezogenen Komponenten werden anhand der Darstellung in (Schindler, 2003) beschrieben

Kapitel III beinhaltet eine Zusammenstellung von Bemessungsniederschlägen für den Gebrauch bei den Hochwassersimulationen. Als Unterlage stehen zur Verfügung die regionalen Bemessungsniederschläge zu den Kriterien nach den Normalzahlen des Jahresniederschlags.

Mithilfe unterschiedlicher Merkmale und Eigenschaften des Niederschlags (Höhe, Dauer, zeitliche Verteilung) und des Abflusses (Annahme von drei Abflusskomponenten: schnell, mittel, langsam) werden in Kapitel IV die Hochwasserabflüsse mittels des Niederschlags-Abfluss-Modells berechnet und zusammengestellt. Als wesentliche Merkmale wurden der Bodenzustand (trocken oder feucht), die Niederschlagsverteilung und die Niederschlagsdauer einbezogen.

Ein Vergleich zwischen den Werten aus dem N-A-Modell zeigt auf, in welchem Bereich von HQn-Werten (charakterisiert durch den 90%-Vertrauensbereich) die berechneten Hochwasserscheitelwerte aus den verschiedenen Annahmen zu liegen kommen.

Abstract

The aim of this Thesis is to be made an analysis for the residual risk assessment by define of the floods with a low probability by the means of the Software "HEC-HMS" of the US Army Corps of Engineers.

As a base for these analysis is taken the precipitation and runoff data for the valley of the Gail River. The probability is for 100, 300, 500 and 1000 years chosen, so that to be simulated the design precipitation and design flood by means of the precipitation-runoff model.

All the simulations are made for one of the stations of the Gail River – Maria Luggau for 6 different events. The events are chosen with a different time interval, precipitation and runoff data.

After a concisely definition of the project and the method of work follows the description of the input data, the Gail river basin and the hydrological catchment model based on HEC-HMS software.

After the simulation of one of the events, the parameters of the catchment area are obtained and they are used by the others. The other parameters (hydrological, meteorological a.o.) are as a result of the simulation for everyone of the events.

There is a presentation of the design precipitation, that is taken from the annual design precipitation data for the given catchment area.

The 6 events are simulated of the design floods by the precipitation-runoff model by means of the evaluated parameters and design precipitations. The flood categories are related to the precipitation type, depth, duration and moisture state.

As a result are given the different floods related to different preconditions for the precipitation.

The compression between the results from the precipitation-runoff model and the statistical method is the base for the assessment of the residual risk.

I. Ziel der Diplomarbeit

Einleitung und Vorgangsweise

Nach einer kurzen Beschreibung der Aufgabenstellung und Vorgangsweise (Kapitel I) wird zunächst in Kapitel II ein allgemeiner Überblick über die Erstellung eines Niederschlags-Abfluss-Modells, sowie eine Übersicht über die Einzugsgebiets der Gail, der Eingangsdaten und des Kalibrierungsprozesses gegeben. Die Vorgangsweise der Kalibrierung und die Ergebnisse der gebietsbezogenen Komponenten werden in diesem Kapitel diskutiert.

Kapitel III beinhaltet eine Zusammenstellung von Bemessungsniederschlägen für den Gebrauch bei Hochwassersimulationen. Als Unterlage stehen die regionale Bemessungsniederschläge zu den Kriterien nach den Normalzahlen des Jahresniederschlags.

Mithilfe unterschiedlicher Merkmale und Eigenschaften des Abflusses sind in Kapitel IV die Hochwasserabflüsse mittels des Niederschlags-Abfluss-Modells berechnet und zusammengestellt. Als wesentliche Merkmale wurden den Bodenzustand (trocken oder feucht), die Niederschlagsverteilung und Niederschlagsdauer einbezogen.

Ein Vergleich zwischen den Werten aus dem N-A-Modell und aus der Statistik, welche die Grundlage der Restrisikoabschätzung darstellt, ist in Kapitel V zu finden.

Hochwasser ist eine deutlich über dem Mittelwert liegende Abflußmenge. Ausgehend von den jährlichen Höchstwerten werden den Spitzenabflußmengen verschiedene Wahrscheinlichkeiten (Wiederkehrperioden) zugeordnet. [1]

Die Sicherheit einer wasserbaulichen Anlage gegen hochwasserbedingtes Versagen (Überströmen) ist von großer Bedeutung, da neben einem großen wirtschaftlichen Verlust auch die Gefährdung von Menschenleben droht. Wichtigste Entscheidungshilfe bei der klassischen Dimensionierung von Anlagen mit Hochwassergefährdungspotential ist das Bemessungshochwasser. [1]

Um zu erfolversprechenden Ergebnissen zu kommen, ist die Abhängigkeit zwischen extremen Niederschlägen (Intensitäten) und extremen Abflüssen in Form mathematischer Beziehungen zu quantifizieren. Sollte sich dies als zu schwierig herausstellen, wäre es immerhin denkbar, Regeln aufzustellen, unter welchen Bedingungen (Niederschlagsverlauf, hydrologische Ausgangssituation, Beschaffenheit des Einzugsgebietes usw.) hohe Niederschlagsintensitäten zu extremen Abflüssen führen können. [1]

Zur Niederschlag- Abfluß- Berechnung steht eine Vielzahl von Computerprogrammen zur Verfügung. Aufgrund der unterschiedlichen Charakteristik der Einzugsgebiete fällt die Auswahl eines Berechnungsverfahrens sowie eines bestimmten Programms schwer. [2]

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde das Programm HEC-HMS verwendet. Eine herausragende Eigenschaft von HEC-HMS ist die Implementierung von zahlreichen hydrologischen und hydraulischen Berechnungsverfahren, die zur Simulation von Prozessen innerhalb des Flussgebiets zur Auswahl stehen. [2]

Es ist von wesentlicher Bedeutung, welche Auswirkungen ein über dem Bemessungshochwasserwert liegender Abfluss hat. Die Restrisikobetrachtung untersucht Schadensabläufe und Schadensausmaß für größere Ereignisse und gibt mögliche Massnahmen und Vorkehrungen für diesen Fall vor.

II Erstellung eines N-A Modells

II.1 Einleitung

Um eine Simulation der Abflußbildung des Bemessungshochwassers zu ermöglichen, ist den Einsatz vom Niederschlag-Abfluss Modell geeignet.

Flussgebietsmodelle werden an abgelaufenen Hochwasserereignissen kalibriert und die unter diesen Bedingungen erhaltenen Parametersätze auch für die Berechnung extremer Abflüsse benutzt. Da keine Daten um großen Ereignissen zur Verfügung stehen, wurden alle Modellparameter oder deren Abhängigkeiten unverändert angenommen. Aussagen über ihre Veränderung unter extremen Abflussbedingungen liegen praktisch nicht vor. [1]

Hydrologische Niederschlag-Abfluss-Modelle beschreiben die kausalen Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Abfluss mathematisch und dienen zur Ermittlung der Abflüsse aus einem Einzugsgebiet. Das Ziel der Modellanwendung ist vor allem, aus vorgegebenen Niederschlagsereignissen die resultierenden Hochwasserganglinien zu berechnen. Dazu wurden verhältnismässig einfache Modellstrukturen verwendet: Das Einzugsgebiet wird dabei als ein hydrologisches System mit mittleren Eigenschaften aufgefasst (Blockmodell). Die Abflussvorgänge werden mit einfachen Beziehungen zur Abflussbildung und systemanalytischen Ansätzen zur Abflusskonzentration beschrieben. [1]

Bei der Struktur von N-A-Modellen ist zwischen der Untergliederung nach den beschriebenen hydrologische Teilprozessen und der räumlichen Struktur des zu beschreibenden Flussgebietes zu unterscheiden. Zur Erfassung der räumlichen Struktur wird eine Zuordnung von Modellen für

die Abflussbildung und -konzentration zu den Teilgebieten und von Wellenablaufmodellen zu den Gewässerstrecken vorgenommen. Derartig flächendetaillierte Modelle bieten die Möglichkeiten: Abflüsse an unterschiedlichen Punkten eines Gewässernetzes zu ermitteln; flächenvariabel vorliegende meteorologische Eingangsgrößen zu nutzen; räumliche Unterschiede in den Charakteristika des Einzugsgebietes zu berücksichtigen; für unterschiedliche Gebietsteile auch unterschiedliche Modellansätze zu verwenden.

Den Ausgangspunkt der Abflussberechnung bildet die Ganglinie des Gebietsniederschlags (Regen). Mit Hilfe eines Abflussbildungsansatzes wird die Ganglinie des Effektivniederschlags berechnet. Sie wird mittels eines Ansatzes zur Beschreibung des Fließvorganges im Gebiet und in den Wasserläufen (Abflusskonzentration) in die Direktabflussganglinie transformiert. Durch Überlagerung mit dem Basisabfluss entsteht daraus die Ganglinie des Gesamtabflusses. Der Basisabfluss wird dabei, unabhängig von der Berechnung des Direktabflusses, getrennt bestimmt, z. B. Durch Wahl eines bestimmten Niedrigwasserabflusses. Der Differenzbetrag zwischen Niederschlag und Effektivniederschlag wird als „Abflussverlust“ betrachtet und geht nicht weiter in die Untersuchung ein.

Als Kenngröße für die Abflussbildung dient der Ereignis-Abflussbeiwert $\psi_m = Q_{Dir} / N = h_{N_e} / h_N$ (flow ratio). Er ist von Faktoren wie der Regenintensität, der Vorbefeuchtung, dem Vorwetter und der Jahreszeit (Bodenfeuchte, Verdunstung) abhängig. [1]

II.2 Einzugsgebiet – Gailtal

[Die folgende Beschreibung des Einzugsgebietes stützt sich auf den in Schindler (2003) gegebenen Text]

Das Gailtal ist ein inneralpines Längstal mit einer Ausrichtung von Westen nach Osten und einer Länge von rund 110km. Es erstreckt sich vom Kartitscher Sattel im Westen bis zur Einmündung in die Drau im Stadtgebiet von Villach im Osten und befindet sich somit sowohl im Bundesland Tirol als auch in Kärnten. Im Süden wird das Tal von den Karnischen Alpen und den Karawanken begrenzt, im Norden von den Lienzer Dolomiten und den Gailtaler Alpen. Das Gailtal lässt sich wie folgt in vier Abschnitte aufgliedern, das Lesachtal, das Obere Gailtal, das Mittlere Gailtal und das untere Gailtal.

- Lesachtal

Das Lesachtal bildet den wesentlichsten Teil des Gailtals und ist durch eine eigenständige Natur- und Kulturlandschaft gekennzeichnet, die in den Jahren 1995 und 1996 zur „Landschaft des Jahres“ gekürt wurde. Der Ursprung der Gail liegt in Osttirol am Kartitscher Sattel auf einer Seehöhe von 1522m. Nach einer Fließstrecke von etwa 41km erreicht der Fluss den Talausgang bei Wetzman, wesentlich des Marktes Kötschac-

Mauthen, auf einer Seehöhe von 719m, was einem mittlerem Gefälle von 19% entspricht.

Der Gailfluss und die von Norden und Süden einmündenden Seitenbäche haben sich in diesem Gebiet in postglazialer Zeit bis zu 200m in das von Gletschern ausgeformte Trogtal eingeschnitten, ein Kerbtal erschaffen und durch die Zerschneidung des alten Talbodens die Ursache für die ausgeprägte Kleingliederung der Besiedelung des Lesachtals gebildet.

Im Lesachtal ist der Gailfluss überwiegend dem gestreckten Flusstyp zuzurechnen, der im untersten Abschnitt von ausgedehnten Schotterflächen begleitet wird.

- Oberes Gailtal

Zwischen Kötschach-Mauthen und der Bezirkshauptstadt Hermagor befindet sich das Obere Gailtal. Auf einer Fließstrecke von rund 30km überwindet die Gail einen Höhenunterschied von etwa 145m, das Gefälle nimmt von 10‰ auf 2‰ im Bereich von Hermagor ab. Ursprünglich gehörte der Gailfluss in diesem Gebiet dem Furkationstyp an, war also stark verzweigt und weist eine hohe flussmorphologische Dynamik auf, heute ist er flussabwärts von Kötschach-Mauthen durchwegs reguliert. Die Besiedelung in diesem Talabschnitt erfolgte vornehmlich auf Schwemmkegeln der von Norden und Süden einmündenden Wildbäche. Der 2km breite Talboden ist durch eine Wechselfolge von grossteils bewaldeten Schwemmkegeln und dazwischenliegenden landwirtschaftlich genutzten Verflachungsstrecken charakterisiert.

- Mittleres Gailtal

Zwischen Hermagor und Arnoldstein gelegen, verflacht das Gefälle des Mittleren Gailtales bis zur Einmündung der Gailitz weiter bis auf 0,5‰. Diese Verflachung resultiert aus insgesamt sechs Bergstürzen des Dobratsch, deren letzter 1348 als Folge eines grösseren Erdbebens auftrat, und welche zu mehr oder weniger grossen Rückstauen führten. Auf einer Strecke von etwa 31km durchfließt die Gail dabei einen Höhenunterschied von etwa 33m. In diesem Flussabschnitt ist die Gail dem mäandrierenden Flusstyp zuzuordnen, was an heute noch die Landschaft prägenden Altarmresten, die durch die Regulierung von der Gail abgetrennt wurden, ersichtlich ist. Im Mittleren Gailtal befindet sich auch der Priessegger See, der nicht nur ein Naturjuwel inmitten eines Landschaftsschutzgebiets ist, sondern auch das grösste Rückhaltebecken für Gailhochwasser. Im Bereich des Marktes Arnoldstein mündet die

Gailitz, ein rechteckiger Zubringer, der das italienische Kanaltal mit einem Einzugsgebiet von 218km² entwässert, in die Gail ein.

- Unteres Gailtal

Das Bergsturzmaterial des Dobratsch, die so genannte „Schütt“, trennt das Untere Gailtal vom Mittleren Gailtal. Die Gailtal überwindet zunächst auf einer Kataraktstrecke die Bergsturzmassen des Dobratsch und erreicht nach einer Fließstrecke von etwa 20km Länge der Stadt Villach, wo sie schliesslich auf einer Seehöhe von 474m in die Drau einmündet. Auf dieser Fließstrecke ist die Gail wiederum dem Furkationstyp zuzuordnen. Der Höhenunterschied zwischen Gailitz und Einmündung in die Drau beträgt 67m, das Gefälle nimmt von 4‰ im Bereich der Kataraktstrecke auf 2‰ flussabwärts davon ab.

II.3 NA-Modelle-Modellerstellung mit HEC-HMS

Ein hydrologisches Flussgebietsmodell bildet die für die jeweilige Aufgabenstellung wichtigen hydrologischen Prozessen nach und transformiert die Eingangsdaten (Niederschlag) in die Ausgangsgrößen (Durchfluss an einer bestimmten Stelle des Gebietes). Mit einem solchen Modell werden die Bewegung und Speicherung des aus den Niederschlägen stammenden Wassers auf der Landoberfläche, im Boden und in den Wasserläufen durch verschiedene Teilmodelle beschrieben [1].

(Die folgende Daten dieses Kapitels sind von dem in Schindler (2003) gegebenen Text [6])

Die Modellerstellung beginnt mit der Aufteilung der Abflüsse auf 3 verschiedenen Speicher (3 Abflußkomponenten-Aufteilung). Diese Komponenten sind Oberflächenabfluss, Zwischenabfluss und Basisabfluss. Sie werden nun mit dem Hydrologic Modeling System (HMS) des Hydrologic Engineering Center (HEC) des U.S. Army Corps of Engineers (USAGE) modelliert.

Die Ein- und Ausgabedaten, die in dem Programm stehen, sind deutlich ablesbar und über Zeitfenster erarbeitet. Diese Daten sind in einem zentralen DSS-File (Data Storage System) gespeichert und können mit einem Hilfsprogramm editiert werden.

Eine HMS-Simulation wird durch drei Komponenten definiert:

- Das basin model, mit dem die räumliche Struktur inklusive aller zur Verwendung kommenden Module definiert werden.

- Das meteoroloic model, das dem basin model Niederschlags- und Evapotranspirationsdaten zuordnet.
- Die control specifications, mit denen das der Berechnung zu Grunde liegende Zeitintervall (Tag, Stunde, Minute) und das Zeitfenster (von, bis) geregelt werden.

II.3.1 Basin Model

Das Basin model dient hierbei der physikalischen Beschreibung von Einzugsgebieten und Flussgebieten. Es erscheint als graphische Benutzeroberfläche in dem hydrologische und hydraulisch geometrische Module in weit verzweigten Netzwerken kombiniert werden können. Mögliche Elemente sind dabei subbasin (Einzugsgebiet), reach (Gerinnestrecke), junction (Zusammenfluss), reservoir (Rückhalte-, Speicherbecken), diversion (Verzweigung, seitliche Ausleitung), source (Quelle) und sink (Mulde).

Im Folgenden werden die im Flussgebietsmodell Gail verwendeten Elemente vorgestellt und ihre Funktion erläutert.



Abb. 1 Grundelemente eines Einzugsgebietsmodells (nach 2)

Abb.1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Einzugsgebietsmodells, wie es auch im Programm HEC-HMS durch das Element subbasin zur Anwendung kommt. Der Niederschlag trifft auf das Einzugsgebiet, wo seine Menge an einzelnen Messstationen punktuell gemessen wird. Diese Punktdaten werden dann im Gebietsniederschlagsmodell zu Gebietsdaten umgerechnet, um sodann im Abflussbildungsmodell einer Verlustmengenrechnung unterzogen zu werden. Dabei wird der Effektivniederschlag ermittelt, der wiederum Eingang in das Abflusskonzentrationsmodell findet. Hier kann mit verschiedenen Berechnungsroutinen der Translation und Retention im Einzugsgebiet Rechnung getragen und die Abflussganglinie aus dem Gebiet errechnet werden.

Aus der von Schindler, 2006 durchgeführten manuellen Ganglinienanalyse der Abflussganglinien der Pegel Maria Luggau ergab sich, dass eine 3-Komponenten-Aufteilung in Oberflächenabfluss, Zwischenabfluss und Basisabfluss gerechtfertigt ist. HEC-HMS unterscheidet in seiner Grundkonzeption für Ereignismodelle nur zwischen Basisabfluss und Direktabfluss, weshalb die Funktionalität des Programms

zur Berechnung eines 3-Speicher Ansatzes gewissermassen neu definiert werden musste.

Bei der weiteren Bearbeitung werden die drei Komponenten des Abflusses für jedes Teileinzugsgebiet mit jeweils einem subbasin simuliert, wobei der Oberflächenabfluss durch die Erweiterung „schnell“, der Zwischenabfluss durch „mittel“ und der Basisabfluss durch „langsam“ gekennzeichnet ist. Dies entspricht einer Einzugsgebietsmodellierung mit drei parallelen Speichern. Aufgrund dieses Modellaufbaus wird es nötig, den Niederschlag auf die einzelnen Speicher aufzuteilen. Dies konnte mit der Aktivierung der Option flow ratio innerhalb der basin modell Eigenschaften erreicht werden.

Verschiedene Kenngrössen, die in der Modellierung verwendet werden, sind entweder messbar oder werden über empirische Beziehungen aus messbaren Grössen abgeleitet. Daneben beinhalten Modelle aber auch Parameter, mit denen unterschiedliche Einflussfaktoren summarisch in ihrer Wirkung beschrieben werden. Diese Parameter sind entweder praktisch nicht messbar oder nicht physikalisch begründet ableitbar. Die Modellparameter müssen deshalb durch Anpassung an gemessene Niederschlag-Abfluss-Ereignisse ermittelt werden [2].

Mit der flow ratio bietet HEC-HMS die Möglichkeit, den gerechneten Abflusshydrographen zu skalieren. Diese Option wurde ursprünglich in das Programm integriert, um zu beantworten, wie sich der Abfluss bei z.B. doppelter Regenmenge verhalten würde. Aus diesem Grunde ist die flow ratio innerhalb der Grenzen 0-(+∞) definiert. Im vorliegenden Modellaufbau wird die flow ratio allerdings als Abflussbeiwert interpretiert.

$$\psi = \frac{Q_{Dir}}{N} = \frac{h_{N_e}}{h_N} [-]$$

Q_{Dir} [mm] – Direktabfluss

N [mm] – Ereignisniederschlag

h_{N_e} [mm] – effektive.Niederschlagshöhe

h_N [mm] – Ereignisniederschlagshöhe

Da im Folgenden die Abflusskonzentration mit einem linearen Modellansatz berechnet wird, ist es unerheblich, ob der Niederschlag mit dem Abflussbeiwert oder die berechnete Abflussganglinie mit der flow ratio skaliert wird. Es ist in diesem Falle also zulässig, die flow ratio als Abflussbeiwert zu verwenden.

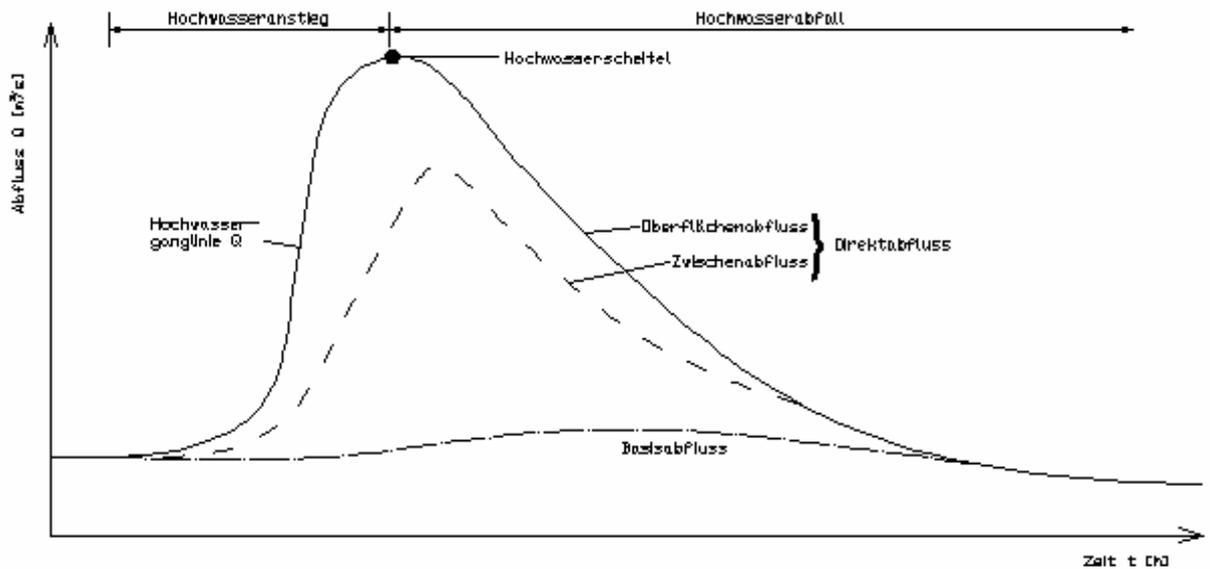


Abb. 2 Gliederung der Abflusskomponenten einer Hochwasserwelle (nach [2])

Nach Abtrennen des Basisabflusses ergibt sich der Direktabfluss durch die Summe von Oberflächenabfluss und Zwischenabfluss (Abb.2). Als Input für die Berechnung dieser Komponenten wird im HMS-Modell der Gesamtniederschlag abzüglich des Anfangsverlustes und anschliessender Skalierung mittels flow ratio verwendet. Daher gilt für HMS [2]:

$$\psi = \frac{Q_D}{N - A_V}, \text{ mit}$$

ψ – Abflussbeiwert

Q_D [mm] – Direktabflusshöhe

N [mm] – Gesamtniederschlagshöhe

A_V [mm] – Anfangsverlusthöhe

II.3.2 Loss Rate (Abflussbildung)

HEC-HMS betrachtet die gesamte Einzugsgebietsoberfläche, also sowohl Land- als auch Gewässeroberflächen, entweder als direkt verbundene undurchlässige oder durchlässige Oberflächen. Die direkt verbundene undurchlässige Fläche ist jener Anteil der Einzugsgebietsoberfläche, von der der gesamte Niederschlag ohne Infiltrations-, Evaporations- oder andere Verluste zum Abfluss gelangt. Diese Fläche wird als prozentueller Anteil der Einzugsgebietsoberfläche gewählt. Der Niederschlag, der über dem durchlässigen Anteil des Einzugsgebietes abgeht, ist Gegenstand der Verlustrechnung. HMS bietet 4 Verfahren zur Berechnung der Abflussbildung auf Basis eines Ereignismodellansatzes.

- Initial/constant loss model (Anfangsverlust und konstante Verlustrate)
- Deficit/constant rate loss (Anfangsdefizit und konstante Verlustrate)
- SCS curve number loss model, composite or gridded (im Flächenmittel oder auf Rasterdatenbasis)
- Green und Ampt loss model

Für den Einsatz in Kalibrierung wurde die Methode mit Anfangsverlust und konstanter Verlustrate gewählt, was in Verbindung mit dem Abflussbeiwertverfahren interpretierbare Aussagen über die Effektivniederschlagsmengen erlaubt.

II.3.3 Transform (Abflusskonzentration)

Der nach der Abflussbildungsberechnung verbleibende Effektivniederschlag gelangt nun auf die Einzugsgebietsoberfläche, und bewegt sich üblicherweise mit dem Gefälle, wiewohl er auch in Mulden oder Seen gespeichert werden kann, und wird auf diese Weise zum Direktabfluss. Um den Effektivregen im Modell in Direktabfluss zu verwandeln, bedarf es einer Transformationstechnik, einer Methode zur Berechnung der Abflusskonzentration.

- Clark UH
- Snyder UH
- SCS UH
- Selbst definierter UH

Zur Erfassung der Abflusskonzentration wird im Flussgebietsmodell des Gailtals das Clark Verfahren angewendet. Dieses Verfahren beschreibt die Abflusskonzentration durch Kombination von Retentions- und Translationsvorgängen und wurde 1945 von Clark entwickelt. Es wurde deshalb ausgewählt, weil es im Zuge der Herleitung der Einzugsgebietseinheitganglinie zwei wesentliche Vorgänge der Transformation von Effektivregen in Abfluss berücksichtigt:

1. die Translation, also die Bewegung des Effektivniederschlags vom Ort seines Eintreffens im Einzugsgebiet bis zum Gebietsauslass und
2. die Retention, also die Reduktion der Höhe der Abflussspitze durch Speicherung innerhalb des Einzugsgebietes

II.3.4 Baseflow (Basisabfluss)

Der lang gezogene, anhaltende Abfluss oder „Schönwetterabfluss“ aus einem Einzugsgebiet, der von Anteilen vergangener Niederschläge stammt, die noch im Einzugsgebiet gespeichert sind, wird Basisabfluss genannt. HEC-HMS bietet für die Modellierung des Basisabflusses drei Varianten an:

- Constant monthly (monatlich konstanter Basisabfluss)
- Recession (Exponentielle Rezession)
- Linear Reservoir (Linear Speicher)

Die Variante des monatlich konstanten Basisabfluss ist aufgrund der angenommenen, durchschnittlichen Monatsmittel von unzureichender Genauigkeit. Das Linearspeicher-Verfahren kann bei HMS nur in Verbindung mit Bodenfeuchtemodellen verwendet werden.

Aufgrund dessen wurde nur das Verfahren der exponentiellen Rezession angewendet werden. Die Parameter dieses Ansatzes sind der Basisabfluss Q_{BO} zum Zeitpunkt $t=0$, die Rezessionkonstante k_r und ein Schwellenwert T_h mit dem definiert werden kann, ab welchem Zeitpunkt der Basisabfluss den Gesamtabfluss darstellt. Der Basisabfluss $Q_B(t)$ zu jedem Zeitpunkt t verhält sich dabei proportional zu seinem Anfangswert Q_{BO} .

$$Q_B(t) = Q_{BO} \cdot k_r^t,$$

$$k_r = e^{-\frac{1}{K}}$$

K – Speicherkonstante

II.4 Niederschlag- und Abflussprozesse

II.4.1 Niederschlagsprozesse-Allgemein

Bei Verwendung beobachteter Niederschlagsdaten ist es das Ziel, das daraus resultierende Abflussereignis optimal zu simulieren.

- **Vorgeschichte**

Der Niederschlag tritt auf ein von der meteorologischen Vorgeschichte (Niederschlag- und Verdunstungsgeschehen) geprägtes Einzugsgebiets. Während des Niederschlages beeinflusst die Bodenvorfeuchte die Versickerungs- und Speicherfähigkeit des Bodens. Je extremer das Niederschlagsereignis ist, desto kleiner wird der Einfluss der Vorgeschichte auf das Abflussgeschehen.

-Vorregenindex

Über eine bestimmte Zeitspanne vor dem auszuwertenden Niederschlagsereignis werden die täglichen Niederschlagswerte aufsummiert, wobei weiter zurückliegende Niederschläge ein geringeres Gewicht erhalten. Die Verdunstung spielt eine wesentliche Rolle für die Bodenvorfeuchte-im Sommer erfolgt eine stärkere Abminderung des Vorregenindex als im Winter.

-Basisabfluss

Als Kenngrösse der meteorologischen Vorgeschichte wird der an Pegeln im direkten Einzugsgebiet oder in benachbarten Einzugsgebieten gemessene Basisabfluss vor dem zu simulierenden Niederschlagsereignis verwendet. Diese Kenngrössen dienen nur als Näherung für die tatsächlichen Bodenfeuchteverhältnisse.

- **Räumliche und zeitliche Niederschlagsverteilung**

Die ausreichende Genauigkeit der Systembelastung ist von der Dichte der Niederschlagsmessstationen und die zeitliche Auflösung der Datenaufzeichnung abhängig. Jedes Niederschlagsereignis ist in seiner räumlichen Ausdehnung und in seinem zeitlichen Ablauf einmalig.

Für kleinere, schnell reagierende Einzugsgebiete sind meist die sommerlichen Starkniederschläge für das Hochwassergeschehen verantwortlich. Solche Starkregen sind meist ungenügend erfasst und die Simulation der Hochwasserabflüsse ist somit unsicher.

Bei grösseren Einzugsgebieten werden langdauernde und grossflächige Niederschläge für die Hochwasserabflüsse massgebend.

Dem grundsätzlichen Nachteil der punktuellen Niederschlagsmessung wird durch den fortschreitenden Einsatz der Radartechnik zur Niederschlagserfassung begegnet [1].

II.4.2 Die Ganglinien des Gebietsniederschlags aus dem gerasteten Daten (bereitgestellt von Kärnten)

II.4.2.1 Die Gebietsniederschläge

Die berechneten Niederschlagshöhen des Programms für das Ereignis 03.05.2002-09.05.2002 sind in der Abb.3 dargestellt. Für die anderen Ereignisse sind die Abbildungen in Anhang VI (VI.1-VI.5) zu finden.

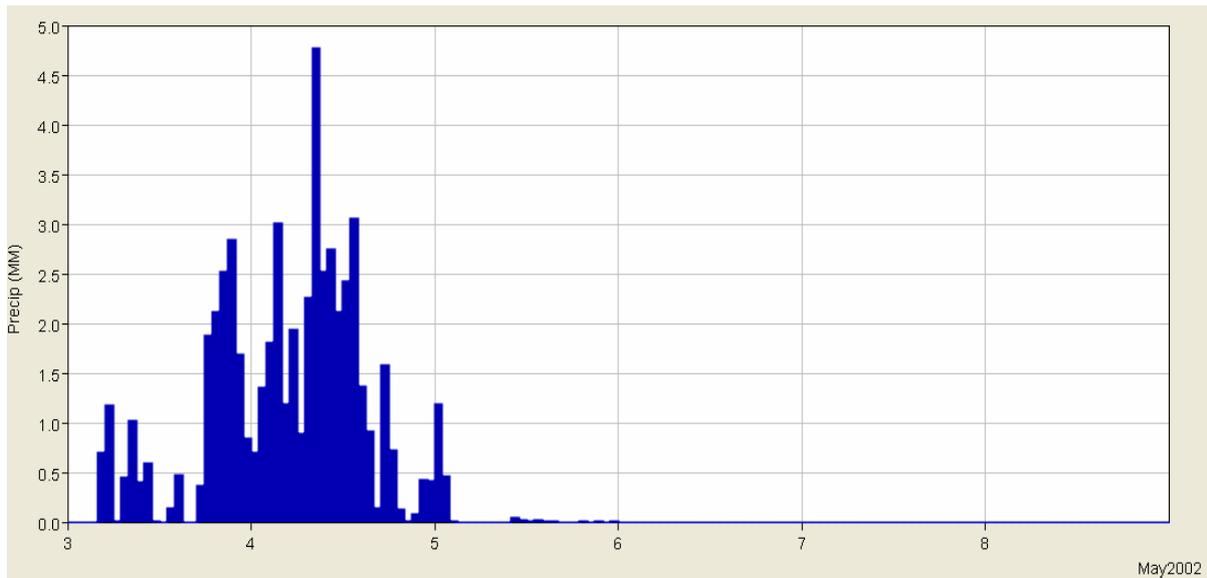


Abb.3 Niederschlagsganglinie für das Ereignis von 03.05.2002-09.05.2002

II.4.2.2 Niederschlagssummenlinien und Ereignisanalyse

- 20.IX.1999-28.IX.1999

Mit einer Dauer von 8 Tagen (193 Stunden) kann der Niederschlagsverlauf dieses Ereignisses annähernd als „anfangsbetont“ definiert werden [Anhang VI.1].

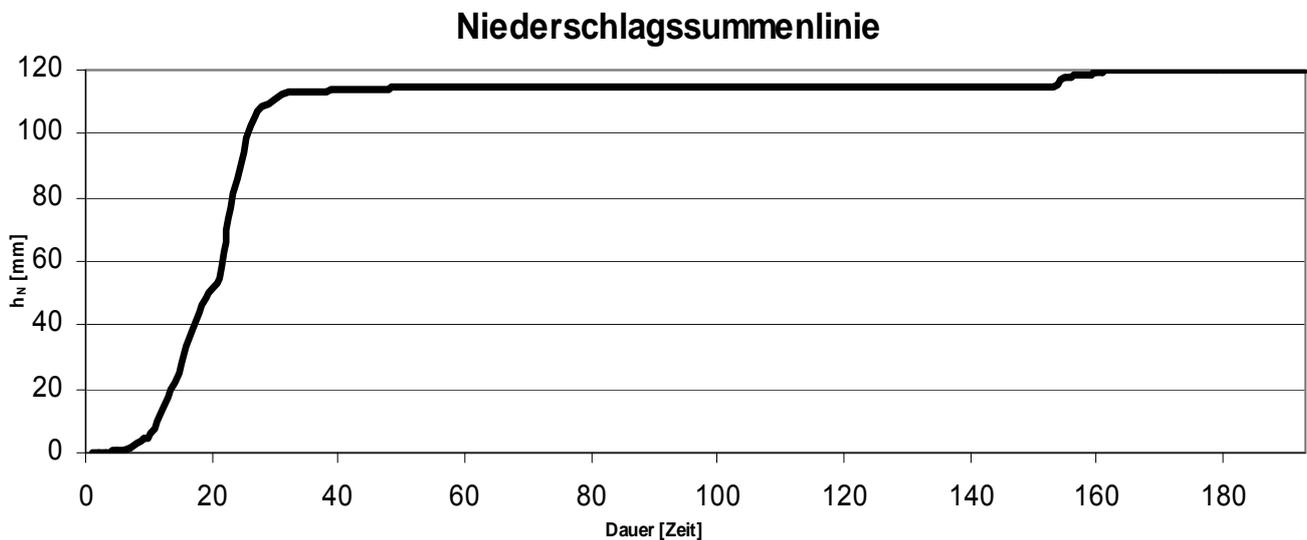


Abb. 4 Niederschlagssummenlinie für das Ereignis von 20.09.1999-28.09.1999

- 10.VII.2000-28.VII.2000

Mit einer Dauer von 18 Tagen (433 Stunden) kann der Niederschlagsverlauf dieses Ereignisses als „anfangsbetont“ definiert werden [Anhang VI.2].

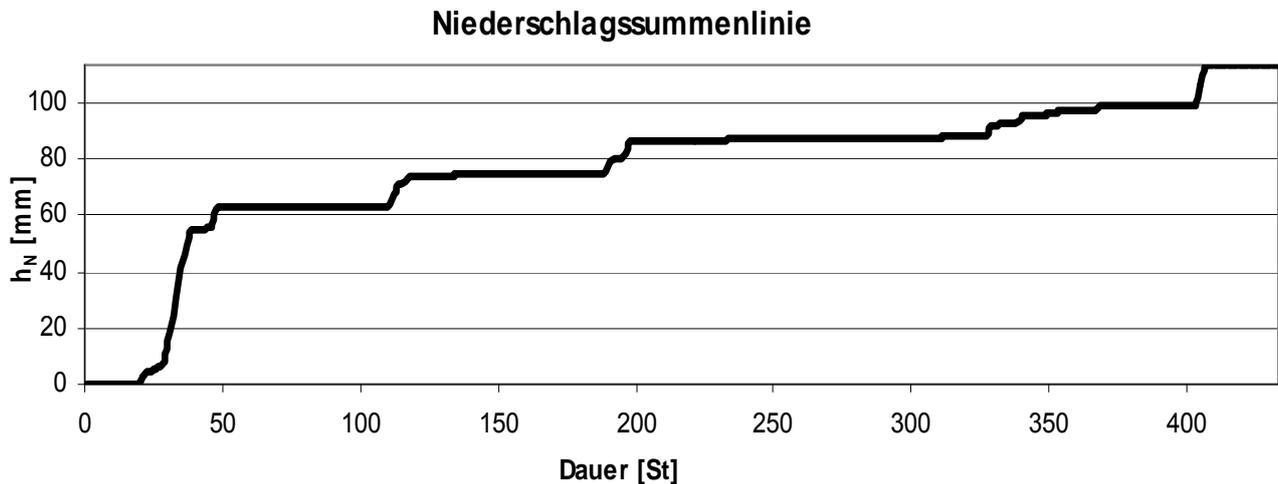


Abb. 5 Niederschlagssummenlinie für das Ereignis von 10.07.2000-28.07.2000

- 20.IX.2000-27.IX.2000

Mit seiner Dauer von 7 Tagen (169 Stunden) kann der Niederschlagsverlauf dieses Ereignisses als „anfangsbetont“ definiert werden [Anhang VI.3].

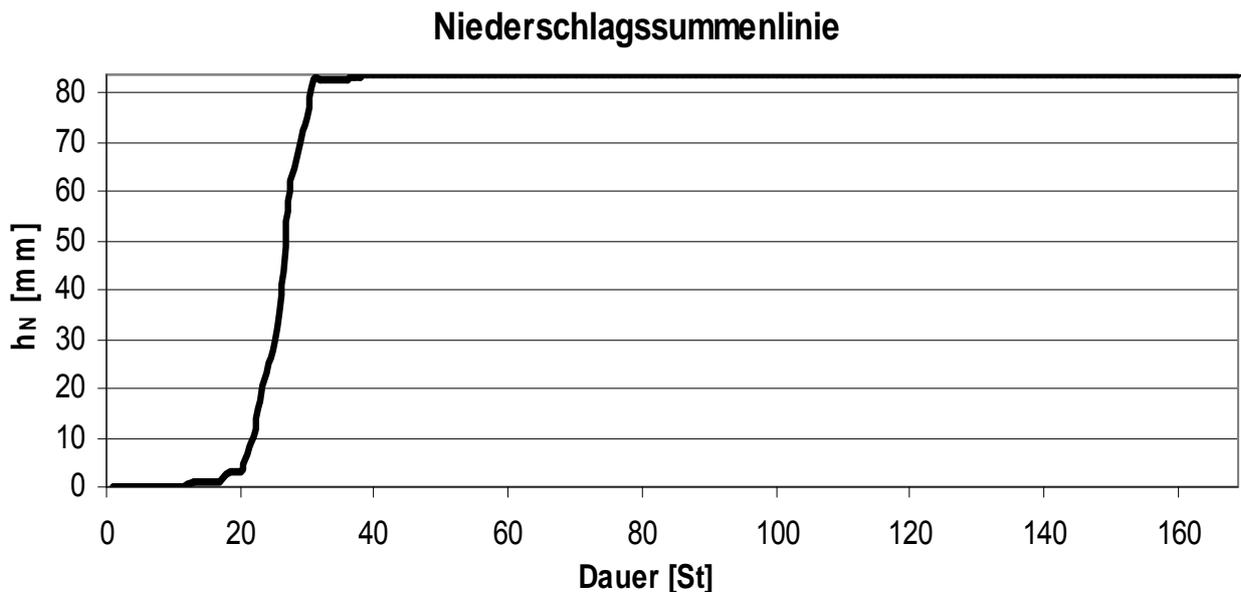


Abb. 6 Niederschlagssummenlinie für das Ereignis von 20.09.2000-27.09.2000

- 03.V.2002-09.V.2002

Mit seiner Dauer von 7 Tagen (169 Stunden) kann der Niederschlagsverlauf dieses Ereignisses als „anfangsbetont“ definiert werden [Abb.3].

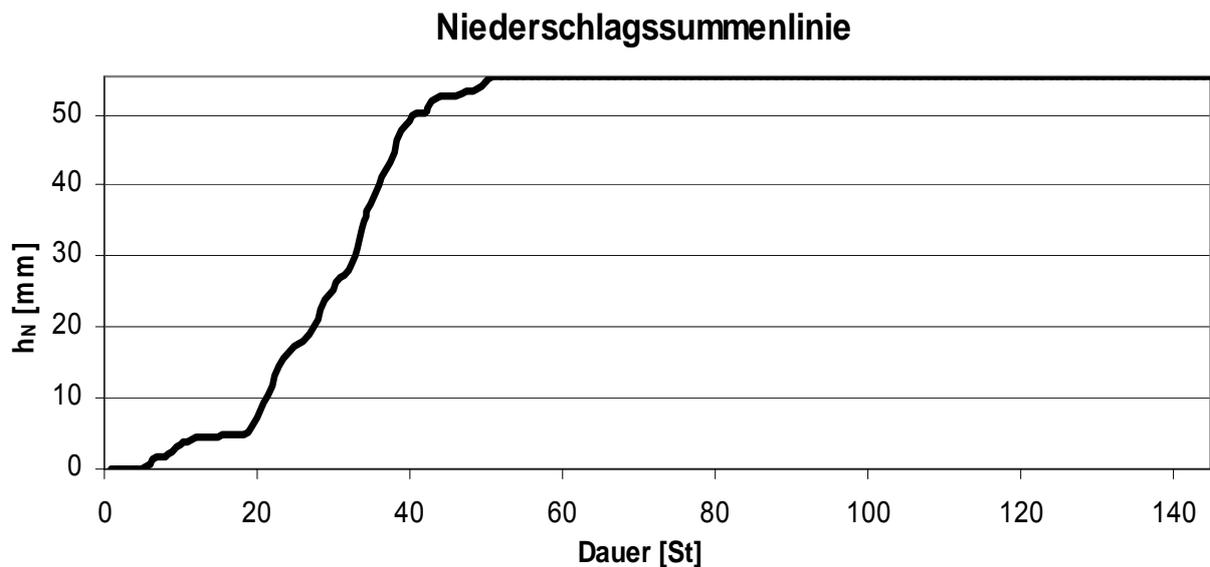


Abb. 7 Niederschlagssummenlinie für das Ereignis von 03.05.2002-09.05.2002

- 05.VI.2002-27.VI.2002

Mit seiner Dauer von 23 Tagen (529 Stunden) kann der Niederschlagsverlauf dieses Ereignisses als „anfangsbetont“ definiert werden [Anhang VI.4].

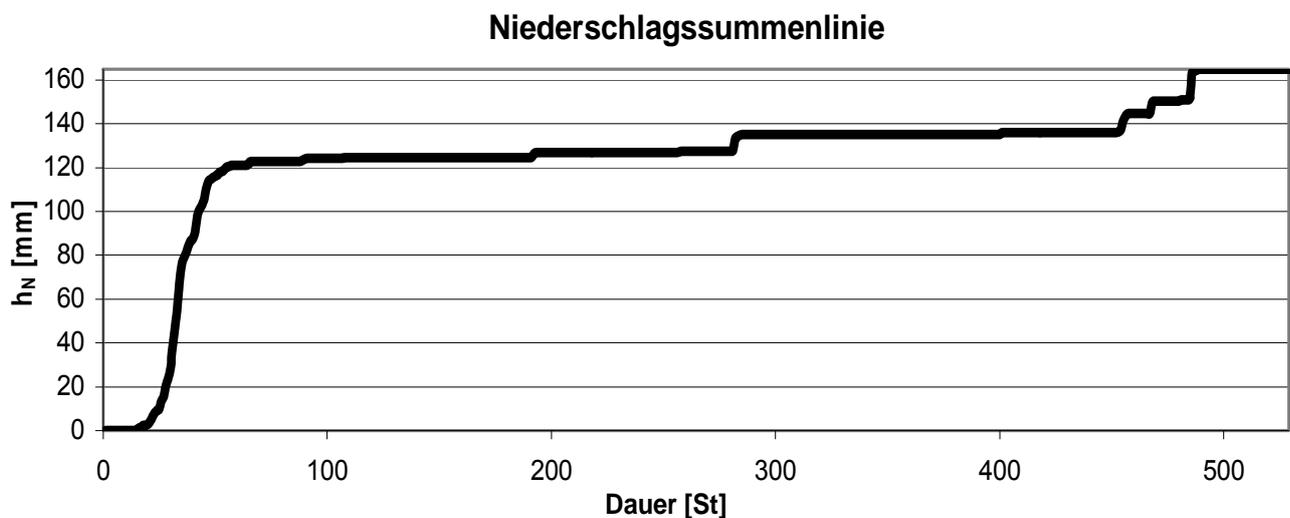


Abb. 8 Niederschlagssummenlinie für das Ereignis von 05.06.2002-27.06.2002

- 14.XI.2002-24.XI.2002

Mit seiner Dauer von 10 Tagen (241 Stunden) kann der Niederschlagsverlauf dieses Ereignisses als „anfangsbetont“ definiert werden [Anhang VI.5].

Niederschlagssummenlinie

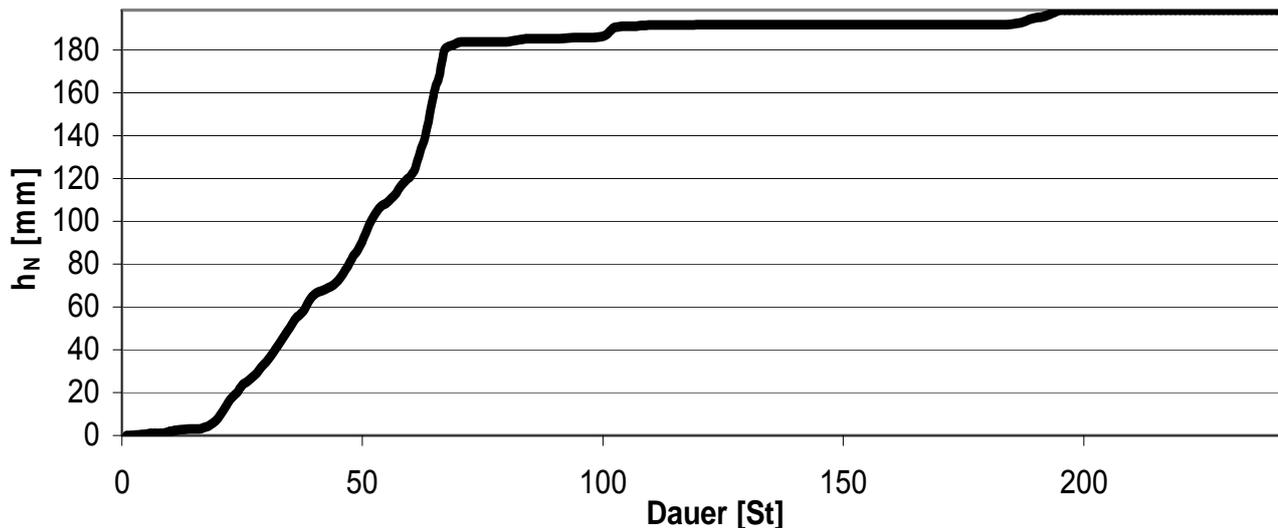


Abb. 9 Niederschlagssummenlinie für das Ereignis von 14.11.2002-24.11.2002

II.4.2.3 Die Niederschlagssummenlinien der einzelnen Abflußereignisse

Niederschläge können stärkere Intensitäten zu Beginn (anfangsbetonten Verlauf) oder am Ende (endbetonter Verlauf) oder nahezu gleichmässige Intensitäten über das gesamte Ereignis (Blockregen) aufweisen. Eine besonders häufig auftretende zeitliche Verteilung des Niederschlages ist die Verteilung nach DVWK (1984) – starke Intensitäten zwischen 30% und 50% der Gesamtdauer (siehe Abb10). [1]

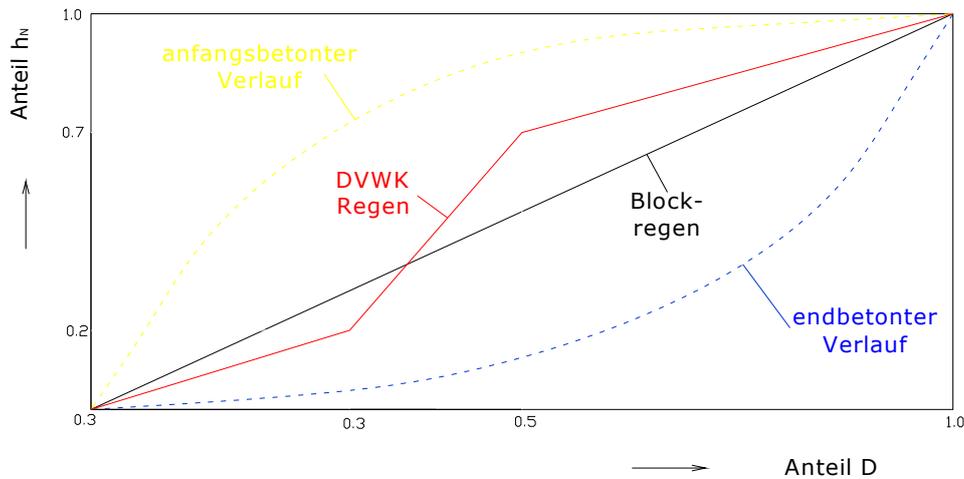


Abb.10 Intensitätsverteilungen

- 20.IX.1999-28.IX.1999

Es ist deutlich sichtbar, dass die Niederschlagssummenlinie nicht in allen Bereichen stetig ansteigt. Deshalb wäre es besser diese Ereignisse auf mehrere „Niederschlagslinien der einzelnen Ereignisse“ aufzuteilen. Die Summenlinie wurde somit anhand der Kurvensteigung zerlegt. In Abb.4 ist ein Vergleich der Niederschlagssummenlinien der einzelnen Ereignisse mit der DVWK Verteilung und einer Gleichverteilung dargestellt.

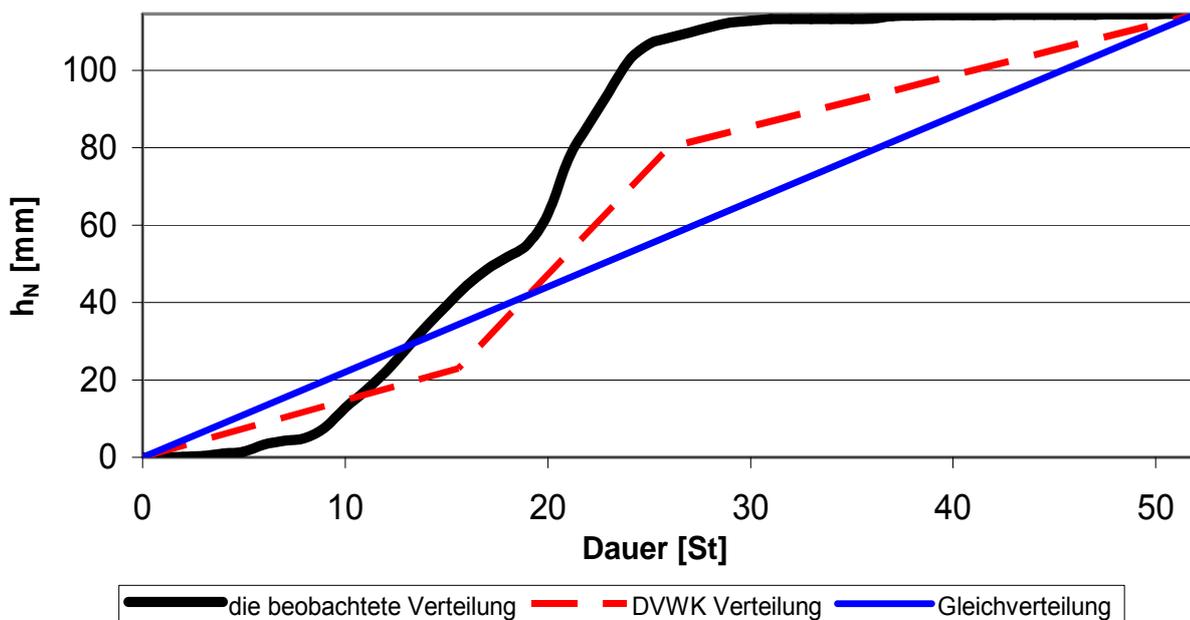


Abb.11 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses (20.IX.1999-28.IX.1999)

- 10.VII.2000-28.VII.2000

Die lange Dauer und die großen Niederschlagshöhe ergeben für dieses Ereignis viele Schwankungen in der Niederschlagssummenlinie. Deshalb wird diese Linie auf 5 Teile geteilt – ein Hauptereignis und 4 Sekundärereignisse. Alle diese Teile haben eine kurze Dauer, die sekundären Ereignisse außerdem niedrigere Niederschlagshöhen als das Hauptereignis. Unter der Annahme, dass das Hauptereignis den größten Einfluss auf die Summenlinie hat, ist die abflusswirksame Niederschlagssummenlinie gezeichnet.

Die berechnete Summenverteilung ist ganz ähnlich der DVWK Verteilung.

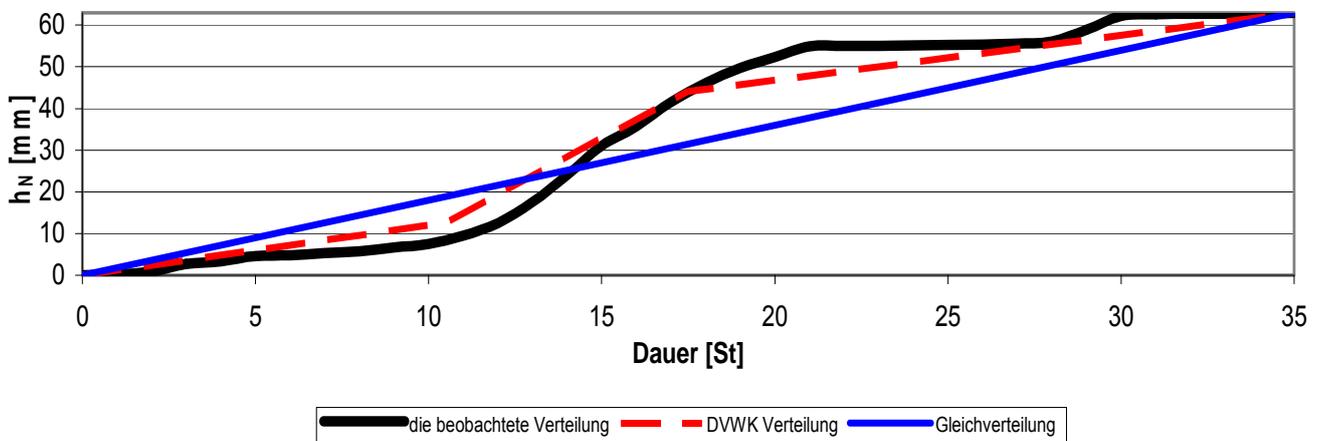


Abb.12 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses-
 Hauptereignis (10.VII.2000-28.VII.2000)

Die Niederschlagssummenlinien der sekundären Ereignisse haben keine starke Ähnlichkeit mit der DVWK Verteilung. Die Form der sekundären Niederschlagssummenlinien hängt von der Dauer der Zeitabschnitte ab.

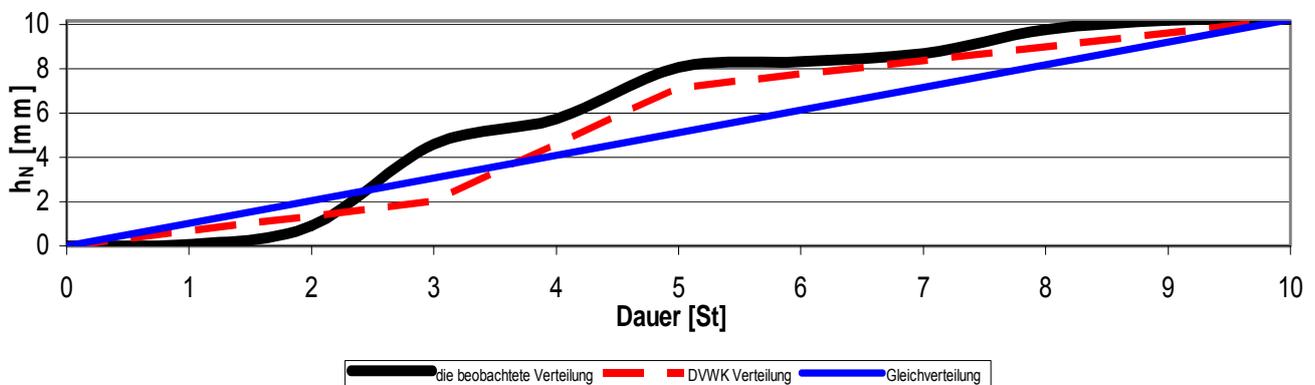


Abb.13 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses-1
 Sekundärereignis (10.VII.2000-28.VII.2000)

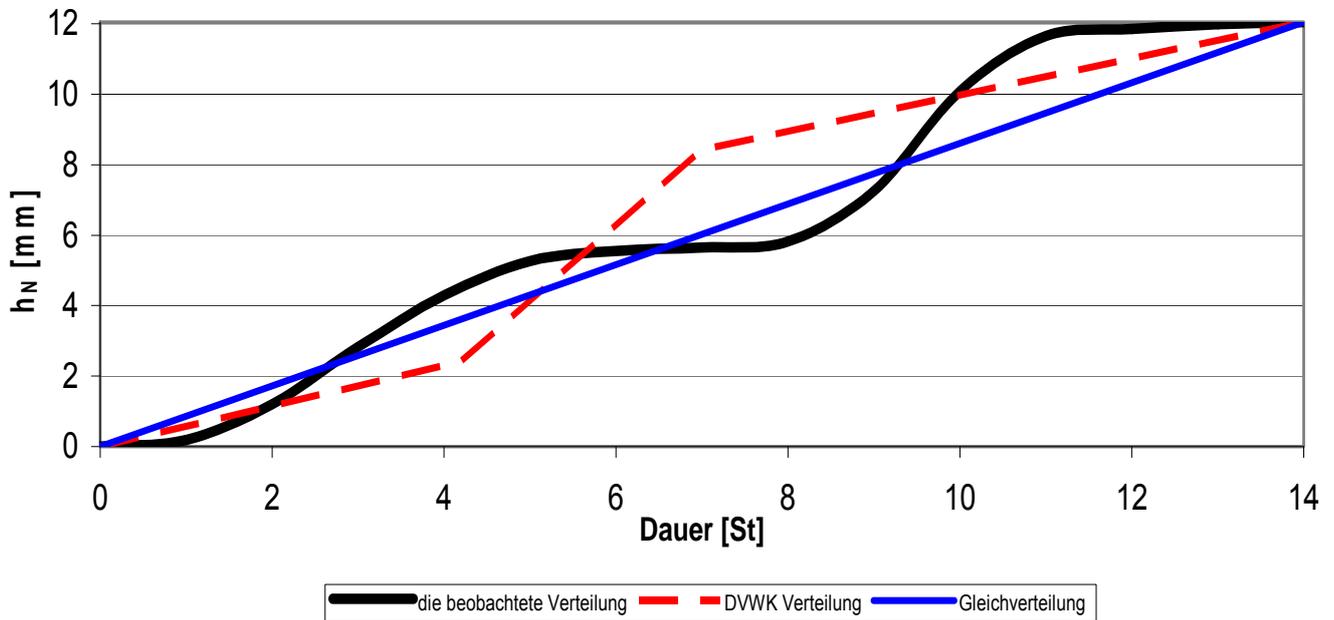


Abb.14 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses-2
 Sekundärereignis (10.VII.2000-28.VII.2000)

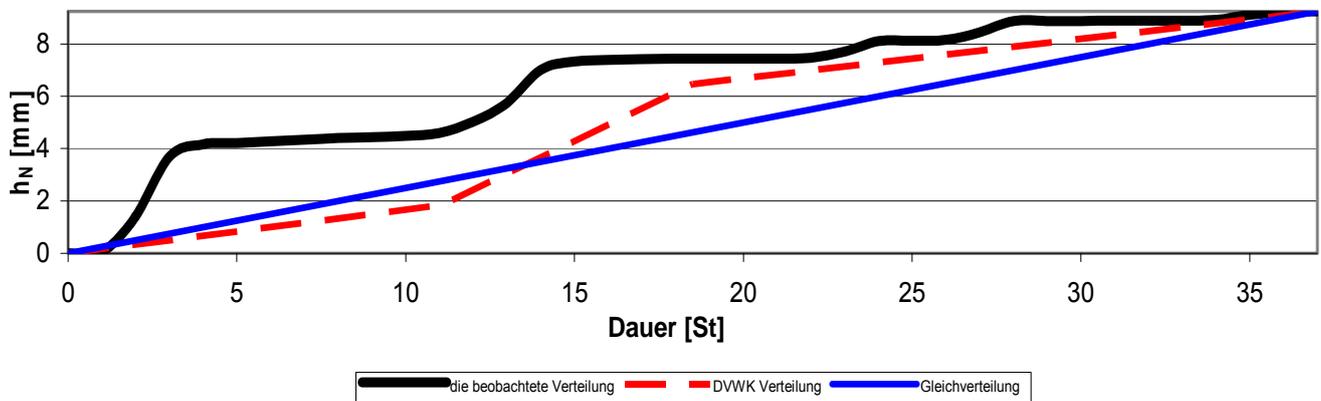


Abb.15 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses-3
 Sekundärereignis (10.VII.2000-28.VII.2000)

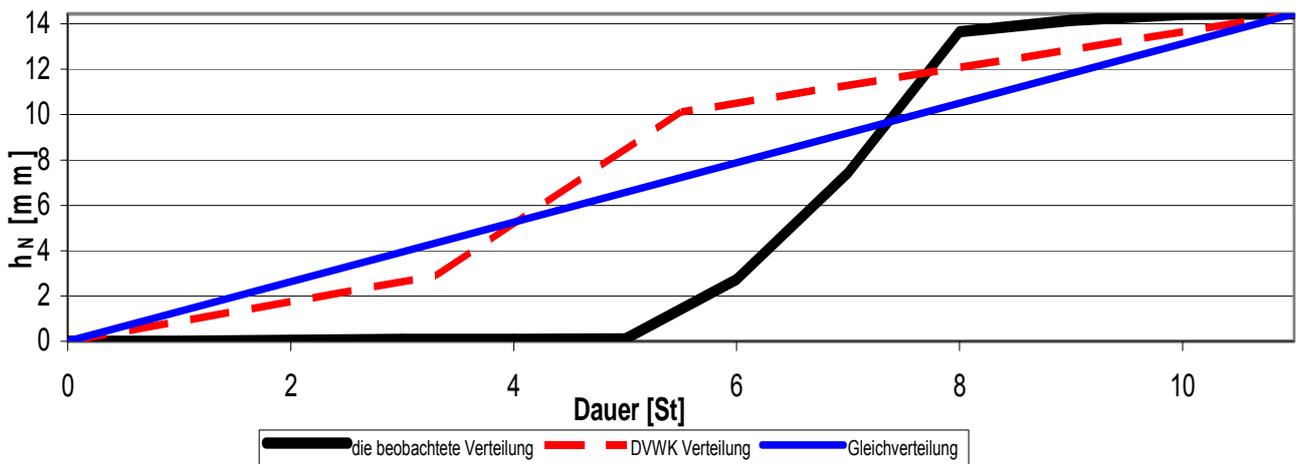


Abb.16 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses-4 Sekundärereignis (10.VII.2000-28.VII.2000)

- 20.IX.2000-27.IX.2000

Nach der ersten Hälfte des Ereignisses liegen die Niederschläge deutlich über jenen der der DVWK Verteilung. Dies zeigt die Steigerung der Kurve der berechneten Verteilung von der 8 bis zur 14 Stunde. Nach 14 Stunden nimmt die Intensität rasch ab.

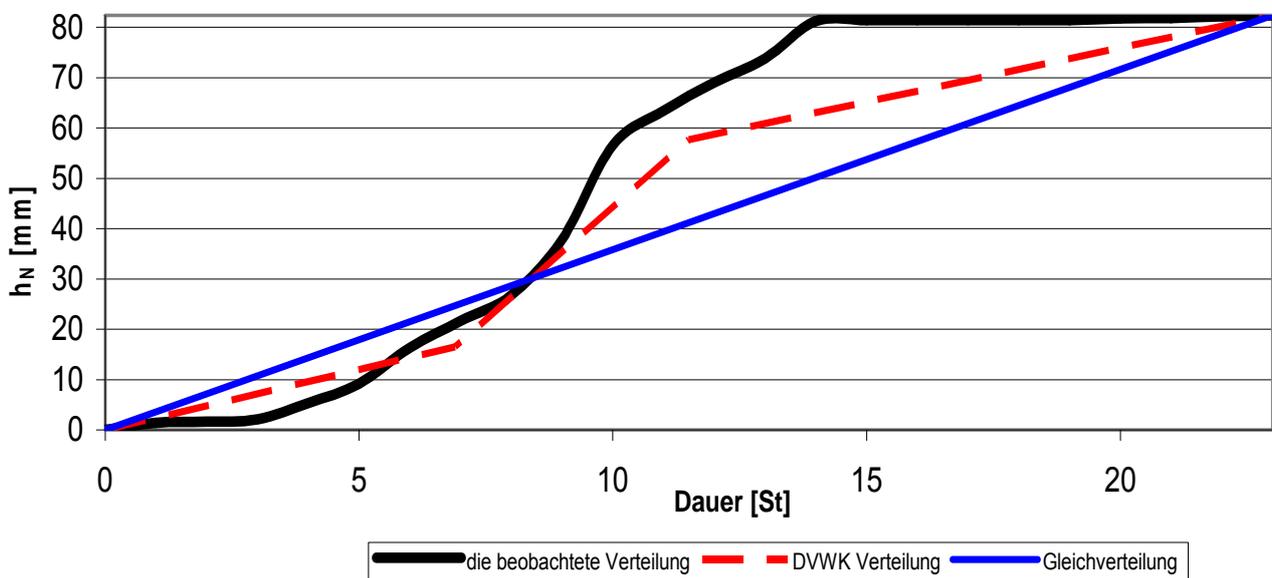


Abb.17 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses (20.IX.2000-27.IX.2000)

- 03.V.2002-09.V.2002

Für das Ereignis im Mai 2002 weicht die Niederschlagssummenlinie der einzelnen Ereignis deutlich von der DVWK Verteilung ab. Dies ergibt sich aufgrund einer aussergewöhnlicher Niederschlagsverteilung.

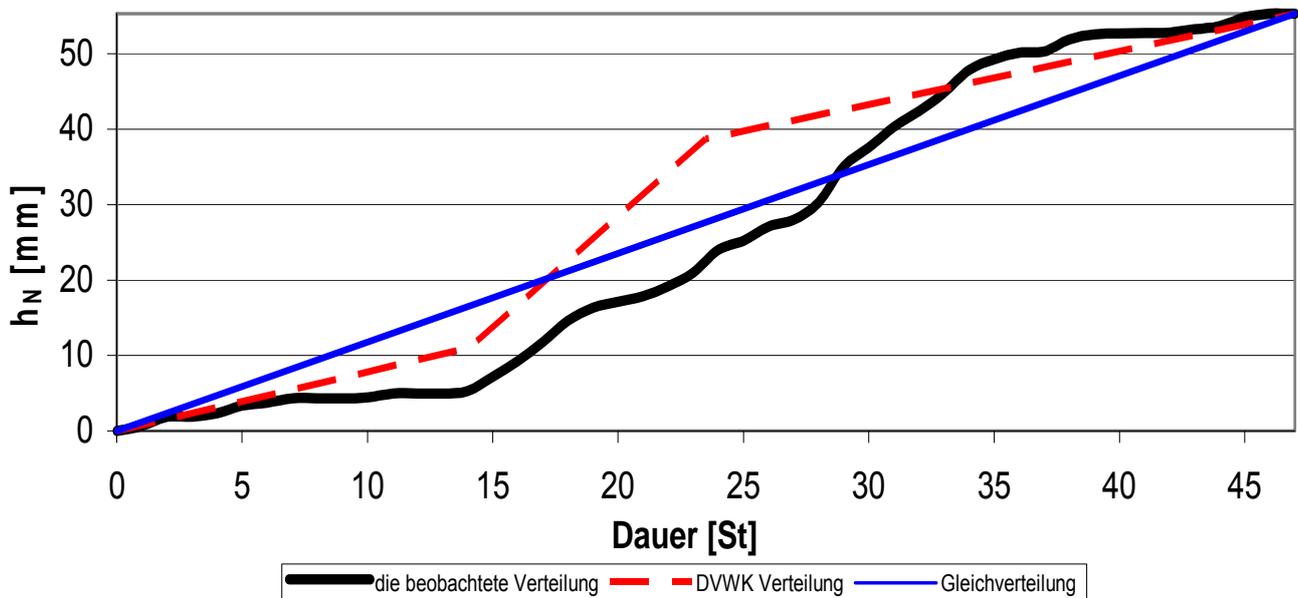


Abb.18 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses (03.V.2002-09.V.2002)

- 05.VI.2002-26.VI.2002

Für dieses Ereignis kann keine eindeutige Niederschlagsspitze ausgemacht werden. Das kann sowohl an der Niederschlagsganglinie, als auch an der Niederschlagssummenlinie abgelesen werden. Es ist deshalb eine Zerlegung in ein Hauptereignis und mehrere sekundäre Ereignisse nötig. Als Hauptereignis wird die erste steilste Steigung der Kurve angenommen. Für eine bessere Interpretation sollen außerdem mehrere Sekundärereignisse festgelegt werden.

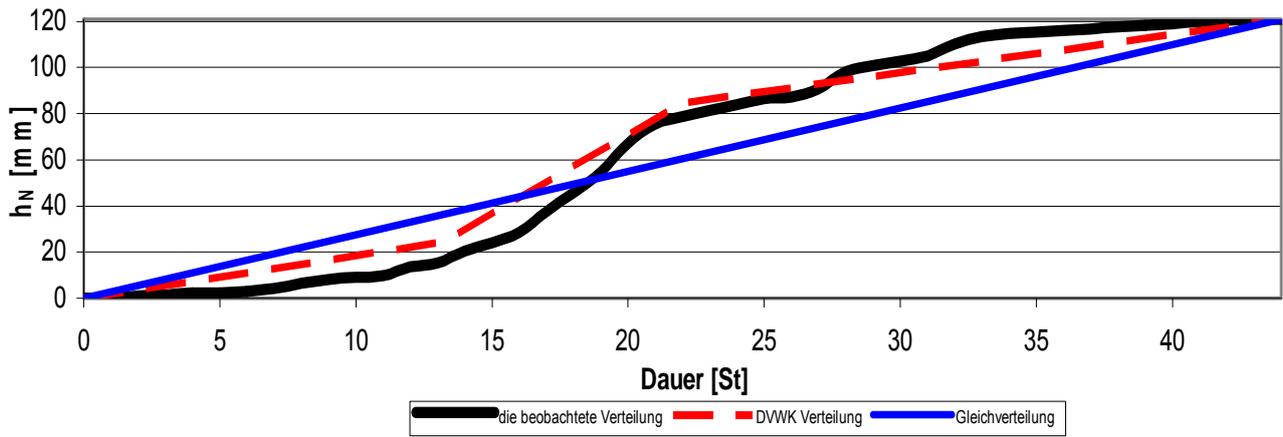


Abb.19 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses-
 Hauptereignis (05.VI.2002-26.VI.2002)

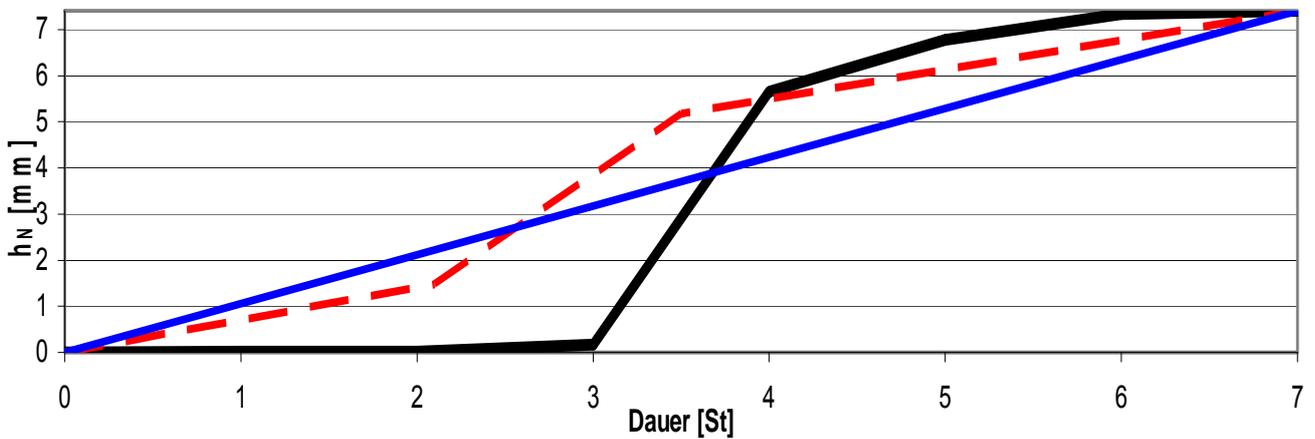


Abb.20 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses- 1
 Sekundärereignis (05.VI.2002-26.VI.2002)

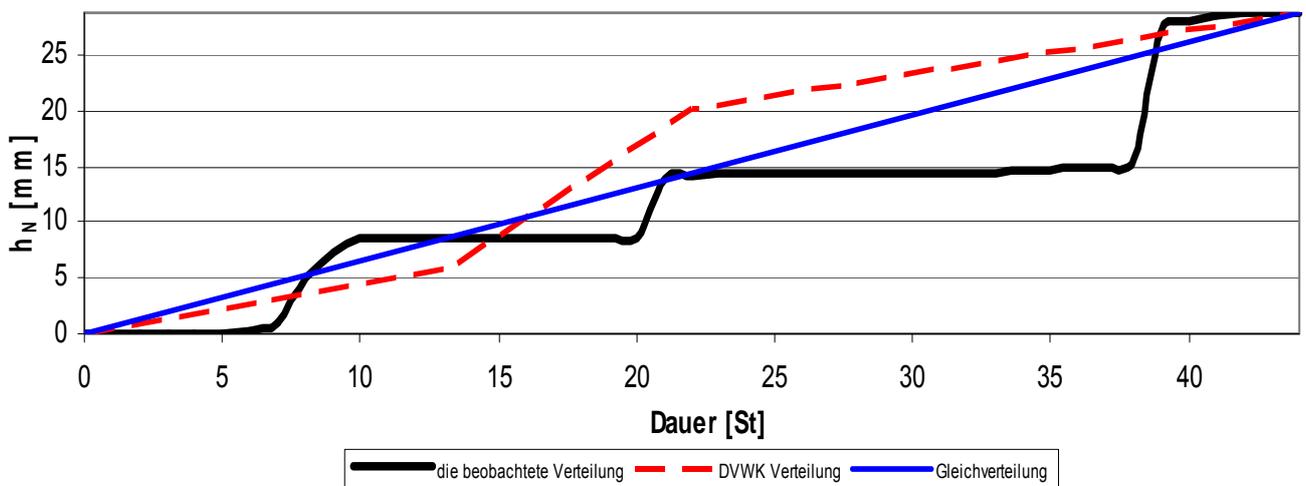


Abb.21 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses- 2
 Sekundärereignis (05.VI.2002-26.VI.2002)

- 14.XI.2002-24.XI.2002

Dieses Ereignis kann als aussergewöhnlich eingestuft werden, da sehr hohe Niederschlagsintensitäten dokumentiert wurden. Der rasche Anstieg der Summenlinie innerhalb der ersten 70 Stunden bewirkt große Abflüsse.

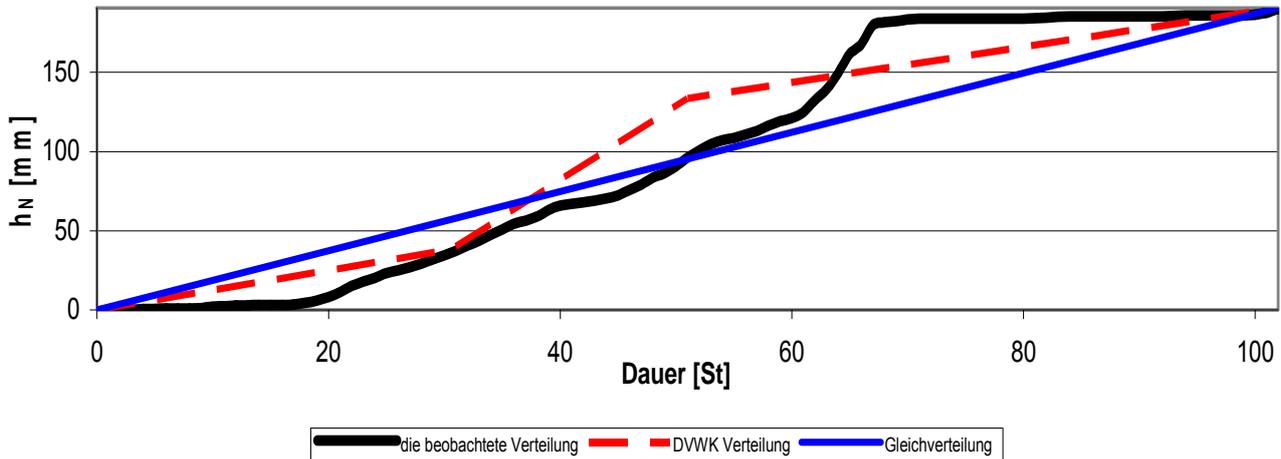


Abb.22 Niederschlagssummenlinie des einzelnen Ereignisses (14.XI.2002-24.XI.2002)

II.4.2.4 Intensitätsverteilungen-Zeitliche Verteilung des berechneten Niederschlages

In den Abbildungen 23 und 24 ist die Abnahme der Niederschlagsintensität für das Ereignis 03.05.2002-09.05.2002 über die abflusswirksame Niederschlagsdauer dargestellt. Die Abbildungen für die anderen Ereignisse sind im Anhang V (V.1-V.10) zu finden.

03.05.2002-09.05.2002

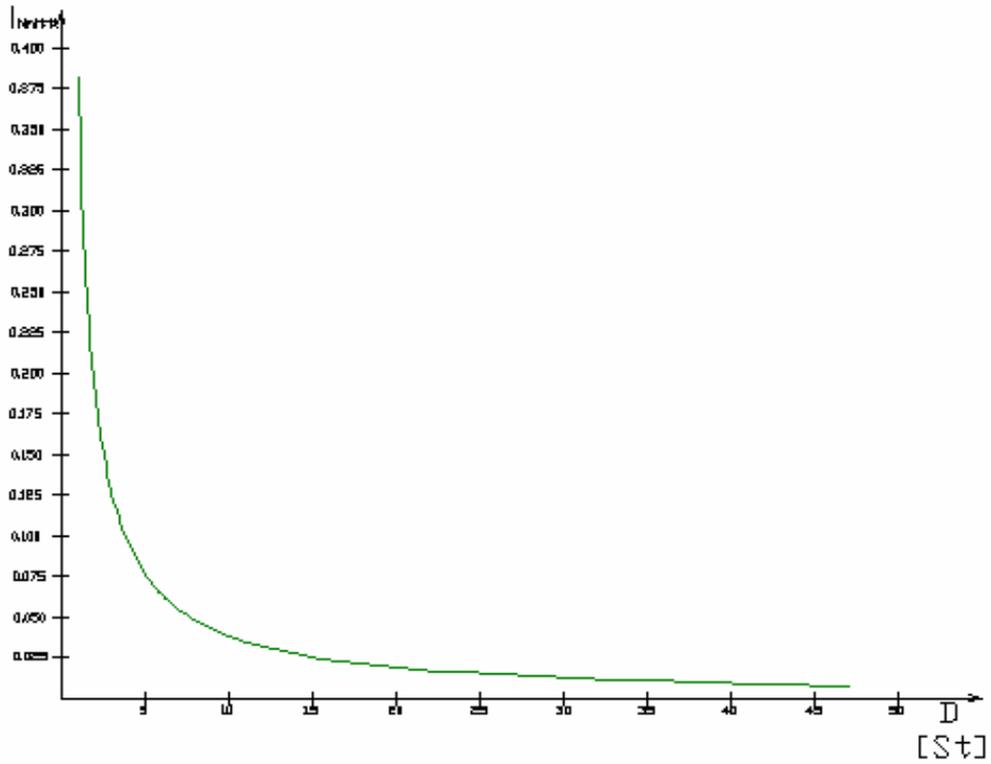


Abb. 23 Abnahme der Intensität im Laufe der Zeit

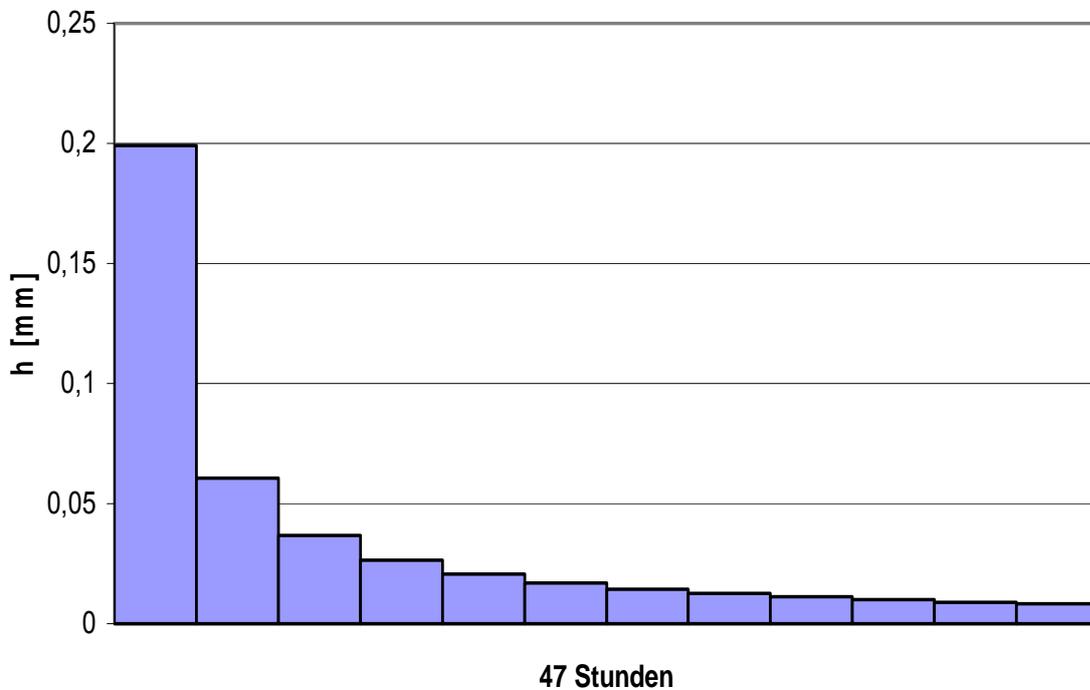


Abb. 24 Abnahme der Intensität im Laufe der Zeit

II.4.3. Der Abflussprozess

Der Abflussvorgang bildet einen Teil des Wasserkreislaufes in einem Einzugsgebiet. Auf den einzelnen Flächen des Gebietes sind je nach Voraussetzungen und Gegebenheiten bestimmte Teilvorgänge auf verschiedenen Ebenen beteiligt: Interzeption, Evaporation, Transpiration, Oberflächenrückhalt, Oberflächenfließen sowie Infiltration an der mit Vegetation bestandenen Geländeoberfläche; Infiltration, Tiefensickerung sowie kapillarer Bodenwasseraufstieg in der Bodenzone; Grundwasserbewegung in der Grundwasserzone.

Konzeptionen zur Nachbildung des Abflussvorganges gehen davon aus, dass auf den einzelnen Ebenen Speicherräume existieren, die im Verlauf des Vorganges gefüllt und entleert werden. Zwischen den Speichern findet Austausch über Fliessvorgänge statt, die als ganzes von der Niederschlag abhängig sind. Sie sind dadurch charakterisiert, dass sie verschieden rasche und verschieden intensive Abflussreaktionen auslösen.[3]

Entsprechend dieser vertikalen Gliederung in drei Zonen können auch drei Abflusskomponenten unterschieden werden: Oberflächenabfluss, hangparalleler Zwischenabfluss und grundwasserbürtiger Abfluss.

Der Oberflächenabfluss tritt auf, wenn die Niederschlagsintensität größer als die Infiltrationsintensität ist oder wenn die Speicherkapazität der Bodenoberfläche erschöpft ist.

Der Infiltrationsvorgang hängt vom Bodenfeuchtedefizit ab. Ist die obere Bodenzone wassergesättigt, so findet eine Infiltration durch die Bodenoberfläche nur in dem Maße statt, wie eine Versickerung aus der oberen Bodenzone in tiefere Bodenschichten erfolgt bzw. eine Leerung des Speichers der oberen Bodenzone durch den hangparallelen Zwischenabfluss zum Gewässernetz hin gegeben ist. Das in tiefere Bodenschichten versickerte Wasser speist den Grundwasserspeicher, der mit entsprechender Verzögerung durch den grundwasserbürtigen Abfluss geleert wird. Die drei Abflusskomponenten Oberflächenabfluss, hangparalleler Zwischenabfluss und grundwasserbürtiger Abfluss bilden in der Summe den Abfluss Q im Gewässernetz.

Bei den Einflussfaktoren kann grundsätzlich zwischen ereignisbezogenen und gebietsbezogenen unterschieden werden. Die ereignisbezogenen Faktoren sind: die Art des Niederschlags (Regen, Schnee), die Parameter des Niederschlagsereignisses (Höhe, Dauer, Intensität, Regenspende), die Vorbefeuchtung, die Dauer der vorgangenen Regenpause. Die gebietsbezogenen Faktoren sind: Vegetation (Art und Zustand), topographische Größen (Einzugsgebietgröße und -form, Gefälle, Höhe, Gewässerdichte) und die Bodeneigenschaften (Nutzung, Feuchte, Durchlässigkeit, Grundwasserflurabstand)

Bei der Betrachtung von kürzeren Zeitintervallen (Stunden oder Tagen) interessieren in der Regel nur die sogenannten "schnellen"

Abflusskomponenten Oberflächenabfluss und hangparalleler Zwischenabfluss, die in der Summe als Direktabfluss, d.h. als unmittelbar aus Niederschlag gebildeter Abfluss bezeichnet werden. [2]

II.5 Kalibrierungsprozess

II.5.1 Allgemein

Nach der Aufbereitung der Punktniederschlagsdaten zu Gebietsniederschlag, unter Verwendung von Isohyetenkarten und der Teilgebietsflächen, erfolgen der Abzug der Anfangsverluste A_{Vi} und die Aufteilung auf die 3 Speicher mittels flow ratio f_{Ri} . Die verbleibenden Niederschlagsanteile gelangen in die Clark Abflusstransformation, die durch Konzentrationszeit t_{Ci} und Speicherkonstante K_i parametrisiert ist, wo sie zu Abflussganglinien der Einzelspeicher umgerechnet werden. Die Ordinaten dieser Abflussganglinien werden im Anschluss am Pegel-Kontrollpunkt summiert, was die Abflussganglinie des gesamten Einzugsgebietes ergibt. Um die Ereignisanpassung zu erleichtern, und um spätere Prognosemöglichkeiten aufrecht zu erhalten, ist es Ziel des Kalibrierprozesses, die Konzentationszeiten und Speicherkonstante der Einzelspeicher ereignisunabhängig konstant zu halten. Die Anpassung des Modells an weitere Ereignisse soll über die Parameter Anfangsverlust und flow ratio (welche auch stärkeren Einfluss auf die Grösse und den zeitlichen Verlauf der berechneten Durchflüsse als die Speicherkonstanten haben) durch schrittweise Anpassung der Abflusskomponenten an die gemessene Pegelabflussganglinie in der Reihenfolge Basisabfluss, Zwischenabfluss und Oberflächenabfluss erfolgen [2].

II.5.1.1 Basisabfluss

Die Modellierung des Basisabflusses erfolgt als erster Schritt während des Kalibrierungsprozesses und der Ereignisanpassung. Durch den Basisabfluss werden der „offset“ der gerechneten Ganglinie und das Ende der Auslaufinie bestimmt. Der offset der Ganglinie wird durch Angabe des Initialabflusses definiert. Hier kann der Anfangswert der gemessenen Abflussganglinie verwendet und mit der gewählten flow ratio skaliert werden.

$$Q_{i\text{mod}} = \frac{Q_{g\text{em}}}{f_R}$$

$Q_{g\text{em}} [m^3 / s]$ gemessener Initialabfluss

$f_R [-]$ flow ratio

$Q_{i\text{mod}} [m^3 / s]$ Initialabfluss im Modell

Im Anschluss wird die Rezessionskonstante ermittelt:

$$K_r = e^{-\frac{1}{K}}$$

K_r [1/d] Rezessionskonstante

K [d] Speicherkoeffizient

Der Speicherkoeffizient K hat wesentlichen Einfluss auf die Höhe des Spitzenabflusses und auf die Form der Auslauflinie. Im Falle der Basisabflussmodellierung gilt das Hauptaugenmerk der Form des auslaufenden Astes. Durch manuelle Analyse der Ganglinie kann der Wert für den Speicherkoeffizienten vorweg abgeschätzt werden.

Die Konzentrationszeit t_c kann für den Basisabfluss nur schwer abgeschätzt werden, da sich für sie oft keine sichtbaren Merkmale in der Abflussganglinie finden.

Der Anfangsverlust A_v wurde zur Berechnung des Basisabflusses nicht spezifisch ausgewiesen.

Während des Kalibrierprozesses werden die Parameter solange variiert, bis der gerechnete Basisabfluss im Vergleich zur gemessenen Ganglinie innerhalb von plausiblen Grenzen zu liegen kommt. Dem Zusammenspiel des Speicherkoeffizienten mit der Rezessionkonstante und der flow ratio mit dem Initialabfluss und dem Schwellenwert muss dabei Rechnung getragen werden.

Sind die Konzentrationszeiten und Speicherkoeffizienten hinreichend genau ermittelt, erfolgt die Anpassung an weitere Ereignisse mittels flow ratio und Initialabfluss [2].

II.5.1.2 Zwischenabfluss

Der Zwischenabfluss wird im Einzugsgebietsmodell mit „mittel“ bezeichnet. Für seine Berechnung ist kein weiterer offset mehr nötig, da in Folge seine Ordinaten zu jenen des Basisabflusses addiert werden. Die verbleibenden Parameter sind somit Konzentrationszeit und Speicherkoeffizient, die Angabe eines Anfangsverlustes ist möglich.

Nach der Ermittlung der Gebietsparameter Konzentrationszeit und Speicherkoeffizient erfolgt die Anpassung an weitere Ereignisse durch Variation des Abflussbeiwerts (flow ratio).

II.5.1.3 Oberflächenabfluss

Im Einzugsgebietsmodell wird der Oberflächenabfluss mit Hilfe der subbasin-Elemente mit der Bezeichnung „schnell“ berechnet. Neben den Gebietsparametern Konzentrationszeit und Speicherkoeffizient ist auch der Ereignisparameter Anfangsverlust zu bestimmen. Mit ihm wird der Zeitpunkt des Anspringens des schnellen Speichers angegeben und der „Feuchtezustand“ innerhalb des Gebiets ausgedrückt. Trockene Einzugsgebiete weisen einen grösseren Anfangsverlust auf, als Gebiete, in denen die Vorfeuchte schon recht hoch ist. Die Kalibrierung erfolgt unter

Bedacht auf den ansteigenden Ast, die Abflussspitze und den oberen absteigenden Ast der gemessenen Abflussganglinie. Die Konzentrationszeit kann aufgrund der Abflussspitze recht genau erfasst werden, der Speicherkoeffizient wird so lange variiert, bis die Steigung des ansteigenden Astes und das Gefälle des Oberflächenabflusses werden im Anschluss zu jenen des Basisabflusses und des Zwischenabflusses addiert, was in der gerechneten Abflussganglinie des entsprechenden Ereignisses resultiert. Nach erfolgter Bestimmung der gebietspezifischen Kenngrößen, sind Anfangsverlust und flow ratio die zu variierenden Parameter für weitere Ereignisse.[2]

II.5.2 Kalibrierung aufbasis Einzelereignisse

Als historische Ereignisse für die Kalibrierung wurden 6 Ereignisse im Zeitabschnitt von 1999 bis 2002 ausgewählt. Die erste Kalibrierung wurde für das Ereignis 03.05.2002-09.05.2002 (als Basisereignis angenommen) durchgeführt. Diese Anpassung ergibt die gebietsbezogenen Komponenten, welche für die restlichen Ereignisse als unverändert angenommen werden.

Nach der Anpassung der Gebietsparameter wird der Abflussbeiwert (flow ratio) für jedes Ereignis ermittelt.

Der Anfangsverlust wird zunächst vernachlässigt und mit 0 angesetzt.

Die Gebietsparameter Speicherkonstante und Konzentrationszeit ändern die Form und die Höhe der Abflußkurve.

Mit dem Ereignisparameter flow ratio wird die Menge des Niederschlages verändert.

Im Rahmen der Kalibrierung soll die simulierte Ganglinie möglichst genau an die gemessene angepasst werden.

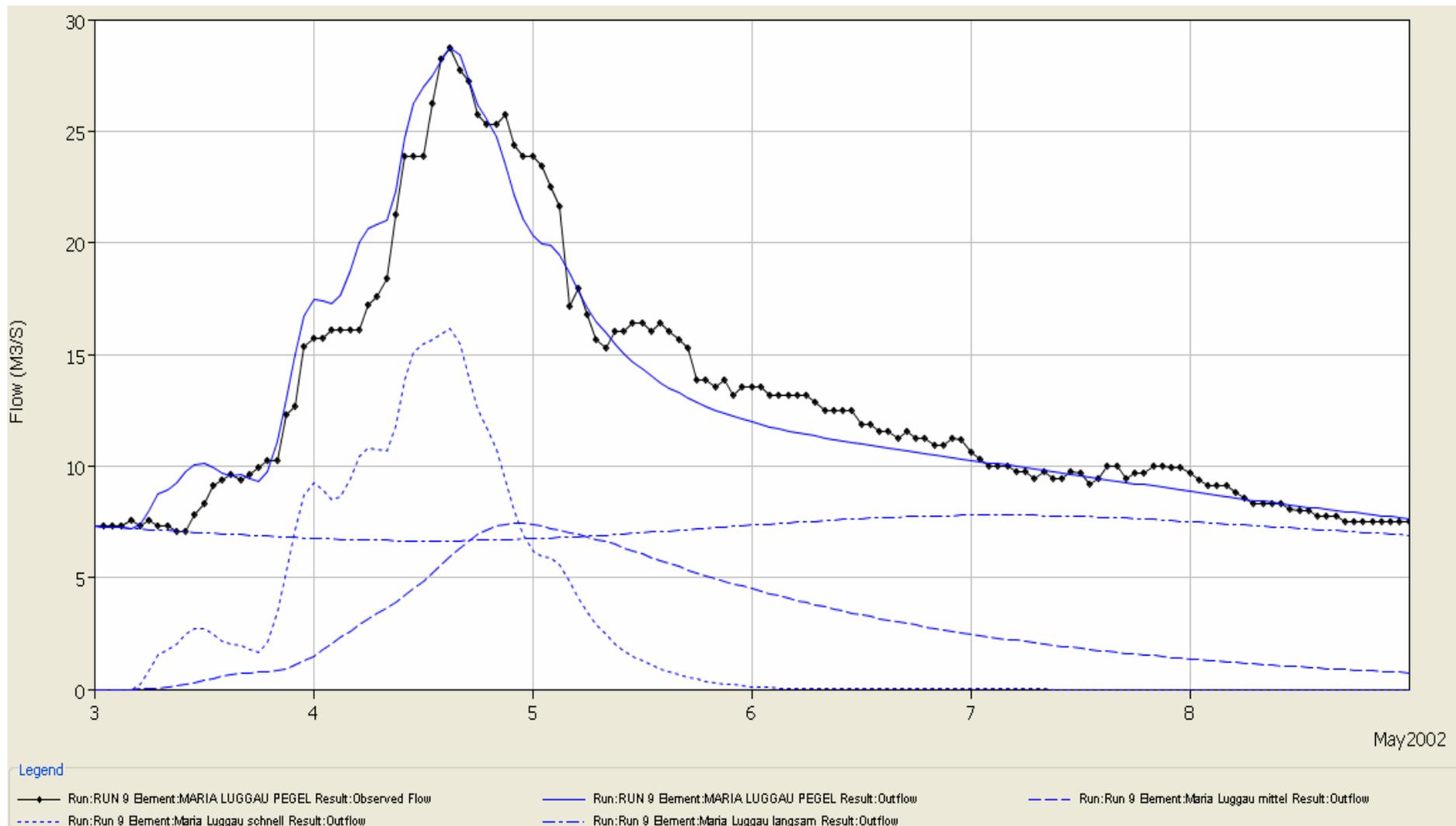


Abb.25: Die berechnete Abflussganglinie ohne Anfangsverluste (03.05.2002-09.05.2002)

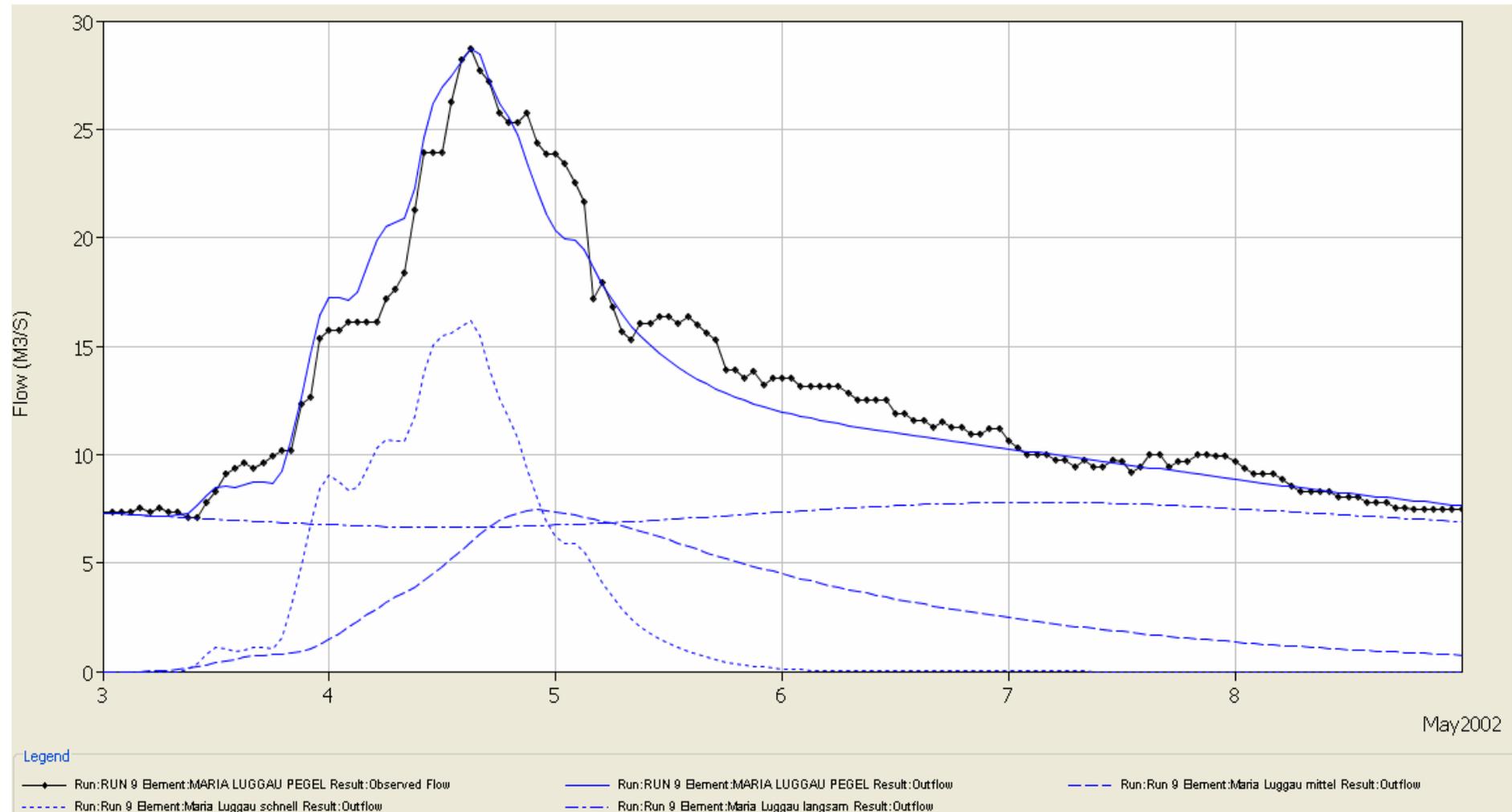


Abb.26: Die berechnete Abflussganglinie mit Anfangsverluste (03.05.2002-09.05.2002)

Die Kalibrierung des Basisereignisses ergibt folgende Ergebnisse (Tab.1)

Parameters:		langsam	mittel	schnell
Time of Concentration	HR	80	10	2
Storage Coefficient	HR	280	40	6
Initial Discharge	m ³ /s	18,75	18,75	18,75
Recession Constant	-	0,92	0,92	0,92
Flow Ratio	-	0,4	0,2	0,17

Tab.1 Ergebnisse der
 Kalibrierung des Basisereignisses
 (03.05.2002-09.05.2002)

Dass Ereignis hat einen großen Initialabfluss. Die flow ratio für die langsame Komponente ist mit 0,4 sehr groß, was sich durch einen zu kleinen Initialabfluß ergibt, weil die allgemeine Abflusslinie der Pegel Maria Luggau zeigt, dass der Anfang des Ereignisses nicht ganz lesbar ist und deshalb kann das nicht den eigentlichen Basisabfluss sein. Die mittlere und die schnelle Komponente liegen relativ hoch, weil der Niederschlag des einzelnen Ereignisses eine Dauer von 2 Tagen mit kleinen Niederschlagsmengen hat. Die Vorbefeuchtung des Bodens kann eine Ursache für diese großen Werte sein.

- 20.IX.1999-28.IX.1999

Das Ereignis im September 1999 hat eine kürzere Dauer und einen geringeren Abfluß als das Basisereignis. Die durchschnittliche Niederschlagsintensität ist groß, der Abflußbeiwert der schnellen Komponente trotzdem klein. Es gibt auch eine grosse Niederschlagsmenge. Die mittlere und schnelle Komponente sind niedrige und das heisst, dass der Niederschlag nicht eine wesentliche Rolle über den Abflussbildung spielt. Die grosse schnelle Komponente heisst grossen Oberflächenabfluss. Die weitere Analyse ist auf der Anhang I.1 und I.6 sichtbar.

Die schnelle Komponente steigt innerhalb des ersten Tages sehr rasch an. Das Wasser beginnt zu versickern und der Zwischenspeicher beginnt sich zu füllen.

- 10.VII.2000-28.VII.2000

Charakteristisch für dieses Ereignis sind Schwankungen der Niederschlagsganglinie, die sich auch in der Abflußganglinie widerspiegeln.

Der Abflußbeiwert der schnellen Komponente ist im Bezug zu jenem des mittleren relativ klein. Der Grund dafür liegt in geringen Wassermengen und einer raschen Versickerung. Die Intensität ist in den ersten 3 Tagen sehr groß, was an einer steilen Kurve erkennbar ist.

Bei dem Hauptereignis ist die Kurvenveränderung am grössten und die andere sekundäre Ereignisse sich mit einer kleineren Niederschlagsmenge charakterisieren. (Anhang I.2 und I.7)

- 20.IX.2000-27.IX.2000

Das Ereignis von September 2000 hat eine sehr kurze Niederschlagsdauer. Die Abflußbeiwerte sind aufgrund großer Intensität und trockener Verhältnisse sehr klein. (Anhang I.3 und I.8)

- 05.VI.2002-27.VI.2002

Im Juni 2002 folgt einem großen Ereignis ein kleineres. Im gesamten Zeitraum liegen die flow ratios für alle 3 Speicher sehr hoch. Die Ursache dafür sind die feuchte Ausgangsbedingungen sowie eine lange Dauer des Niederschlagsereignisses. (Anhang I.4 und I.9)

- 14.XI.2002-28.XI.2002

Für das Ereignis im November 2002 gab es Probleme bei der Kalibrierung. Es wurden hohe Niederschläge über einen langen Zeitraum mit trockenen Anfangsbedingungen dokumentiert. Im Laufe der Zeit verändern sich die Abflußbeiwerte weshalb einer Unterteilung des Ereignisses für eine zufriedenstellende Kalibrierung am sinnvollsten wäre. (Anhang I.5 und I.10)

II.5.3 Ergebnisse der Kalibrierung

II.5.3.1 Ohne Anpassung der Anfangsverluste

Die Speicherkonstante und Konzentrationszeit sind gebietsspezifisch und werden nicht verändert. Die Anpassung an die weiteren Ereignisse erfolgt mittels flow ratio. Die Ergebnisse sind in den folgenden Abbildungen und Tabellen dargestellt (Anhang von I.1 bis I.5 für Kalibrierung ohne Anfangsverluste und von I.6 bis I.10 für Kalibrierung mit Anfangsverluste).

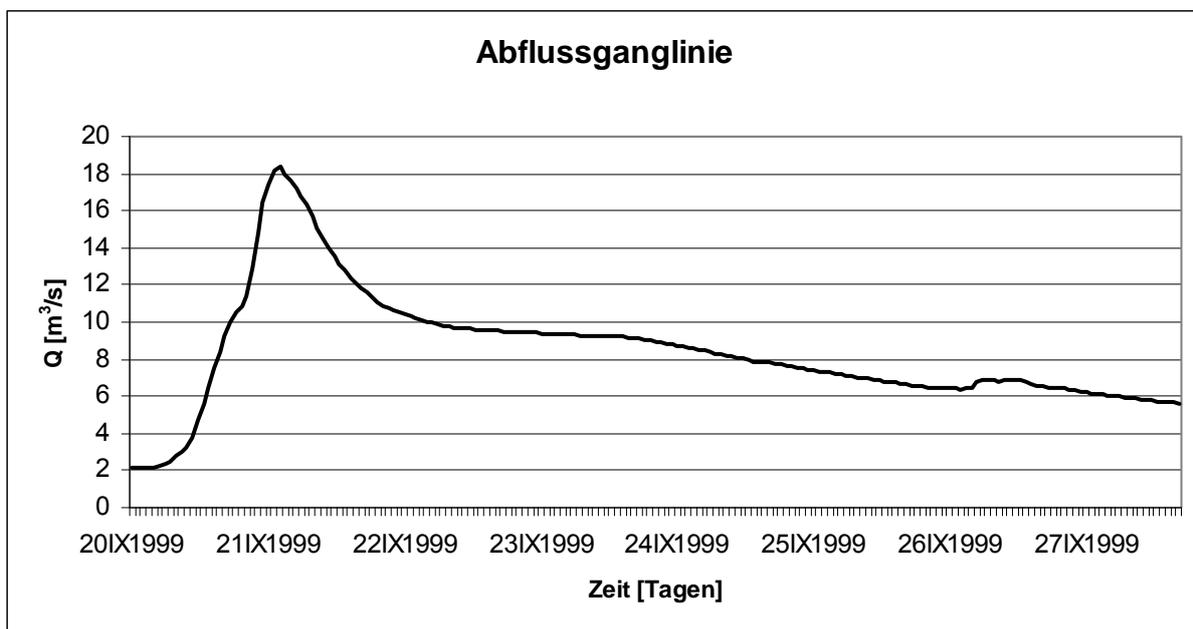


Abb.27: Die berechnete Abflussganglinie (20.IX.1999-28.IX.1999)

Ereignis	Abflussspitze					
	berechnete Werte			gemessene Werte		
	am	um	m ³ /s	am	um	m ³ /s
20.09.1999-28.09.1999	21.09.1999	02:00	18,40	21.09.2000	06:00	18,37

Parameters:		langsam	mittel	schnell
Time of Concentration	HR	80	10	2
Storage Coefficient	HR	280	40	6
Initial Discharge	m ³ /s	5,88	5,88	5,88
Recession Constrant	-	0,92	0,92	0,92
Flow Ratio	-	0,34	0,084	0,041

Tab.2: Ergebnisse der Kalibrierung (20.IX.1999-28.IX.1999)

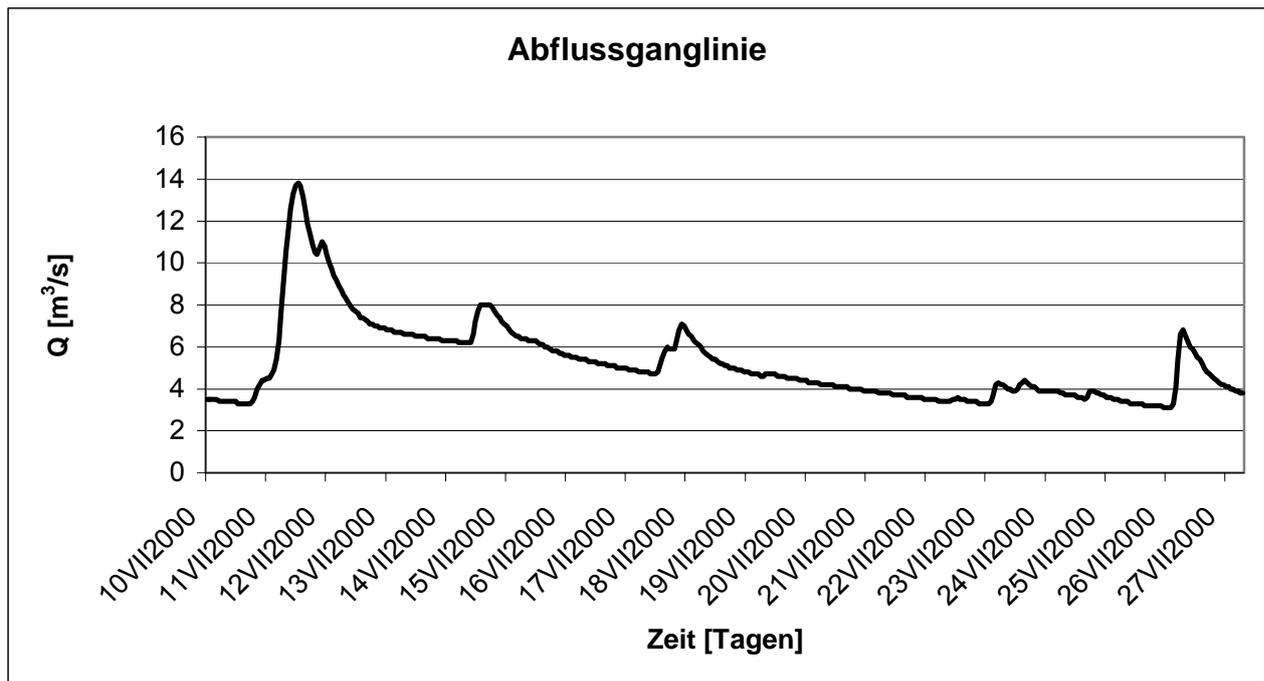


Abb.28: Die berechnete Abflussganglinie
 (10.VII.2000-28.VII.2000)

Ereignis	Abflussspitze					
	berechnete Werte			gemessene Werte		
	am	um	m ³ /s	am	um	m ³ /s
10.07.2000-28.07.2000	11.07.2000	14:00	13,80	11.07.2000	14:00	13,88

Parameters:		langsam	mittel	schnell
Time of Concentration	HR	80	10	2
Storage Coefficient	HR	280	40	6
Initial Discharge	m ³ /s	14	14	14
Recession Constrant	-	0.92	0.92	0.92
Flow Ratio	-	0,25	0,12	0,046

Tab.3: Ergebnisse der Kalibrierung
 (10.VII.2000-28.VII.2000)

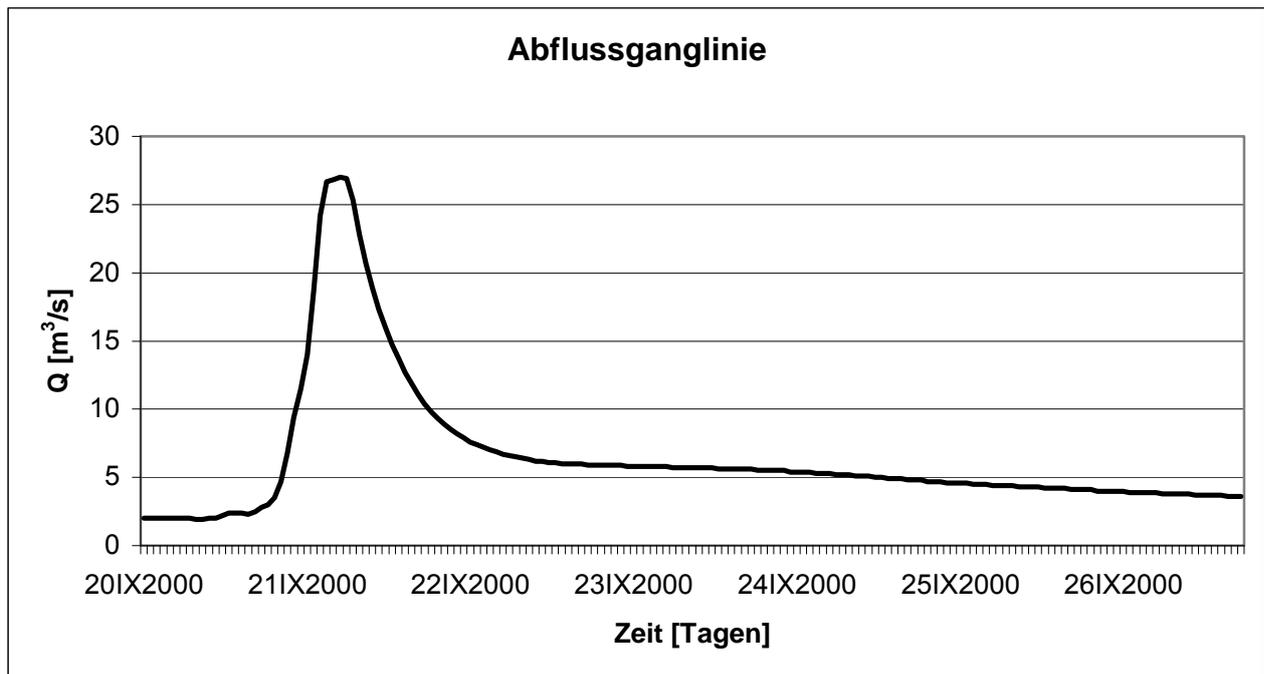


Abb.29: Die berechnete Abflussganglinie
 (20.IX.2000-27.IX.2000)

Ereignis	Abflussspitze					
	berechnete Werte			gemessene Werte		
	am	um	m ³ /s	am	um	m ³ /s
20.09.2000-27.09.2000	21.09.2000	06:00	27,10	21.09.2000	01:00	27,05

Parameters:		langsam	mittel	schnell
Time of Concentration	HR	80	10	2
Storage Coefficient	HR	280	40	6
Initial Discharge	m ³ /s	11,11	11,11	11,11
Recession Constrant	-	0.92	0.92	0.92
Flow Ratio	-	0,18	0,07	0,088

Tab.4: Ergebnisse von der Kalibrierung
 (20.IX.2000-27.IX.2000)

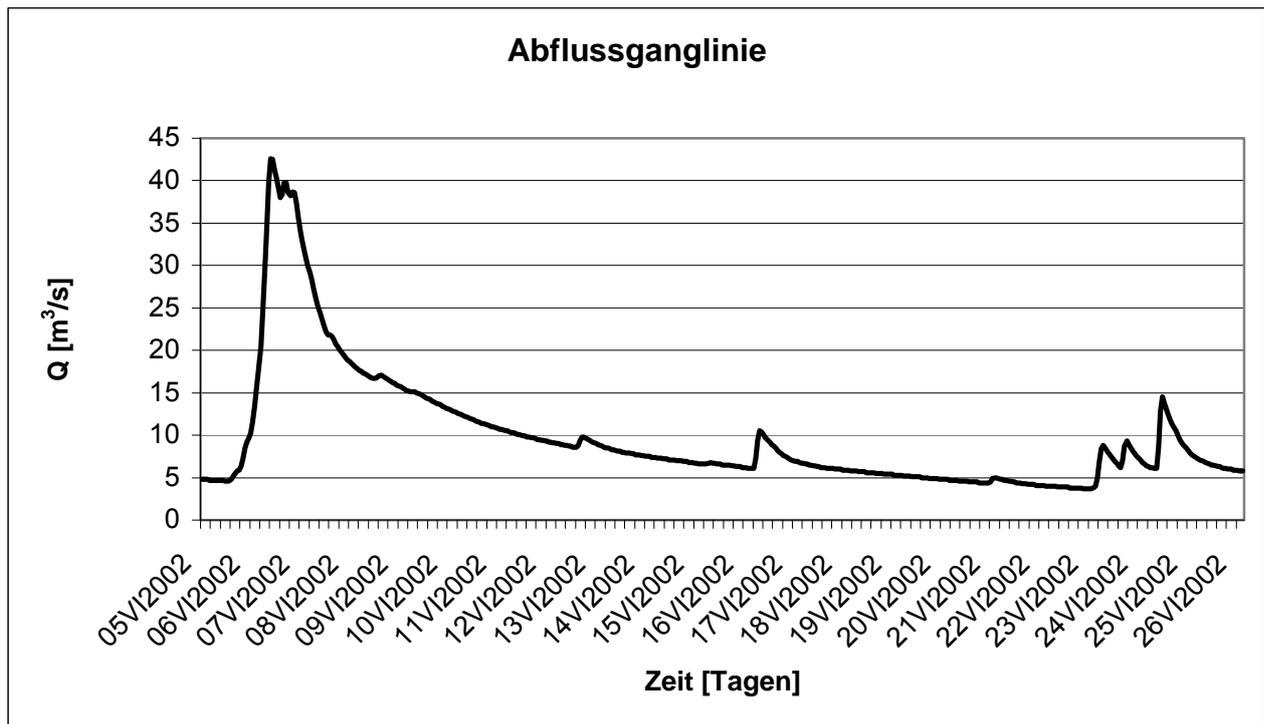


Abb.30: Die berechnete Abflussganglinie
 (05.VI.2002-27.VI.2002)

Ereignis	Abflussspitze					
	berechnete Werte			gemessene Werte		
	am	um	m ³ /s	am	um	m ³ /s
05.06.2002-27.06.2002	06.06.2002	19:00	42,60	06.06.2002	23:00	42,62

Parameters:		langsam	mittel	schnell
Time of Concentration	HR	80	10	2
Storage Coefficient	HR	280	40	6
Initial Discharge	m ³ /s	10,67	10,67	10,67
Recession Constrant	-	0,92	0,92	0,92
Flow Ratio	-	0,45	0,27	0,107

Tab.5: Ergebnisse von der Kalibrierung
 (05.VI.2002-27.VI.2002)

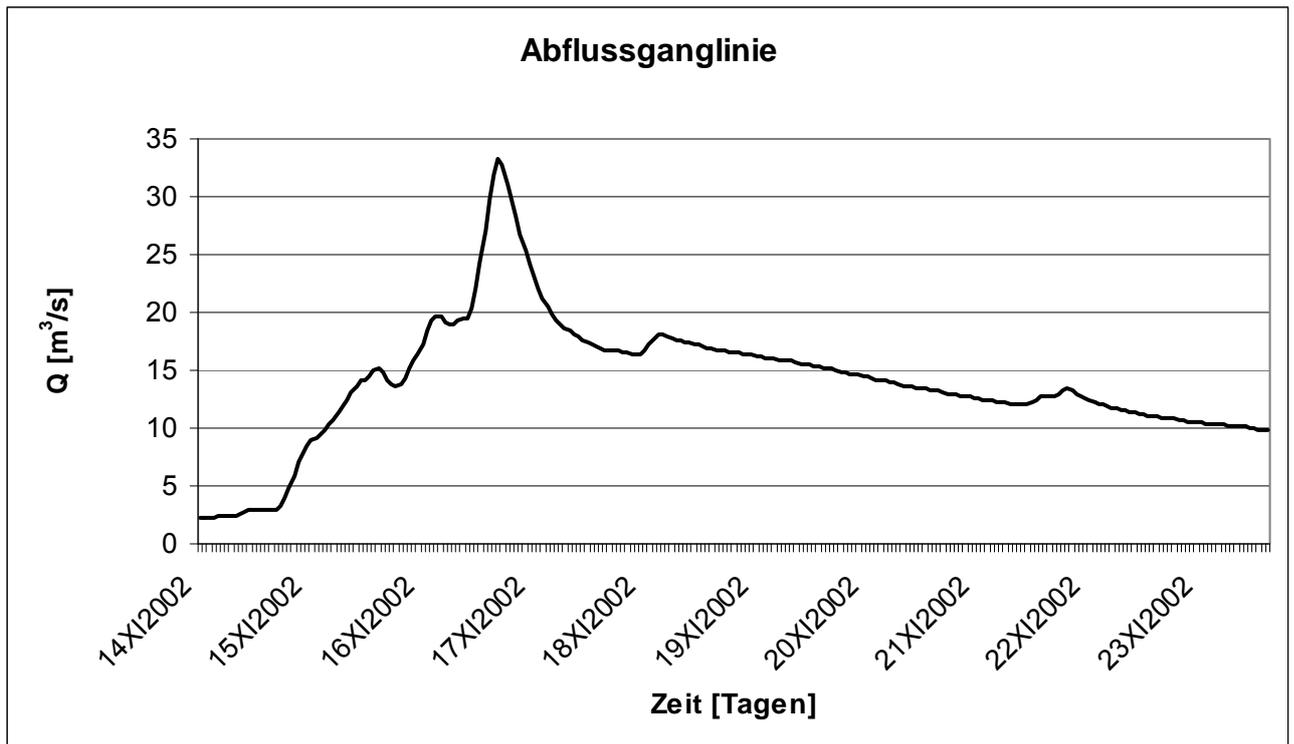


Abb.31: Die berechnete Abflussganglinie
 (14.XI.2002-24.XI.2002)

Ereignis	Abflussspitze					
	berechnete Werte			gemessene Werte		
	am	um	m^3/s	am	um	m^3/s
14.11.2002-24.11.2002	16.11.2002	19:00	33,30	16.11.2002	19:00	33,19

Parameters:		langsam	mittel	schnell
Time of Concentration	HR	80	10	2
Storage Coefficient	HR	280	40	6
Initial Discharge	m^3/s	4,79	4,79	4,79
Recession Constrant	-	0,92	0,92	0,92
Flow Ratio	-	0,48	0,08	0,0785

Tab.6: Ergebnisse von der Kalibrierung
 (14.XI.2002-24.XI.2002)

Eine Zusammenstellung der Ergebnisse der flow ratios (ohne Anpassung der Anfangsverluste) ist in folgender Tabelle dargestellt.

Ereignis	Flow Ratios			Abfluss [m ³ /s]	Dauer [Stunden]	mittl. Intensität [mm]
	langsam	mittel	schnell			
03.05.2002-09.05.2002	0,4	0,2	0,17	28,7	169	0,382
20.09.1999-28.09.1999	0,34	0,084	0,041	18,37	193	0,622
10.07.2000-28.07.2000	0,25	0,12	0,046	13,88	433	0,262
20.09.2000-27.09.2000	0,18	0,07	0,088	27,05	144	0,495
05.06.2002-27.06.2002	0,45	0,27	0,107	42,62	529	0,312
14.11.2002-24.11.2002	0,48	0,08	0,0785	33,19	241	0,825

Tab.7: Zusammenstellung der flow ratios (ohne Anfangsverluste)

II.5.3.2 Mit Anpassung der Anfangsverluste

Ereignis	Flow Ratios			Abfluss [m ³ /s]	Dauer [Stunden]	mittl. Intensität [mm]	Anfangsverluste [mm]		
	langsam	mittel	schnell				langsam	mittel	schnell
03.05.2002-09.05.2002	0,4	0,2	0,172	28,7	169	0,382	-	-	3
20.09.1999-28.09.1999	0,34	0,085	0,04	18,30	193	0,622	-	-	7
10.07.2000-28.07.2000	0,25	0,12	0,048	13,90	433	0,262	-	-	8
20.09.2000-27.09.2000	0,18	0,083	0,09	27,10	144	0,495	-	-	10
05.06.2002-27.06.2002	0,45	0,27	0,107	42,60	529	0,312	-	-	-
14.11.2002-24.11.2002	0,48	0,08	0,079	33,20	241	0,825	-	-	10

Tab.8: Zusammenstellung der flow ratios (mit Anfangsverluste)

Es ist erkennbar, dass die Anfangsverluste keine bedeutende Auswirkung auf die Ergebnisse haben, jedoch für die Zustandbestimmung (Vorbefeuchtung des Bodens) eine große Rolle spielen. Für die weiteren Berechnungen werden die Werte mit den ermittelten Anfangsverlusten verwendet.

Mit diesen Werte wurden Graphiken erstellt, welche den Zusammenhang zwischen dem Niederschlag und dem Abfluss zeigen. Ein Ergebnis aus dem NA-Modell sind die Niederschlagshöhen für die 3 Speicher. In Abb.32 sind die flow ratios für das Ereignis 03.05.2002-09.05.2002 zu erkennen. Die Abbildungen für die restlichen Ereignisse sind im Anhang II zu finden (von II.1 bis II.5). Die Abbildungen von II.6 bis II.8 stellen eine Zusammenfassung verschiedener flow ratios dar.

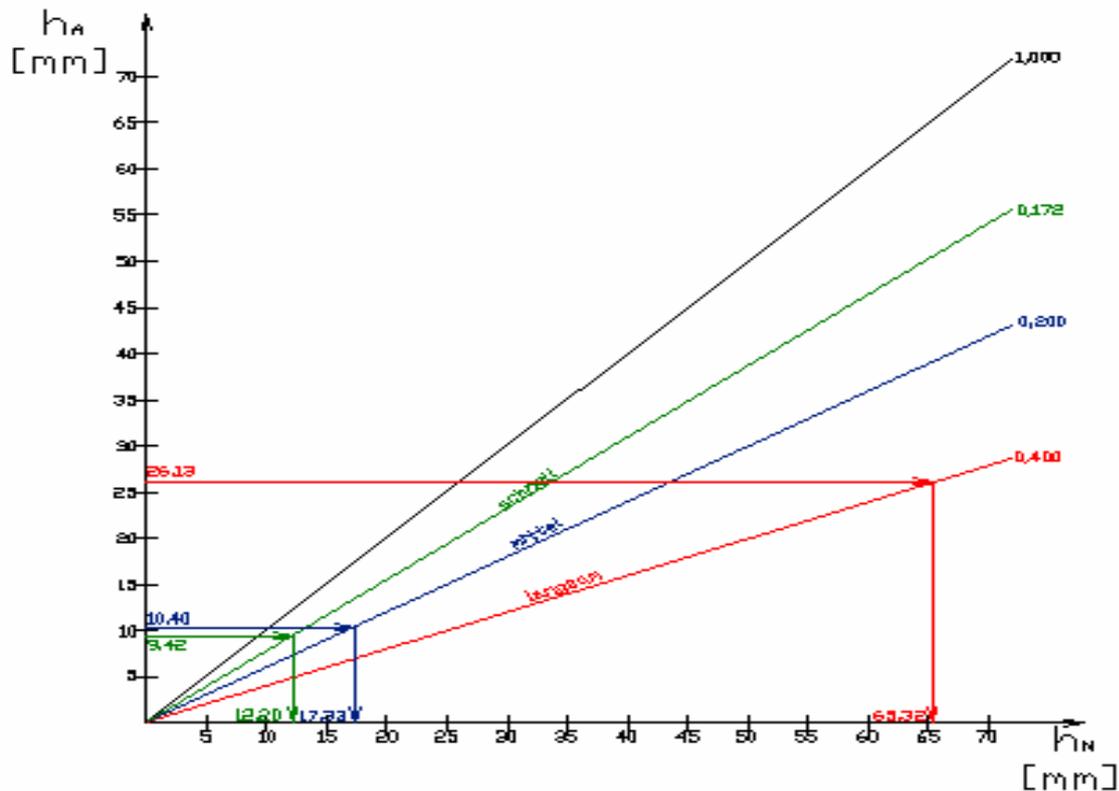


Abb.32 Niederschlag-Abfluss Zusammenhang (mittels flow ratios bestimmt) für das Ereignis von Mai 2002

II.5.3.3 Mittlere flow ratios (Abflussbeiwerte)

II.5.3.3.1 Mittlere flow ratios aller 6 Ereignisse

Abbildung 33 zeigt die mittleren flow ratios für alle 6 Ereignisse. Es stellt sich die Frage, ob die mittleren Werte der flow ratios für alle Ereignisse hinreichend genau und ob eine solche Ermittlung sinnvoll ist. Um dieser Frage nachzugehen wurden die mittleren Werte der flow ratios für die Berechnung jedes Ereignisses verwendet und die Ergebnisse dieser Simulation mit den gemessenen Werten verglichen. Abbildung 34 zeigt das Ergebnis für das Ereignis 03.05.2002-09.05.2002.

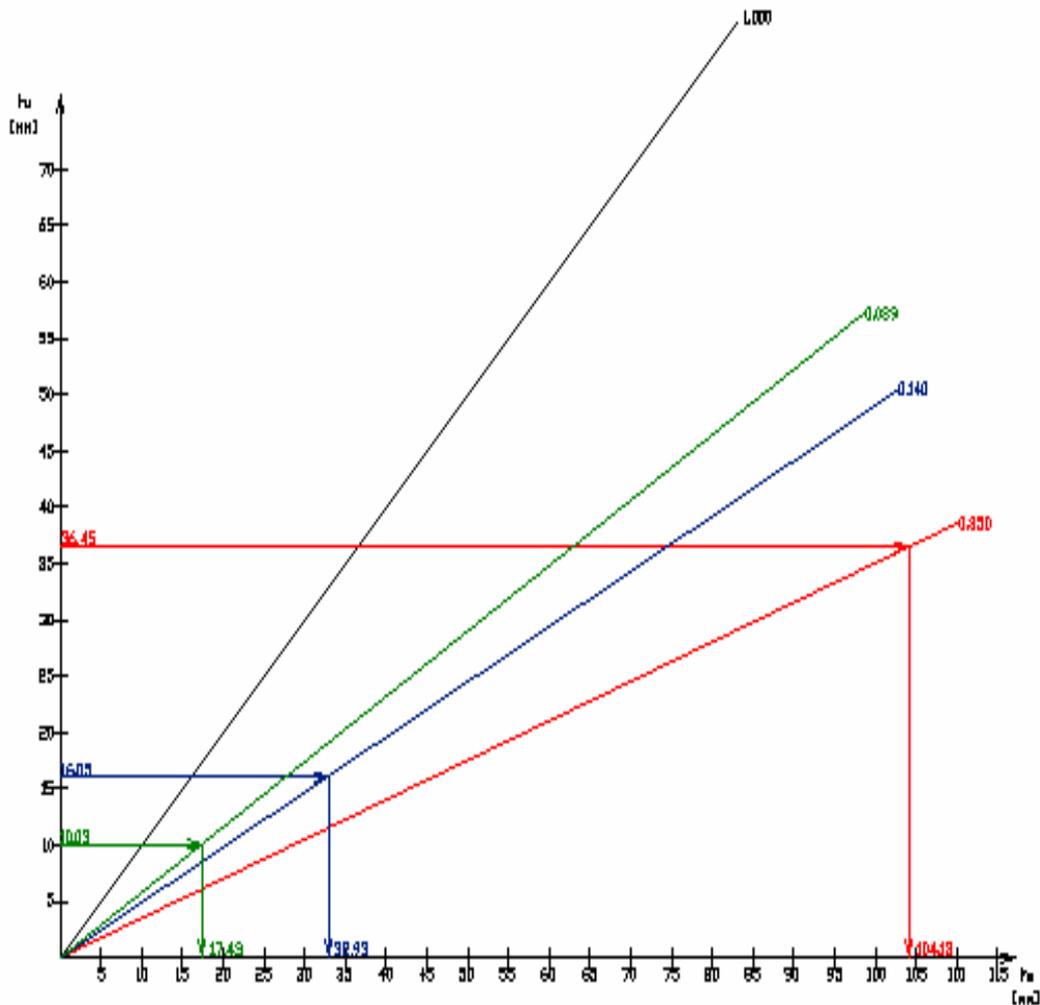


Abb.33 Niederschlag-Abfluss Zusammenhang mit den mittleren flow ratios

Die mittleren Werte der flow ratio liegen für den Basisabfluß bei 0,35, für den Zwischenabfluß bei 0,14 und für den Oberflächenabfluss bei 0,089. Die Abbildungen für die andere Ereignisse sind in Anhang III dargestellt (von III.1 bis III.5)

Es ist klar ersichtlich, dass die Simulationen mit den mittleren Werten für die flow ratios stark von den gemessenen Ganglinien abweichen.

Die Mittelung der flow ratios liefert in diesem Fall keine zufriedenstellende Ergebnisse.

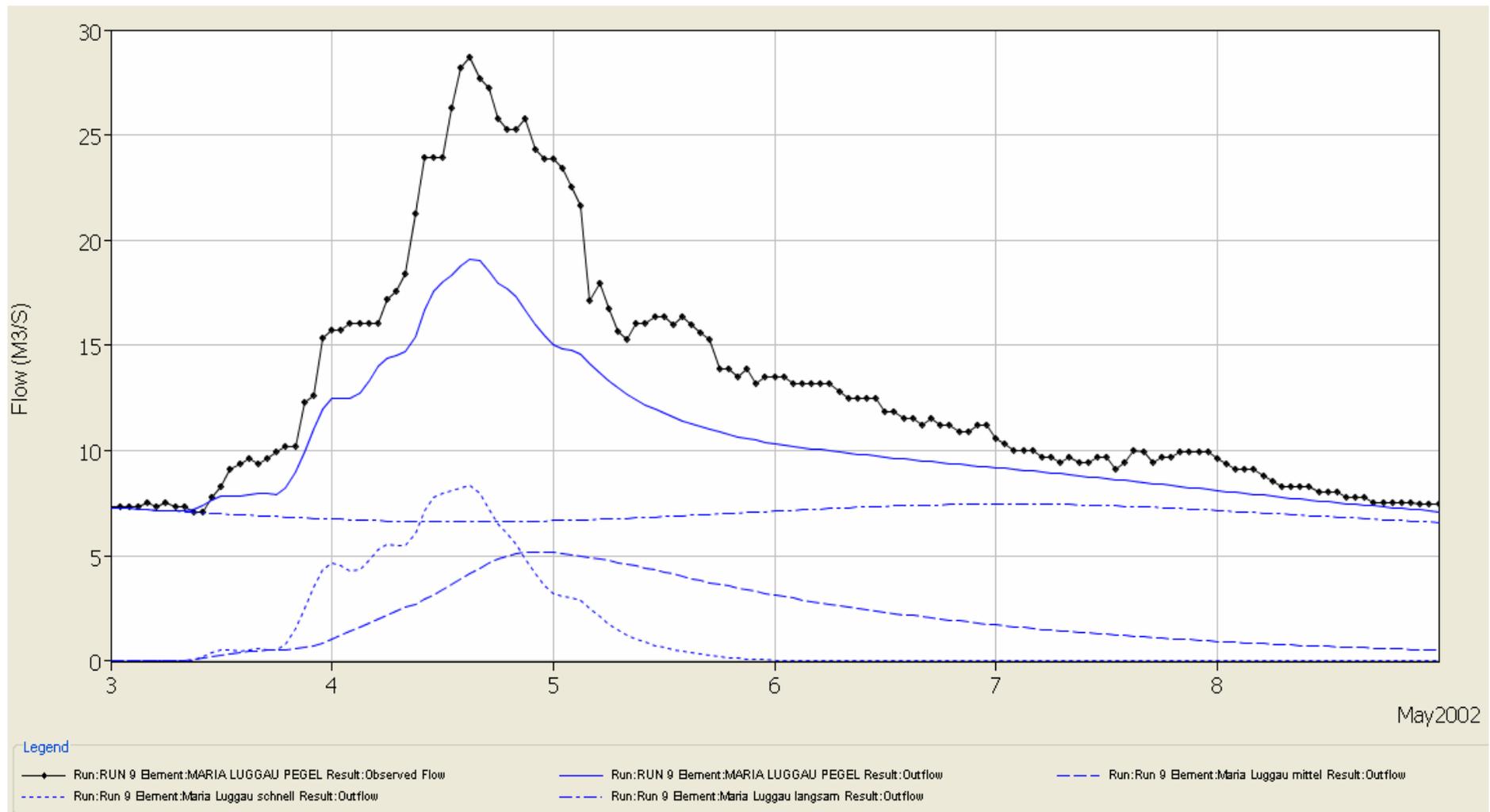


Abb.34 Ergebnisse der Kalibrierung mit den mittleren flow ratios für das Ereignis 03.05.2002-09.05.2002

II.5.3.3.2 Mittlere flow ratios ohne die außergewöhnliche Ereignisse

Bei einer Analyse der flow ratio Werte ist es offensichtlich, dass die flow ratios der Ereignisse 03.05.2002-09.05.2002 und 05.06.2002-27.06.2002 größer als die vier anderen sind. Für das Ereignis von 14.11.2002-24.11.2002 ist der flow ratio Wert für den Basisabfluß sehr groß, für den Zwischen- und Oberflächenabfluß jedoch sehr klein und somit kein aussergewöhnliches Ereignis ist.

Es wurden Berechnungen ohne die Ereignisse im Mai und Juni 2002 durchgeführt um festzustellen, ob die Ermittlung des mittleren Werte der flow ratios für die restliche 4 Ereignisse sinnvoll ist. In der Abbildung 11 ist das Ergebnis dieser Berechnungen für das Ereignis 20.09.1999-28.09.1999 dargestellt. Die Werte der flow ratios sind: langsam-0,3125; mittel-0,0885; schnell-0,0635.

Alle Ergebnisse zeigen, dass auch in diesem Fall Simulationen mit den mittleren flow ratios nicht geeignet sind. Die andere 3 Abbildungen sind in Anhang IV dargestellt (IV.1-IV.3).

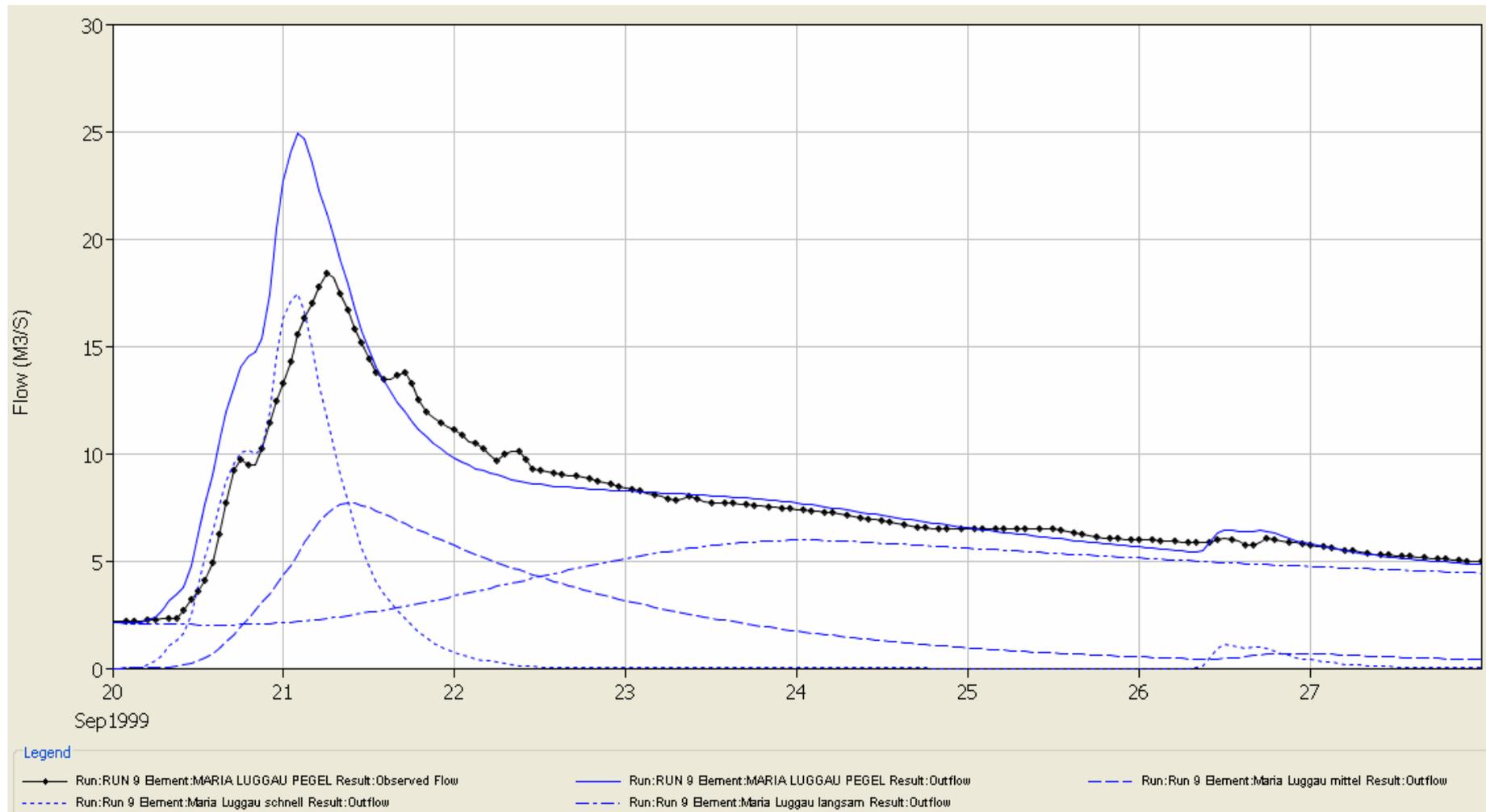


Abb. 35 Ergebnisse der Kalibrierung mit den mittleren flow ratios ohne die aussergewöhnliche Ereignisse

III Zusammenstellung von Bemessungsniederschlägen

III.1 Statistische Bemessungsniederschläge

Bei der Simulation mit Bemessungsniederschlägen ist das Ziel, Abflüsse vorgegebener Wiederholungszeitspannen zu berechnen. Es wird davon ausgegangen, dem Abfluss die gleiche Jährlichkeit wie dem auslösenden Niederschlag zuzuweisen. Das bezieht sich auf die grundsätzlichen Überlegungen über das langfristige, mittlere Verhalten von Niederschlag und Abfluss und hat sich bei der praktischen Anwendung bewährt.

Bei den statistischen Auswertungen werden die Merkmalen Niederschlagsdauer und Niederschlagshöhe bestimmten Häufigkeiten (Wiederholungszeitspannen T_n) zugeordnet.

Die massgebende Niederschlagsdauer entspricht ungefähr der längsten Fliesszeit des Einzugsgebietes (Konzentrationszeit) bis zum betrachteten Gewässerabschnitt. Für eine gewählte Wiederholungszeitspanne steht die Niederschlagshöhe fest.

Für Österreich enthält die Studie von Schimpf und Kreps vier Diagramme, in denen die Niederschlagshöhe „ergiebiger“ Niederschläge für die Bezugsdauer von 1, 2, 3, 4, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 und 72 Stunde in Abhängigkeit von der Jährlichkeit in vier Klassen eingeteilt ist. Zuordnung zu einer der vier Klassen erfolgt über die langjährige mittlere Jahresniederschlagshöhe unter Berücksichtigung gewisser Verschiedenheiten in den Bundesländer bzw. grossen Flussgebieten.

Die Festlegung eines Bemessungsniederschlages für eine gegebene Situation erfordert die Wahl der massgebenden Niederschlagsdauer, aus der sich die zugehörige Niederschlagshöhe und Intensität ergeben, und die Festlegung der zeitlichen Verteilung des Niederschlags und der räumlichen Verteilung innerhalb des Ereignisses über das Gebiet. Die Wahl der Niederschlagsdauer wird vom Umstand beeinflusst, dass kurze Bezugsdauern Niederschläge größerer Intensität liefern, lange Bezugsdauern solche großer Höhe und kleiner Intensität.

Der Intensitätsverlauf, die räumliche Ausdehnung und die Wanderungs- richtung und -geschwindigkeit sind wichtige Daten des meteorologischen Vorgeschichte für die Abflussbildung. Sie sind in ihrem Zusammenwirken statistisch nicht beschreibbar.

III.2 Zusammenstellung der Bemessungsniederschläge

Aus den Diagrammen der 4 Klassen für Kärnten ist dieser mit 45 Stationen gewählt (Anhang VII). Die Bemessungsniederschlagshöhen für HQ100, HQ300, HQ500 und HQ1000 für die Dauer von 1, 6, 12, 24 und 36 Stunden wurden abgelesen. Die Dauer ergibt sich möglichen Kombinationen der Konzentrationszeiten und Speicherkoeffizienten, da diese zwei die einzigen vom Niederschlag beeinflussten Komponenten sind. Die abgelesene Werte sind in Tab.9 gegeben.

		Jaehrlichkeit			
		100	300	500	1000
Dauer [Stunden]	1	48	52,5	54	56
	6	80	89	94	98
	12	112	132	141	150
	24	150	176	188	202
	36	180	210	223	238

Tab.9: Abgelesene Werte der Bemessungsniederschläge

IV. Berechnung der Hochwasserabflüsse für die gewählten Bemessungsniederschläge (mittels des NA-Modells)

IV.1 Vorgeschichte

Die Bestimmung der Ausgangslage bezüglich des Feuchtezustandes basiert auf einem Vergleich aller zusammenwirkenden Komponenten.

Die Vorbefeuchtung hat einen starken Einfluß auf die Zone der Spitze der Abflusslinie. Es kann deshalb angenommen werden, dass die Beeinflussung des Niederschlags der einzelnen Ereignisses begrenzt ist. Die Vorbefeuchtung kann somit nur in jenem Zeitabschnitt berechnet werden, in dem die Abflusslinie starke Höheveränderung durchläuft (Abb 36). Der Anfangspunkt befindet sich auf den Anhang der Zeitabschnitt und das Ende ist den letzten Punkt der beobachteten Periode. Den unteren Teil des Abflusses (Basisabfluss) ist von der Vorbefeuchtung nicht beeinflusst.

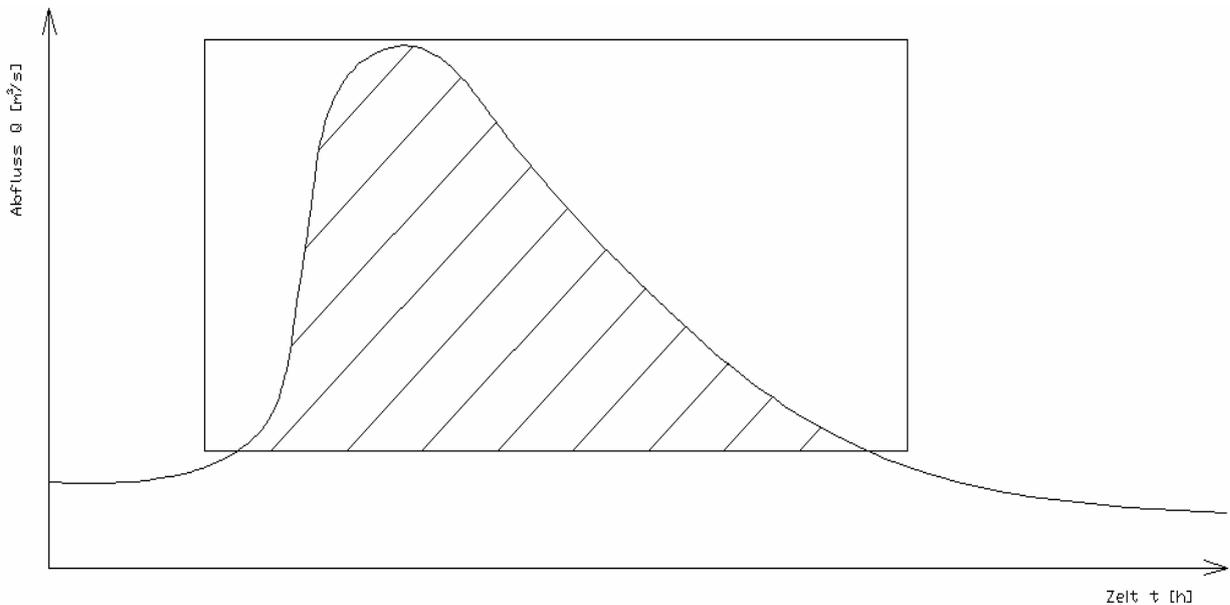


Abb. 36 Vorbefeuchtungswirksame Abflusslinienfläche

Eine Zusammenfassung dieser Parametern ist in Tab.10 dargestellt.

Ereignis	Dauer [Stunden]	max Niederschlag	Intensitaet	IA (nicht skaliert)*	A am Ende (nicht skaliert)**	Unterschied
03.05.2002-09.05.2002	47	4,77	1,176	7,2	19,4	12,2
05.06.2002-27.06.2002	44	12,35	2,748	4,6	32	27,4
20.09.2000-27.09.2000	23	18,66	3,581	1,9	13	11,1
20.09.1999-28.09.1999	52	14,08	2,203	2,2	9	6,8
10.07.2000-28.07.2000	35	6,98	1,798	3,3	10,3	7
14.11.2002-24.11.2002	102	12,08	1,87	2,2	16,2	14

Tab 10. Parameter, die zur Vorbefeuchtenbestimmung dienen

Neue Berechnung für die beschriebene Zone für jedes Ereignis ergeben Parameter, welche einer Nährungsbestimmung der Bodenvorfeuchte dienen. Die Werten für den Abfluss sind von HEC-HMS in zwei Formen gegeben – skaliert und nicht skaliert. Der nicht skalierten Abfluss ist dieser, der mit dem flow ratio nicht multipliziert ist. Die neue Dauer ist gleich der Dauer der abflusswirksamendene Niederschläge und die neue Intensität zeigt die mittlere Niederschlagshöhe in den zu berechneten Zeitabschnitt. Der Unterschied zwischen den Abfluss am Anfang und am Ende der betrachteten Zone zeigt die Wassermenge, die in dieser Zeitspanne im Boden vorher gespeichert war. In Tabelle 10 ist sichtbar, dass die ersten zwei Ereignisse einen grösseren Initialabfluss haben. Die restlichen 4 Ereignisse können als „trocken“ bezeichnet werden. Für die ersten zwei aber kann man nicht eindeutig festlegen, ob sie gleich „feucht“ sind, weil das von der Abflusslinie des gesamten Zeitraumes abhängig ist. Der Vergleich zeigt, dass die erste zwei Ereignisse Spitzenereignisse sind. Von Anfang Mai bis Anfang Juni 2002 ist der Abfluß erhöht was ein deutlicher Hinweis auf Vorbefeuchtung ist. Somit kann sowohl das Ereignis vom 05.06.2002 bis 27.06.2002 als auch das vom 03.05.2002-09.05.2002 als „feucht“ angenommen werden.

Eine wichtige Rolle für die Bodenfeuchte spielt außerdem die Jahreszeit. Die zwei Ereignisse, die als „feucht“ angenommen wurden, haben im Frühsommer stattgefunden. In dieser Jahreszeit gibt es viele Naturprozesse, die einen großen Einfluss auf die Abflussbildung haben. Der wichtigste ist die Schneeschmelze, welche aufgrund der Temperaturerhöhung stattfindet. Das Schmelzwasser versickert in den Boden bis dieser gesättigt. Die anderen Ereignisse haben im Herbst oder Anfang Winter stattgefunden.

Die im Rahmen dieser Diplomarbeit ermittelten flow ratios wurden mit den flow ratios der Diplomarbeit von Schindler (2003) verglichen. Die Diagrammen sind in 2 Zonen geteilt-trockene und feuchte jeweils für die zwei Komponente des mittleren und schnellen Abflusses. Der Vergleich zeigt welche Ereignisse zu welcher Zone gehören. (Anhang VIII.1-Anhang VIII.3)

Aufgrund alle dieser vorgegangenen Annahmen können die 6 Ereignisse in zwei Gruppen geteilt werden – mit trockenen und feuchten Ausgangsbedingungen.

	Ereignis	Flow Ratios		
		langsam	mittel	schnell
feucht	03.05.2002-09.05.2002	0,4	0,2	0,172
	05.06.2002-27.06.2002	0,45	0,27	0,107
trocken	20.09.2000-27.09.2000	0,18	0,07	0,088
	20.09.1999-28.09.1999	0,34	0,084	0,040
	10.07.2000-28.07.2000	0,25	0,12	0,047
	14.11.2002-24.11.2002	0,48	0,08	0,079

Tab. 11 Unterteilung des Ereignisses aufgrund der Vorbefeuchtung

Diese Vorbefeuchtungsunterteilung ermöglicht eine Bestimmung der Hochwasserabflüssen unter unterschiedlichen Voraussetzungen bezüglich des Feuchtezustandes.

Aus den Niederschlagsverteilungskurven sind die Daten für die Bemessungsniederschläge über den gewählten Zeitabschnitt und der gewählten Häufigkeit entnommen. Mit den mittleren Werten der Flow ratios (für feucht und trocken) werden die Abflusshöhen berechnet. Die Spitzwerte werden entsprechend für feuchte und trockene Zustand bestimmen. Die restliche Eingangsparametern für das Programm sind gebietsbezogen und im ersten Kalibrierungsfall ermittelt worden. Die flow ratios sind ereignisabhängig und verändern sich je nach Feuchtezustand und der Niederschlagsverteilung.

	langsam	mittel	schnell
feucht	0,425	0,235	0,139
trocken	0,313	0,089	0,063

Tab. 12 Mittlere flow ratios verschiedener Vorbefeuchtung

Der Initialabfluss ist als Mittelwert aus aller Ereignissen angenommen. Der mittlere Initialabfluss liegt bei $5,9\text{m}^3/\text{s}$ für dem feuchten und $2,4\text{ m}^3/\text{s}$ für dem trockenen Zustand.

IV.2 Berechnung der Hochwasserabflüsse mit dem Program HEC-HMS

- Eingangskomponenten

Die abgelesenen Bemessungsniederschläge sind in folgende vier Niederschlagstypen unterteilt:

- Blockregen
- DVWK Verteilung
- anfangbetonte Verteilung
- endbetonte Verteilung

Die abgelesenen Werte sind die Summen der Niederschlagsmengen der jeweiligen Verteilung mit einer Dauer von 1, 6, 12, 24 und 36 Stunden. Die flächige Niederschlagsverteilung für das Einzugsgebiet ist mit Hilfe der Software Hydromap in verschiedenen DSS files erstellt worden. Mit diesen neuen Einheitsdaten für den Niederschlag sind die Bemessungsabflussganglinien berechnet unter der Annahme, dass die Parameter konstant sind. Für den jeweiligen Zustand (feucht und trocken) wurden die mittleren flow ratios die mittlere herangezogen. Für den Niederschlag mit einer Dauer von 1 Stunde ist nur der Verteilungstyp Blockregen möglich. Insgesamt sind die Abflussganglinien 136. Für die Restrisikoabschätzung sind nur die Höchstwerte der simulierten Abflussganglinien von Interesse. Diese sind im Tabelle 4 aufgelistet. In Anhang IX (IX.1-IX.17) sind die verschiedenen Abflussganglinien dargestellt. Ein Vergleich zwischen den Ganglinien verschiedener Verteilungen ist in Anhang X (X.1-X.8) zu finden.

Jährlichkeit	Stunden	Bemessungs- niederschlag [mm]	Bemessungsabflüsse [mm]							
			feucht				trocken			
			Blockregen	DVWK	Anfangsbetont	Endbetont	Blockregen	DVWK	Anfangsbetont	Endbetont
NHQ100	1	48	43,5	-	-	-	19,3	-	-	-
	6	80	57,4	56,6	56,2	62,7	25,3	24,9	24,8	27,7
	12	112	65,6	63,8	64,8	77,7	28,4	28	28,4	34,3
	24	150	63,5	70,2	69,4	87,8	27,1	35,7	30,2	38,4
	36	180	61,1	74,1	70,9	91,5	26	37,2	30,5	39,7
NHQ300	1	52,5	47,1	-	-	-	20,9	-	-	-
	6	89	63,3	62,3	61,9	69,1	27,9	27,4	27,3	30,6
	12	132	76,4	74,2	75,4	90,5	33	32,6	33	40
	24	176	73,6	81,3	80,5	102,1	31,4	35,7	35	44,6
	36	210	70,3	85,5	81,8	105,9	30	37,2	35,2	46
NHQ500	1	54	48,2	-	-	-	21,4	-	-	-
	6	94	66,5	65,5	65	72,7	29,3	28,8	28,7	32,2
	12	141	81,2	78,9	80,1	96,3	35,1	34,7	35,1	42,6
	24	188	78,2	86,5	85,6	108,7	33,4	38	37,2	47,5
	36	223	74,3	90,5	86,5	112,1	31,7	39,4	37,2	48,7
NHQ1000	1	56	49,8	-	-	-	22,1	-	-	-
	6	98	69,1	68	67,5	75,5	30,4	29,9	29,8	33,5
	12	150	86	83,6	84,9	102,1	37,2	36,8	37,2	45,2
	24	202	83,7	92,5	91,5	116,4	35,7	40,6	39,8	50,9
	36	238	79	96,2	92	119,3	33,7	41,9	39,6	51,8

Tabelle 13: Spitzwerte der Bemessungsabflusslinien

Diese Tabelle zeigt die Spitzwerte der mit HEC-HMS simulierten Abflussganglinien. Es ist ersichtlich, dass die Unterschiede zwischen den trockenen und feuchten Werten sehr groß sind. So ergeben sich z.B. für die Niederschlagsverteilung Blockregen mit einer Dauer von 6 Stunden Werte von $57,4\text{m}^3/\text{s}$ für den feuchten und $25,3\text{m}^3/\text{s}$ für den trockenen Zustand. Dieser Unterschied ergibt sich aufgrund der unterschiedlichen Werte für die flow ratios bei den verschiedenen Zuständen. Für den trockenen Zustand liegen sie niedriger als beim feuchten Zustand. Die Annahmen bezüglich der Vorbefeuchtung üben den größten Einfluss aus. Es ist daher wichtig, sie entsprechend zu wählen. Die Annahme von „mittleren“ flow ratios würde zu anderen Ergebnissen führen.

Deutliche Unterschiede ergeben sich auch zufolge der unterschiedlich großen Niederschläge bei verschiedenen Niederschlagsdauern und zwischen den Werten nach verschiedenen Niederschlagsverteilungen. In Hinblick auf die zeitliche Verteilung der Niederschläge ergeben sich die größten Spitzenabflüsse bei der endbetonten Verteilung. So ergibt sich z.B. bei der endbetonten Niederschlagsverteilung mit einer Dauer von 6 Stunden ein Wert von $62,7\text{m}^3/\text{s}$ für NHQ100 und mit einer Dauer von 36 Stunden ein Wert von $92\text{m}^3/\text{s}$. Das ist ein großer Unterschied von $29,3\text{m}^3/\text{s}$. Das heißt, dass die Spitzenabflüsse von der Niederschlagsdauer sehr beeinflusst sind.

V. Abschätzung des Restrisikos für die berechneten Bemessungsabflüsse

X	Gumbel					
	I. Stichprobe 1951-2002			II. Stichprobe 1977-2002		
	HQ ₁₀	HQ ₁₀₀	HQ ₁₀₀₀	HQ ₁₀	HQ ₁₀₀	HQ ₁₀₀₀
OG	149,74	274,23	397,66	100,01	168,73	236,91
UG	53,26	89,97	124,94	35,12	43,95	51,92
ΔQ	96,47	184,26	272,72	64,89	124,78	184,98
X	Allgemeine Extremwertverteilung					
	I. Stichprobe 1951-2002			II. Stichprobe 1977-2002		
	HQ ₁₀	HQ ₁₀₀	HQ ₁₀₀₀	HQ ₁₀	HQ ₁₀₀	HQ ₁₀₀₀
OG	129,59	284,01	517,86	93,50	139,05	173,68
UG	46,86	92,77	158,63	34,15	40,32	44,55
ΔQ	82,74	191,24	359,23	59,35	98,73	129,14

Tabelle 14: Statistische Höchstabflusswerte (Obere und untere Grenze der Vertrauensbereiche) [nach Evtimova, 2007]

Die Ergebnisse aus der Statistik sind nach zwei Berechnungsmethoden ermittelt worden – nach der Gumbelverteilung und nach der allgemeinen Extremwertverteilung. Es wurde ein Vergleich

zwischen den statistischen Werten und den mit Hilfe des NA-Modells simulierten Abflüssen durchgeführt. Die Ergebnisse aus der Statistik werden mittels der Vertrauensbereiche der verschiedenen Verteilungsfunktionen charakterisiert.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse für den Zeitabschnitt 1977-2002 ist in Anhang XI (XI.1 und XI.2), eine für den Zeitsbschnitt 1951-2002 in Anhang XI (XI.3 und XI.4) enthalten.

In den Diagrammen ist auf der vertikalen Achse der Durchfluss aufgetragen, und zwar: auf der Achse die Durchflüsse entsprechend den Grenzen des Vertrauensbereiches der betreffenden Verteilungsfunktion (Typ der Verteilung bzw. Untersuchungszeitabschnitt); im Feld die simulierten Hochwasserabflüsse nach den verschiedenen Annahmen: Niederschlagsdauer (1, 6, 12, 24, 48 Stunden), Vorbefeuchtung (trocken, feucht), zeitliche Verteilung des Bemessungsniederschlags (BR Blockregen, DVWK-Verteilung, AB anfangsbetont, EB endbetont).

Diese Zusammenfassungen zeigen die Bedeutung der Stichprobe der Hochwässer bei der Methode der Statistik. Je nach Zeitabschnitt können ganz verschiedene Resultate erhalten werden. Es spielt dabei sowohl die Dauer des Zeitabschnitts als auch das Auftreten von großen Hochwassern in dem betrachteten Zeitabschnitt eine große Rolle (Evtimova, 2007).

Der Vergleich zwischen den Ergebnissen nach den beiden Berechnungsmethoden – Hochwasserstatistik bzw. NA-Modellberechnung – gibt die Möglichkeit, Einflüsse auf die Entstehung großer Hochwasserwerte zu bewerten.

Die Ergebnisse aus der Statistik basieren auf den höchsten Abflüssen im beobachteten Zeitraum allein und auf rein mathematischen Berechnungen. Der Ausgangszustand bezüglich des Bodenzustandes und des Niederschlags wird nicht berücksichtigt. Interessant ist daher der Vergleich, welche Jährlichkeit im Hochwasserabfluss entsteht, wenn bestimmte Annahmen über die Entstehung getroffen werden. Solche Annahmen betreffen hier die Niederschlagsdauer, die Niederschlagshöhe, die zeitliche Verteilung der Niederschläge und die Vorbefeuchtung.

V.1 Auswertung für den Zeitabschnitt 1977-2002

Generell zeigt sich ein sehr großer Unterschied zwischen den Ergebnissen aus der Statistik und aus dem NA-Modell.

Die Werte des NA-Modells für den trockenen Zustand sind sehr klein im Vergleich zu den statistischen Werten. Sie liegen alle unterhalb der Linie für die Untere Grenze (UG) des Vertrauensbereiches bei allen drei Jährlichkeiten (10, 100, 1000).

Anders beim feuchten Zustand des Bodens. Die Ergebnisse aus dem NA-Modell (bis 12 Stunden) liegen bei kurzen Niederschlagsdauern in der HQ10 Zone der Statistik (Anhang XI.10 und XI.7). Für Dauern von 24 und 36 Stunden liegen sie ausserhalb dieser Zone. Sie sind größer als die obere Grenze für HQ10. Der Grenzwert aus der Statistik beträgt $100,01\text{m}^3/\text{s}$

(Gumbelverteilung) und $93,50\text{m}^3/\text{s}$ (allgemeine Extremwertverteilung) und diese aus dem NA-Modell liegen im Bereich von $87,8$ bis $119,3\text{ m}^3/\text{s}$. Diese höchsten Werte ergeben sich aber für eine Niederschlagsjährlichkeit von NHQ100 bis NHQ1000. Dies lässt erwarten, dass auch die Abflüsse eine grössere Jährlichkeit besitzen. Das Ergebnis erscheint sinnvoll.

Bei einem Vergleich mit der HQ100 Zone der Vertrauensbereichen in Anhang XI.2 ist ablesbar, dass alle Werte des feuchten Zustandes in der betreffenden Zone liegen. Für den trockenen Zustand des Bodens befinden sie sich unter dem gegebenen Bereich oder um den unteren Grenzwert. Alle Werte für den Niederschlag beim trockenen Zustand mit einer Jährlichkeit von 100 Jahren liegen unter die Zone aus der Statistik und alle Werte beim feuchten Zustand gleicher Jährlichkeit liegen in dieser Zone. Das ist aufgrund des großen Unterschied zwischen den Ergebnissen für den trockenen und feuchten Zustand des Bodens.

Bei dem Vergleich der Werte des NA-Modells mit dem Vertrauensbereich des HQ1000 aus der Statistik (Anhang XI.3 und XI.9) ergibt sich ein großer Unterschied zwischen dem oberen Grenzwert dieser Zone und dem höchsten Wert aus dem NA-Modells. Diese Zone ist sehr groß und die höchsten nach dem NA-Modell berechneten Werte sind im unteren Teil des Diagramms. Die obere Grenze des Vertrauensbereichs beträgt $236,91\text{m}^3/\text{s}$ (Gumbelverteilung) und $173,68\text{m}^3/\text{s}$ (allgemeine Extremwertverteilung). Die maximalen Ergebnisse aus dem NA-Modell sind jedoch nur $119,3\text{m}^3/\text{s}$. Dieser Wert ergibt sich für einen Niederschlag mit einer Jährlichkeit NHQ1000.

Ein Vergleich zwischen den Verteilungen zeigt, dass sich nicht sehr große Unterschiede zwischen den beiden Methoden befinden.

V.2 Auswertung für den Zeitabschnitt 1951-2002

Hier sind die Werte nach der Statistik grösser im Vergleich mit jenen aus dem Zeitabschnitt 1977-2002. Die Erklärung dafür wird bei einem historischen Überblick klar, weil die Abflüsse in den Jahren 1951, 1961 und 1966 die grössten Abflüsse des untersuchten Gebiets darstellen. Deshalb liegen hier die Werte nach dem NA-Modell vergleichsweise niedrig. (Anhang von XI.4 bis XI.6 und von XI.10 bis XI.12)

Die Vertrauensbereiche weisen bei diesem Zeitabschnitt große Unterschied zwischen den oberen und unteren Grenzen auf, die unteren Grenzen liegen ein bisschen höher als jene der vorigen Zeitspanne. Dies bestimmt die größeren Unterschiede zwischen den beiden Berechnungsmethoden.

Hier beträgt die untere Grenze Werte von $53,26$ für HQ10, $89,97$ für HQ100 und $124,94\text{m}^3/\text{s}$ für HQ1000 (Gumbelverteilung) und von $46,86$ für HQ10, $92,77$ für HQ100 und $158,63\text{m}^3/\text{s}$ für HQ1000. Es ist klar, dass alle Ergebnisse des trockenen Zustandes unter dieser Zone liegen.

Die Ergebnisse des feuchten Zustands befinden sich im Bereich der ermittelten Zonen beim HQ10.

Bei dem Vergleich mit der Zone der HQ100 aus der Statistik ist ablesbar, dass die Ergebnisse bei endbetonter Niederschlagsverteilung beim feuchten Zustand des Bodens, mit einer Dauer von mindestens 12 Stunden den unteren Grenzwert überschreiten.

V.3 Schlussfolgerung

Es stellt sich die Frage, unter welchen Voraussetzungen die Jährlichkeiten der Bemessungsniederschläge mit den Jährlichkeiten der Abflüsse gleichgesetzt werden können. In Abbildungen in Anhang XI (von XI.1 bis XI.12) ist ersichtlich, dass die beiden Gruppen von Ergebnissen nur in einzelnen Bereichen zusammenpassen. Die Voraussetzungen, die bei der Berechnung der Hochwasserabflüsse mittels NA-Modells angenommen wurden betreffen die Dauer, die Niederschlagsverteilung und die Bodenvorbefeuchtung.

Der wichtigste Punkt der Anfangsbedingungen ist der Bodenzustand (trocken oder feucht). Diese Annahme bestimmt die Höhe der Abflusslinie am stärksten, da die Retentions- und Translationseigenschaften von den Verhältnissen im Boden abhängig sind. Bei den trockenen Ereignissen hat der Basisabfluss einen kleineren Wert, was die niedrige Höhe der Abflussganglinie bestimmt.

Weiters ist die Niederschlagsverteilung ein wichtiger Punkt in der Abflussbildung. Bei Blockregen sind die Werte aufgrund der Gleichverteilung des Niederschlags am kleinsten. Die Spitze der Abflusskurve ist in diesem Fall jedoch schwer zu bilden. Bei der endbetonten Verteilung liegen die Werte wegen des Einflusses der Verzögerungs- und Konzentrationszeit im Laufe der Zeit am höchsten.

Die Niederschlagsdauer spielt außerdem eine große Rolle für die Abflussbildung. Je größer die Niederschlagsdauer, desto größer ist der Abflussspitzenwert.

Die Ergebnisse zeigen offensichtlich, dass bei feuchtem Bodenzustand, endbetonter Niederschlagsverteilung und einer Niederschlagsdauer gleich oder größer als 24 Stunden die Werte der Hochwasserabflüsse aus dem NA-Modell ähnlich den Werten der Gumbelverteilung der Statistik sind.

Alle diese Schlussfolgerungen unterstützen die Aussage, dass bei einer großen Niederschlagsdauer (größer als 36 Stunden), einer endbetonten Verteilung des Niederschlags und einer großen Vorbefeuchtung die Bemessungsabflüsse größer sind.

Ein historischer Überblick zeigt, dass es in dem beobachteten Zeitraum von 1999 bis 2002 keine sehr großen Hochwässer gegeben hat. Die 2002 dokumentierten Ereignisse sind zwar groß, können jedoch im Vergleich zu dem größten Hochwässern seit 1950 nicht als Spitzenereignisse eingeordnet werden.

Die statistischen Berechnungen wurden anhand von Werten über 26 Jahre ermittelt.

Für einen besseren Vergleich müssten deshalb für die Simulationen im NA-Modell die Spitzenereignisse desselben Zeitraumes als Grundlage herangezogen werden.

Weil hier nicht Daten von Spitzenereignissen zur Verfügung sind, sind die flow ratios, mit den das Programm berechnet, wahrscheinlich unterschiedlich von den flow ratios für grosse Ereignisse. Bei einer Simulation mit den Spitzenereignissen mit dem Programm würden diese Werte unterschiedlich kalibriert und die Ergebnisse werden anders aussehen.

Im Vergleich dazu ist die Frage über der Unsicherheit der Statistik zu diskutieren. Es ist ersichtlich, dass die Vertrauensbereiche sehr groß sind, die untere und obere Grenze haben sehr unterschiedliche Werten. Diese Unterschiede können sich auch auf Basis der verschiedenen Voraussetzungen in den Hochwasserwerten stammen. Es ist klar, dass bei der Simulierung des Abflusses mit dem HEC-HMS auch solche große ergeben. Bei den NA-Modellen sind sie aufgrund der Dauer, Häufigkeit und Verteilung. Die untere Grenze der statistischen Werte kann mit dem trockenen Zustand und die obere mit dem feuchten erklärt werden. Die Verteilung und Dauer spielen auch eine wesentliche Rolle.

VI. Schlussbemerkungen

Ziel dieser Arbeit war die Erstellung eines Niederschlags-Abfluss-Modells für ein Teileinzugsgebiet des Gailtals, um eine Simulation der Abflussprozesse durchzuführen. Diese Simulation ermöglichte die Bestimmung den gebietsbezogenen Komponenten und deren Einsatz bei der Bestimmung der Hochwasserabflüsse.

Die ausführliche Analyse der ausgewählten Ereignisse und deren Merkmale ermöglichte die Bestimmung der Hochwasserabflüsse bezüglich unterschiedliche Voraussetzungen.

Der Abflussbeiwert (flow ratio) ist eine ereignisbezogene Komponente, welche die zum Abfluß kommende Niederschlagsmenge jedes Speichers angibt. Bei der Bestimmung der Hochwasserabflüsse waren diese Abflussbeiwerte die wichtigsten Parameten. Da sie von der Niederschlagsmenge abhängig sind, spielt die Niederschlagsmenge eine sehr wichtige Rolle

Das Niederschlags-Abfluss-Modells basiert auf die Parametern, welche anhand verschiedener Ereignisse kalibriert wurden. Die Abhängigkeit dieser Parameter von der Größe des Ereignisses (Spitzenereignisse oder nicht) kann zur Entstehung von Fehlern führen. Die verfügbaren Daten geben keine Sicherheit, ob das betrachtete Ereignis als Spitzenereignis gesehen werden kann (hängt von dem Zeitabschnitt ab). Als Grundlage in einem Projekt ist es nötig nicht nur die größte, sondern auch eine Vielfalt von Ereignissen im Betracht zu kommen.

Die Methode der Statistik basiert auf rein mathematischen Berechnungen ohne Berücksichtigung einzelner Gebietsparameter und –merkmale. Aufgrund dessen ergeben sich sehr große Unsicherheiten bei der Bestimmung der Bemessungshochwässer.

Der Vergleich der Ergebnisse aus dem Niederschlags-Abfluss-Modell mit jenen aus der Statistik stellt die Grundlage der Restrisikoabschätzung dar.

Ein historischer Überblick zeigt, dass die Niederschlagsereignisse des untersuchten Zeitabschnitts keine große Niederschlagsmengen beinhalten. Ein Vergleich mit den Ergebnissen aus der Statistik war deshalb sinnvoll.

Die Grundlagen der Restrisikoabschätzung stellen jene Voraussetzungen dar, welche einen Höchstabflusswert ergeben.

Sowohl bei den statistischen Berechnungen, als auch bei den Simulationen des Niederschlags-Abfluss-Modells kommt es zu großen Unsicherheiten.

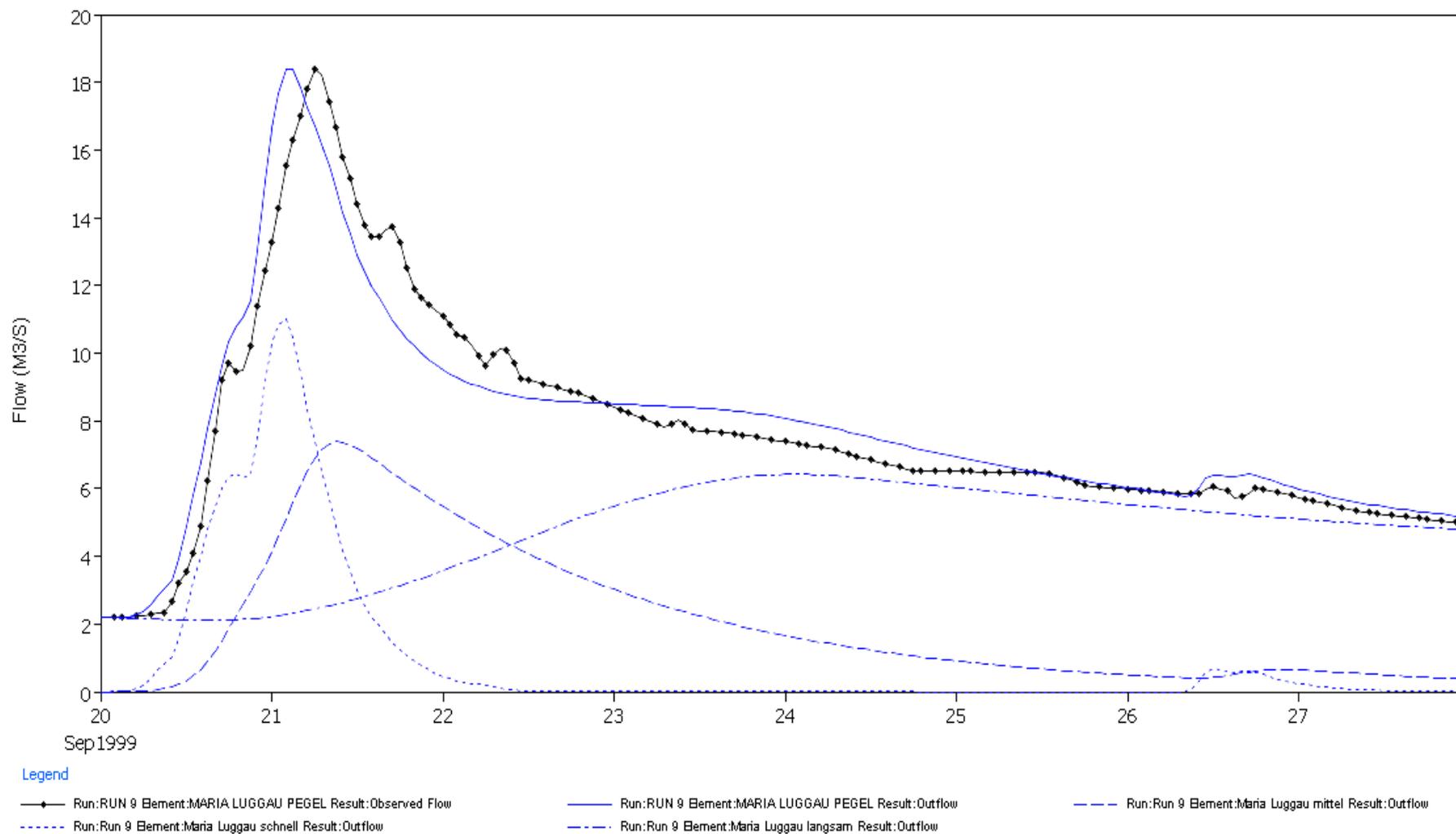
Eine Weiterentwicklung beider Methoden ist anzustreben.

Literatur

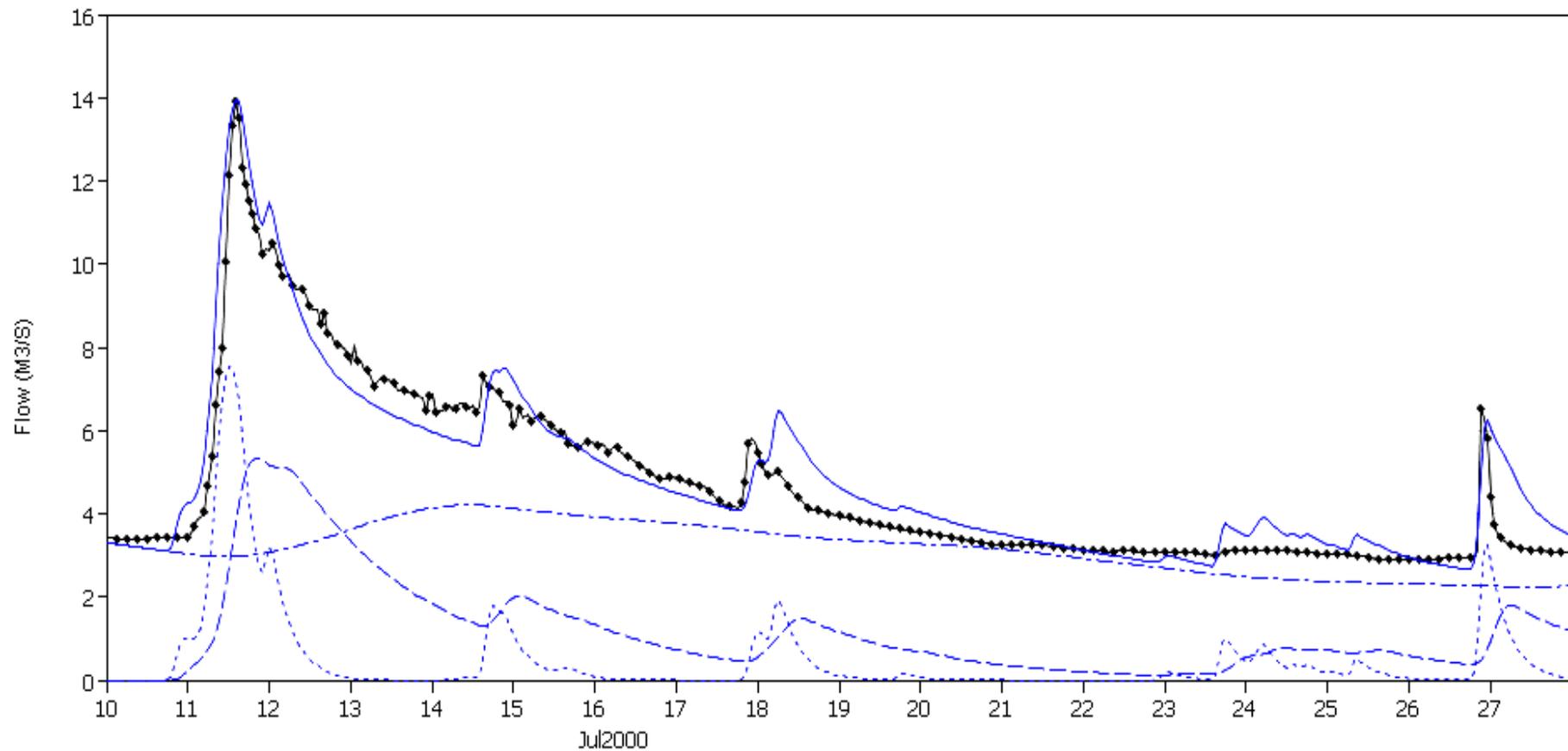
- [1] I.Einsatz von Niederschlag-
Afluß-Modellen zur zur Ermitt-
lung von Hochwasserabflüssen
II.Extreme Hochwasserabflü
sse-Möglichkeiten zur Ab-
schätzung und Anwendung
DVWK Schriften 1999
Kommissionsvertrieb,
Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft
Gas und Wasser mbH,Bonn
- [2] Schindler, Horst
Diplomarbeit, Technische Universität,
Wien, 2003
- [3] Lecher,Kurt;
Lühr, Hans- Peter;
Zanke, Ulrich
C.E. (Hrsg)
Taschenbuch der Wasserwirtschaft,
Parey Buchverlag, Berlin 2001
8.,völlig neubearbeitete Auflage
- [4] Gutknecht, Dieter
Blöschl, Günter
Vorlesungsskriptum
„Ingenieurhydrologie“;
Technische Universität Wien
- [5] Schindler, Horst
Studie Hochwasserinformationsservice
und Hochwasserwarnmodell in Kärnten
- [6] Schindler, Horst
Zwischenbericht zur Analyse Gailtal,
2003
- [7] Gutknecht, Dieter (Hsg)
Extreme Abflussereignisse-
Dokumentation, Bedeutung,
Bestimmungsmethoden,
Wiener Mitteilungen,
Band 206-Wien 2007

Anhang I

Ergebnisse der ersten Kalibrierung (3 Speicher Aufteilung)



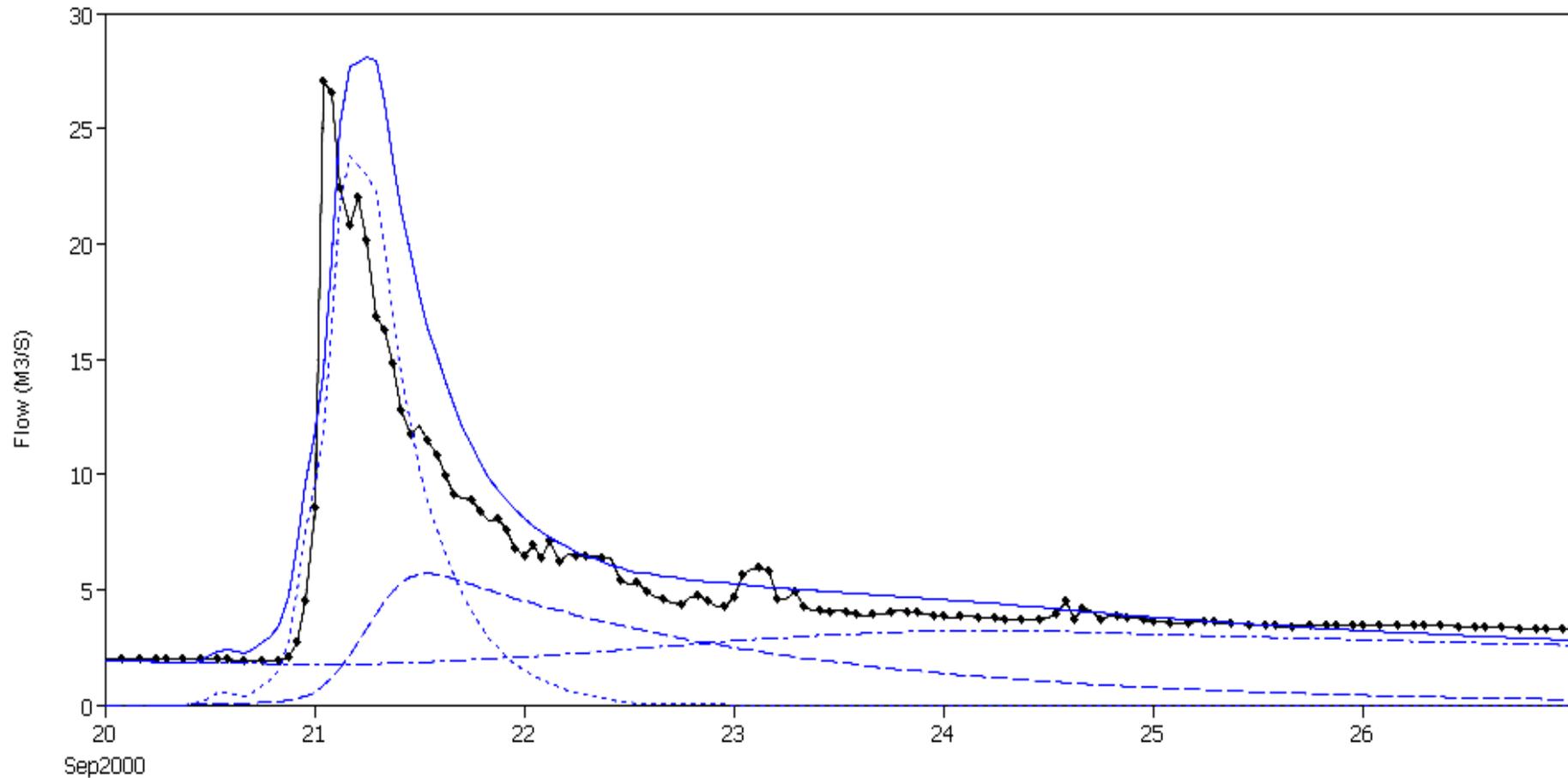
Anhang I.1 Ergebnisse der ersten Kalibrierung ohne Anfangsverluste (20.09.1999-28.09.1999)



Legend

- ◆— Run:RUN 9 Element:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Observed Flow
- Run:RUN 9 Element:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Outflow
- - - Run:Run 9 Element:Maria Luggau mittel Result:Outflow
- · - Run:Run 9 Element:Maria Luggau langsam Result:Outflow
- · · Run:Run 9 Element:Maria Luggau schnell Result:Outflow

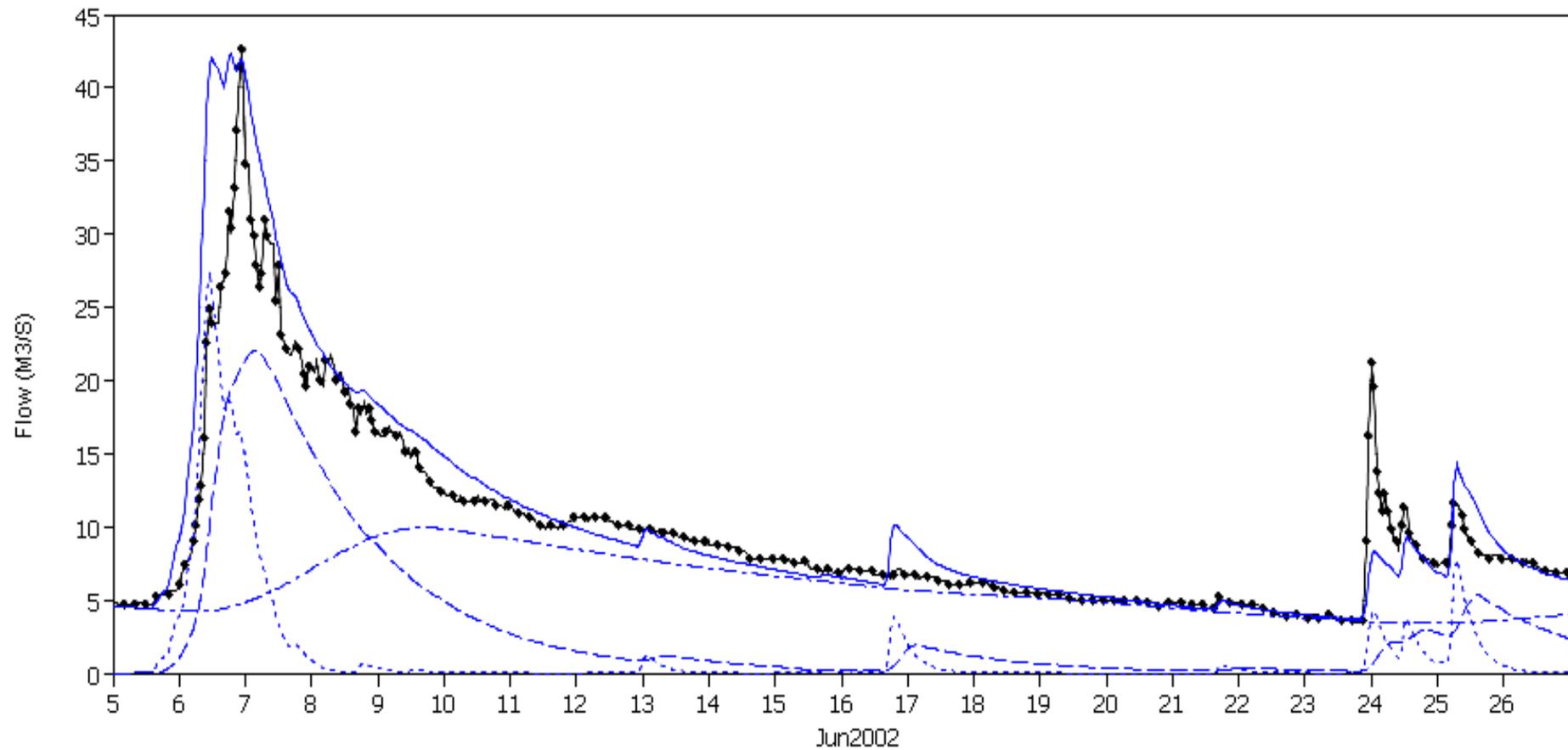
Anhang I.2 Ergebnisse der ersten Kalibrierung ohne Anfangsverluste (10.07.2000-28.07.2000)



Legend

- Run:RUN 9 Element:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Observed Flow
- Run:RUN 9 Element:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Outflow
- - - Run:Run 9 Element:Maria Luggau mittel Result:Outflow
- · · Run:Run 9 Element:Maria Luggau schnell Result:Outflow
- · - Run:Run 9 Element:Maria Luggau langsam Result:Outflow

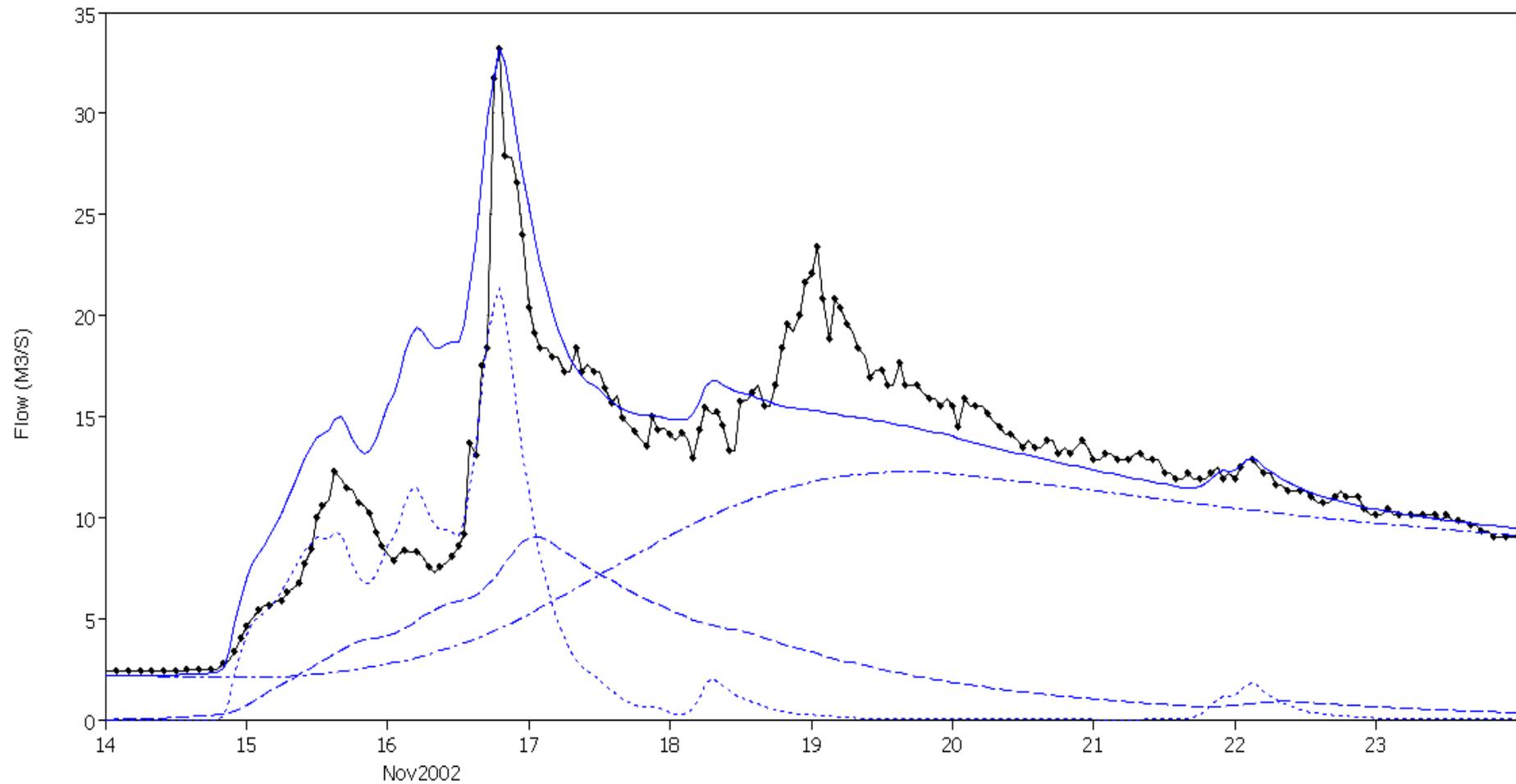
Anhang I.3 Ergebnisse der ersten Kalibrierung ohne Anfangsverluste (20.09.2000-27.09.2000)



Legend

- Run:RUN 9 Bement:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Observed Flow
- Run:RUN 9 Bement:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Outflow
- - - Run:Run 9 Bement:Maria Luggau mittel Result:Outflow
- · · Run:Run 9 Bement:Maria Luggau schnell Result:Outflow
- · - Run:Run 9 Bement:Maria Luggau langsam Result:Outflow

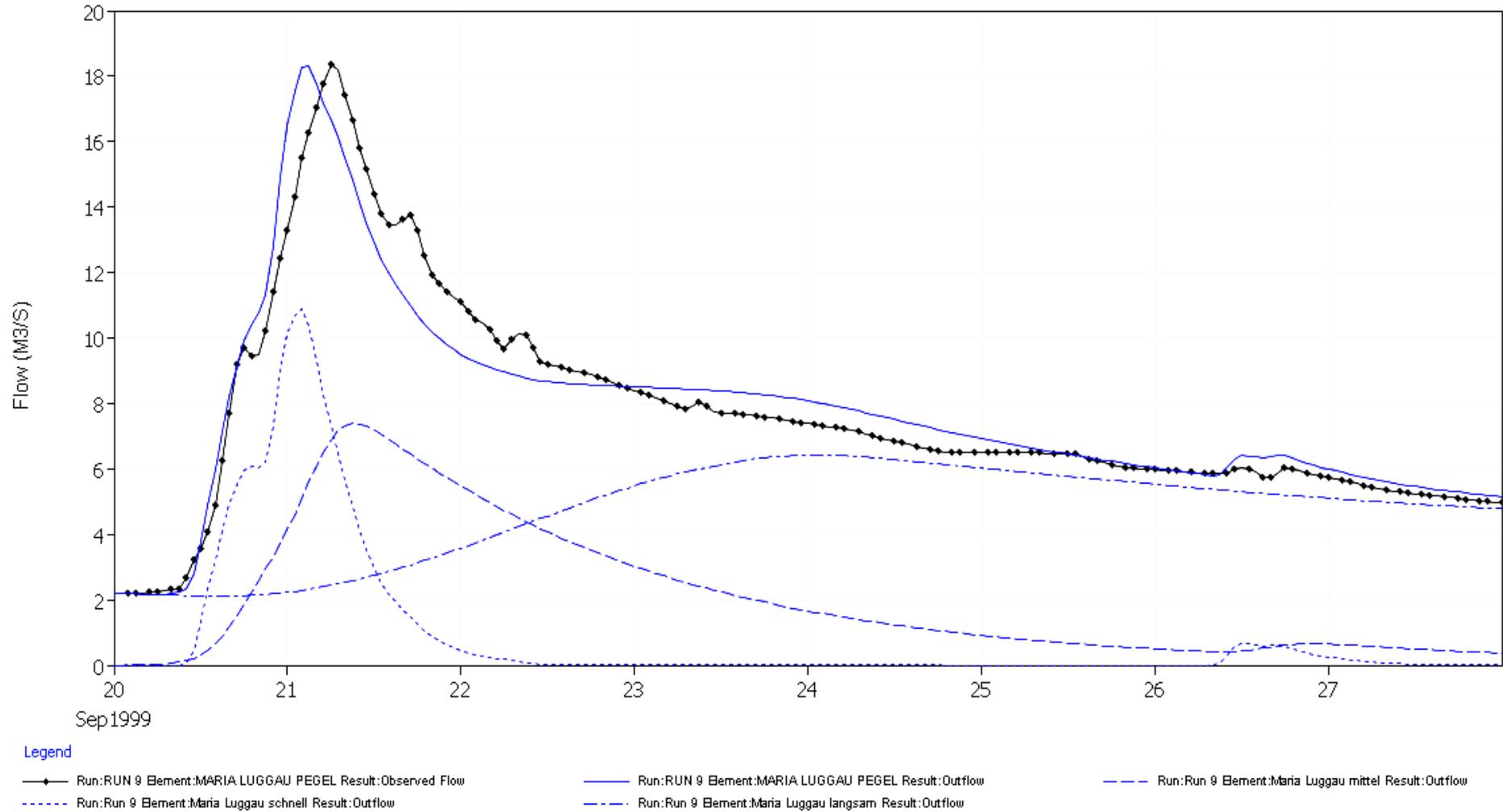
Anhang I.4 Ergebnisse der ersten Kalibrierung ohne Anfangsverluste (05.06.2002-27.06.2002)



Legend

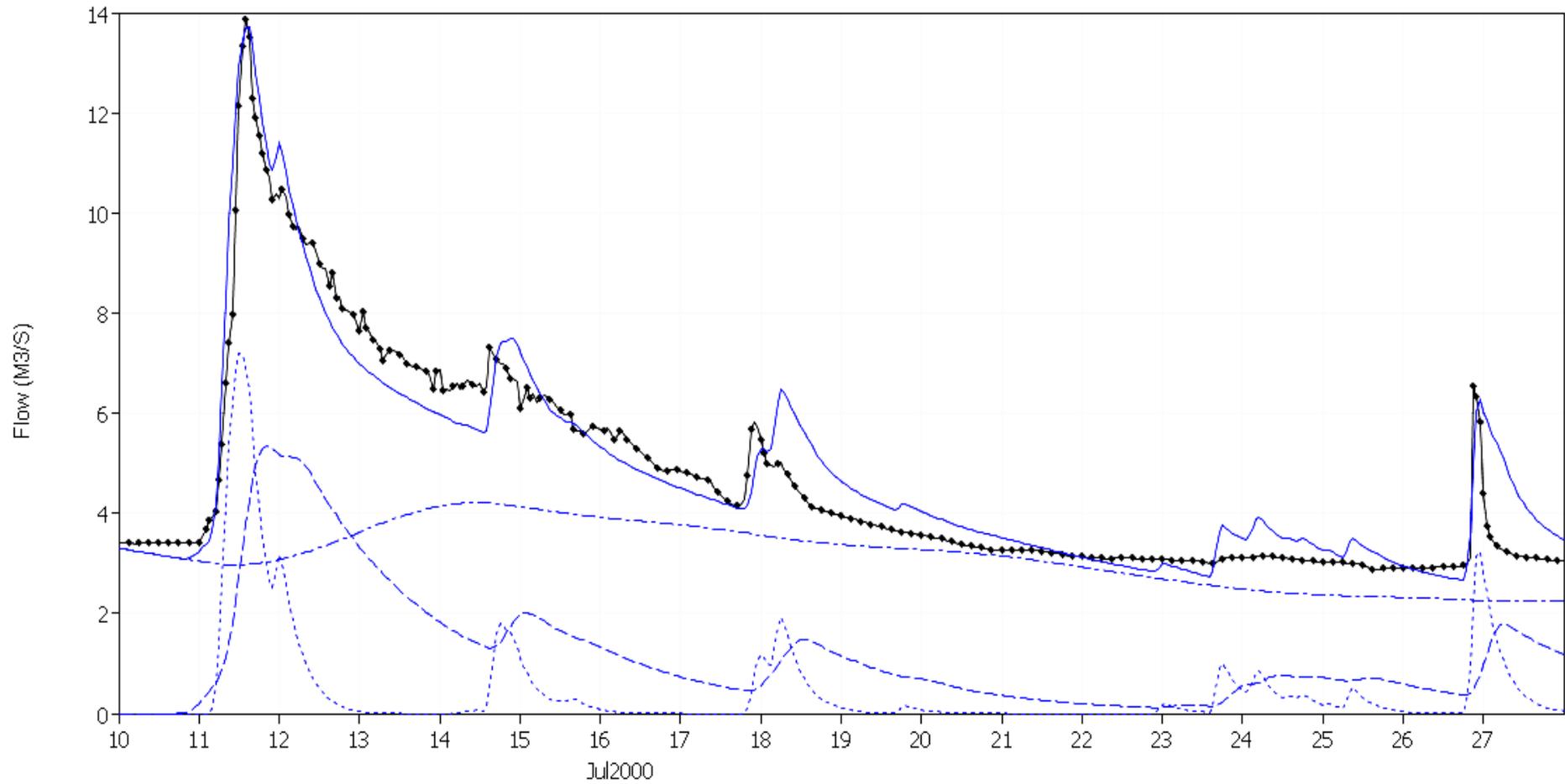
- Run:RUN 9 Bemert:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Observed Flow
- Run:RUN 9 Bemert:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Outflow
- - - Run:Run 9 Bemert:Maria Luggau mittel Result:Outflow
- · - · Run:Run 9 Bemert:Maria Luggau langsam Result:Outflow
- - - Run:Run 9 Bemert:Maria Luggau schnell Result:Outflow

Anhang I.5 Ergebnisse der ersten Kalibrierung ohne Anfangsverluste (14.11.2002-24.11.2002)



Anhang I.6 Ergebnisse der ersten Kalibrierung mit Anfangsverluste (20.09.1999-28.09.1999)

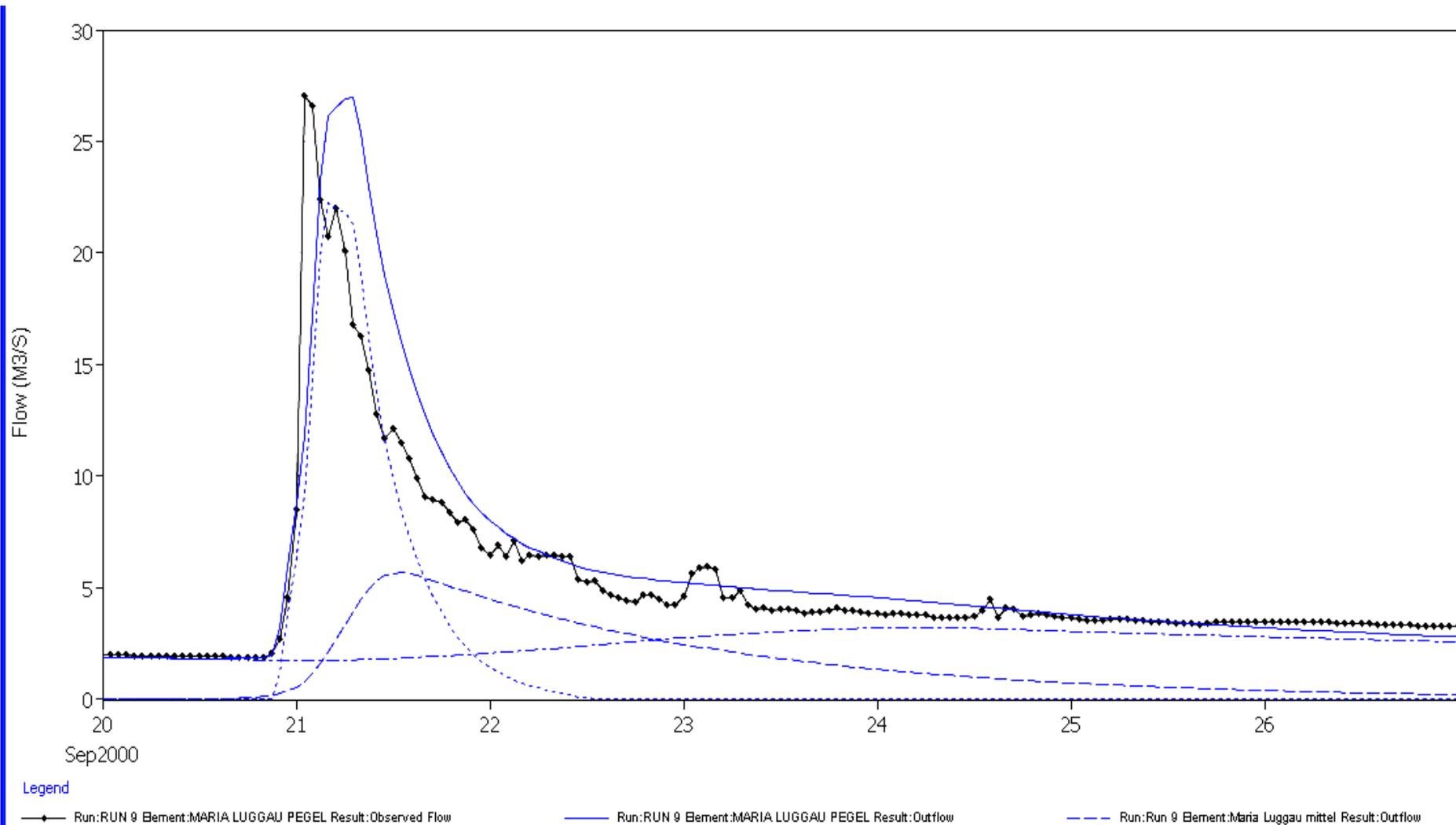
Randelova Ekaterina
 Matr.№ 0227096
 Wien, 2007



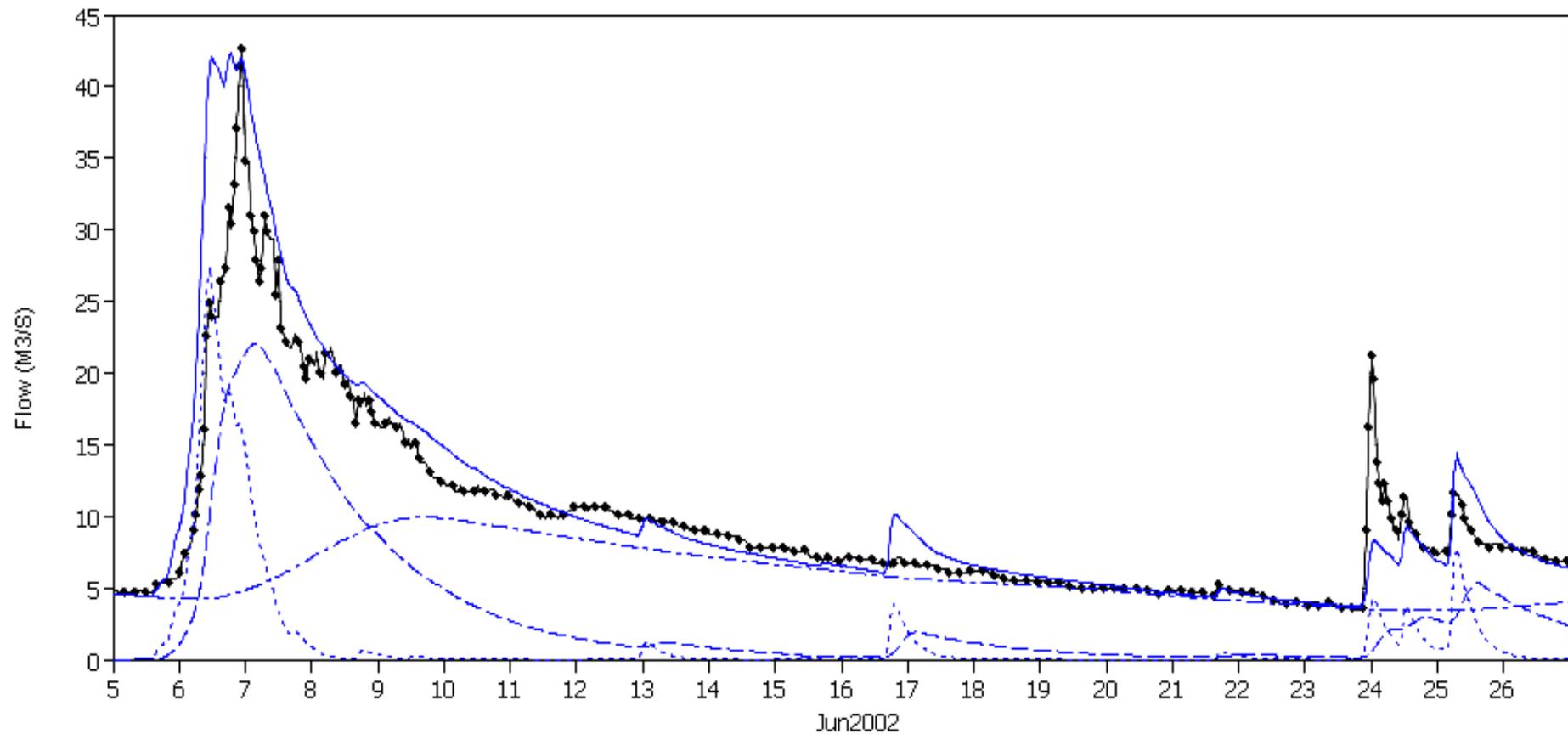
Legend

- Run:RUN 9 Element:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Observed Flow
- Run:RUN 9 Element:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Outflow
- Run:Run 9 Element:Maria Luggau mittel Result:Outflow
- .-.- Run:Run 9 Element:Maria Luggau schnell Result:Outflow
- .-.- Run:Run 9 Element:Maria Luggau langsam Result:Outflow

Anhang I.7 Ergebnisse der ersten Kalibrierung mit Anfangsverluste (10.07.2000-28.07.2000)



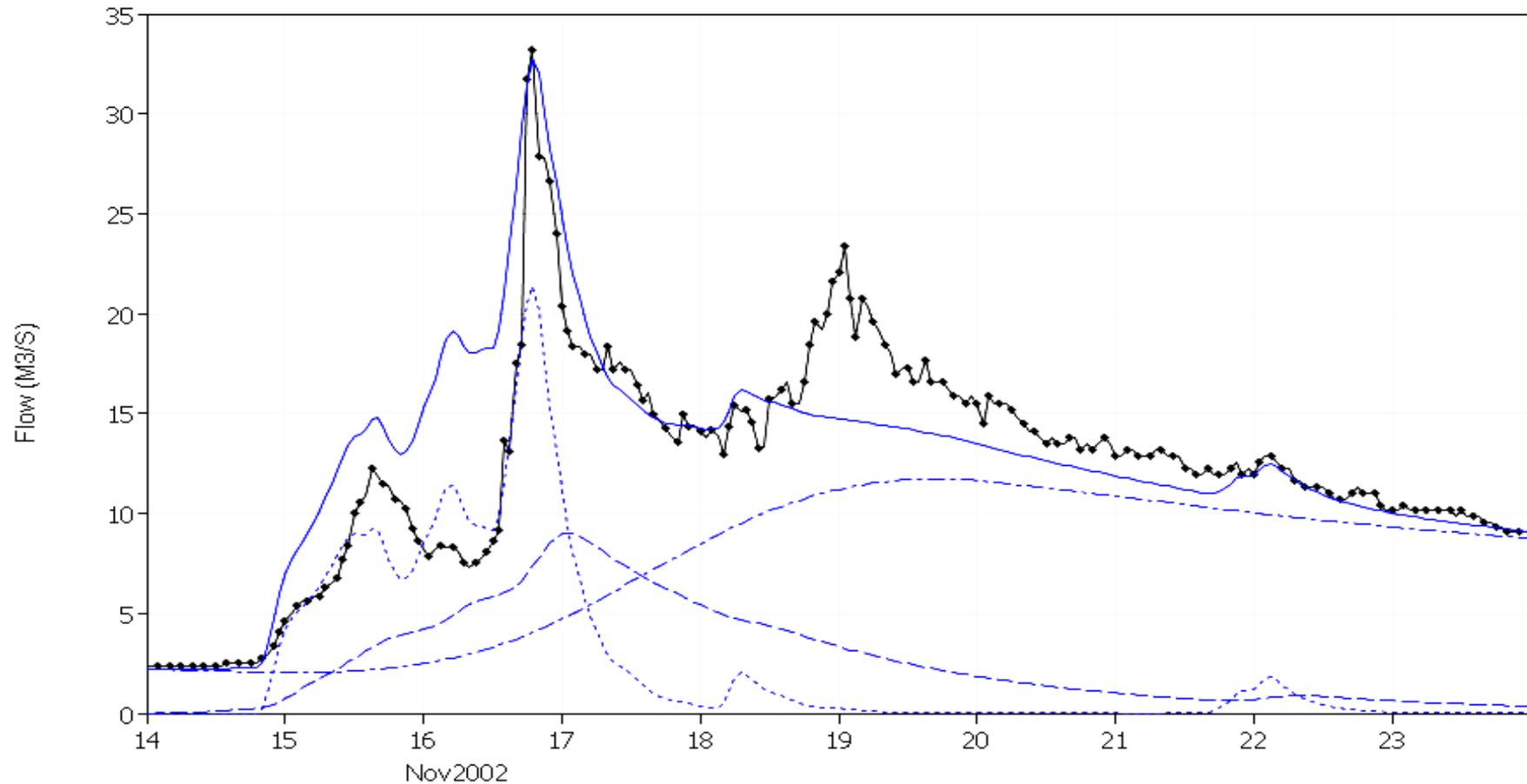
Anhang I.8 Ergebnisse der ersten Kalibrierung mit Anfangsverluste (20.09.2000-27.09.2000)



Legend

- Run:RUN 9 Element:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Observed Flow
- Run:RUN 9 Element:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Outflow
- - - Run:Run 9 Element:Maria Luggau mittel Result:Outflow
- · - · Run:Run 9 Element:Maria Luggau schnell Result:Outflow
- · - - Run:Run 9 Element:Maria Luggau langsam Result:Outflow

Anhang I.9 Ergebnisse der ersten Kalibrierung mit Anfangsverluste (05.06.2002-27.06.2002)



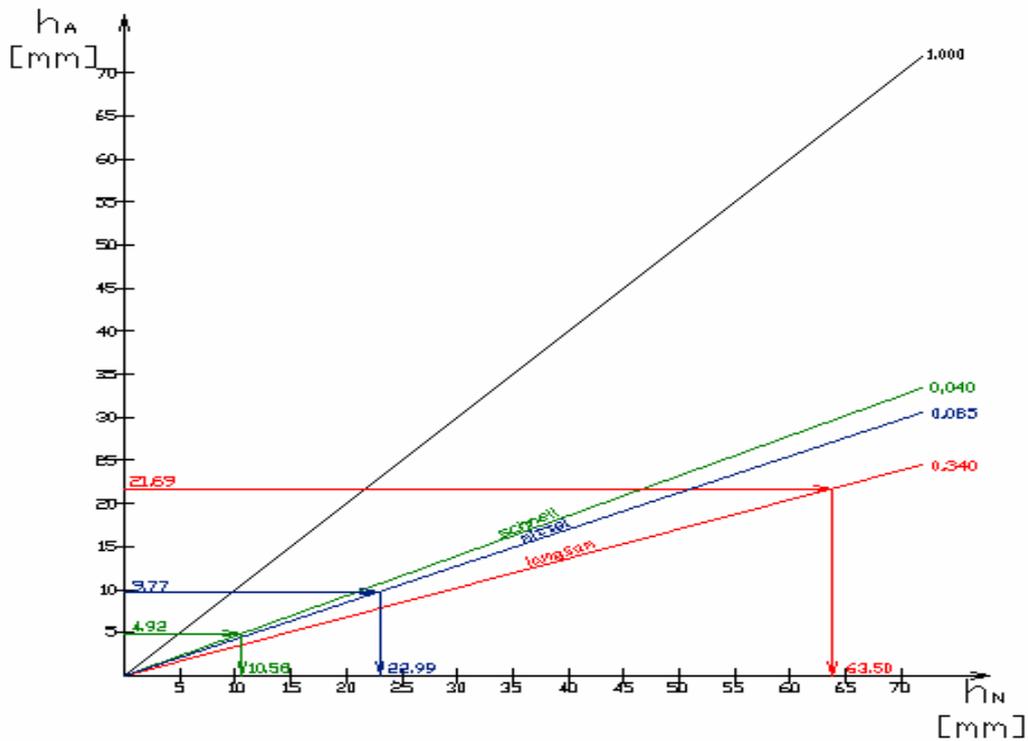
Legend

- Run:RUN 9 Element:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Observed Flow
- Run:RUN 9 Element:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Outflow
- - - Run:Run 9 Element:Maria Luggau mittel Result:Outflow
- · - Run:Run 9 Element:Maria Luggau langsam Result:Outflow
- - - Run:Run 9 Element:Maria Luggau schnell Result:Outflow

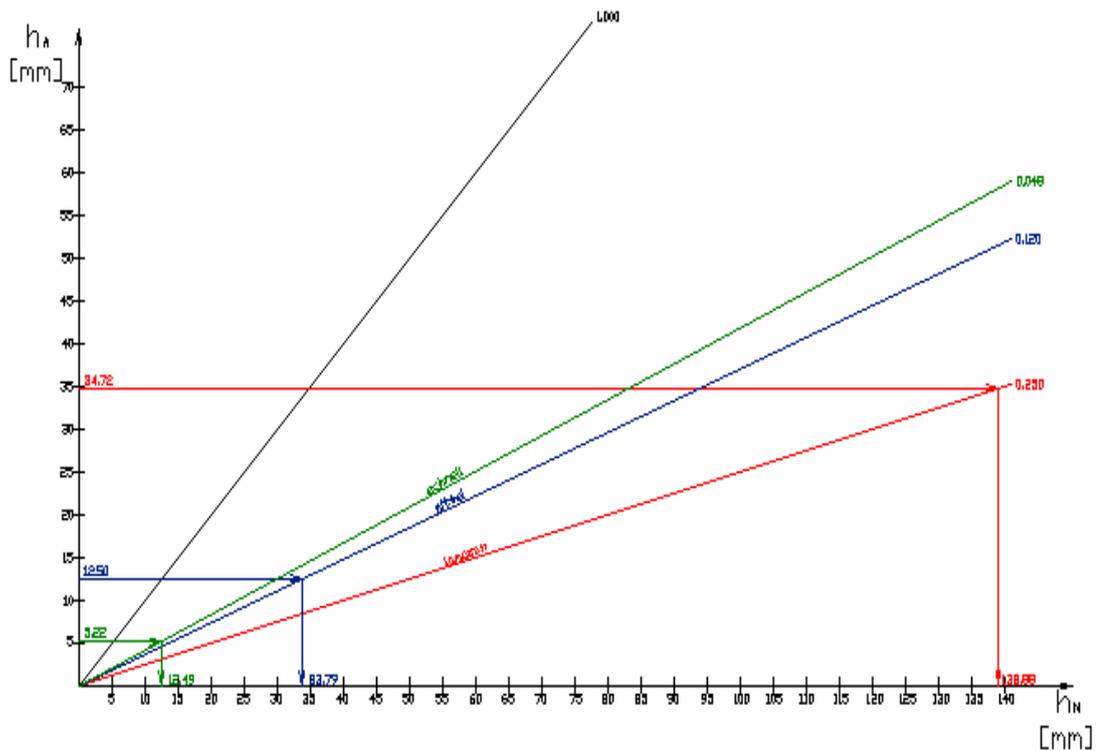
Anhang I.10 Ergebnisse der ersten Kalibrierung mit Anfangsverluste (14.11.2002-24.11.2002)

Anhang II

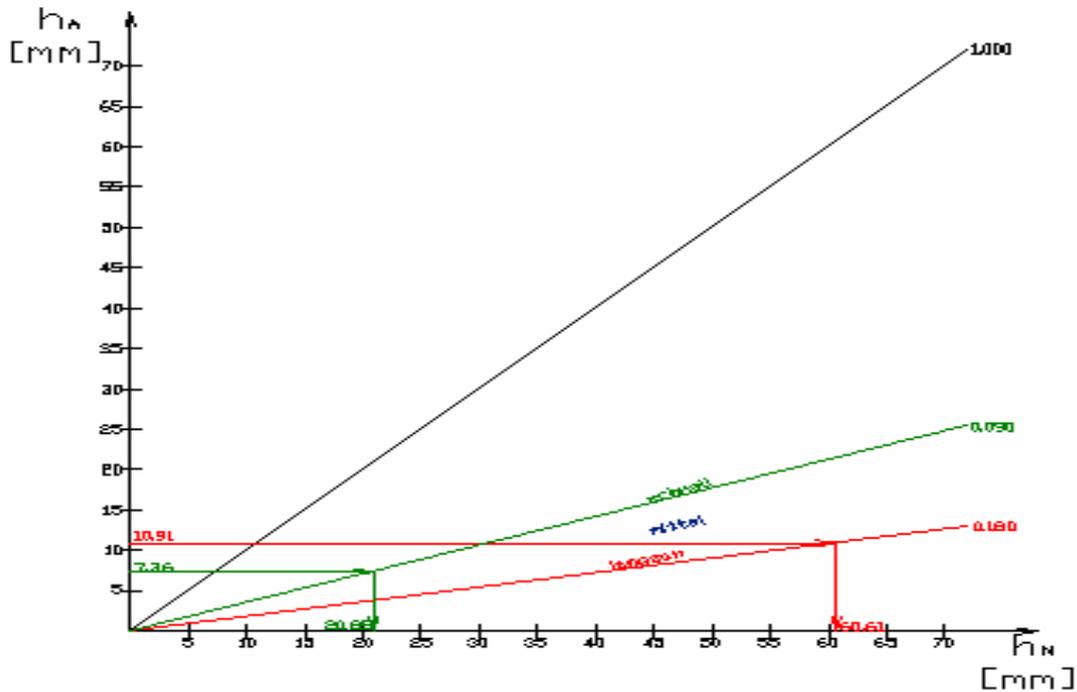
Flow Ratios Diagramme



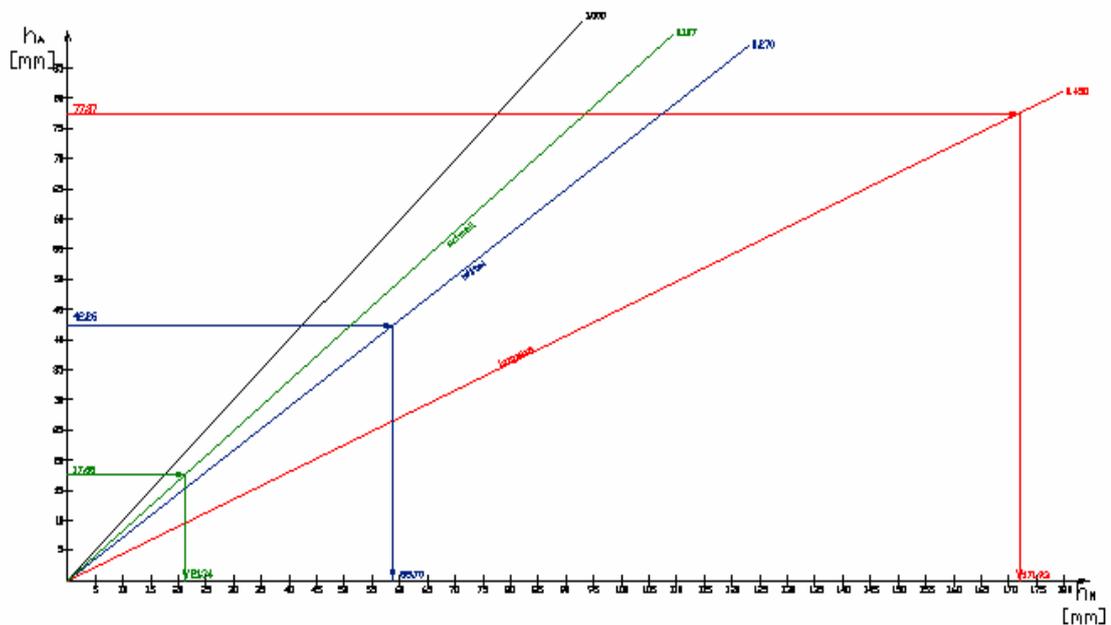
Anhang II.1 Niederschlag-Abfluss Zusammenhang für das Ereignis 20.09.1999-28.09.1999 (mittels flow ratios bestimmt)



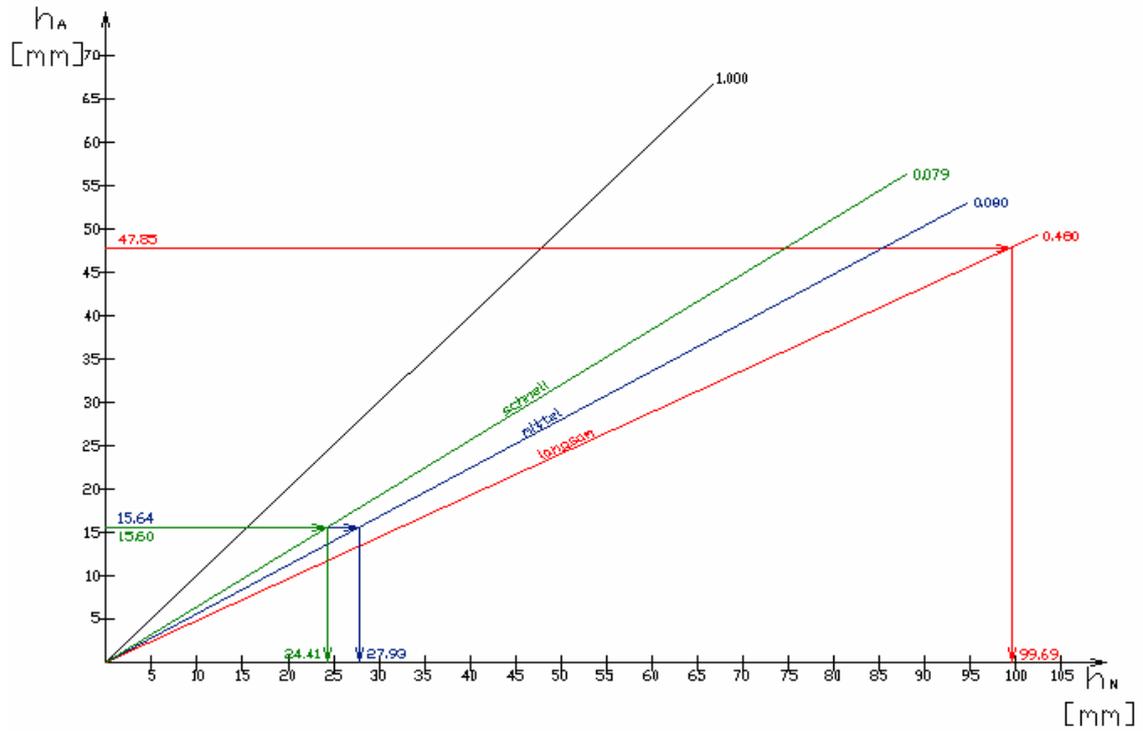
Anhang II.2 Niederschlag-Abfluss Zusammenhang für das Ereignis 10.07.2000-28.07.2000 (mittels flow ratios bestimmt)



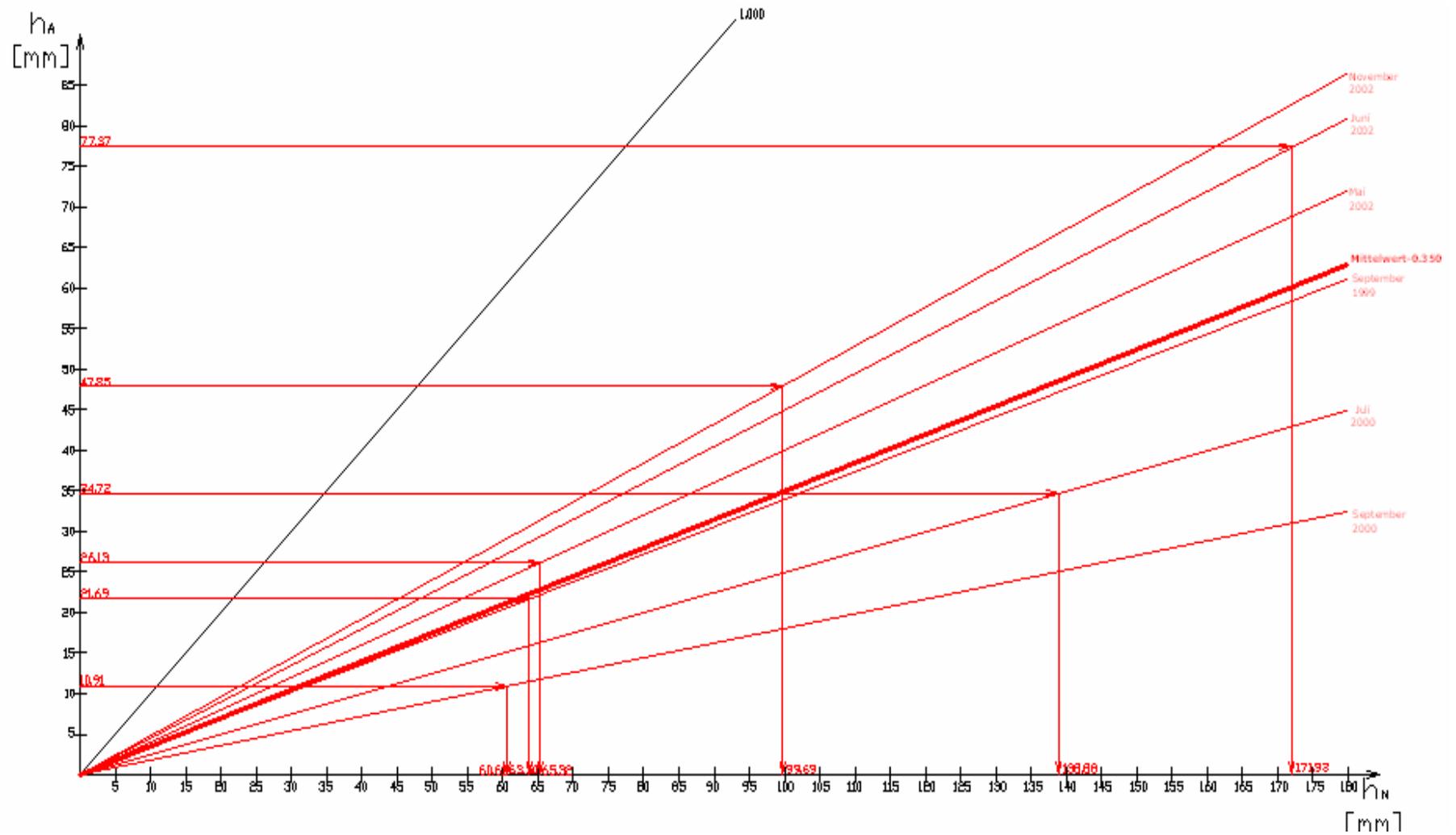
Anhang II.3 Niederschlag-Abfluss Zusammenhang für das Ereignis 20.09.2000-27.09.2000 (mittels flow ratios bestimmt)



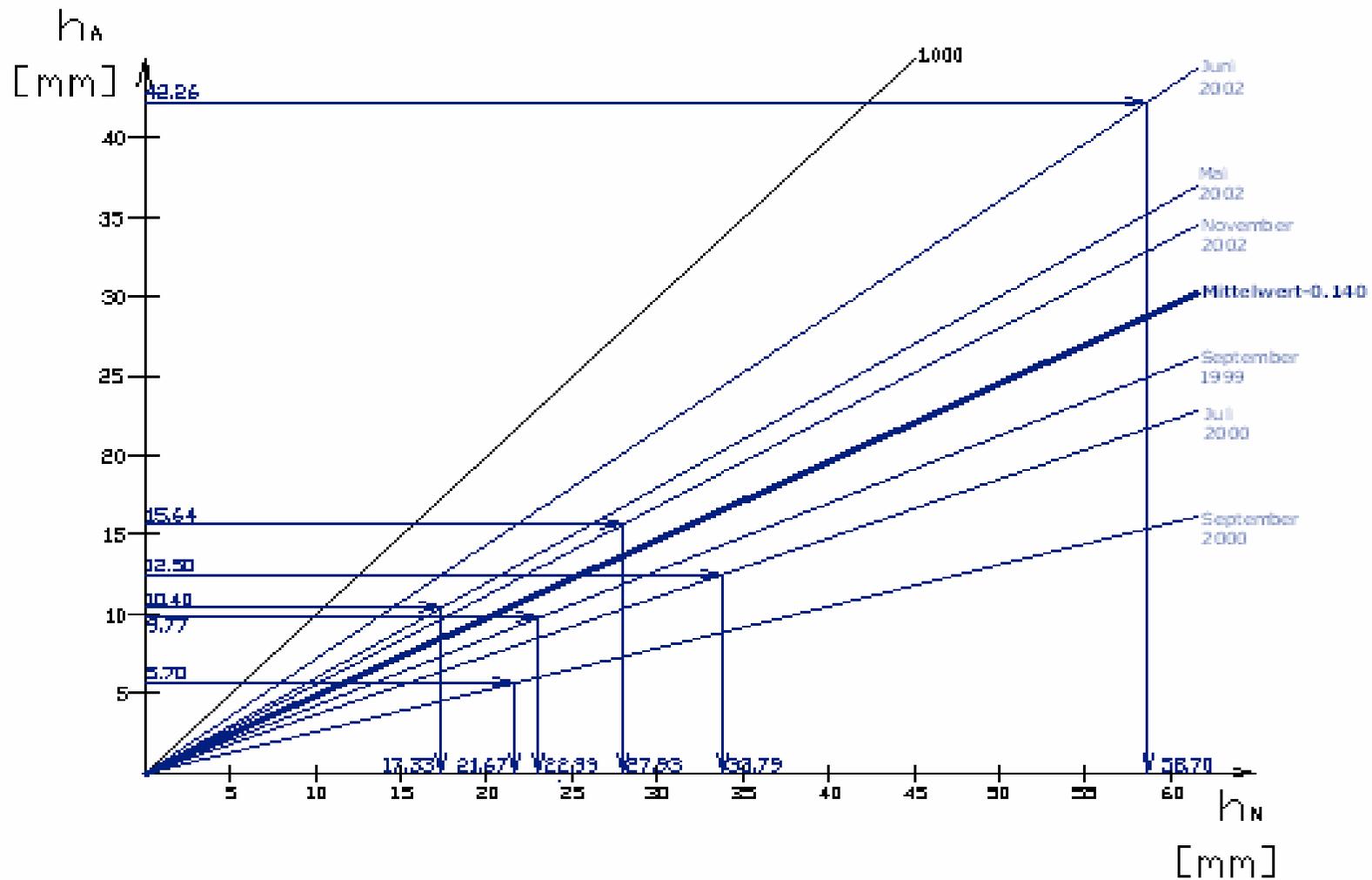
Anhang II.4 Niederschlag-Abfluss Zusammenhang für das Ereignis 05.06.2002-27.06.2002 (mittels flow ratios bestimmt)



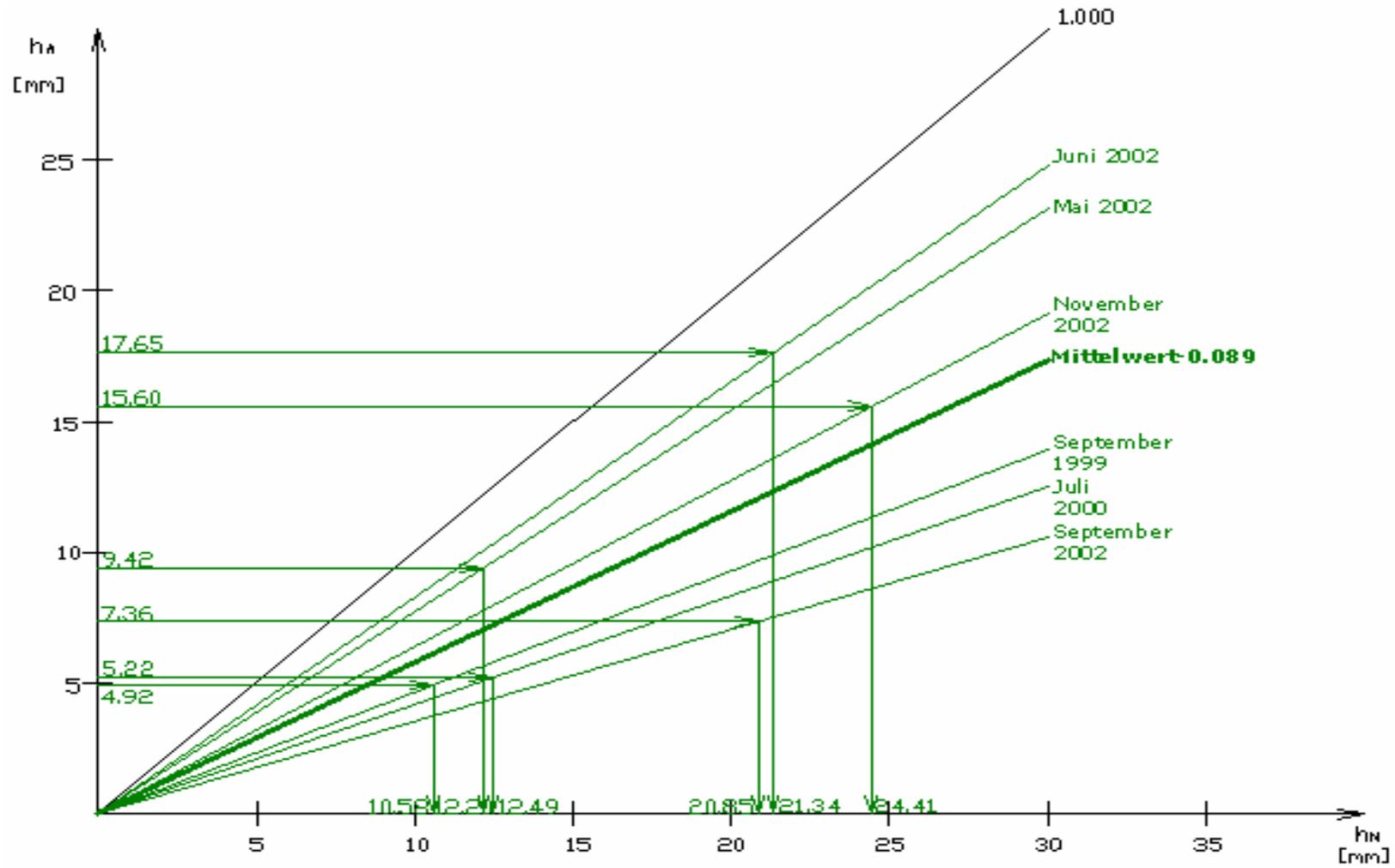
Anhang II.5 Niederschlag-Abfluss Zusammenhang für das Ereignis 14.11.2002-24.11.2002 (mittels flow ratios bestimmt)



Anhang II.6 Flow Ratios der langsamen Komponente für alle 6 Ereignisse



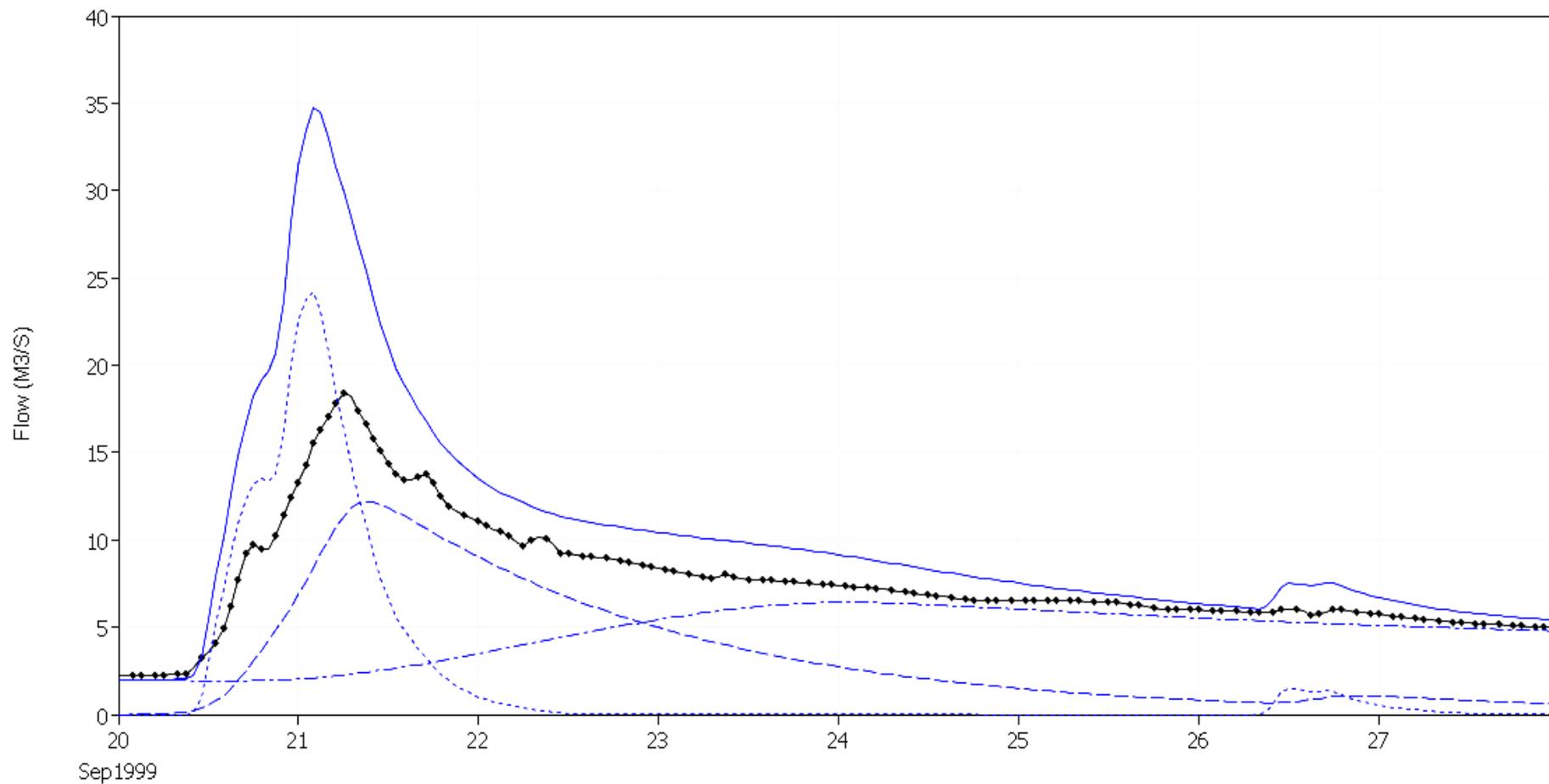
Anhang II.7 Flow Ratios der mittleren Komponente für alle 6 Ereignisse



Anhang II.8 Flow Ratios der schnellen Komponente für alle 6 Ereignisse

Anhang III

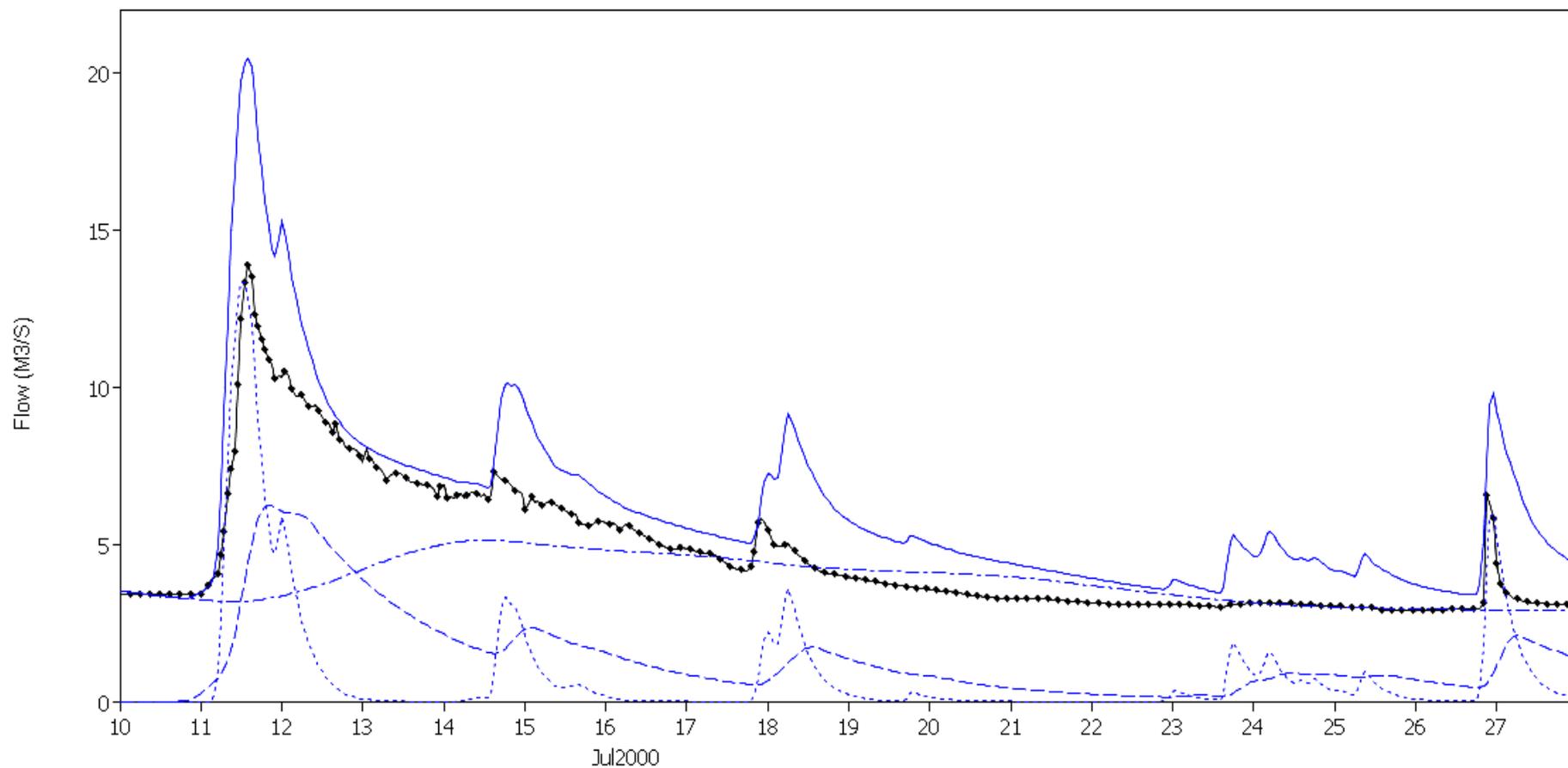
Ergebnisse der Kalibrierung mit der mittleren Flow Ratios



Legend

- Run:RUN 9 Element:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Observed Flow
- Run:RUN 9 Element:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Outflow
- - - Run:Run 9 Element:Maria Luggau mittel Result:Outflow
- · - Run:Run 9 Element:Maria Luggau schnell Result:Outflow
- · - Run:Run 9 Element:Maria Luggau langsam Result:Outflow

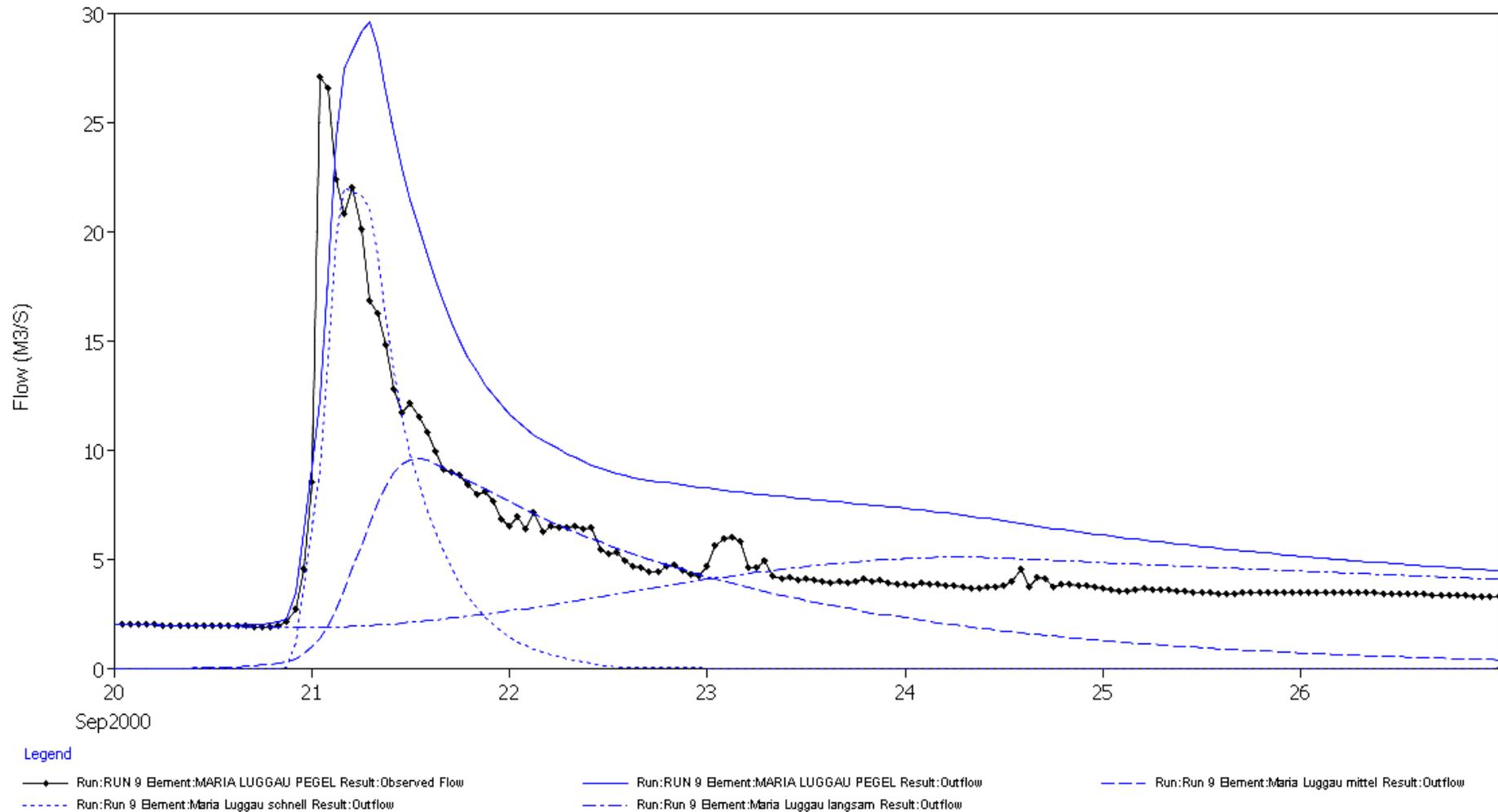
Anhang III.1 Ergebnisse der Kalibrierung mit den mittleren flow ratios für das Ereignis 20.09.1999-28.09.2002



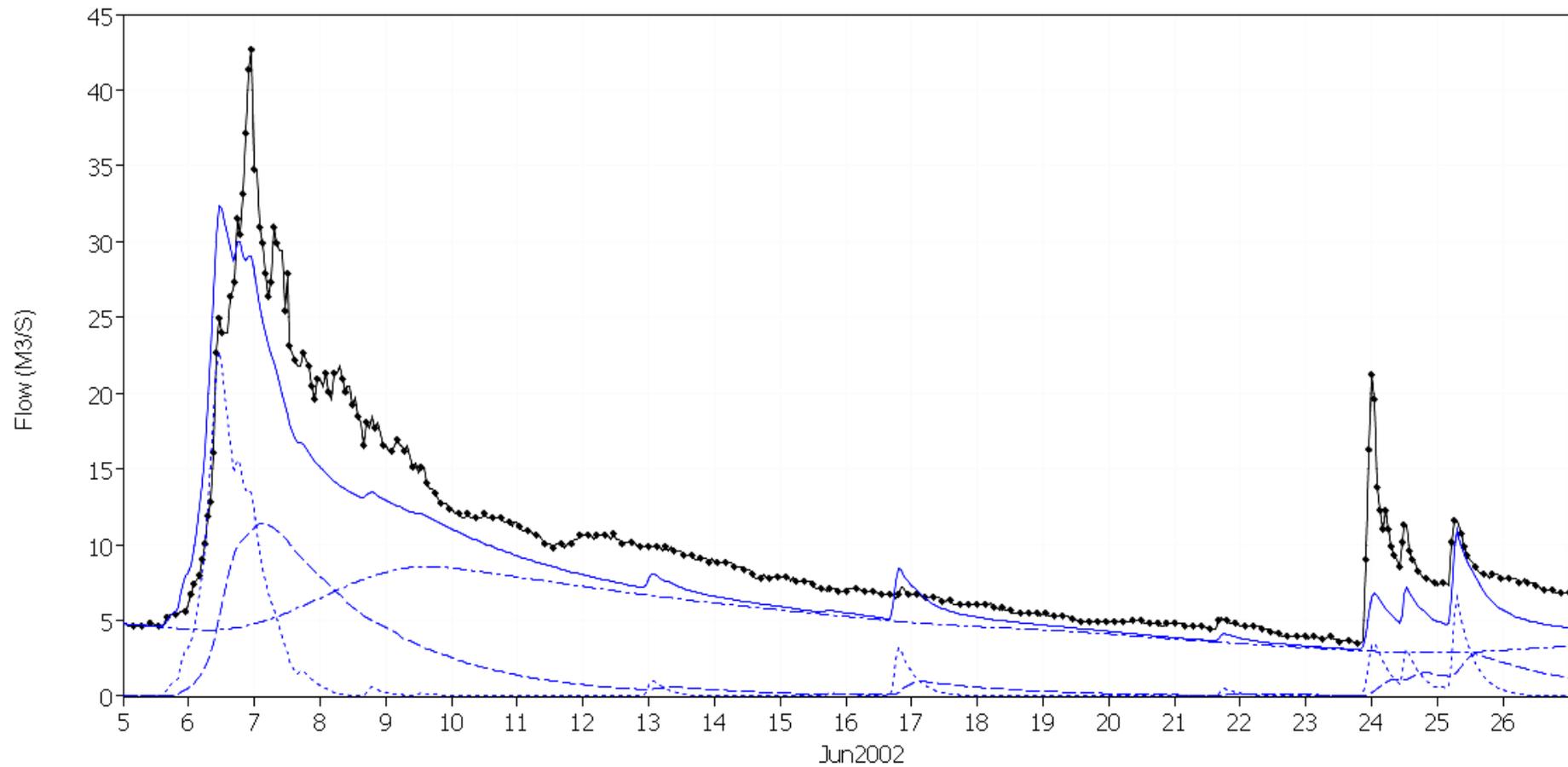
Legend

- Run:RUN 9 Element:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Observed Flow
- Run:RUN 9 Element:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Outflow
- Run:Run 9 Element:Maria Luggau mittel Result:Outflow
- Run:Run 9 Element:Maria Luggau schnell Result:Outflow
- Run:Run 9 Element:Maria Luggau langsam Result:Outflow

Anhang III.2 Ergebnisse der Kalibrierung mit den mittleren flow ratios für das Ereignis 10.07.2000-28.07.2000



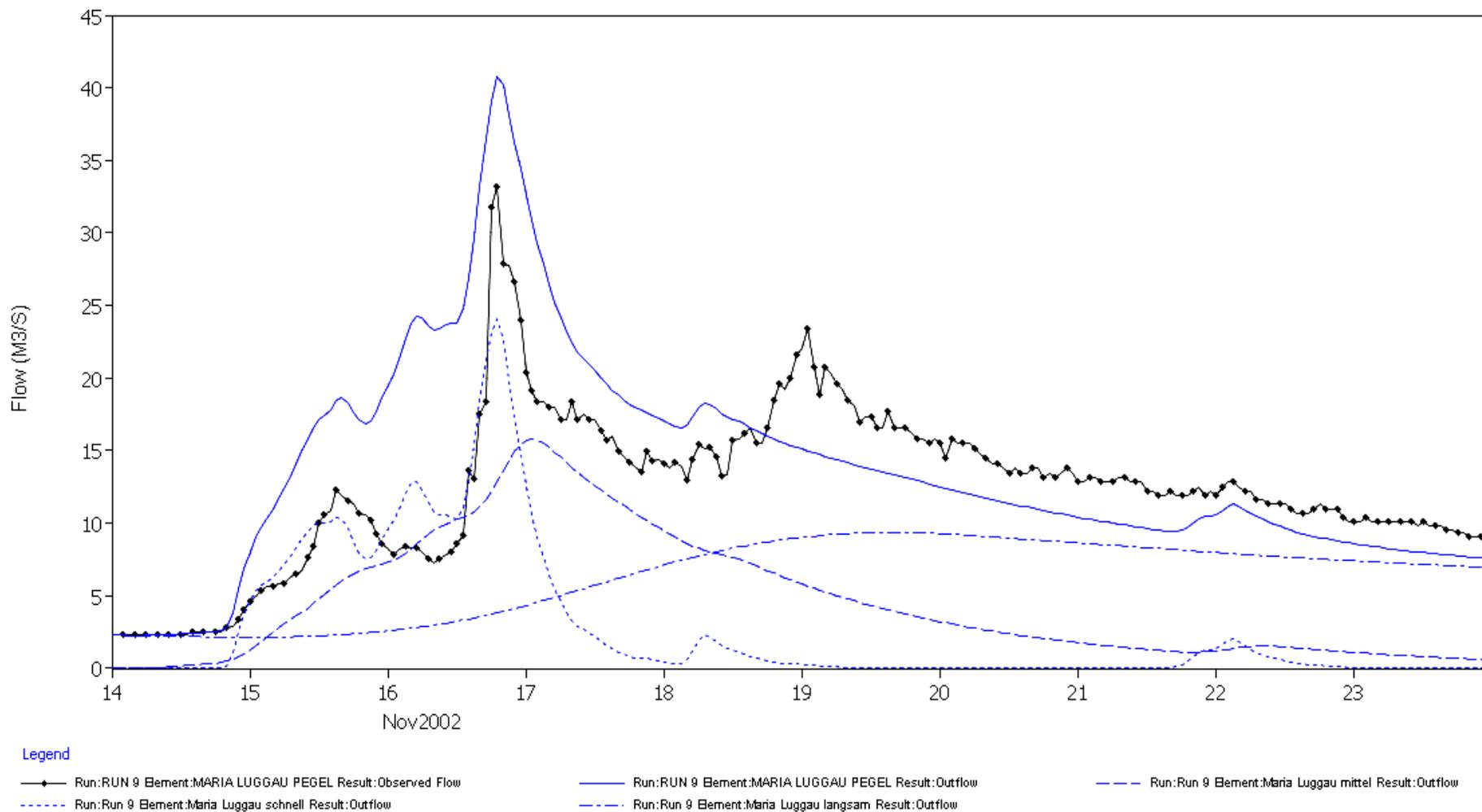
Anhang III.3 Ergebnisse der Kalibrierung mit den mittleren flow ratios für das Ereignis 20.09.2000-27.09.2000



Legend

- Run:RUN 9 Bement:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Observed Flow
- Run:RUN 9 Bement:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Outflow
- Run:Run 9 Bement:Maria Luggau mittel Result:Outflow
- Run:Run 9 Bement:Maria Luggau schnell Result:Outflow
- Run:Run 9 Bement:Maria Luggau langsam Result:Outflow

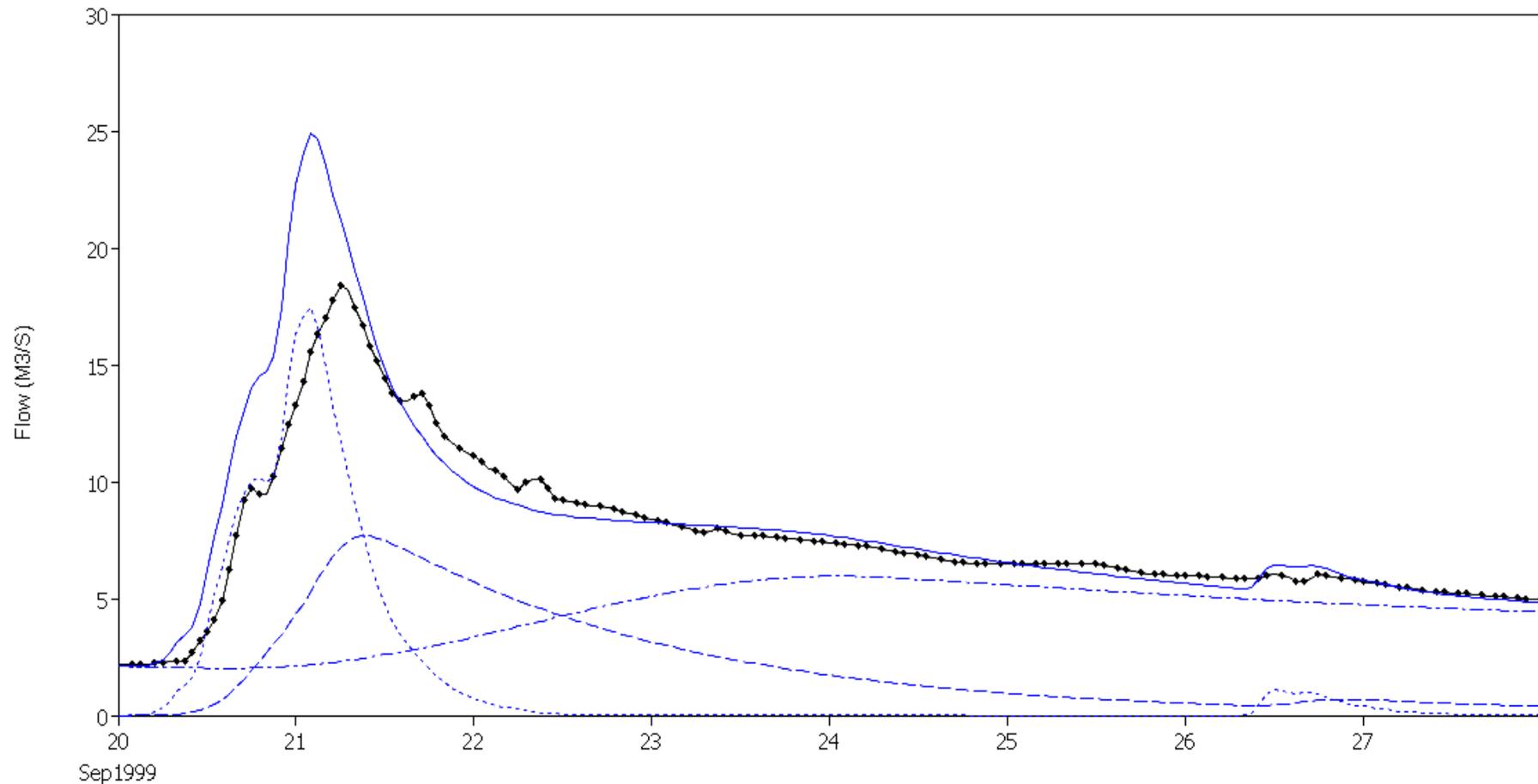
Anhang III.4 Ergebnisse der Kalibrierung mit den mittleren flow ratios für das Ereignis 05.06.2002-27.06.2002



Anhang III.5 Ergebnisse der Kalibrierung mit den mittleren flow ratios für das Ereignis 14.11.2002-24.11.2002

Anhang IV

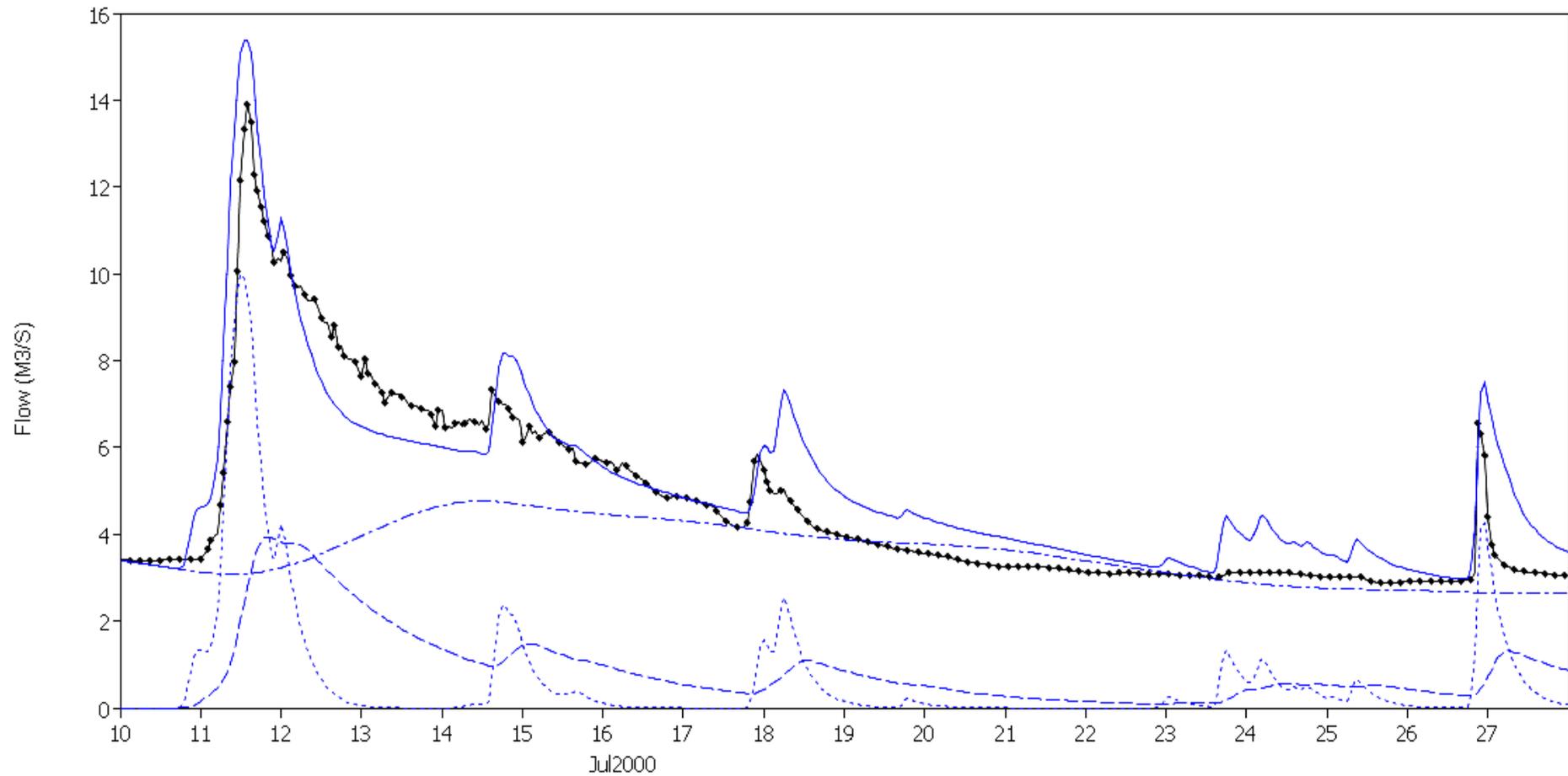
Ergebnisse der Kalibrierung mit der
mittleren Flow Ratios
ohne die aussergewöhnliche Ereignisse



Legend

- Run:RUN 9 Element:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Observed Flow
- Run:RUN 9 Element:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Outflow
- Run:Run 9 Element:Maria Luggau mittel Result:Outflow
- Run:Run 9 Element:Maria Luggau schnell Result:Outflow
- Run:Run 9 Element:Maria Luggau langsam Result:Outflow

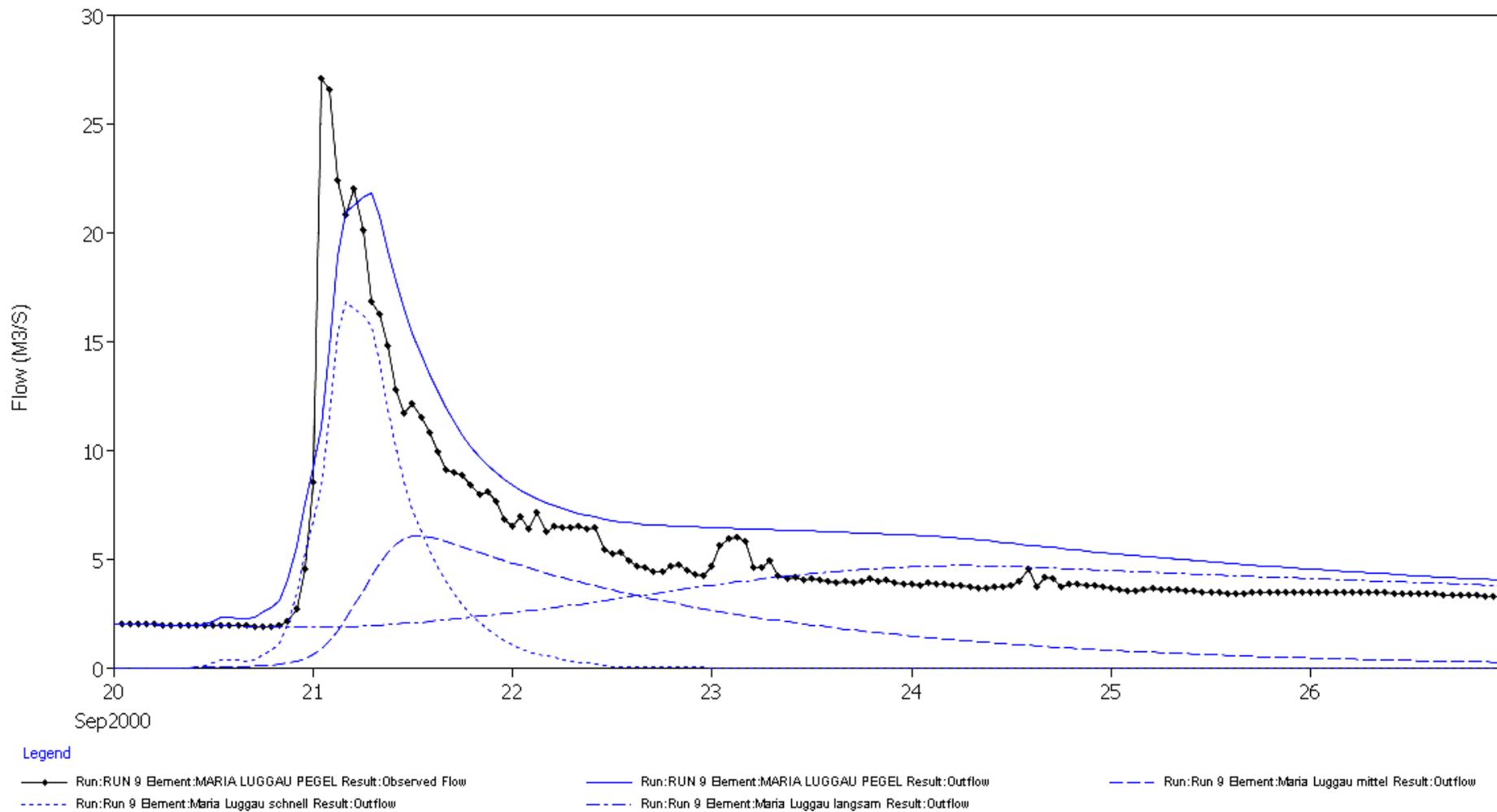
Anhang IV.1 Ergebnisse der Kalibrierung mit den mittleren flow ratios (ohne die aussergewöhnliche) für das Ereignis 20.09.1999-28.09.2002



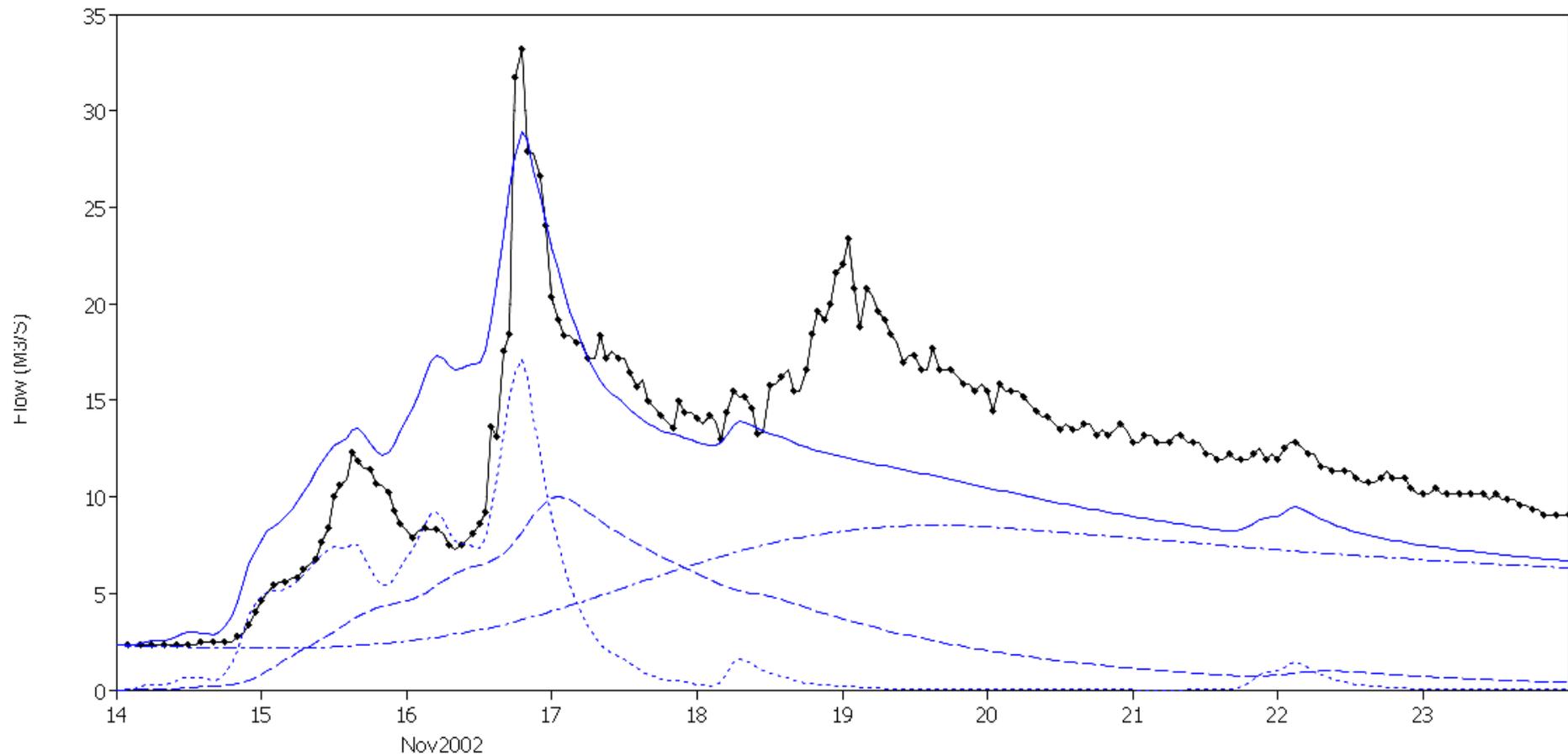
Legend

- Run:RUN 9 Element:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Observed Flow
- Run:RUN 9 Element:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Outflow
- - - Run:Run 9 Element:Maria Luggau mittel Result:Outflow
- · - Run:Run 9 Element:Maria Luggau schnell Result:Outflow
- · - Run:Run 9 Element:Maria Luggau langsam Result:Outflow

Anhang IV.2 Ergebnisse der Kalibrierung mit den mittleren flow ratios (ohne die aussergewöhnliche) für das Ereignis 10.07.2000-28.07.2000



Anhang IV.3 Ergebnisse der Kalibrierung mit den mittleren flow ratios (ohne die aussergewöhnliche) für das Ereignis 20.09.2000-27.09.2000



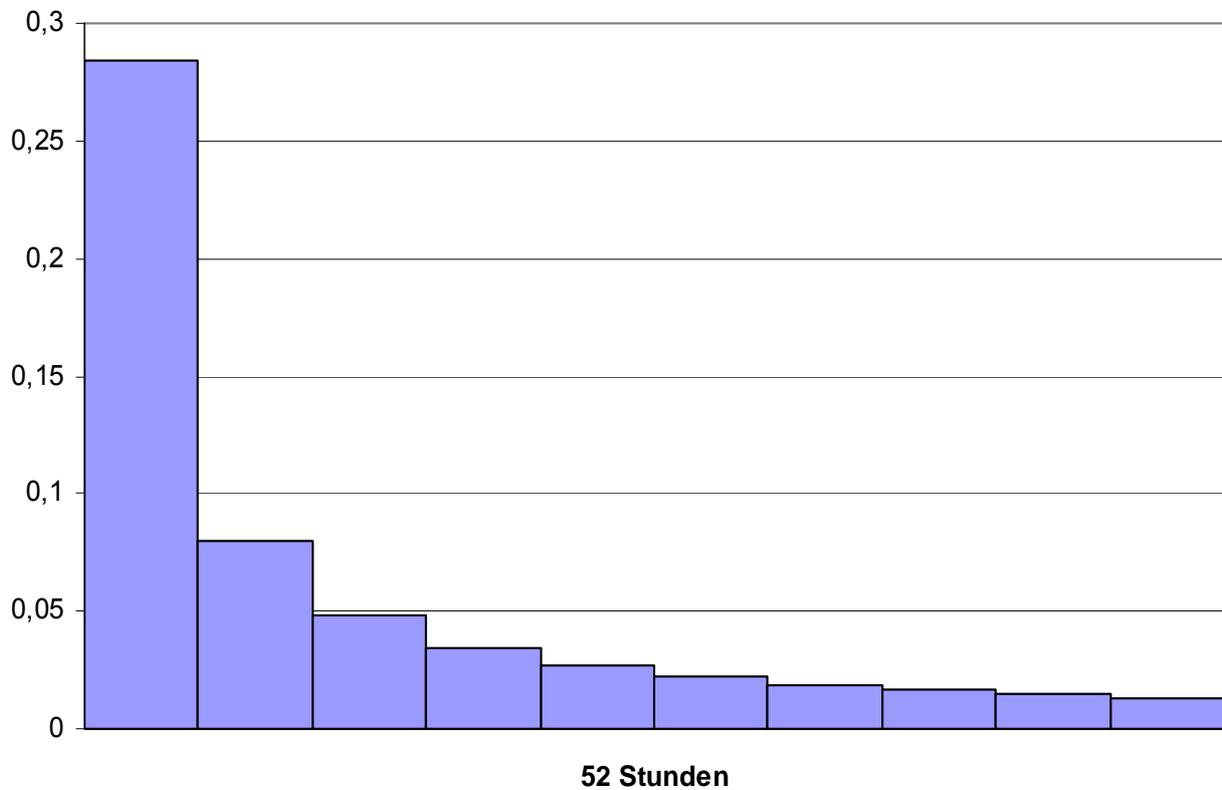
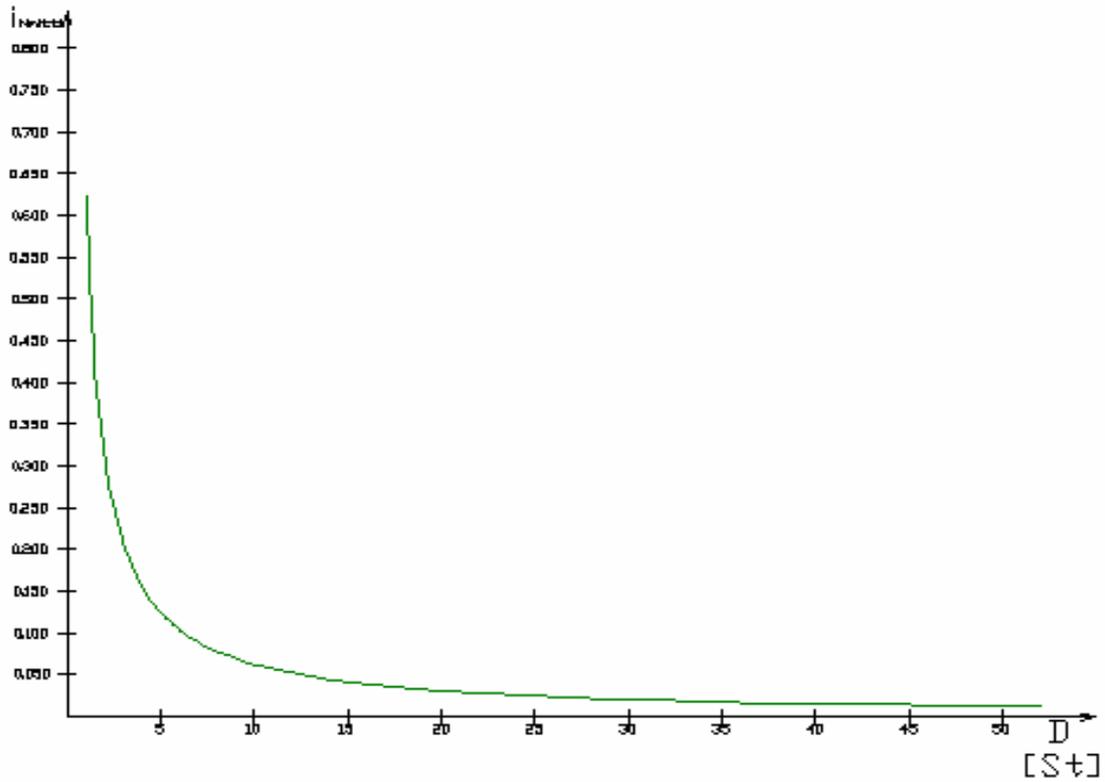
Legend

- Run:RUN 9 Element:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Observed Flow
- Run:RUN 9 Element:MARIA LUGGAU PEGEL Result:Outflow
- - - Run:Run 9 Element:Maria Luggau mittel Result:Outflow
- - - Run:Run 9 Element:Maria Luggau schnell Result:Outflow
- - - Run:Run 9 Element:Maria Luggau langsam Result:Outflow

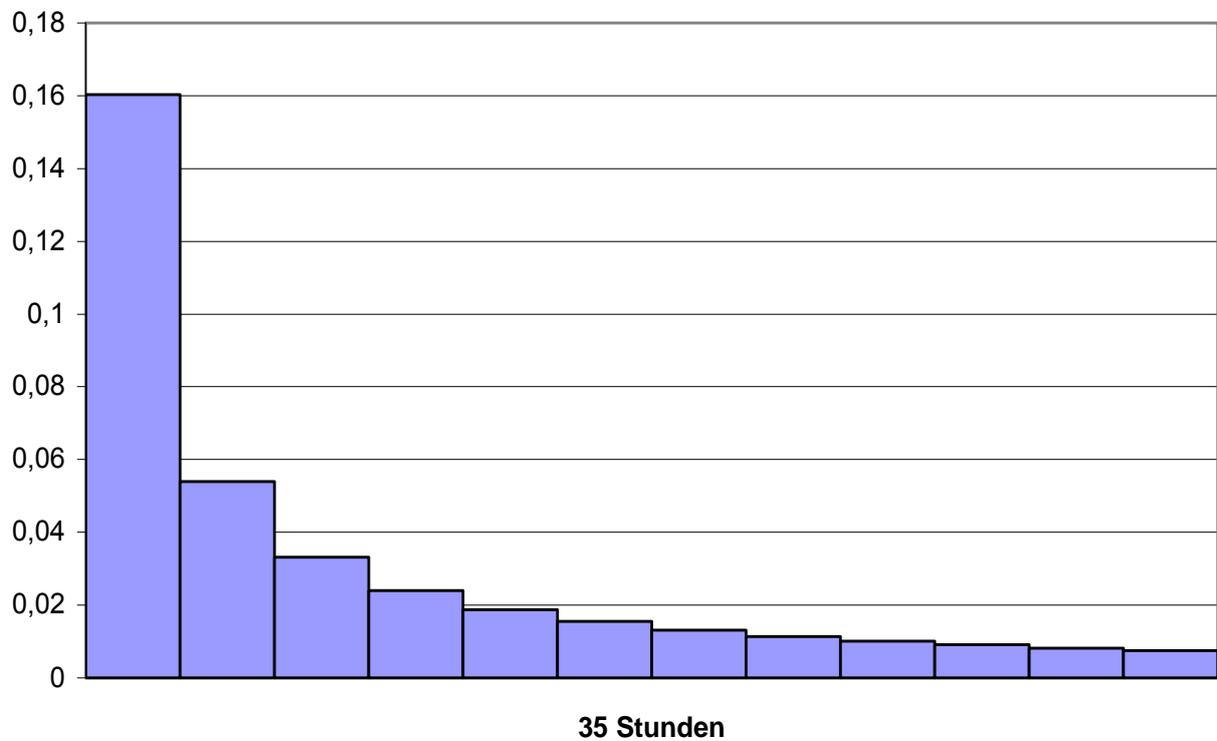
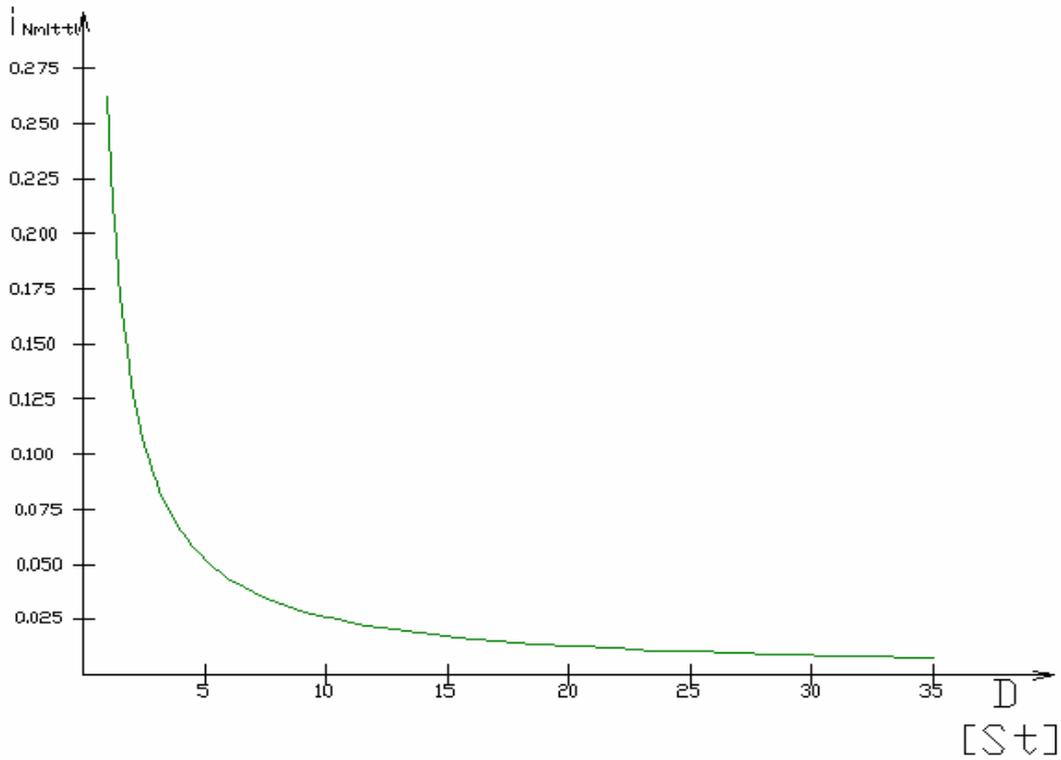
Anhang IV.4 Ergebnisse der Kalibrierung mit den mittleren flow ratios (ohne die aussergewöhnliche) für das Ereignis 14.11.2002-24.11.2000

Anhang V

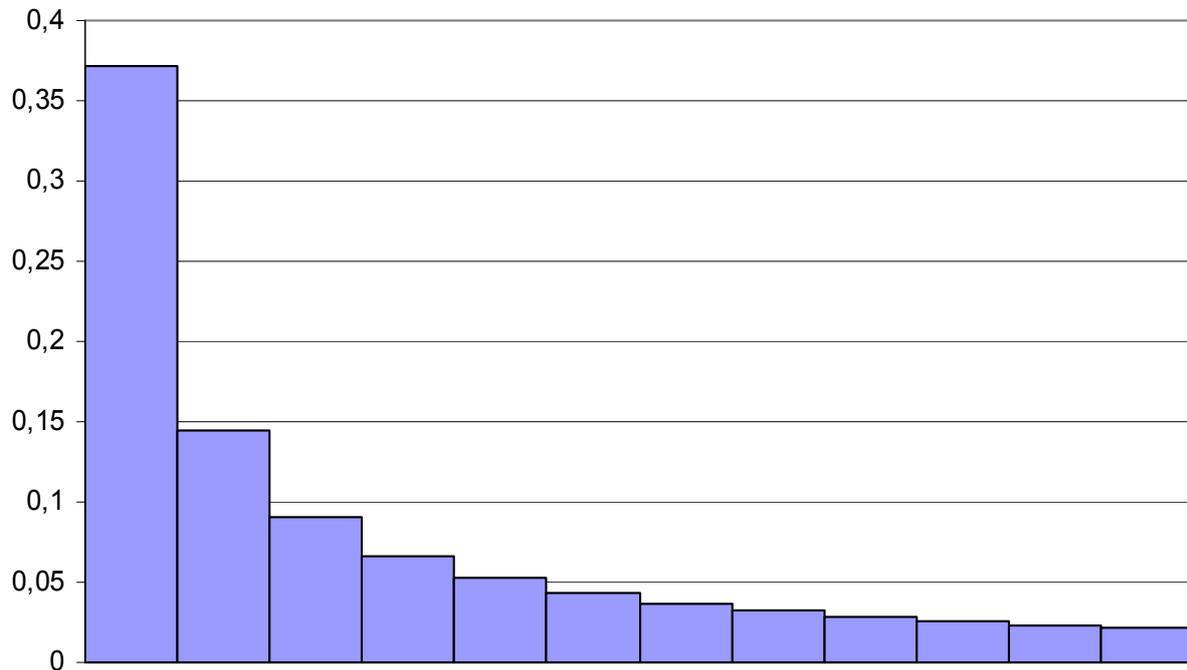
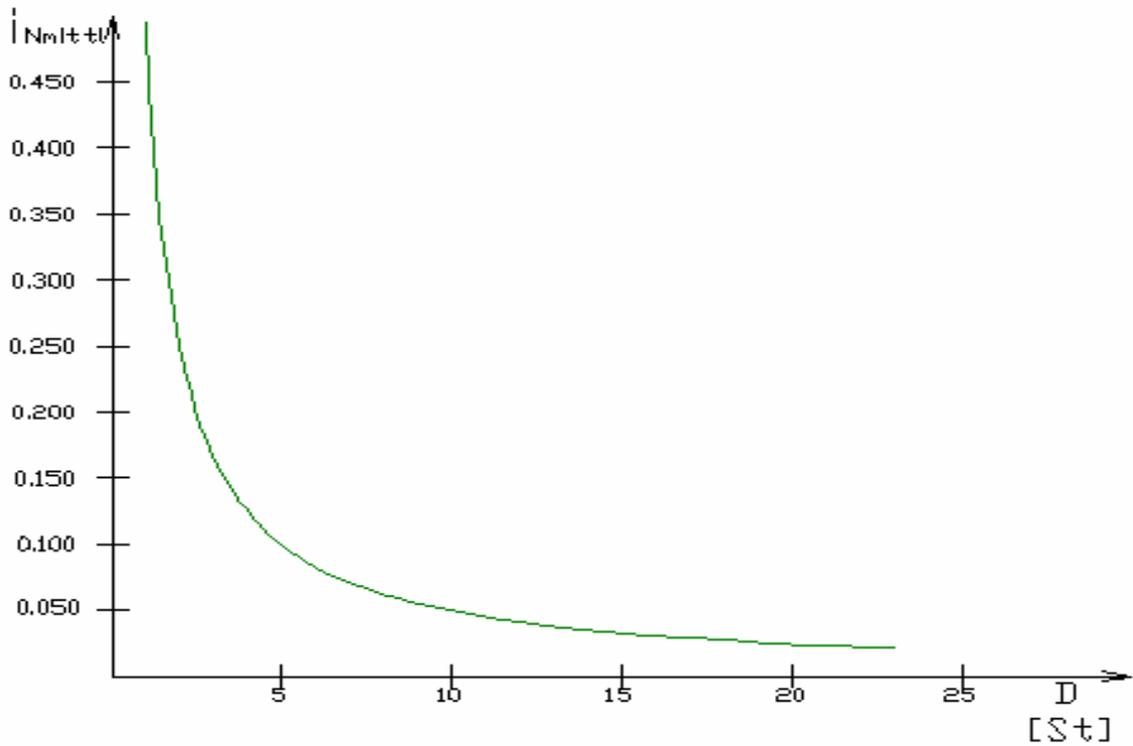
Intensitätsdiagramme



Anhang V.1 Abnahme der Intensität im Laufe der Zeit für das Ereignis
 20.09.1999-28.09.1999

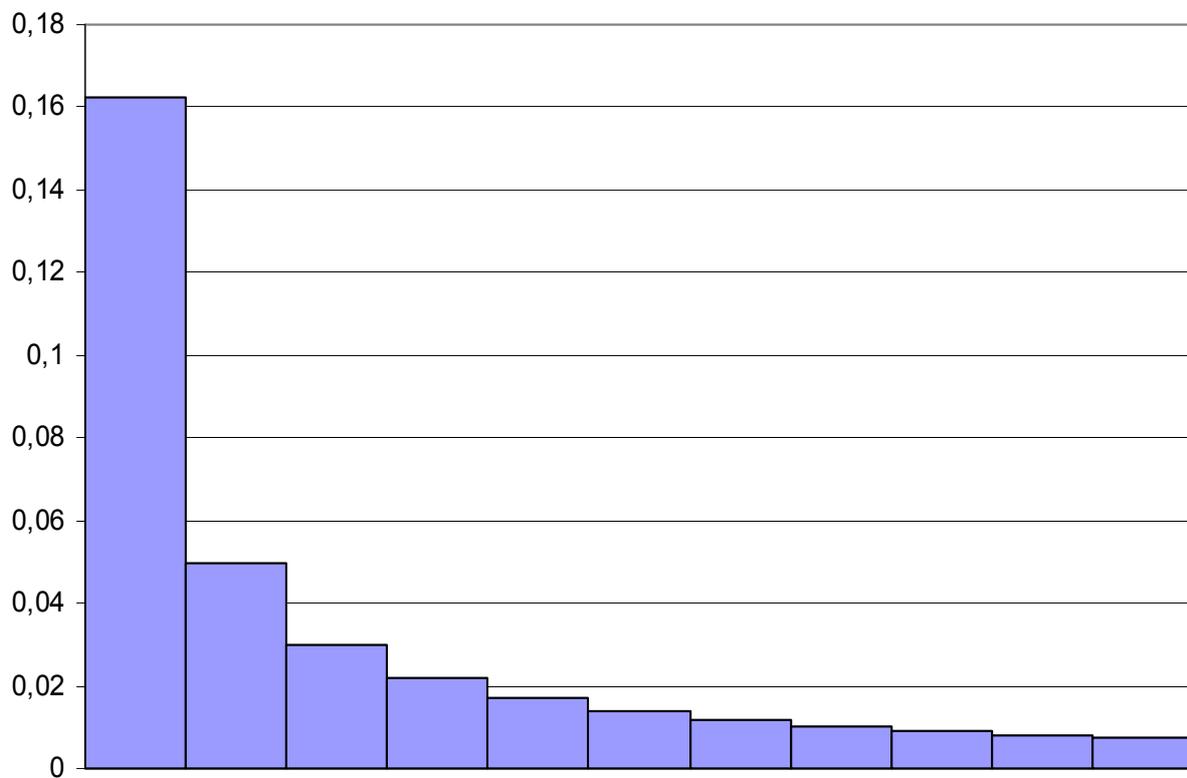
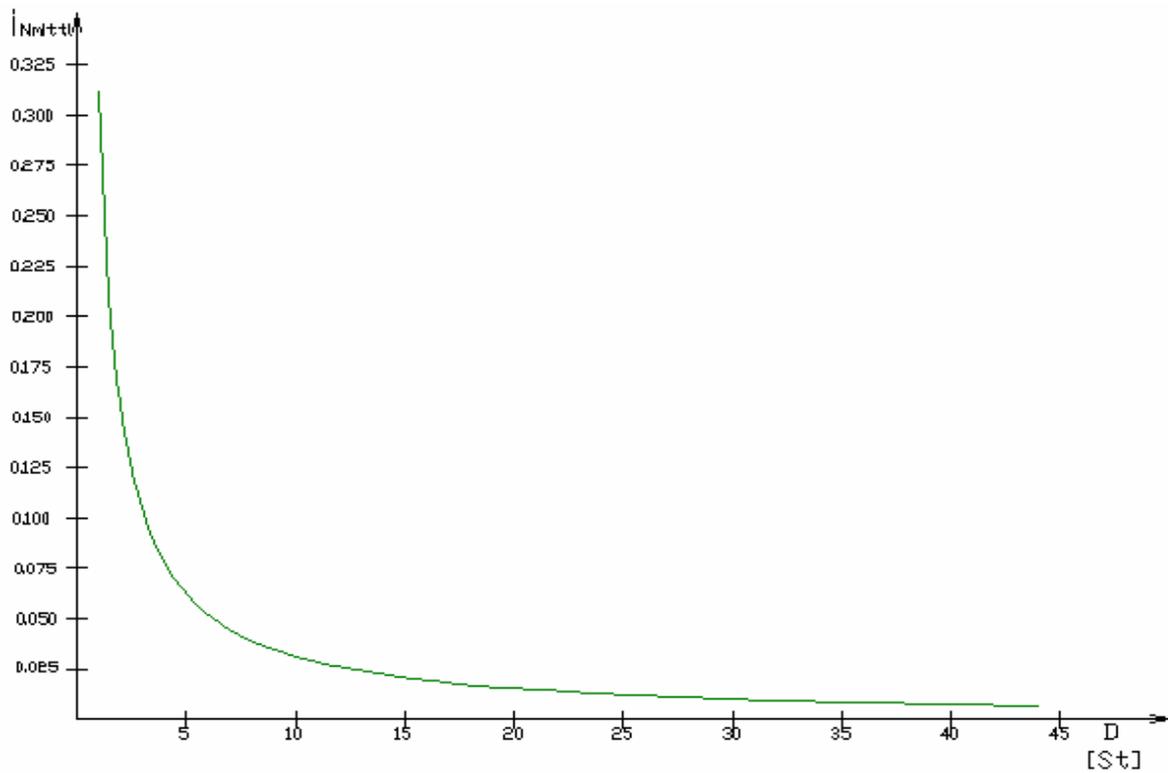


Anhang V.2 Abnahme der Intensität im Laufe der Zeit für das Ereignis
 10.07.2000-28.07.2000



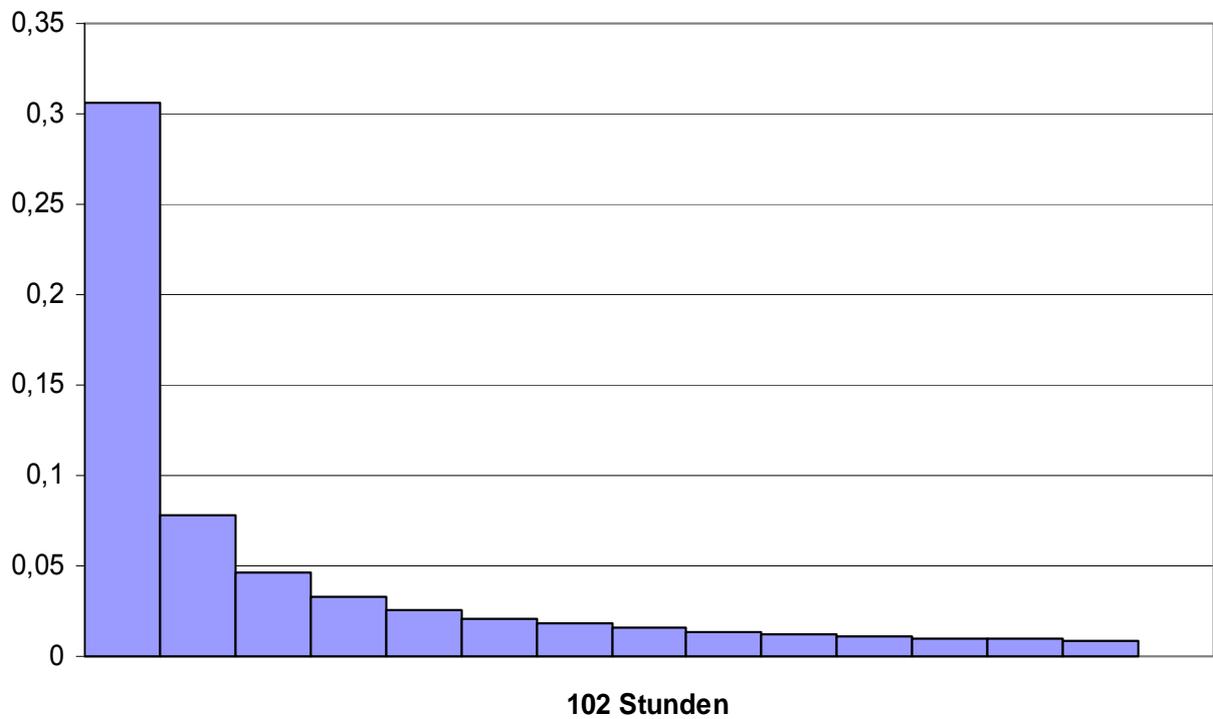
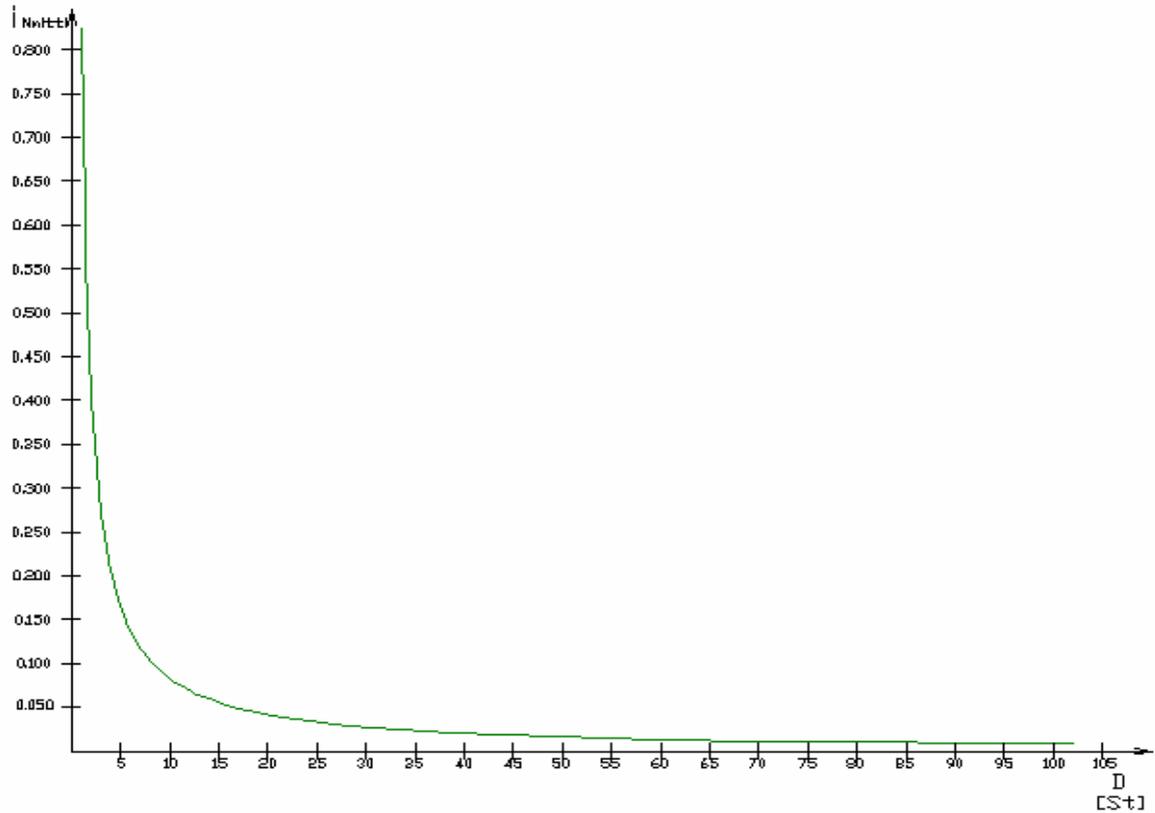
23 Stunden

Anhang V.3 Abnahme der Intensität im Laufe der Zeit für das Ereignis
 20.09.2000-27.09.2000



44 Stunden

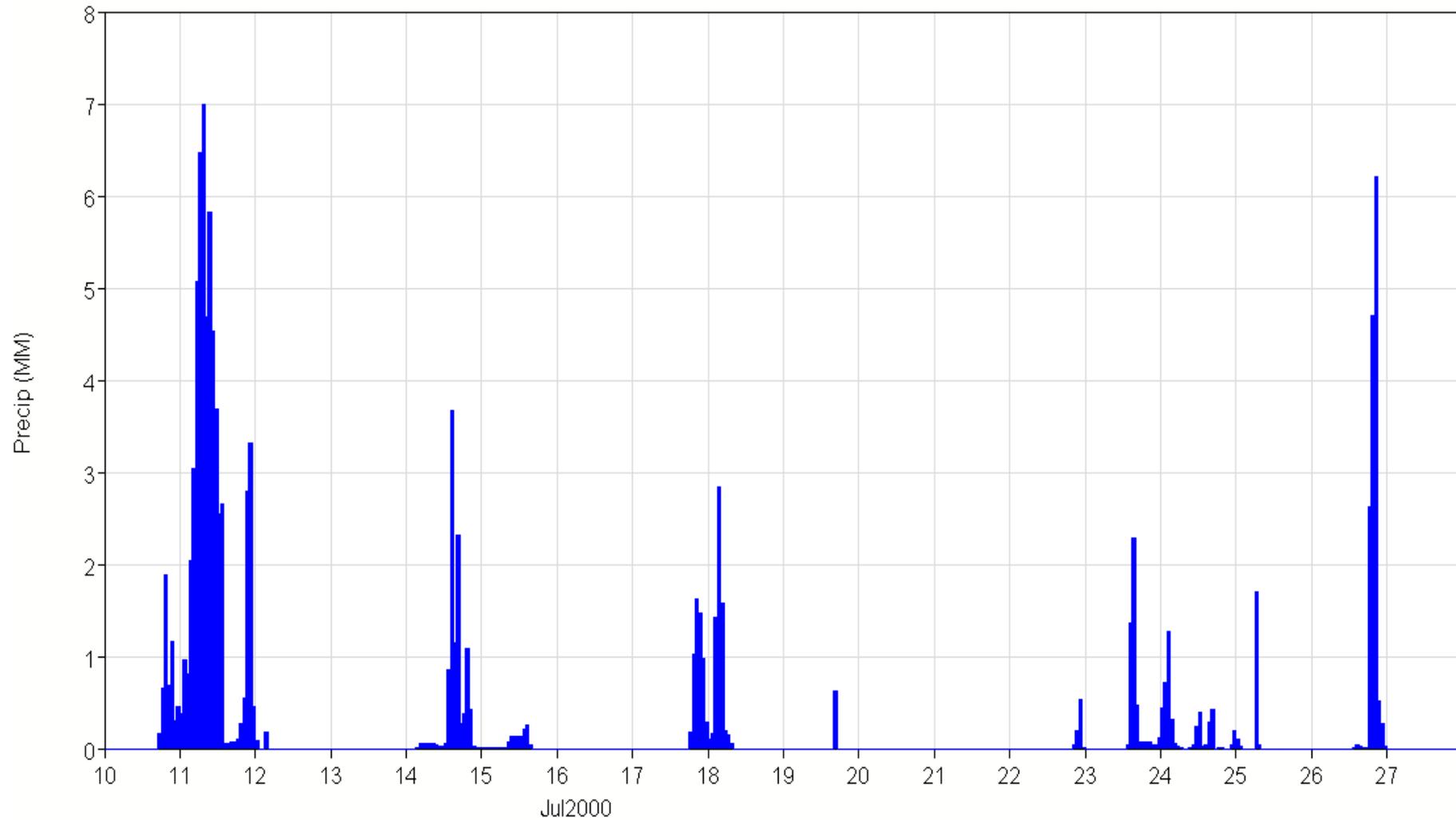
Anhang V.4 Abnahme der Intensität im Laufe der Zeit für das Ereignis
 05.06.2002-27.06.2002



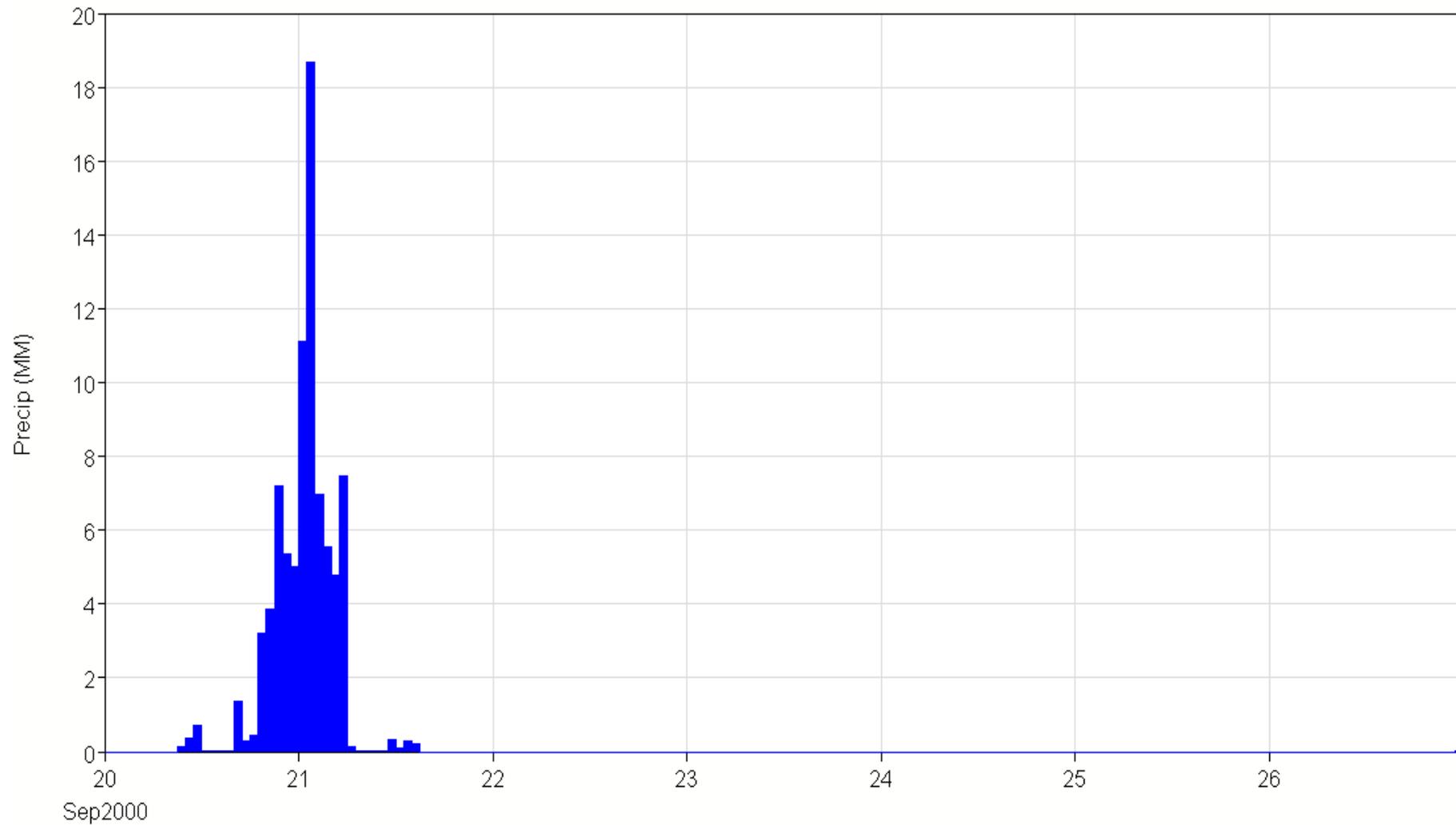
Anhang V.5 Abnahme der Intensität im Laufe der Zeit für das Ereignis 14.11.2002-24.11.2002

Anhang VI

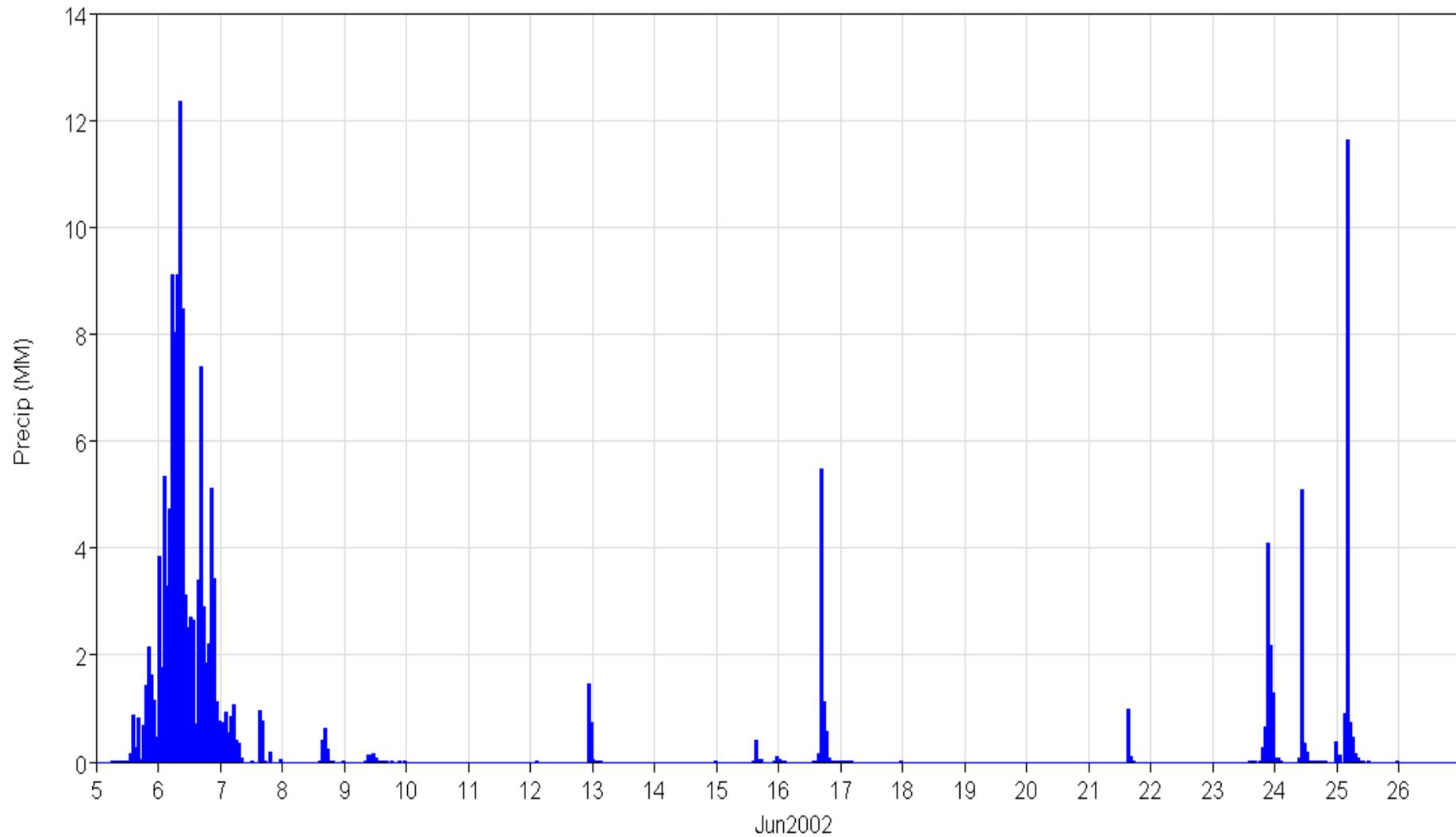
Niederschlagsganglinien



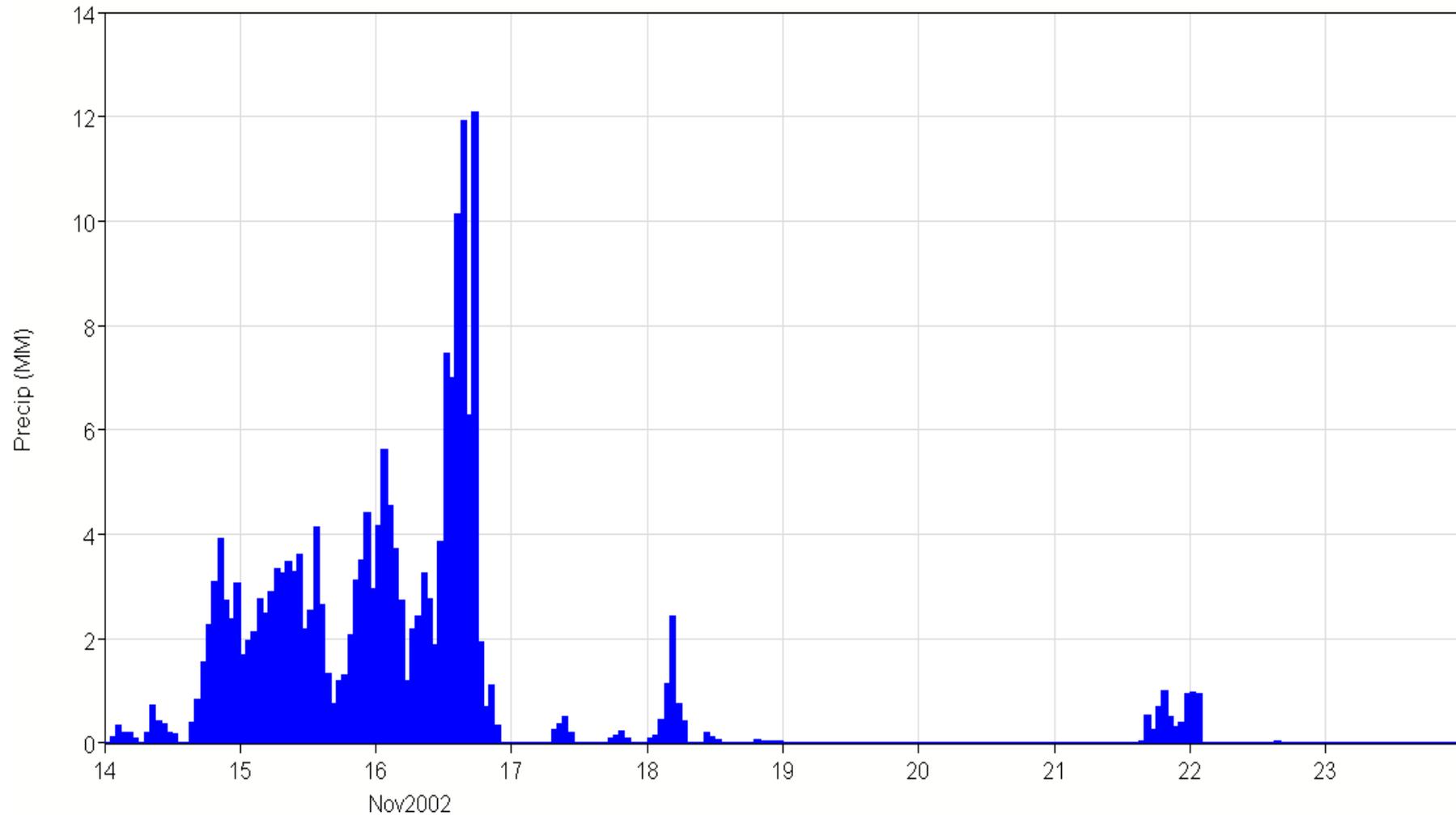
Anhang VI.2 Niederschlagsganglinie für das Ereignis 10.07.2000-28.07.2000



Anhang VI.3 Niederschlagsganglinie für das Ereignis 20.09.2000-27.09.2000



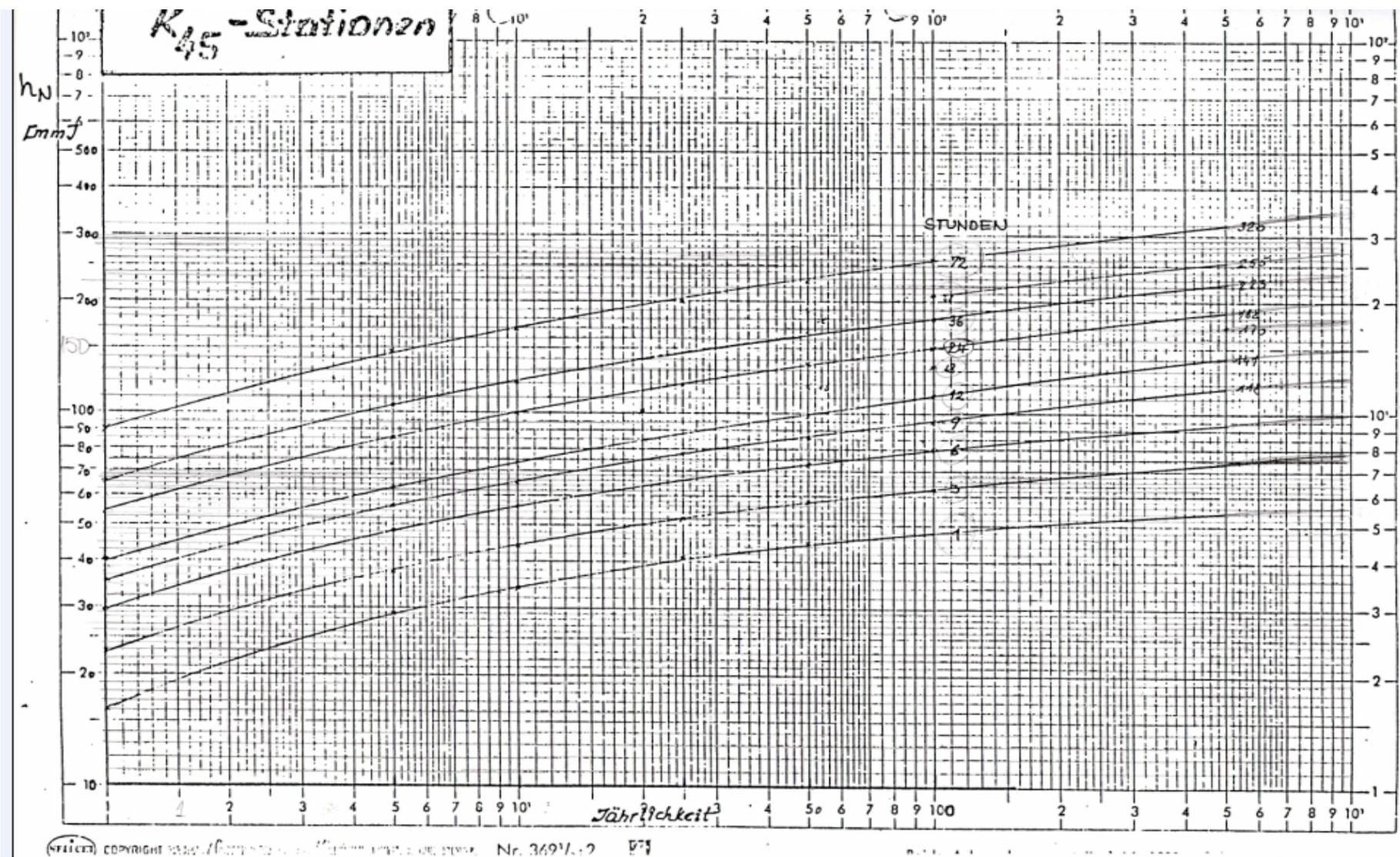
Anhang VI.4 Niederschlagsganglinie für das Ereignis 05.06.2002-27.06.2002



Anhang VI.5 Niederschlagsganglinie für das Ereignis 14.11.2002-24.11.2002

Anhang VII

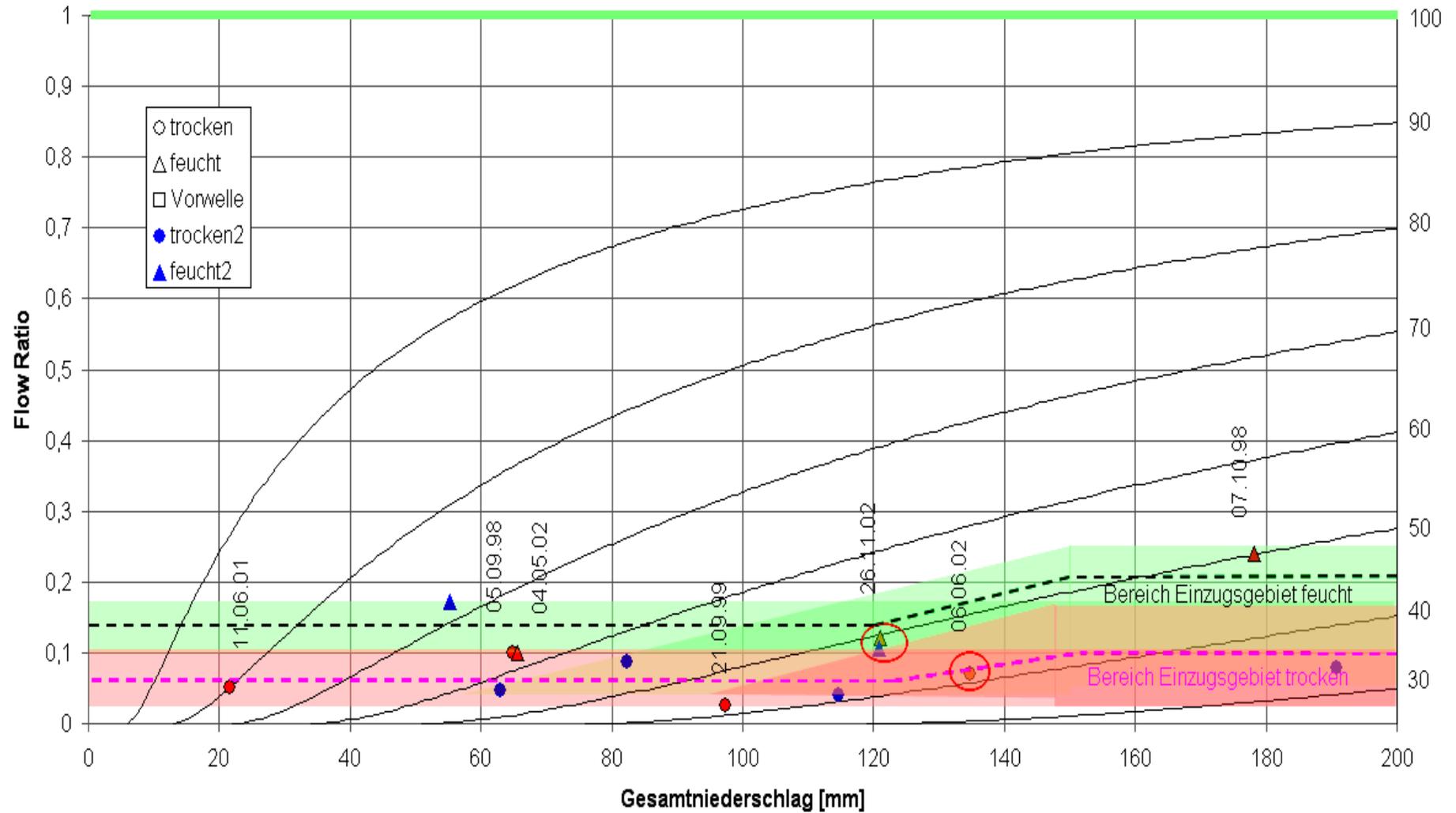
Bemessungsniederschläge

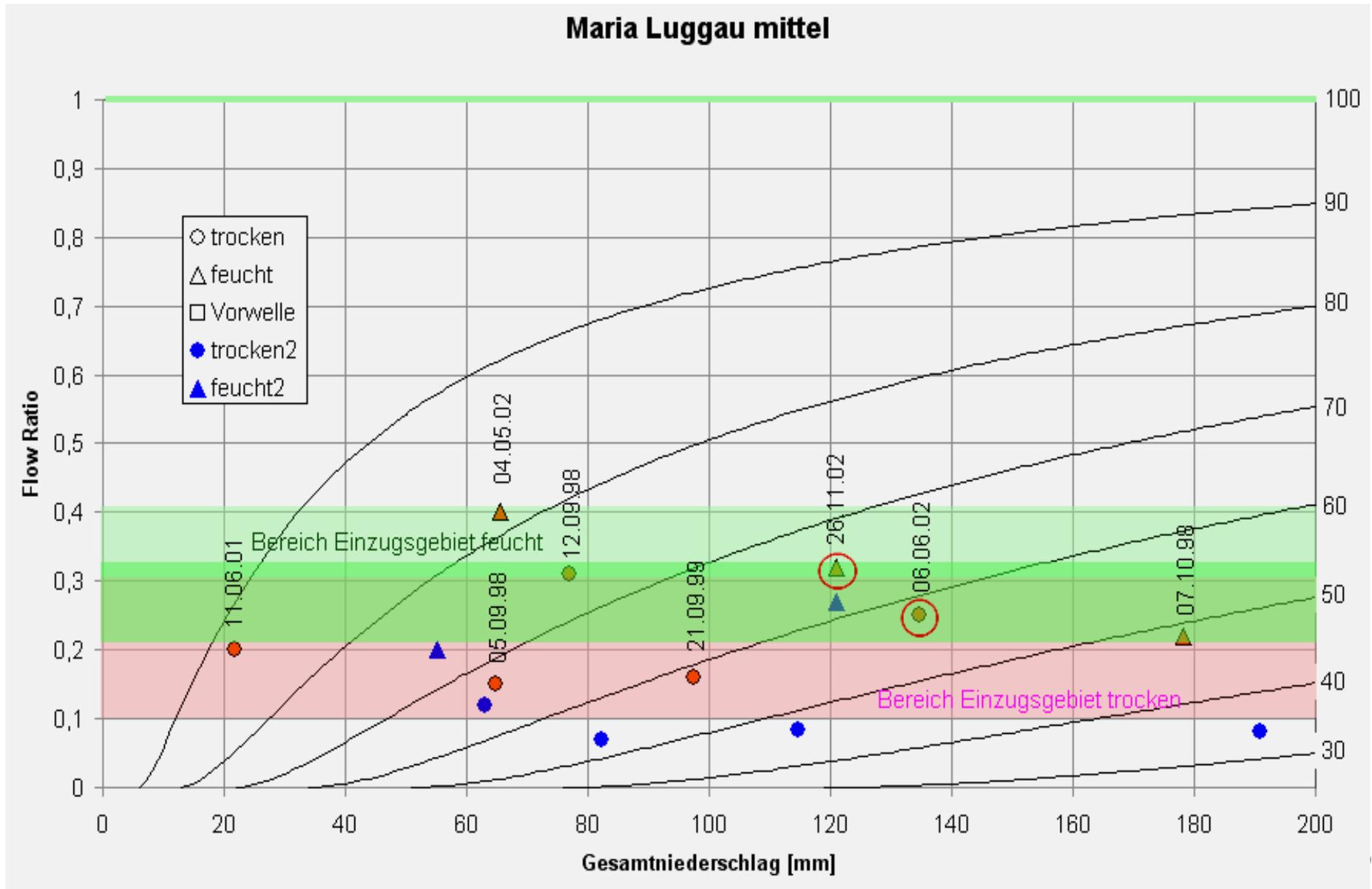


Anhang VIII

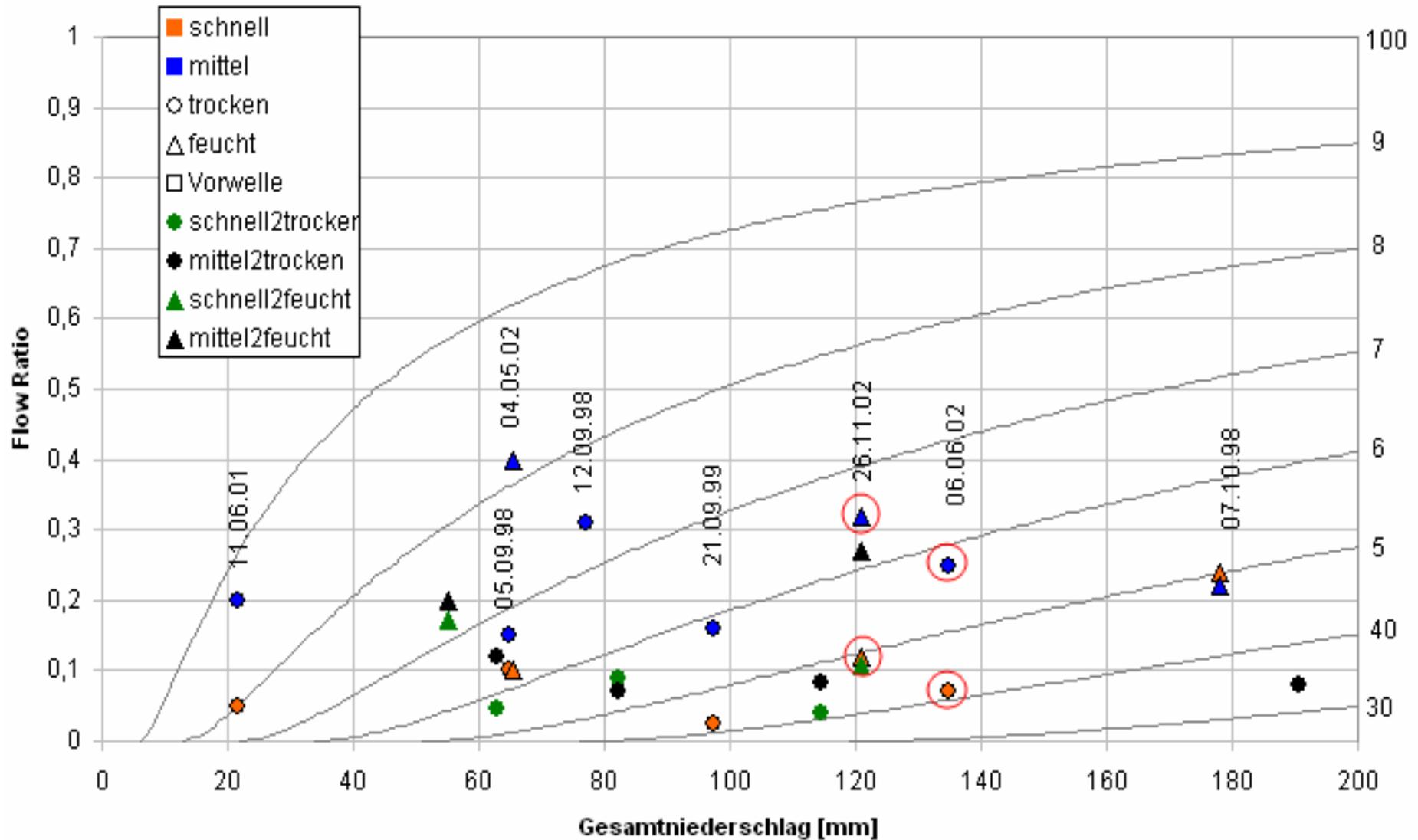
Vorfeuchte des Bodens

Maria Luggau schnell



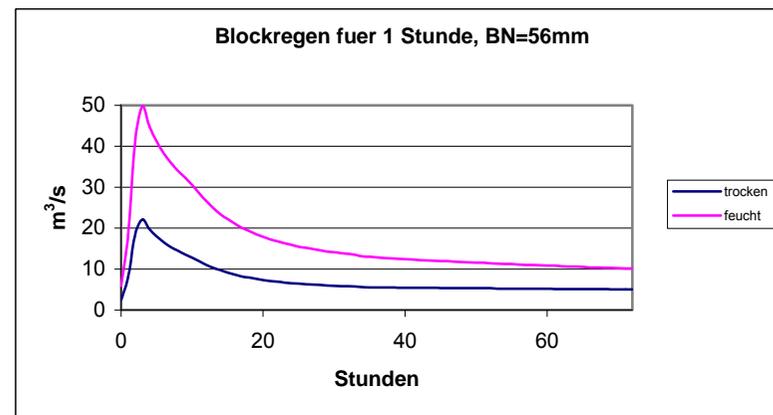
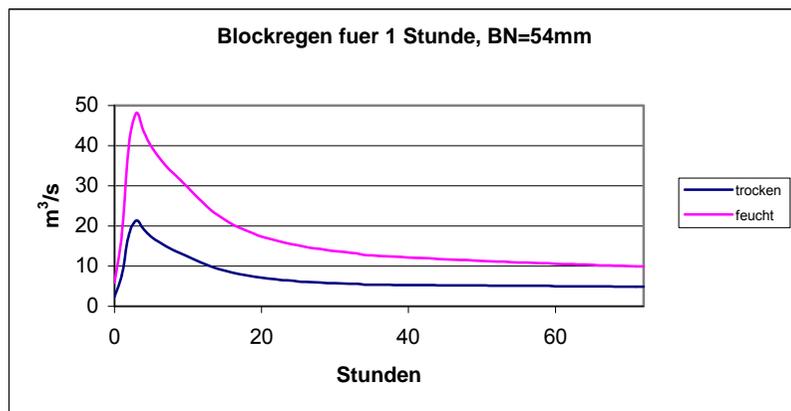
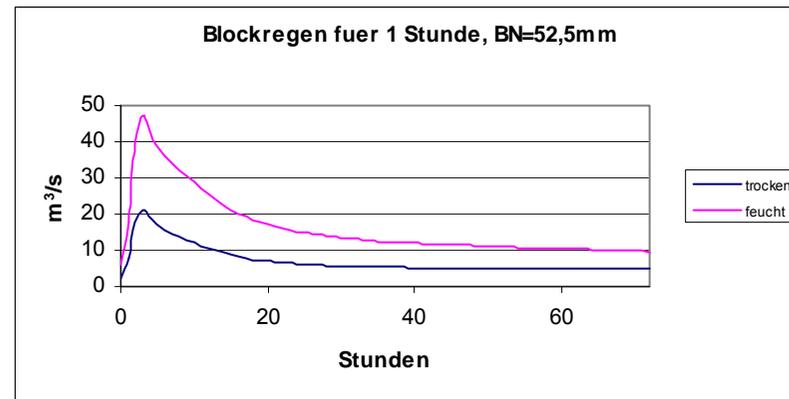
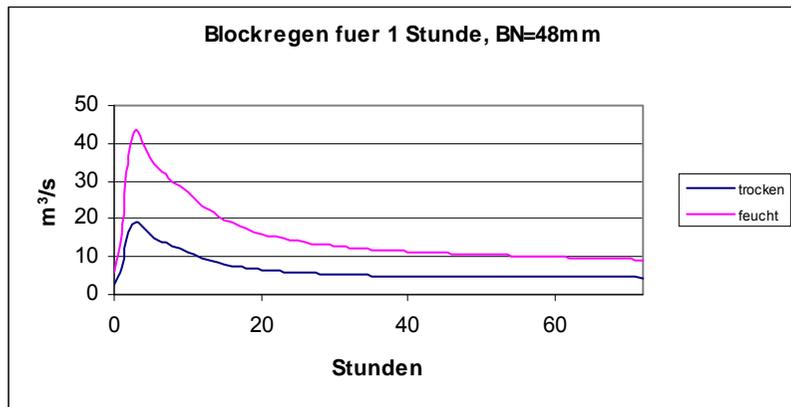


Maria Luggau schnell, mittel

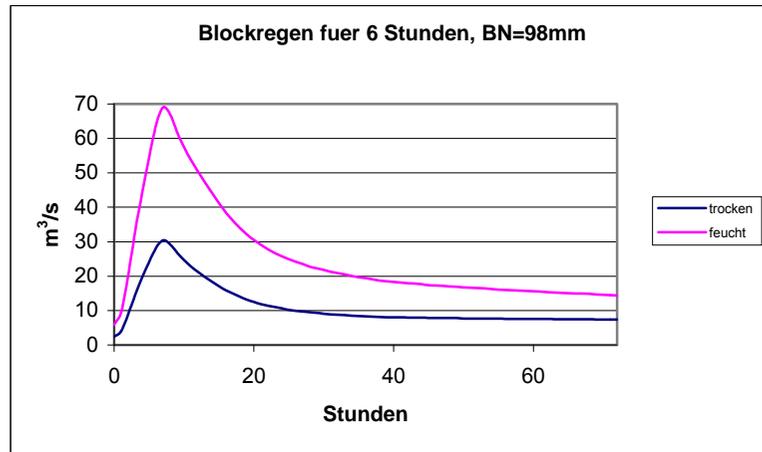
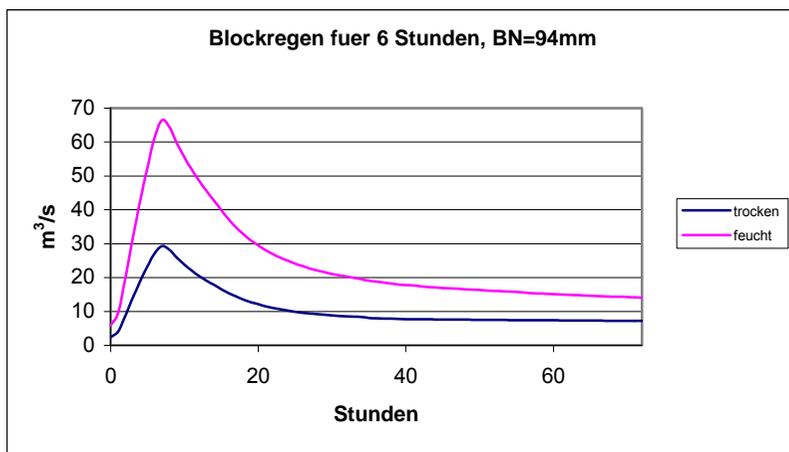
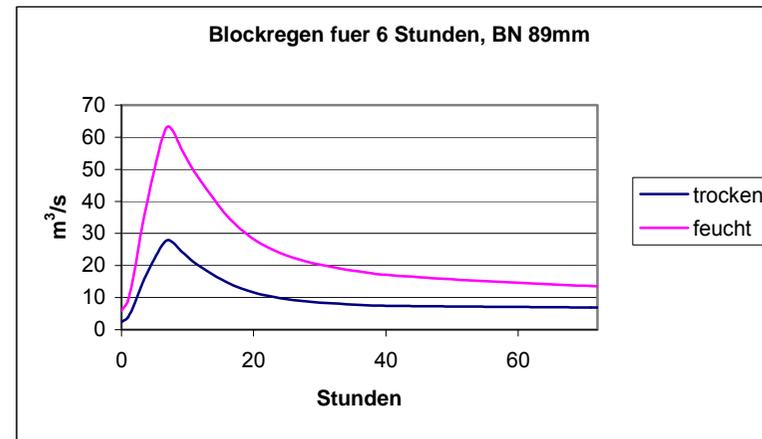
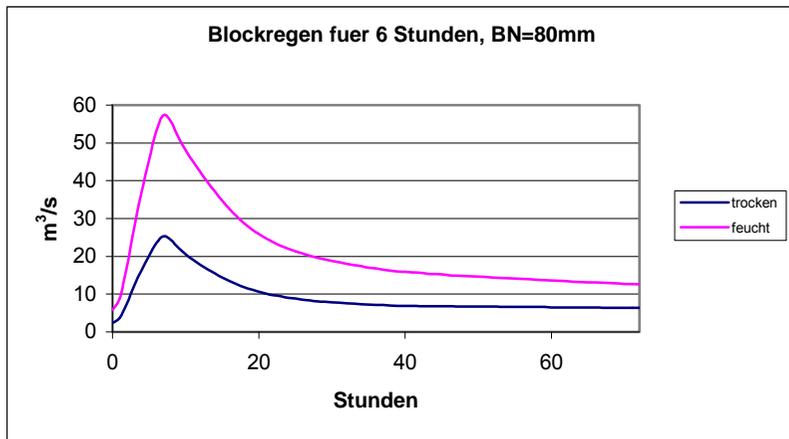


Anhang IX

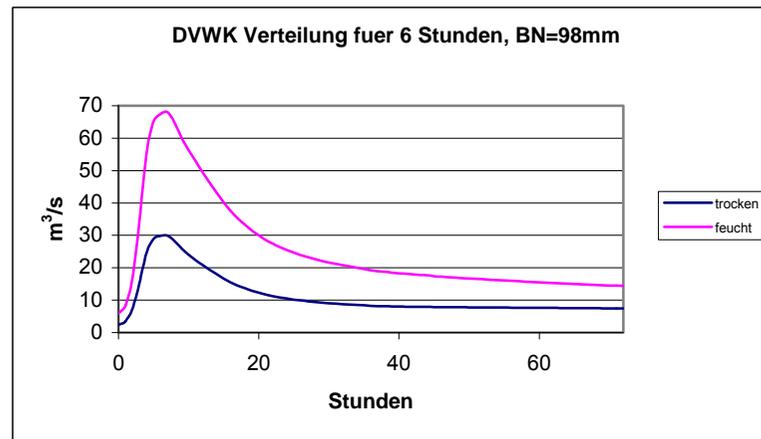
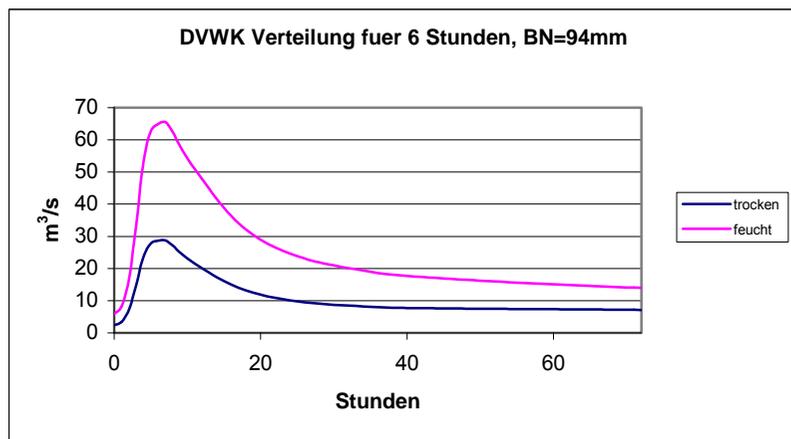
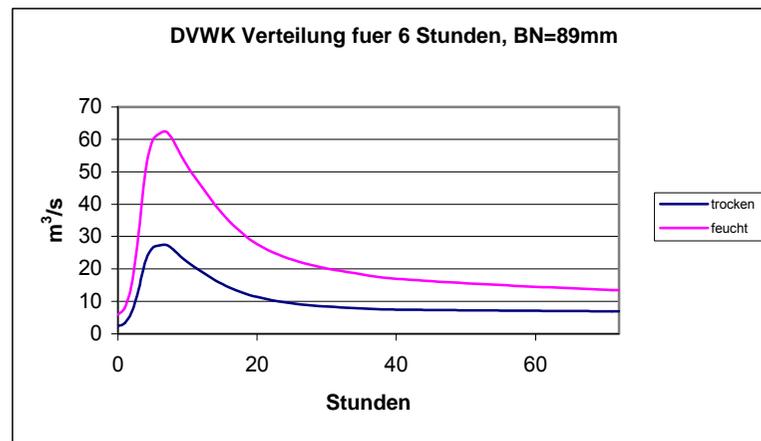
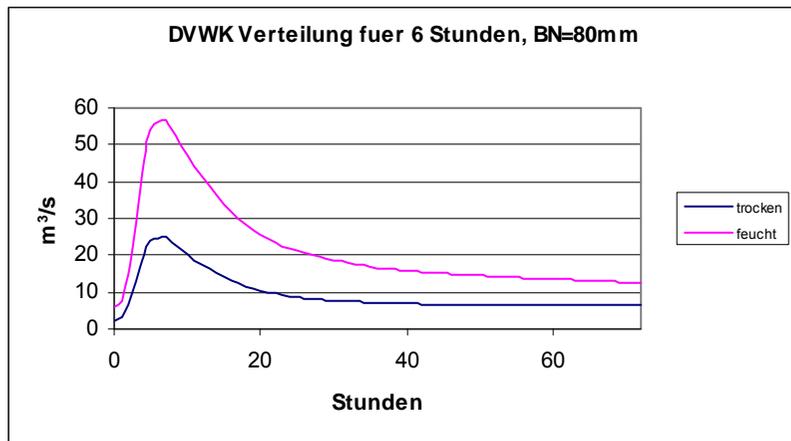
Abflussganglinien des Bemessungsniederschlags



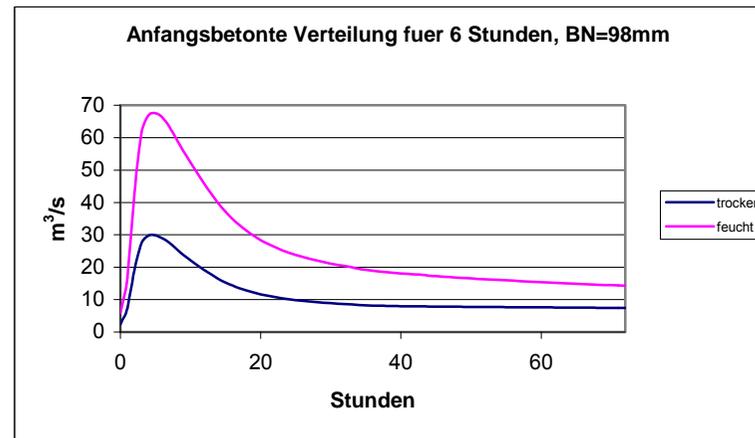
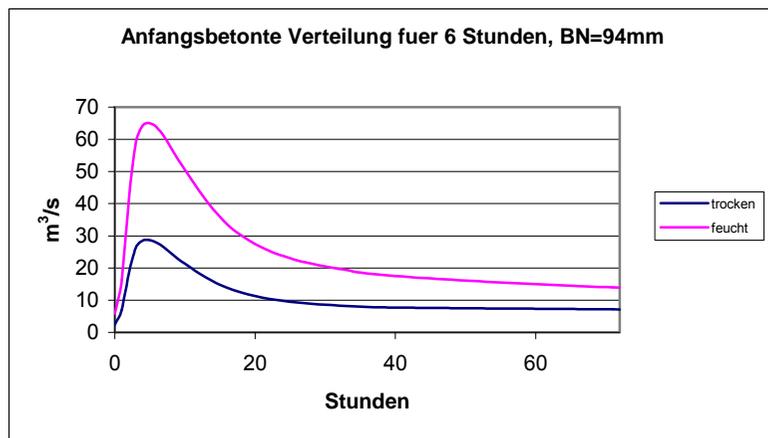
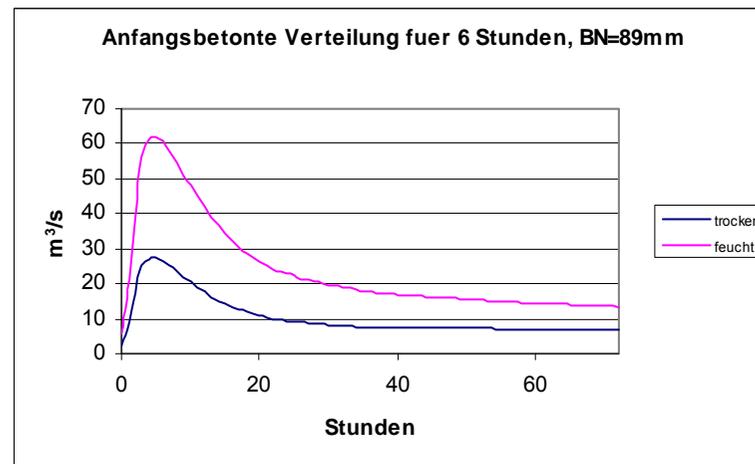
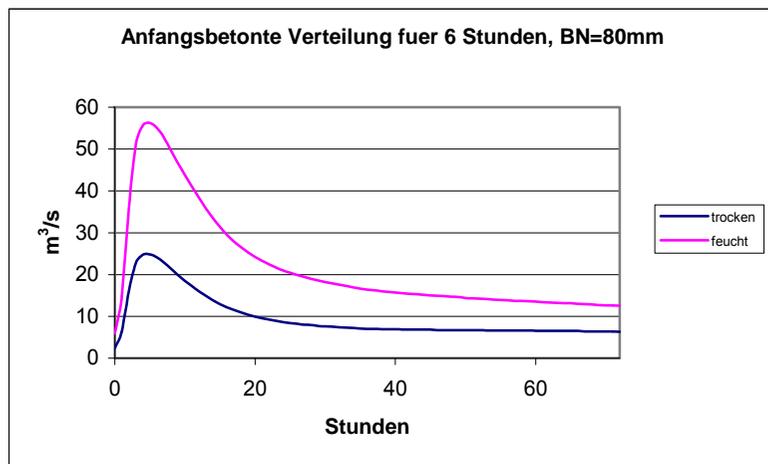
Anhang IX.1 Abflussganglinien des Bemessungsniederschlags für eine Stunde beim Blockregen



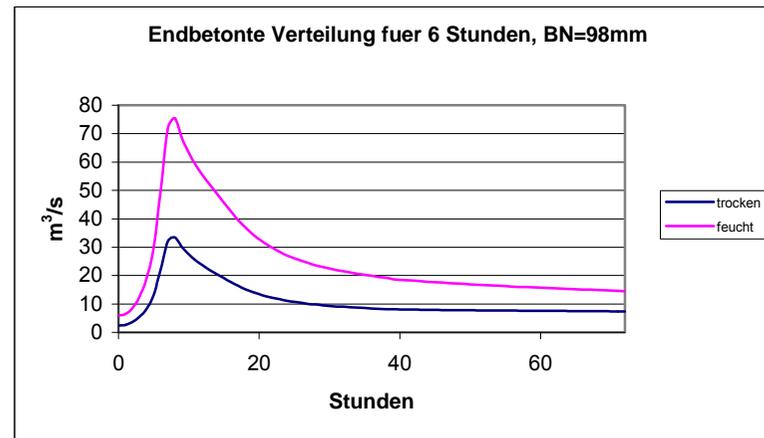
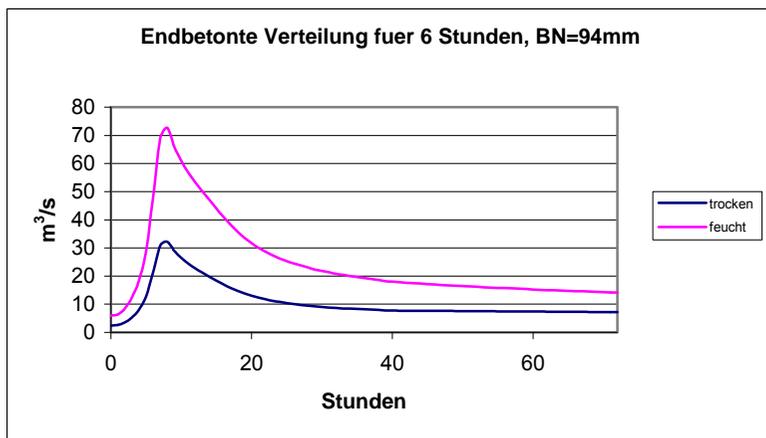
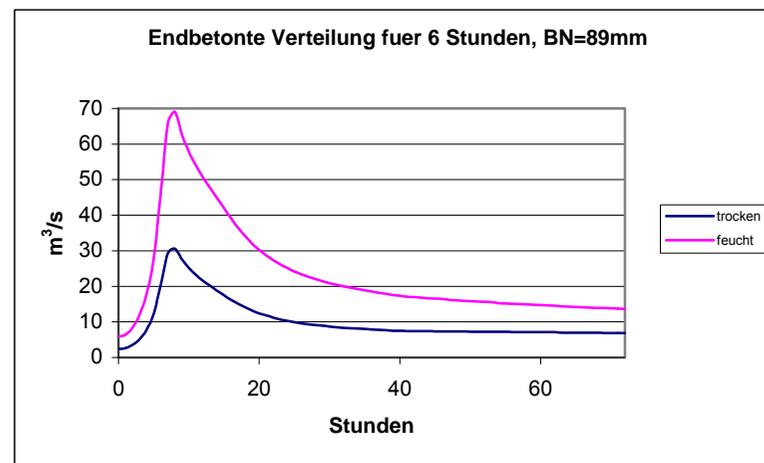
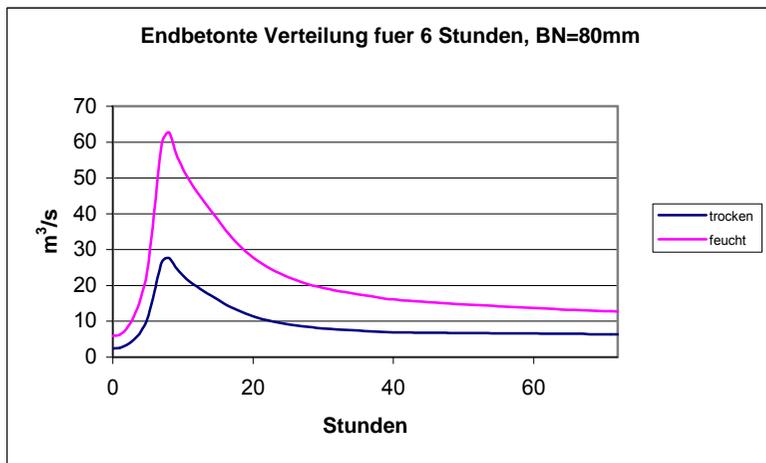
Anhang IX.2 Abflussganglinien des Bemessungsniederschlags für 6 Stunden beim Blockregen



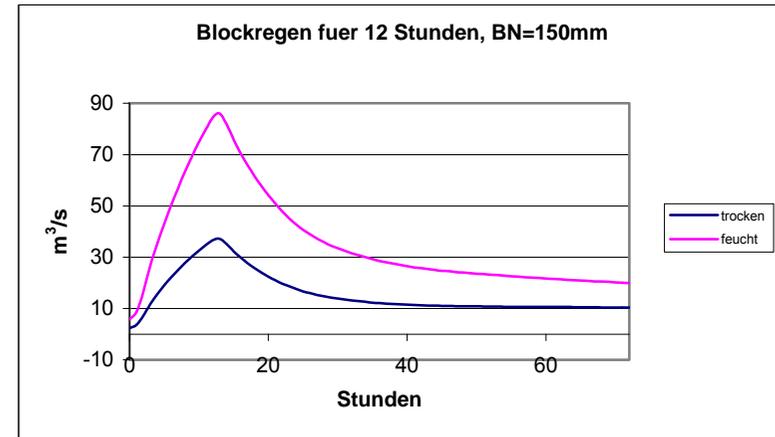
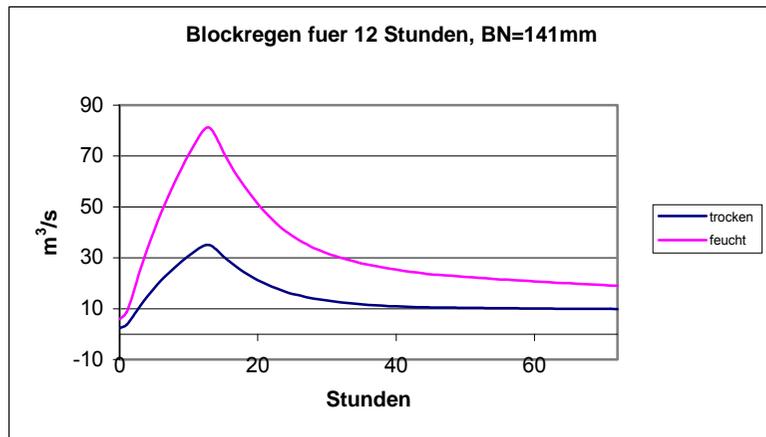
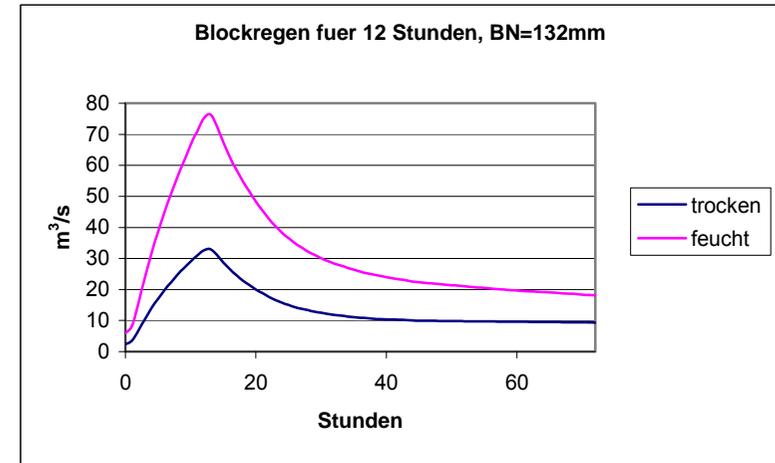
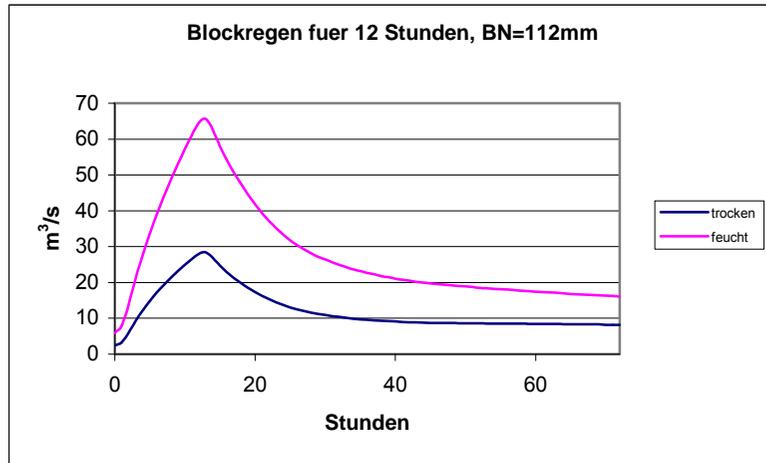
Anhang IX.3 Abflussganglinien des Bemessungsniederschlags für 6 Stunden bei der DVWK Verteilung



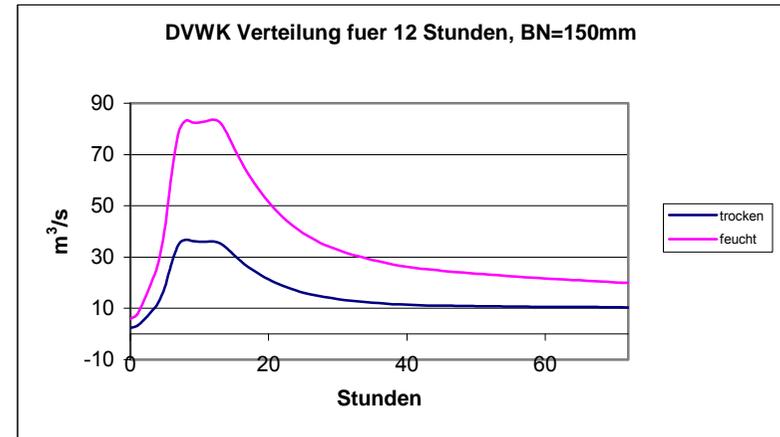
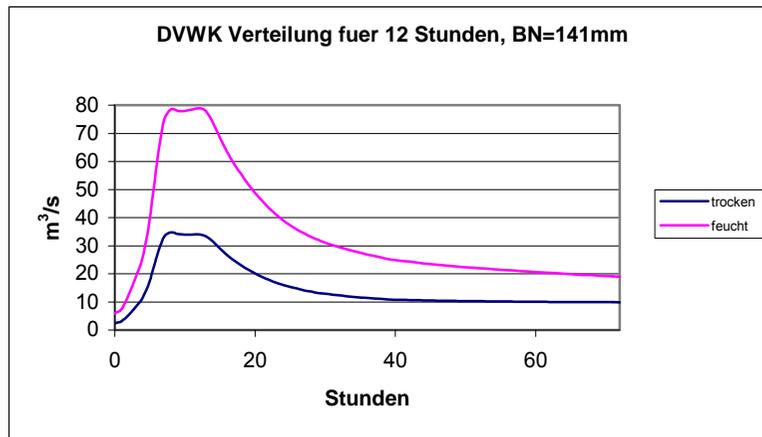
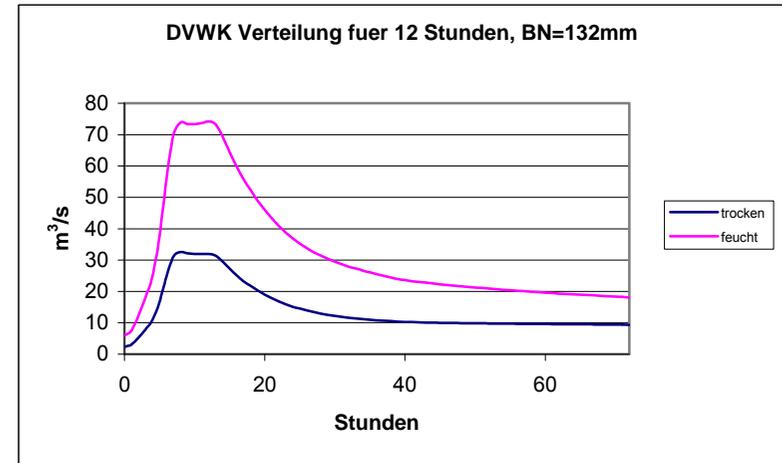
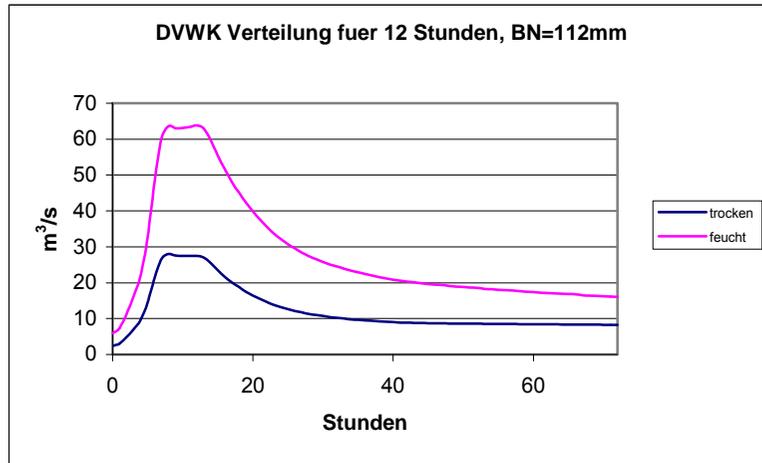
Anhang IX.4 Abflussganglinien des Bemessungsniederschlags für 6 Stunden bei der anfangsbetonten Verteilung



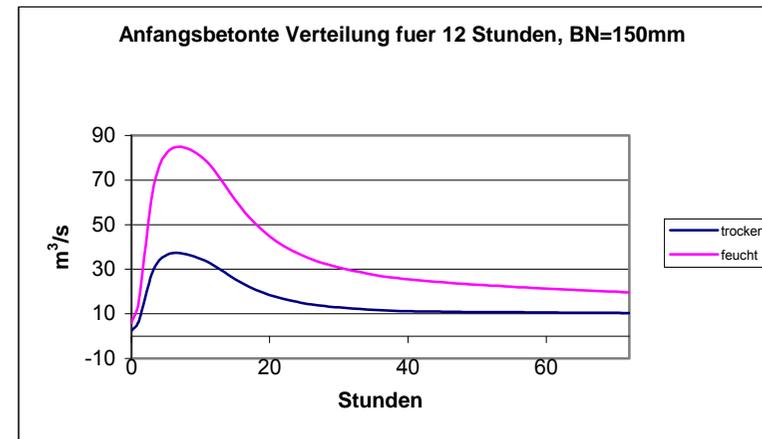
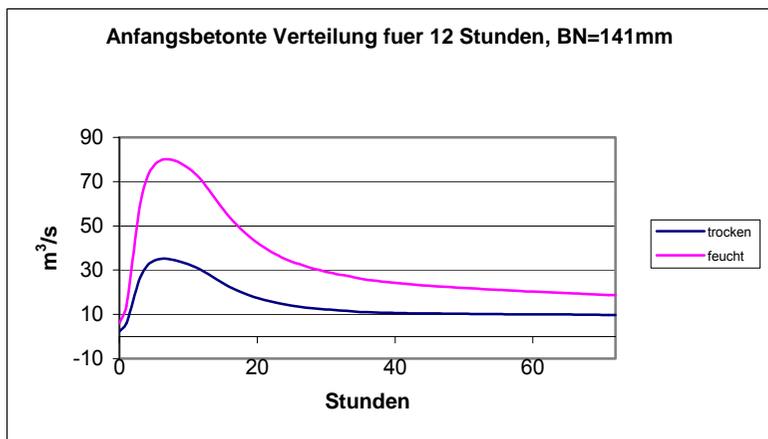
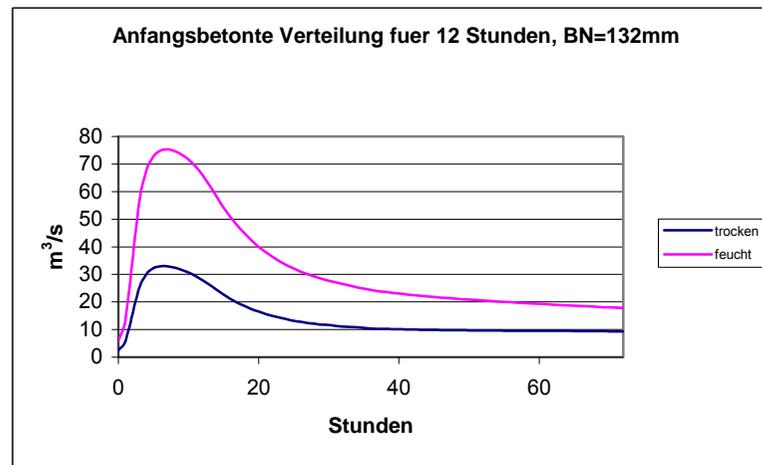
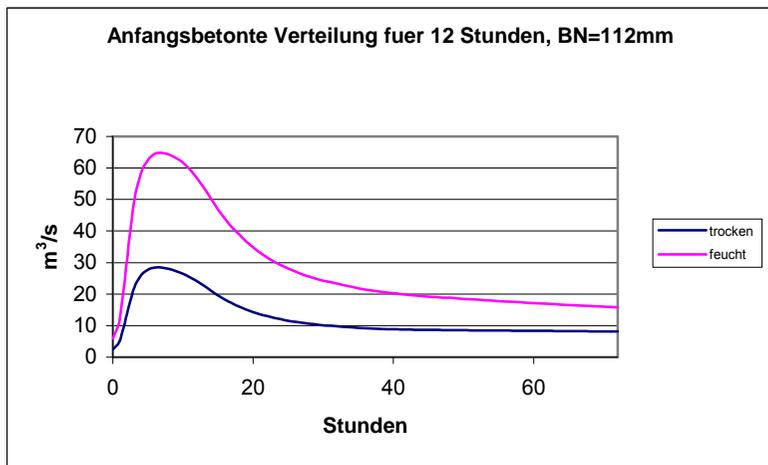
Anhang IX.5 Abflussganglinien des Bemessungsniederschlags für 6 Stunden bei der endbetonten Verteilung



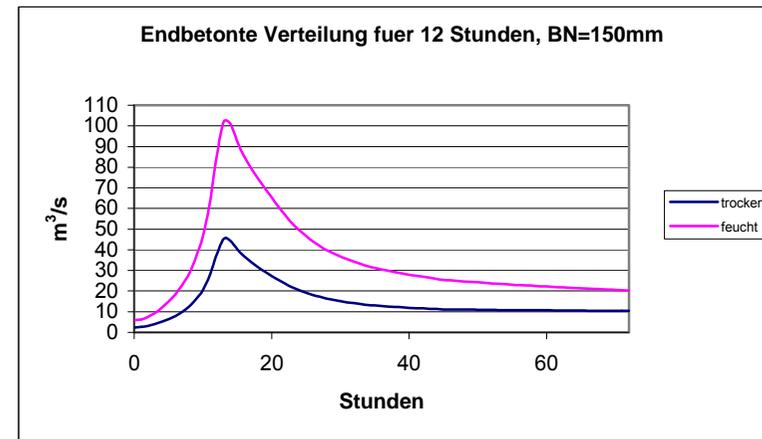
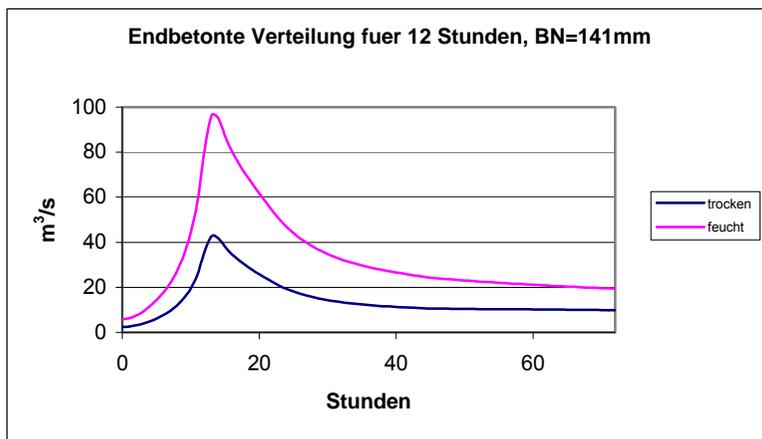
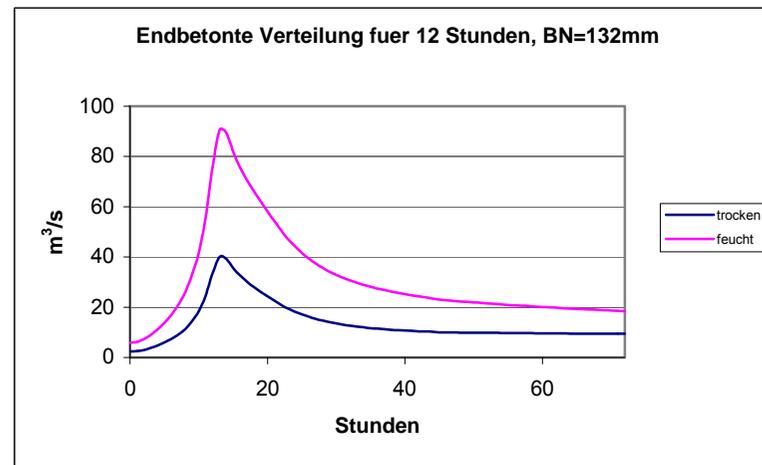
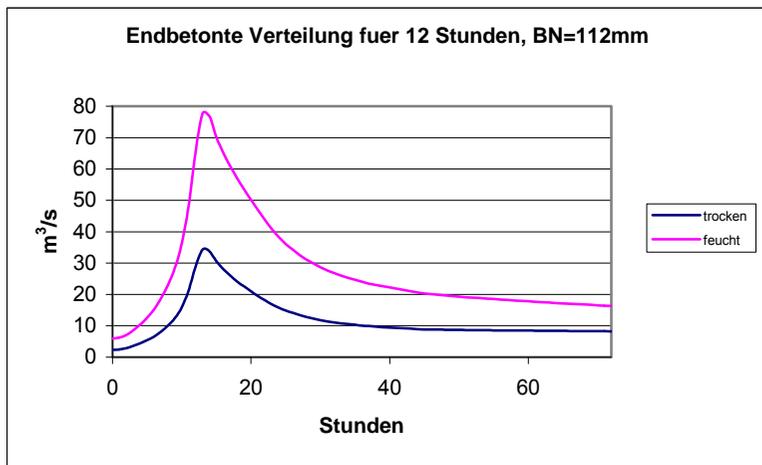
Anhang IX.6 Abflussganglinien des Bemessungsniederschlags für 12 Stunden beim Blockregen



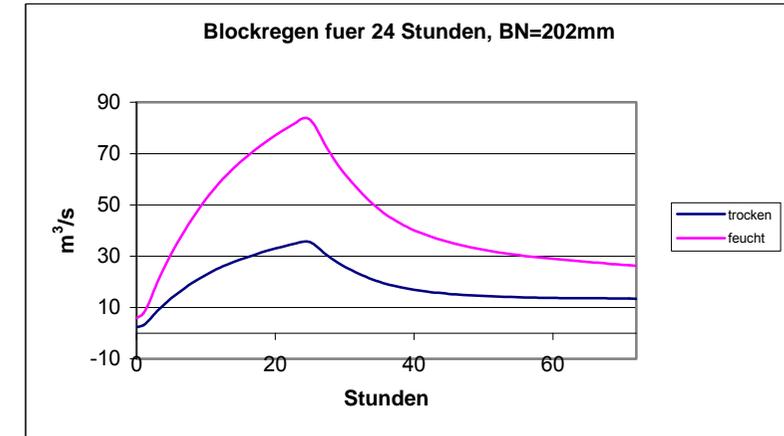
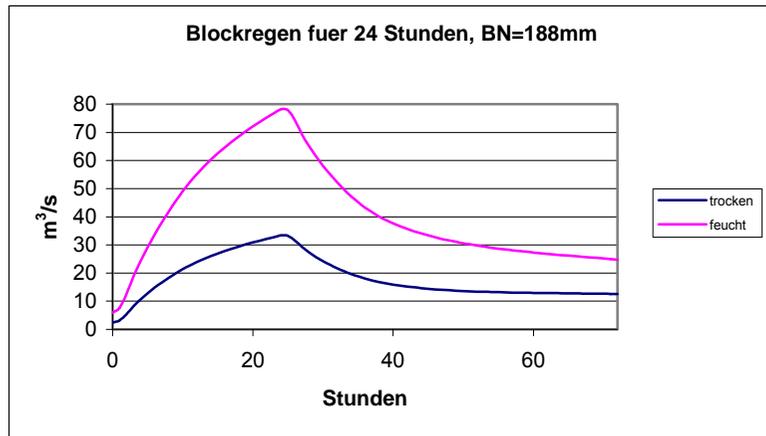
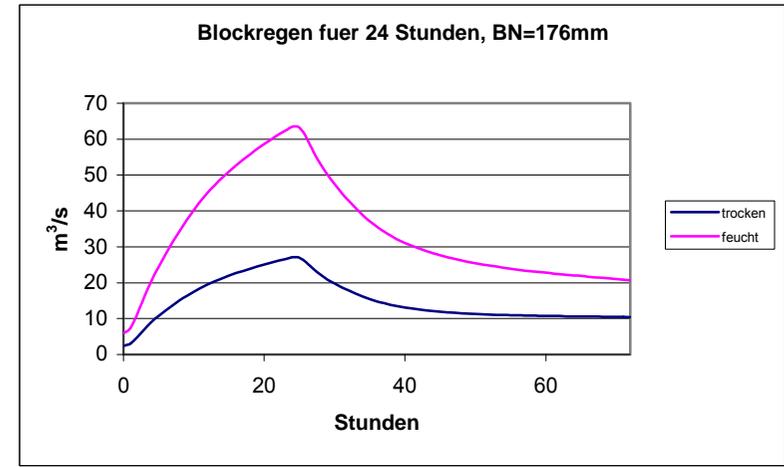
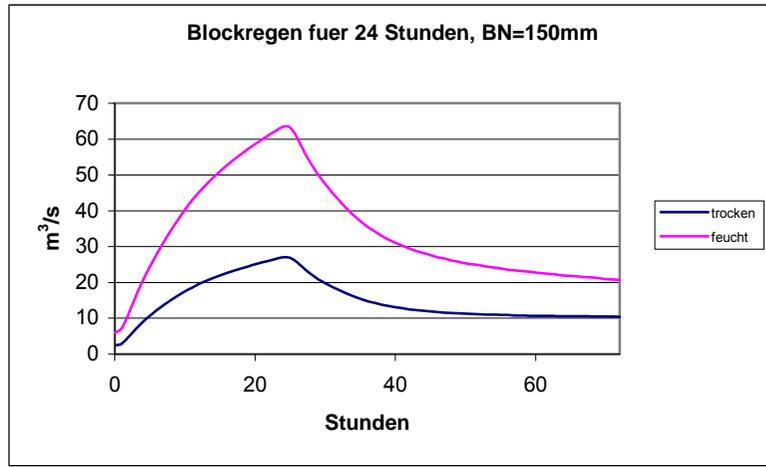
Anhang IX.7 Abflussganglinien des Bemessungsniederschlags für 12 Stunden bei der DVWK Verteilung



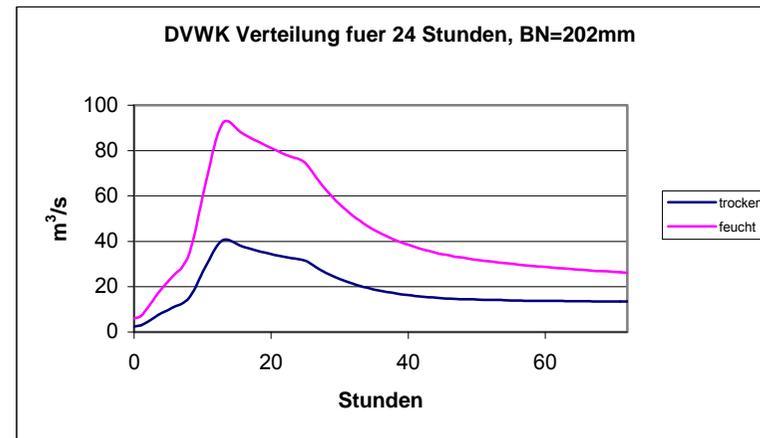
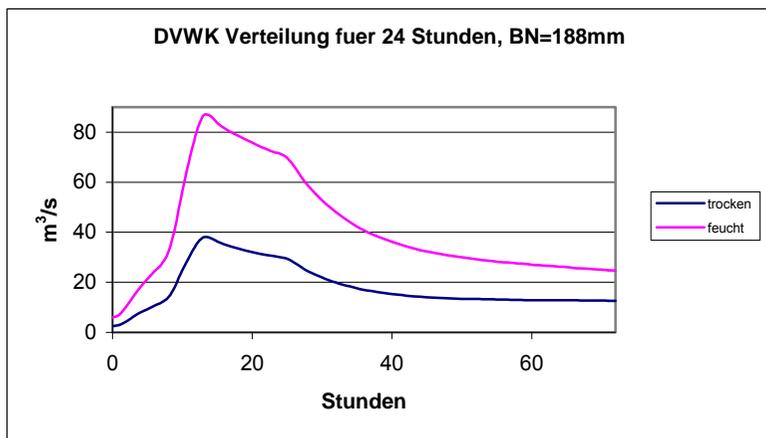
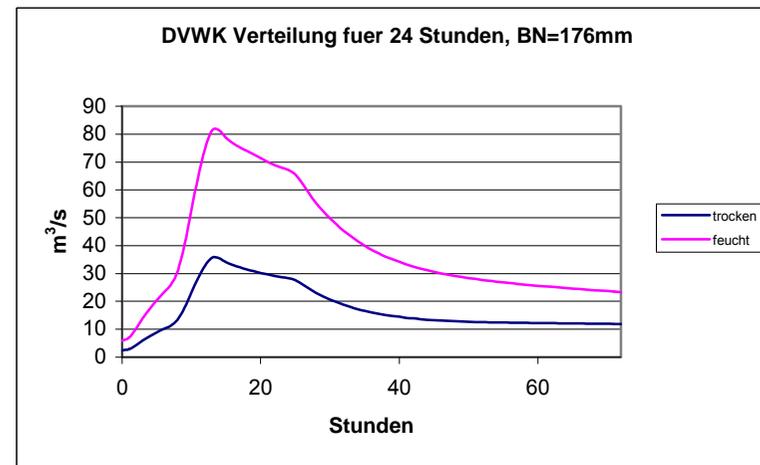
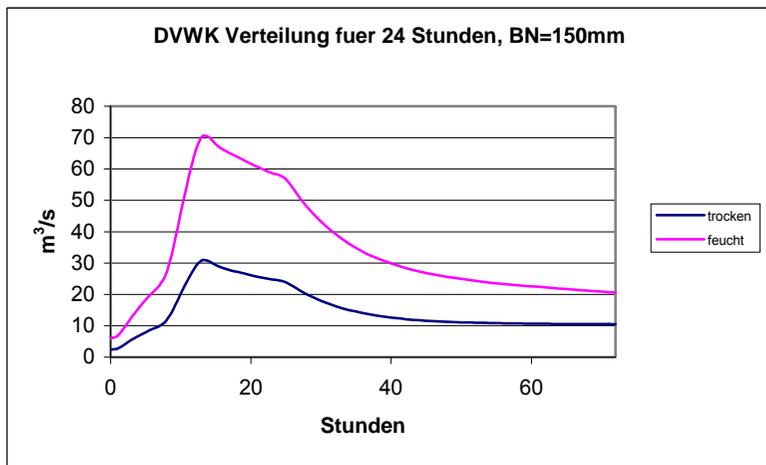
Anhang IX.8 Abflussganglinien des Bemessungsniederschlags für 12 Stunden bei der anfangsbetonten Verteilung



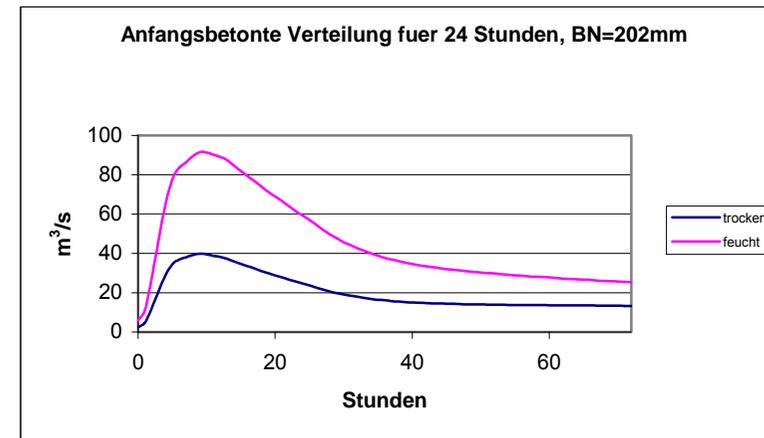
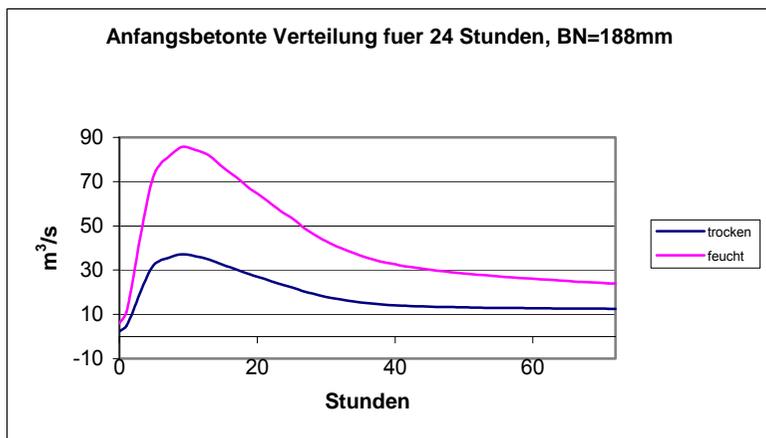
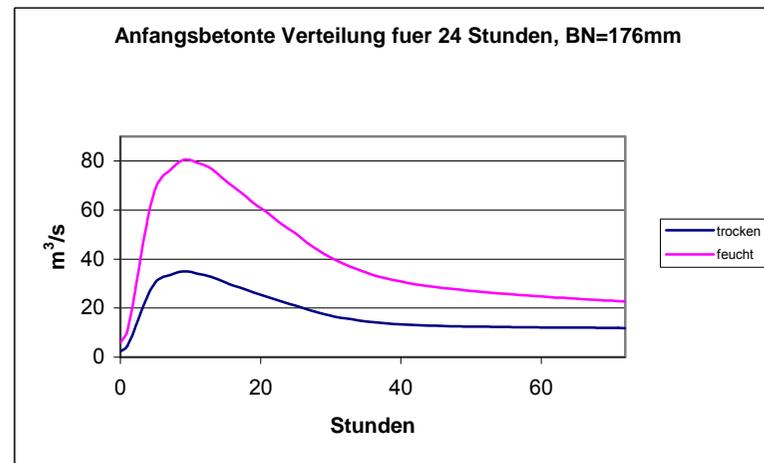
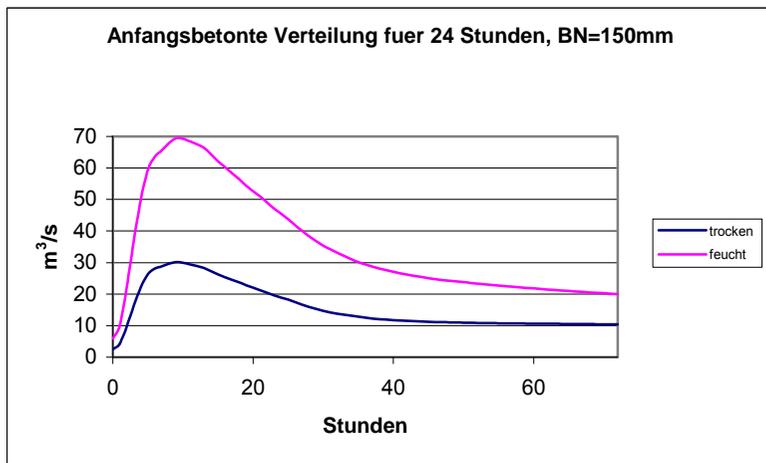
Anhang IX.9 Abflussganglinien des Bemessungsniederschlags für 12 Stunden bei der endbetonten Verteilung



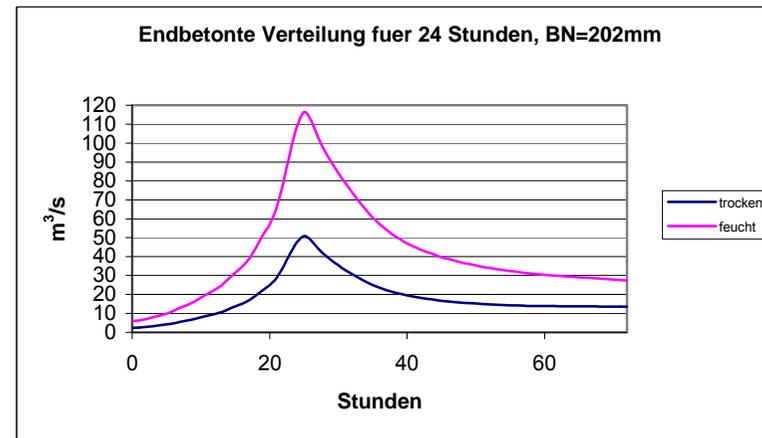
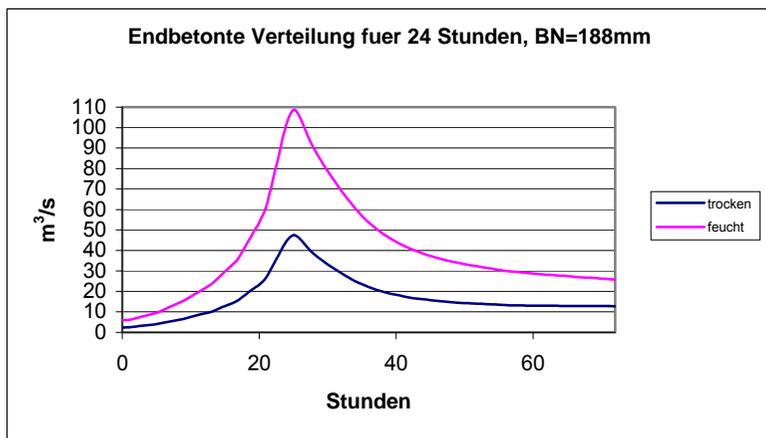
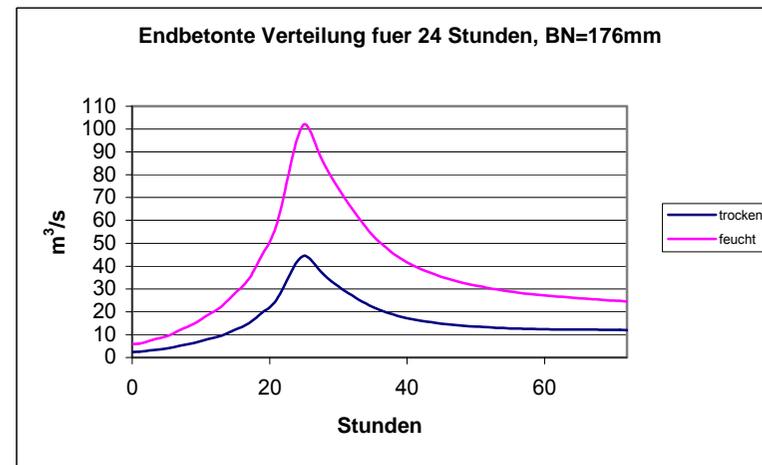
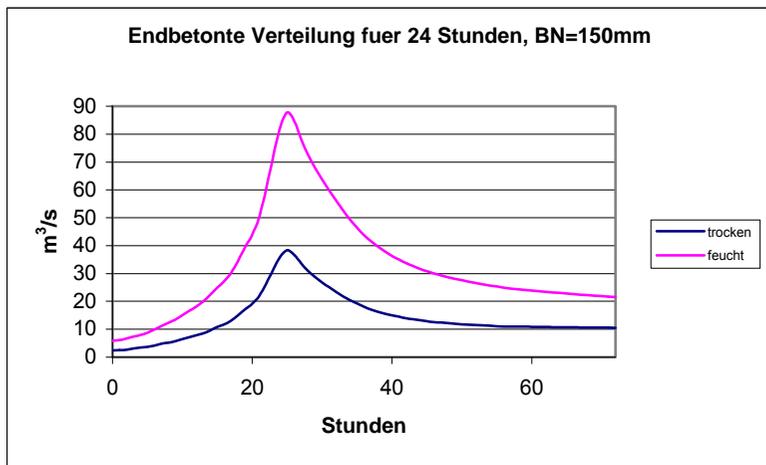
Anhang IX.10 Abflussganglinien des Bemessungsniederschlags für 24 Stunden beim Blockregen



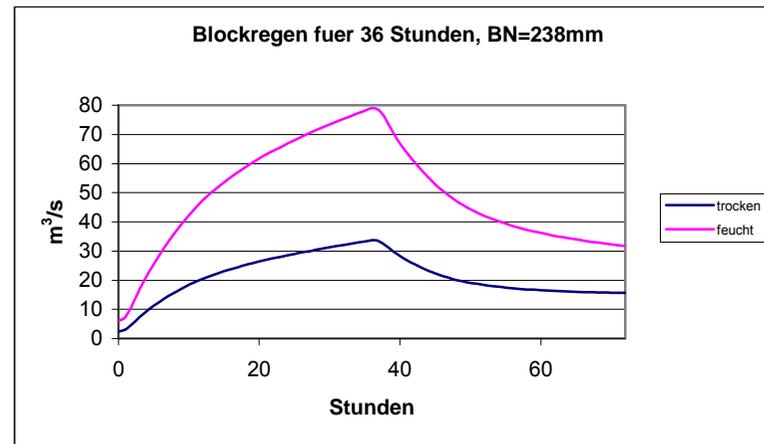
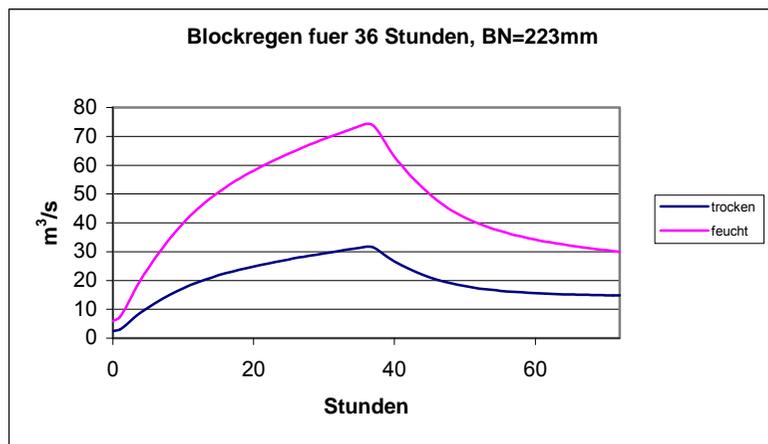
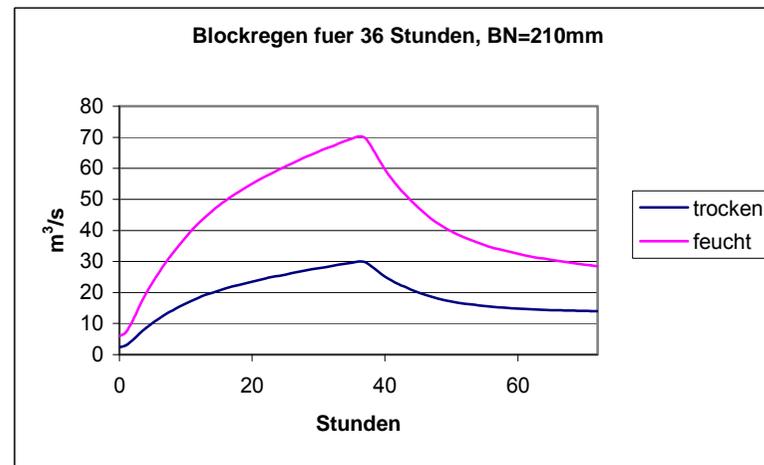
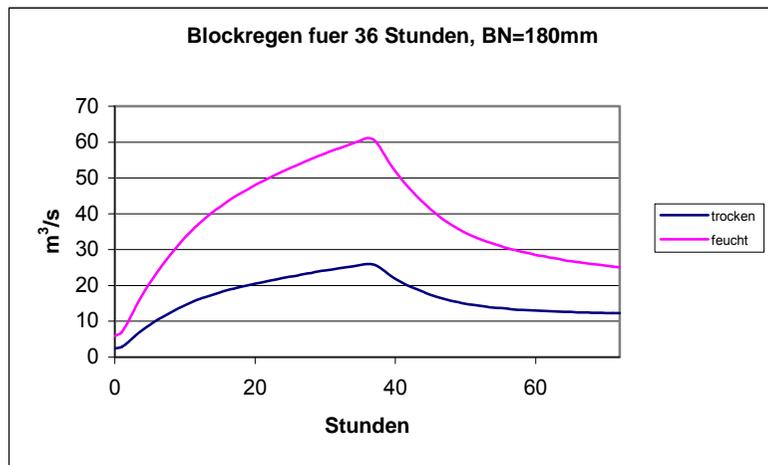
Anhang IX.11 Abflussganglinien des Bemessungsniederschlags für 24 Stunden bei der DVWK Verteilung



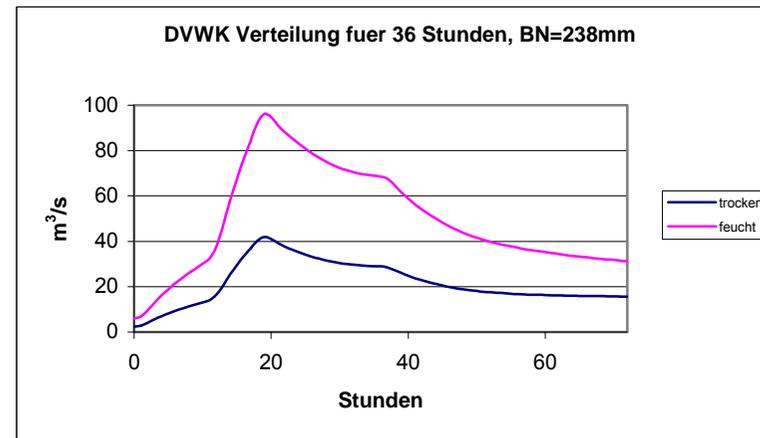
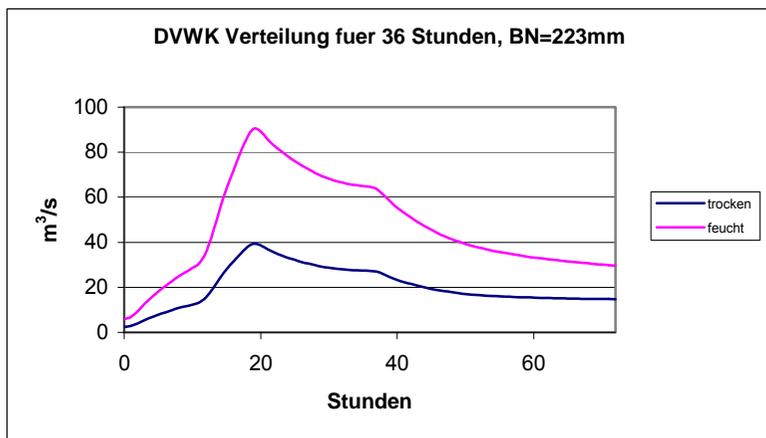
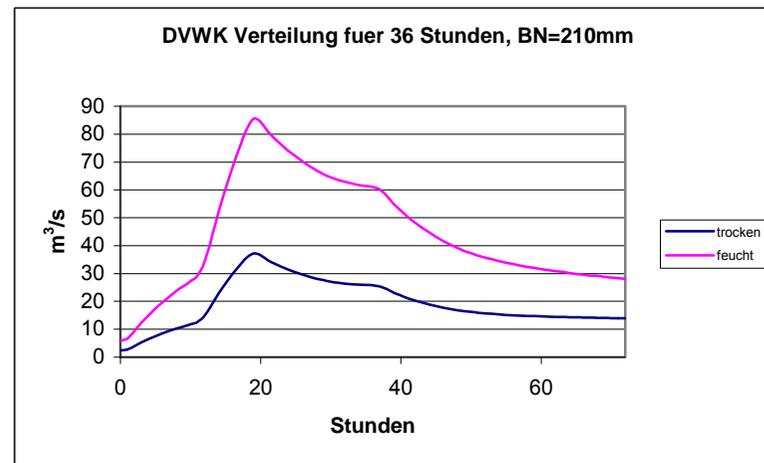
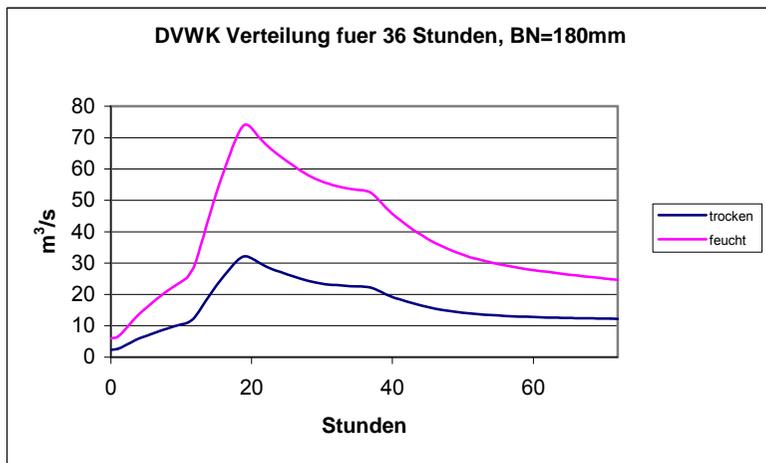
Anhang IX.12 Abflussganglinien des Bemessungsniederschlags für 24 Stunden bei der anfangsbetonten Verteilung



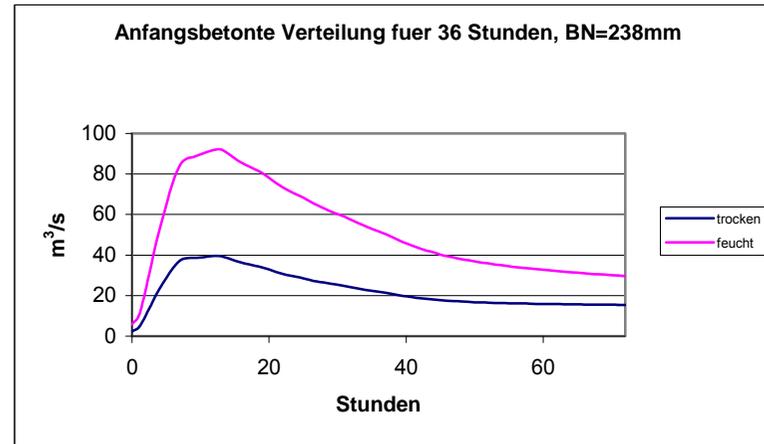
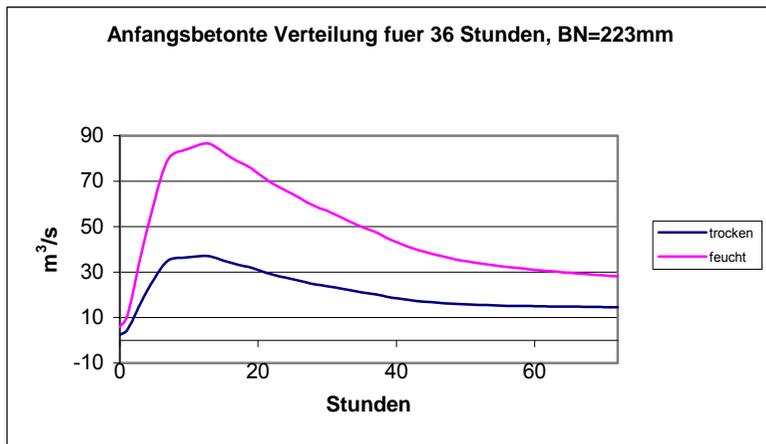
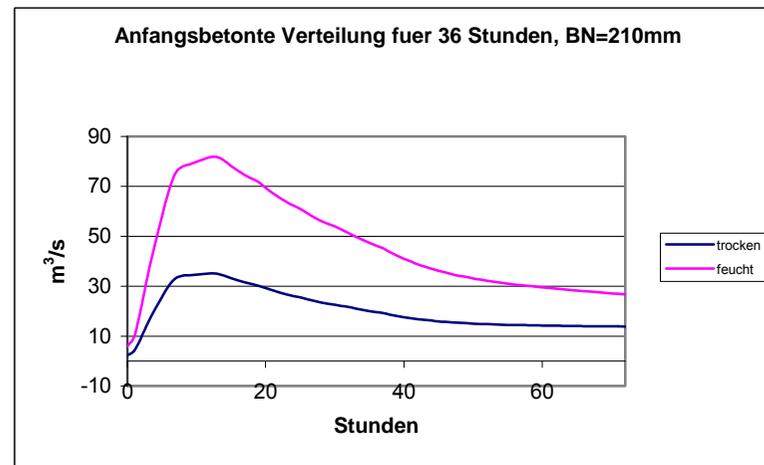
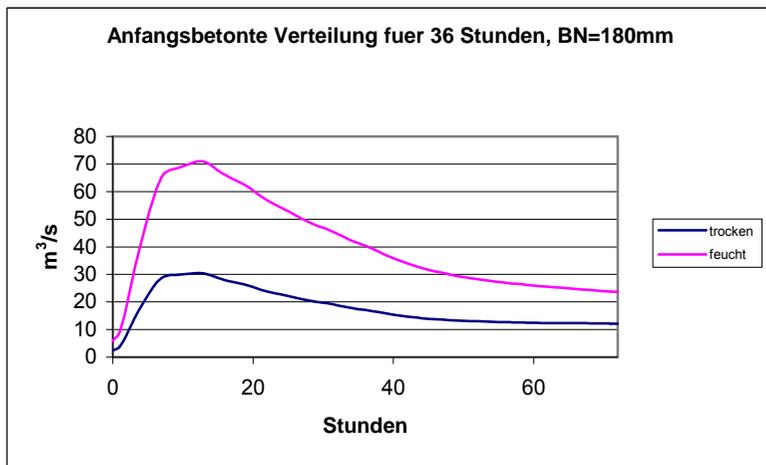
Anhang IX.13 Abflussganglinien des Bemessungsniederschlags für 24 Stunden bei der endbetonten Verteilung



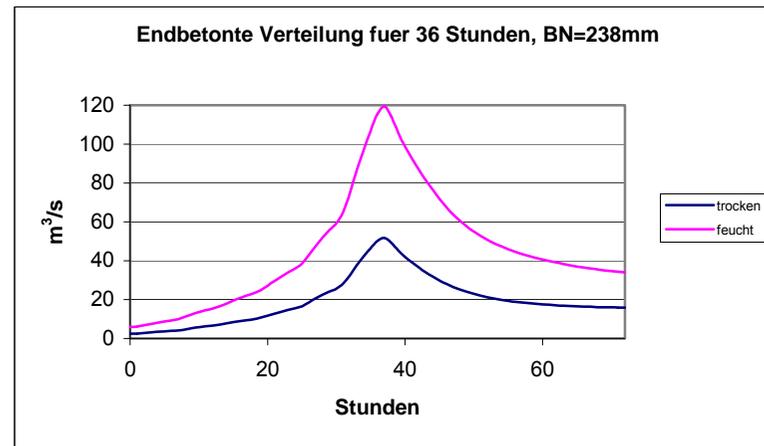
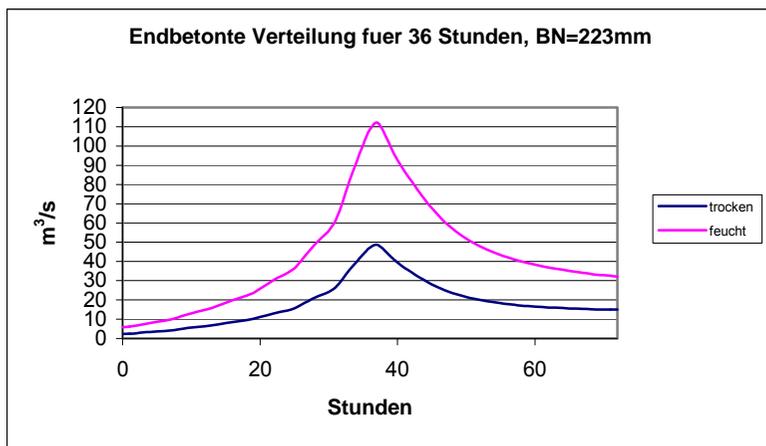
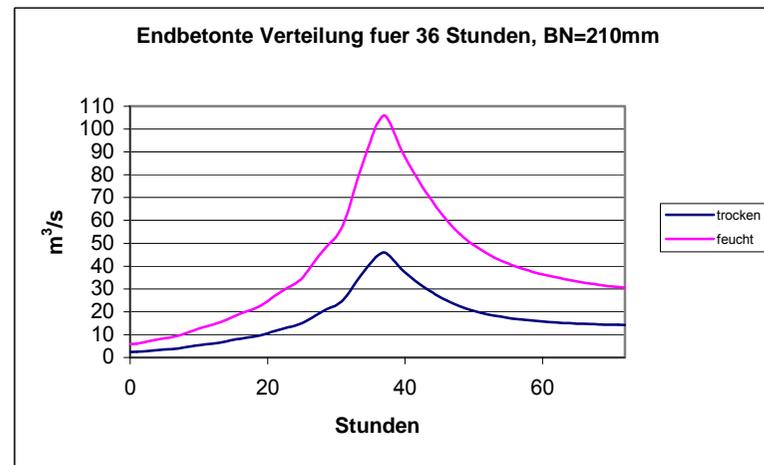
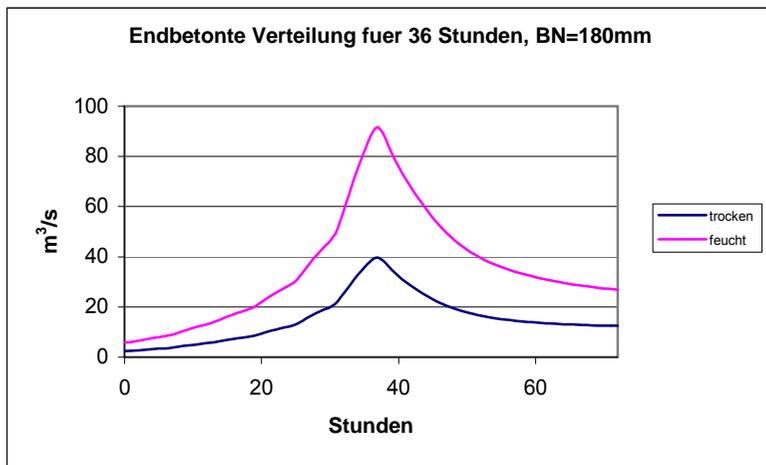
Anhang IX.14 Abflussganglinien des Bemessungsniederschlags für 36 Stunden beim Blockregen



Anhang IX.15 Abflussganglinien des Bemessungsniederschlags für 36 Stunden bei der DVWK Verteilung



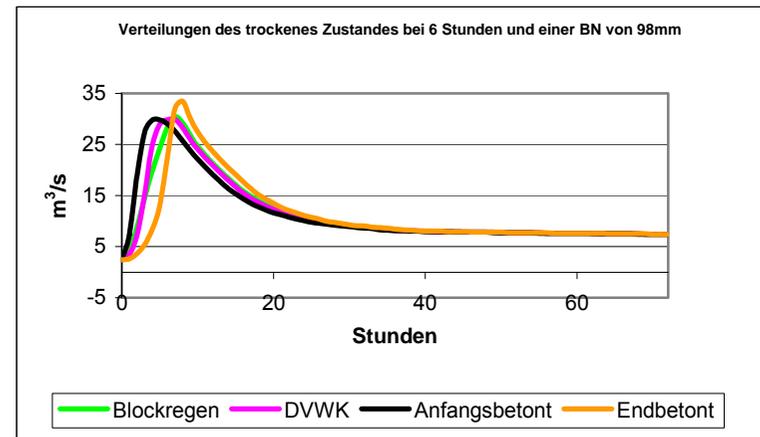
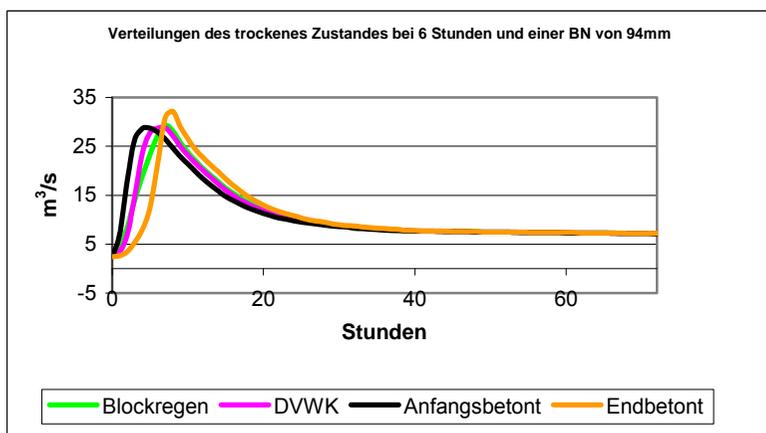
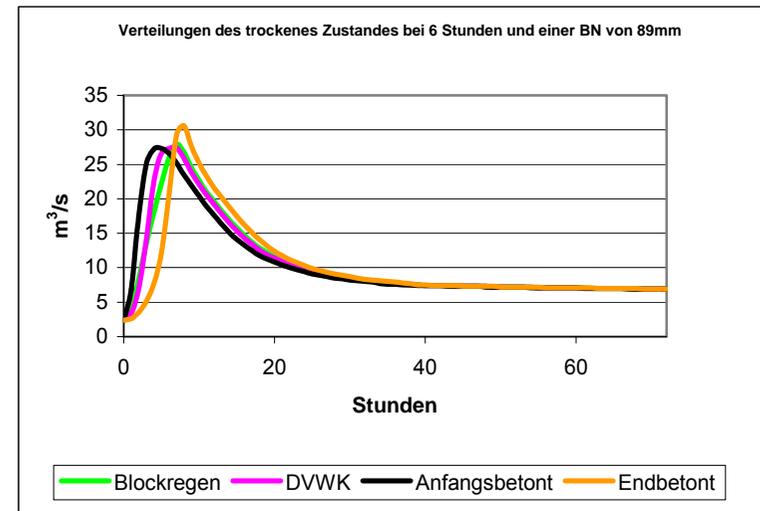
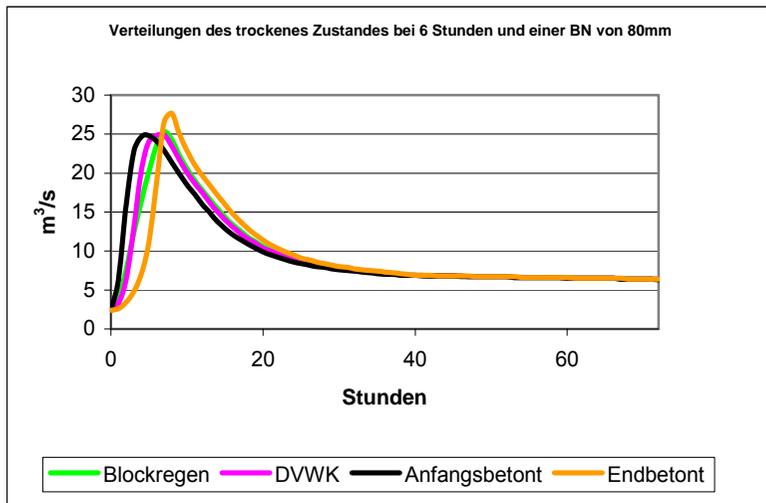
Anhang IX.16 Abflussganglinien des Bemessungsniederschlags für 36 Stunden bei der anfangsbetonten Verteilung



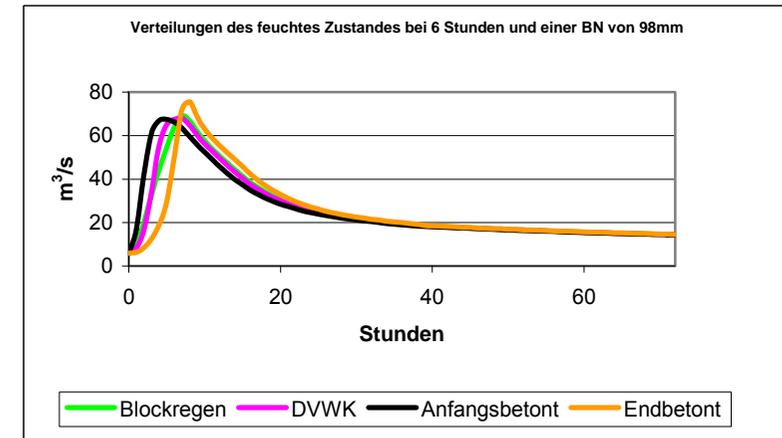
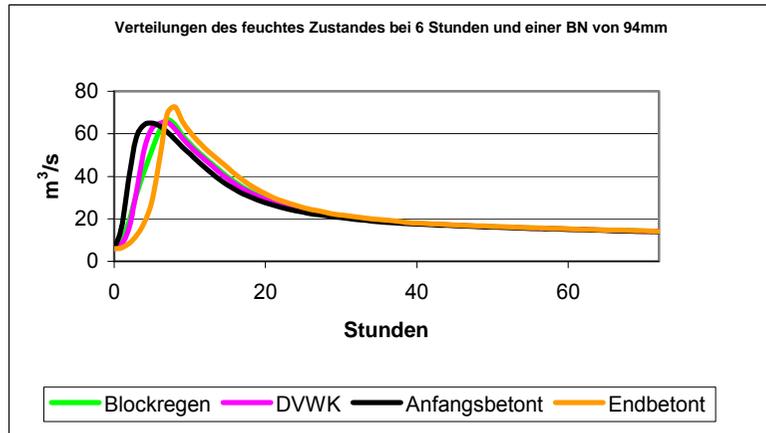
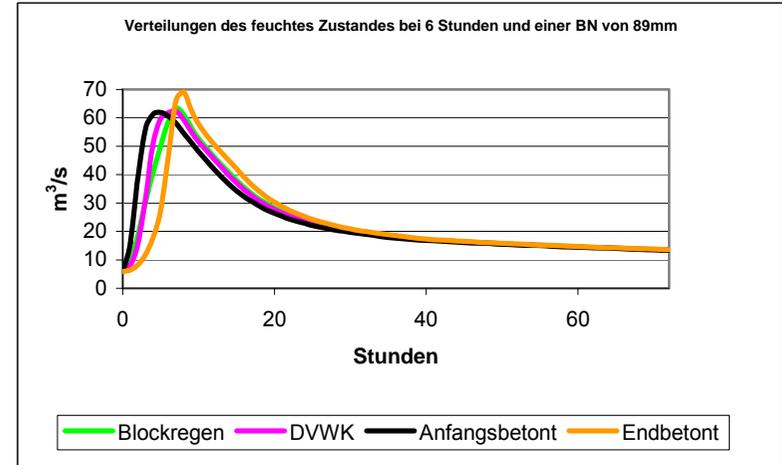
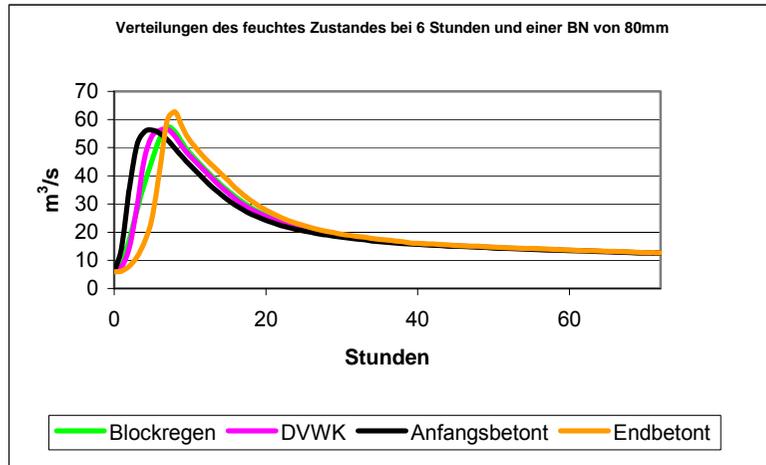
Anhang IX.17 Abflussganglinien des Bemessungsniederschlags für 36 Stunden bei der endbetonten Verteilung

Anhang X

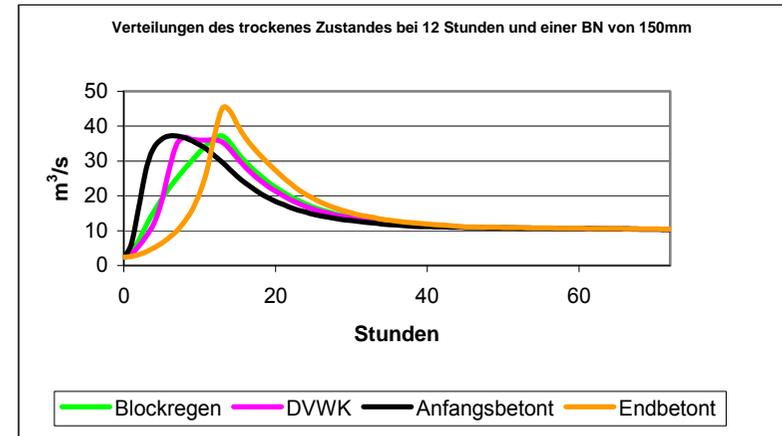
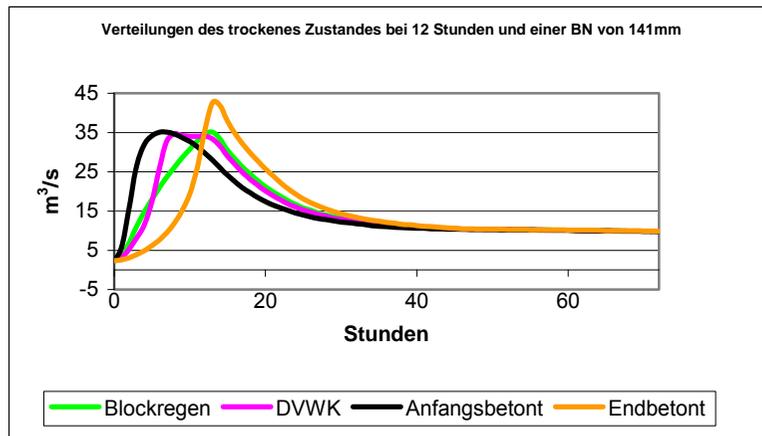
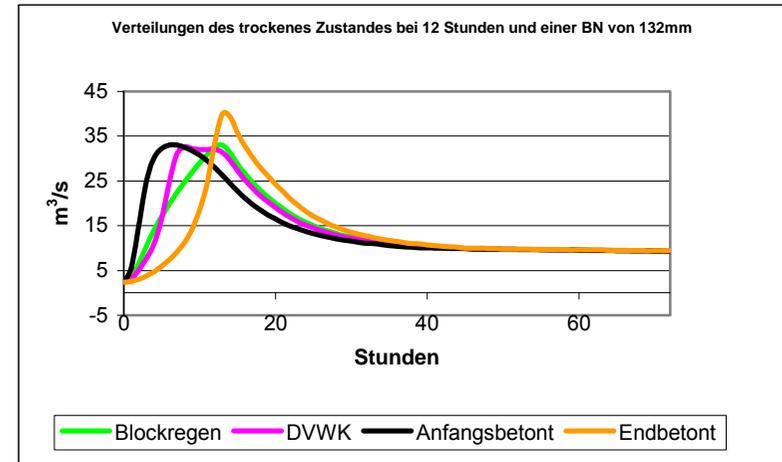
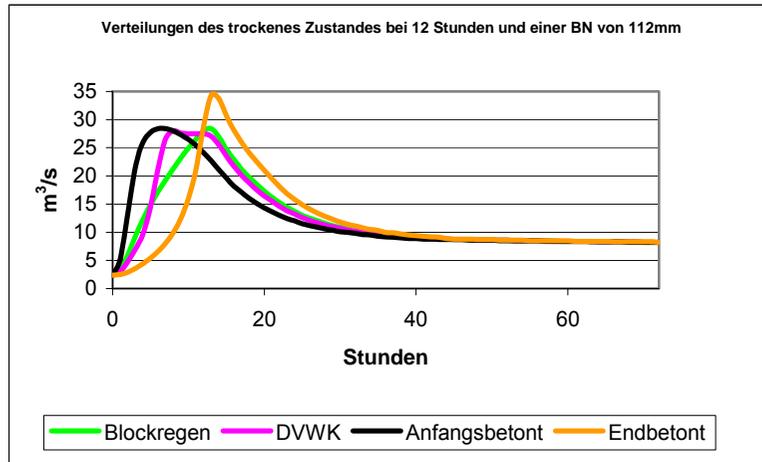
Zusammenstellung der Abflusslinien verschiedenen Verteilungen



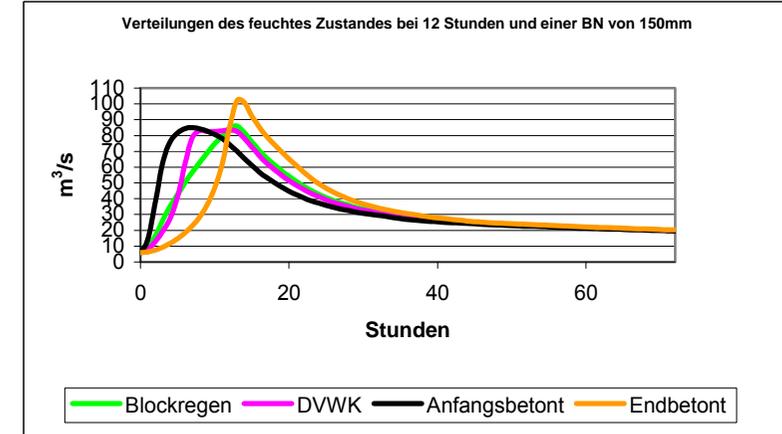
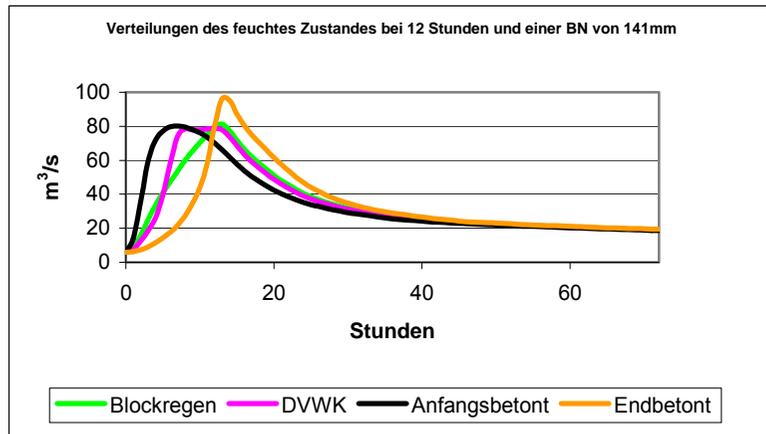
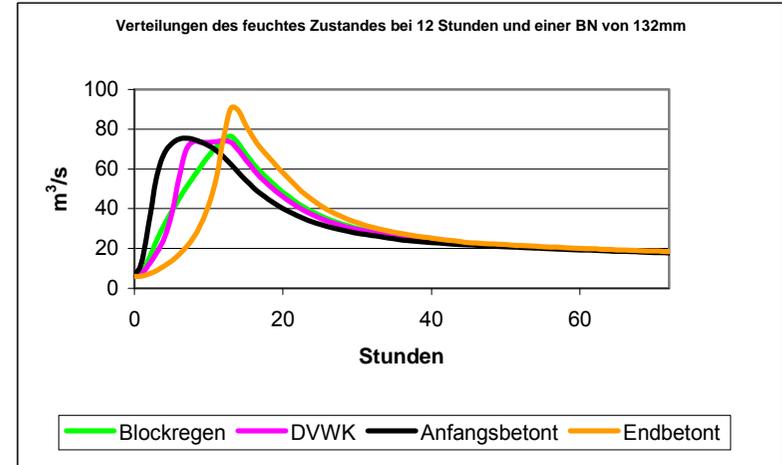
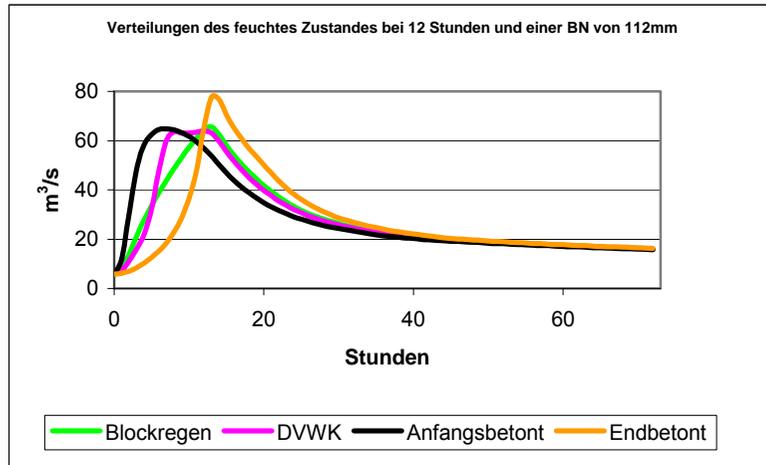
Anhang X.1 Zusammenstellung der Abflusslinien des trockenens Zustandes bei einer Dauer von 6 Stunden



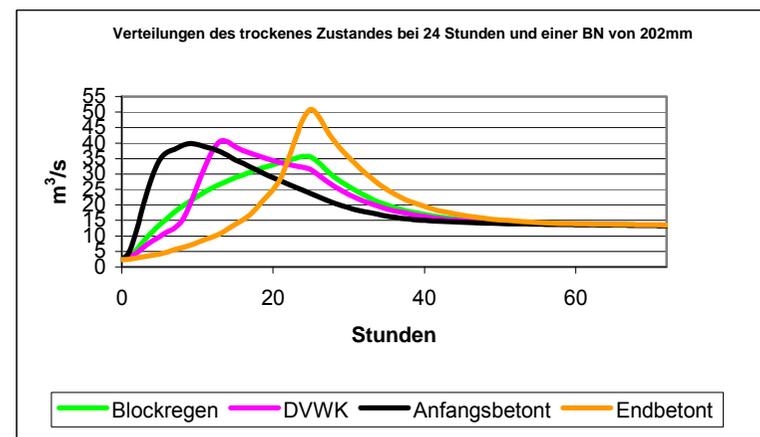
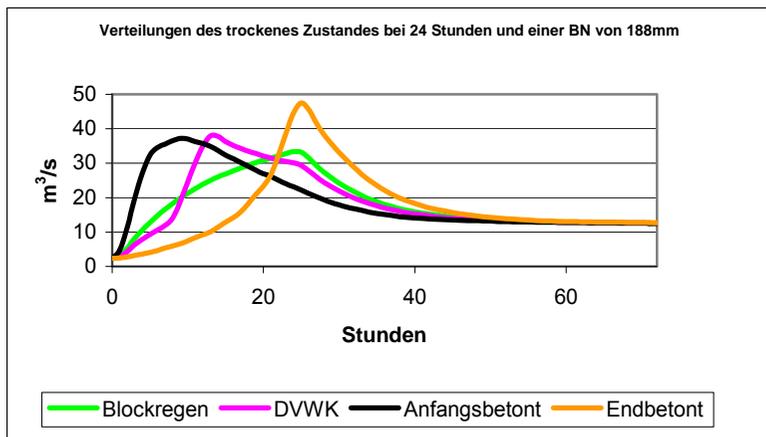
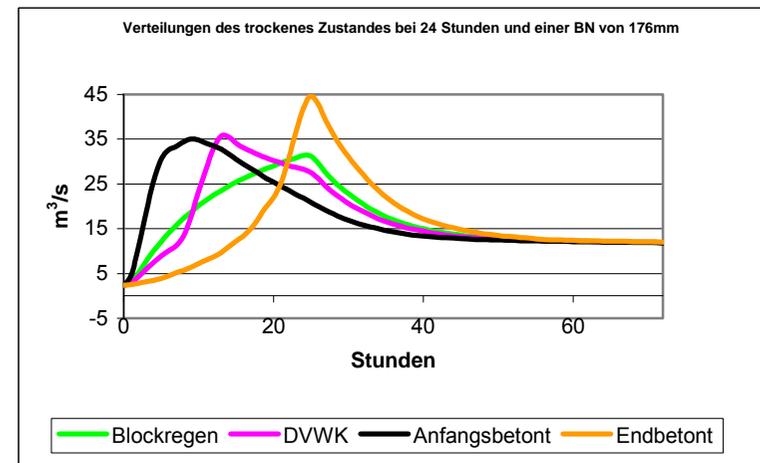
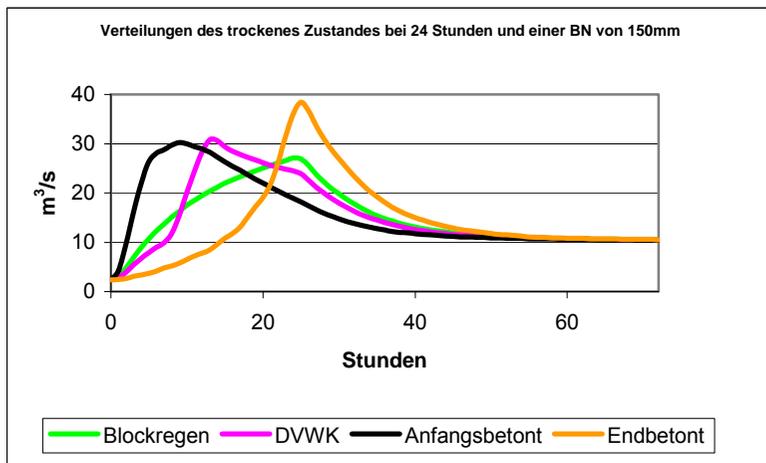
Anhang X.2 Zusammenstellung der Abflusslinien des feuchten Zustandes bei einer Dauer von 6 Stunden



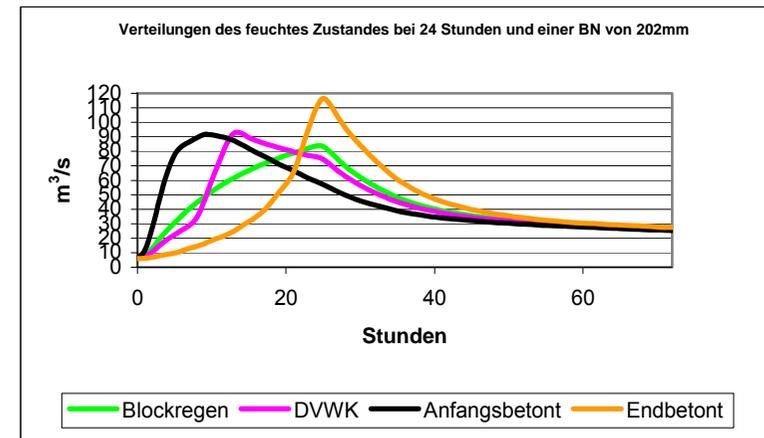
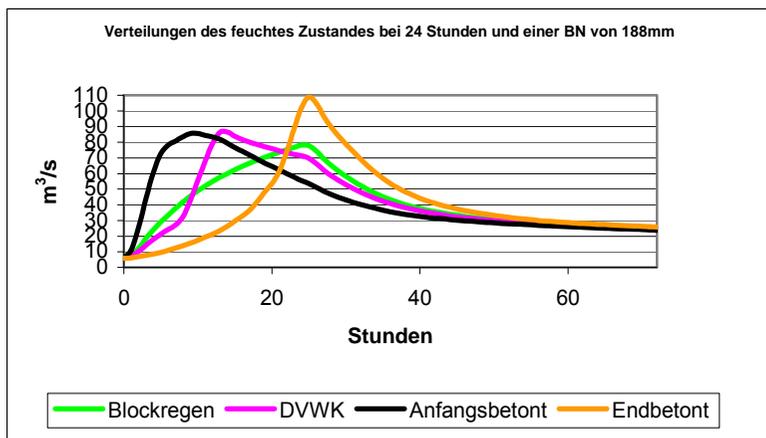
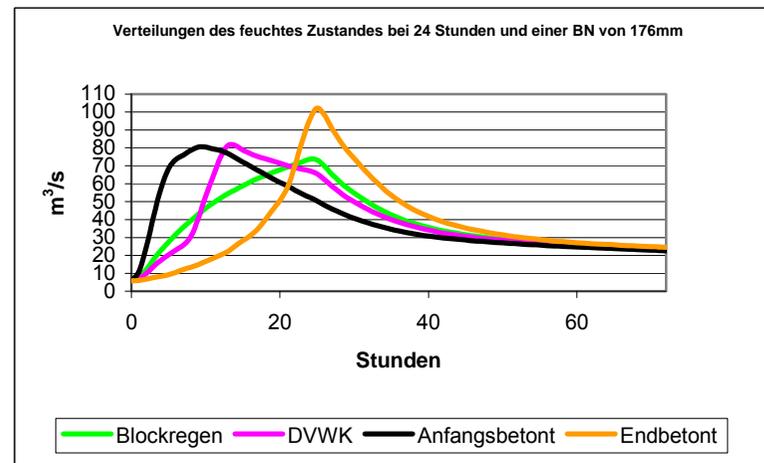
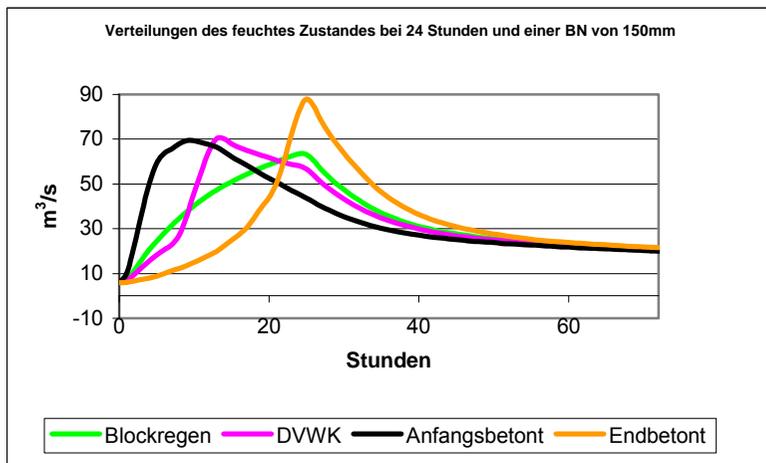
Anhang X.3 Zusammenstellung der Abflusslinien des trockenens Zustand bei einer Dauer von 12 Stunden



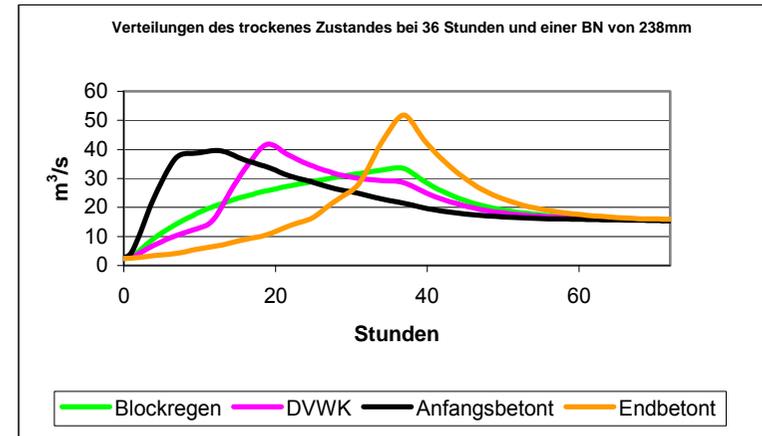
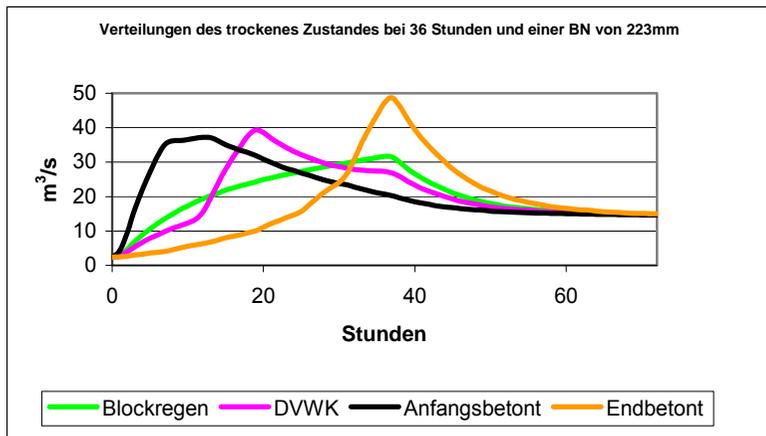
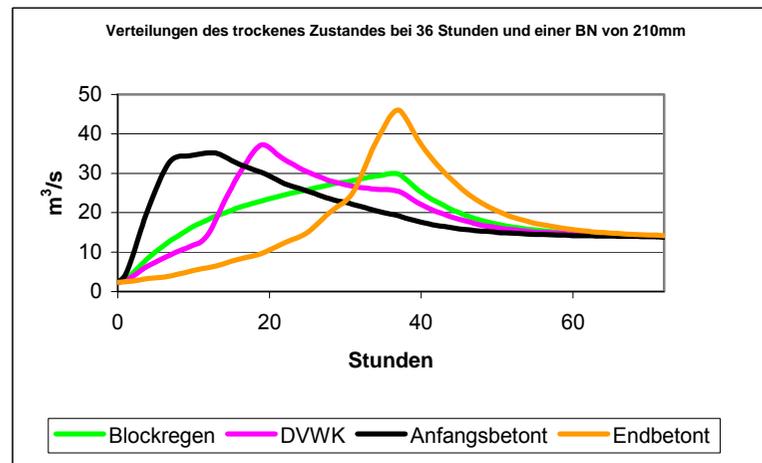
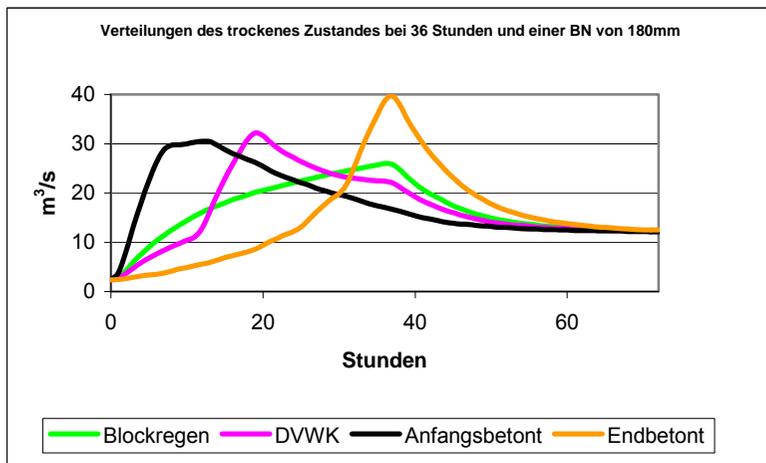
Anhang X.4 Zusammenstellung der Abflusslinien des feuchten Zustandes bei einer Dauer von 12 Stunden



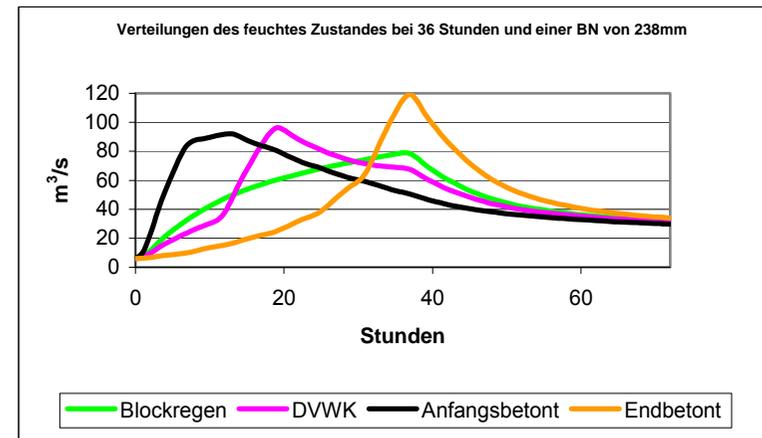
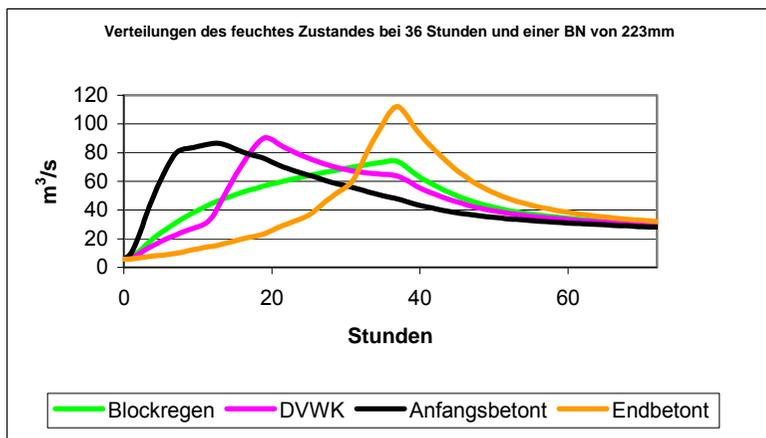
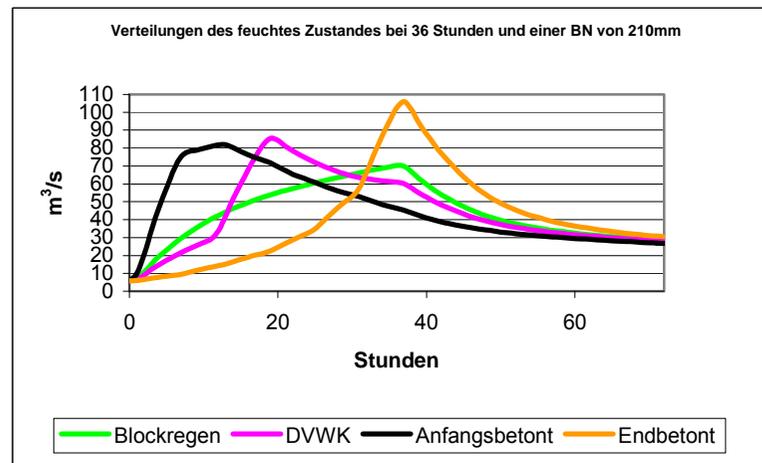
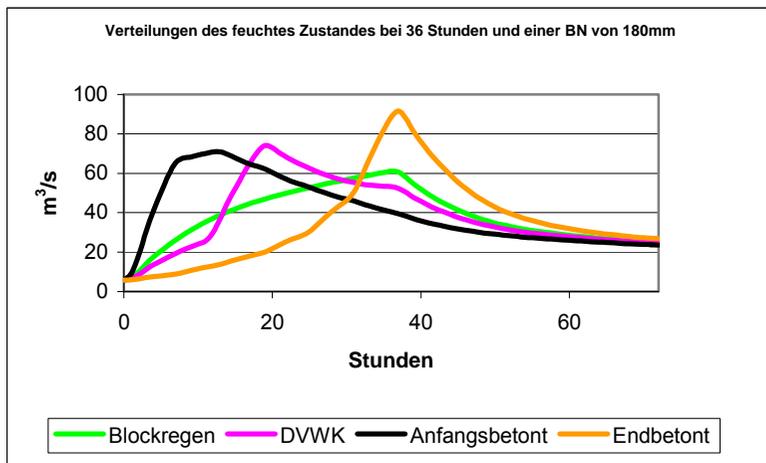
Anhang X.5 Zusammenstellung der Abflusslinien des trockenens Zustandes bei einer Dauer von 24 Stunden



Anhang X.6 Zusammenstellung der Abflusslinien des feuchten Zustandes bei einer Dauer von 24 Stunden



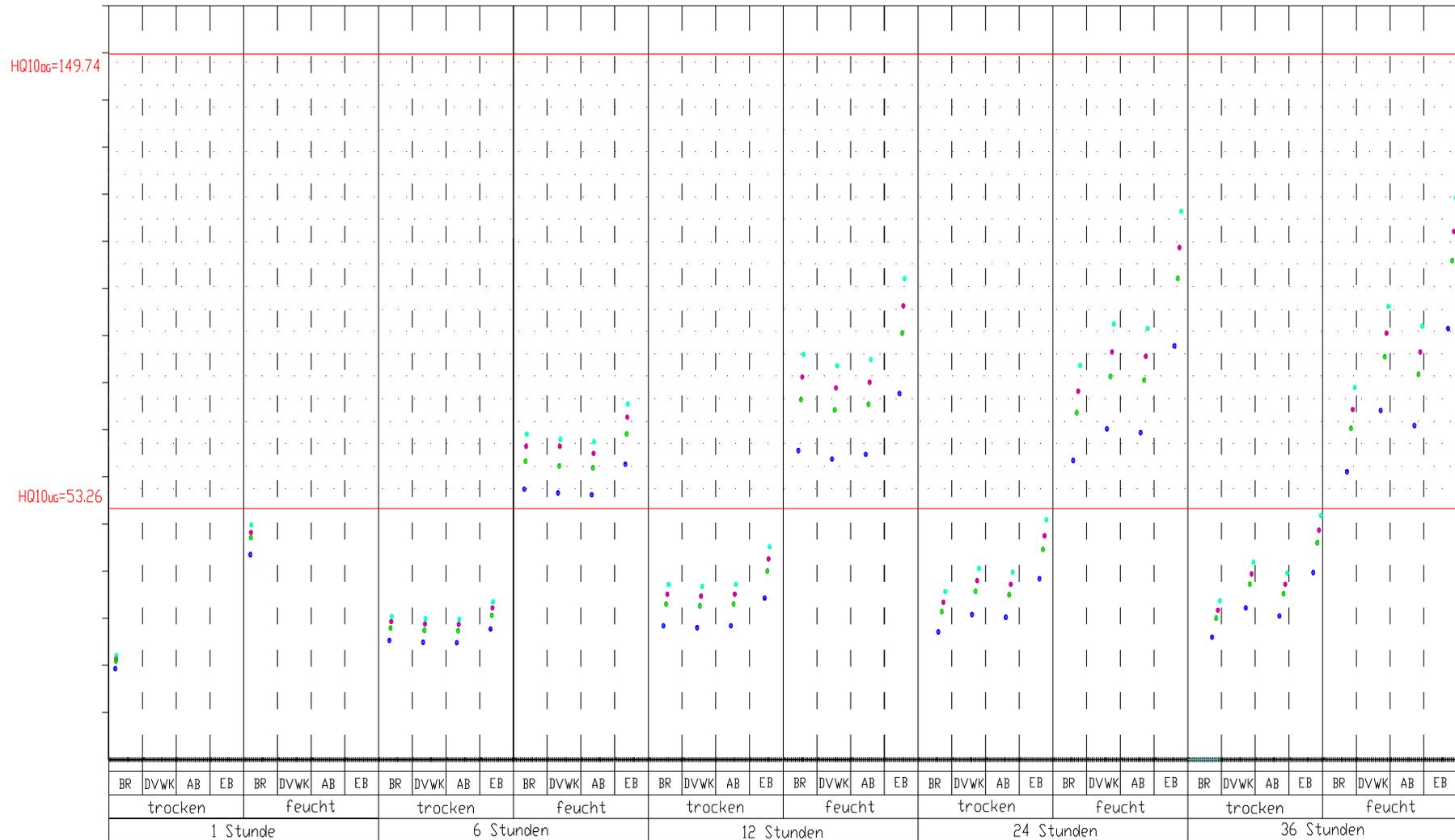
Anhang X.7 Zusammenstellung der Abflusslinien des trockenens Zustandes bei einer Dauer von 36 Stunden



Anhang X.8 Zusammenstellung der Abflusslinien des feuchtes Zustandes bei einer Dauer von 36 Stunden

Anhang XI

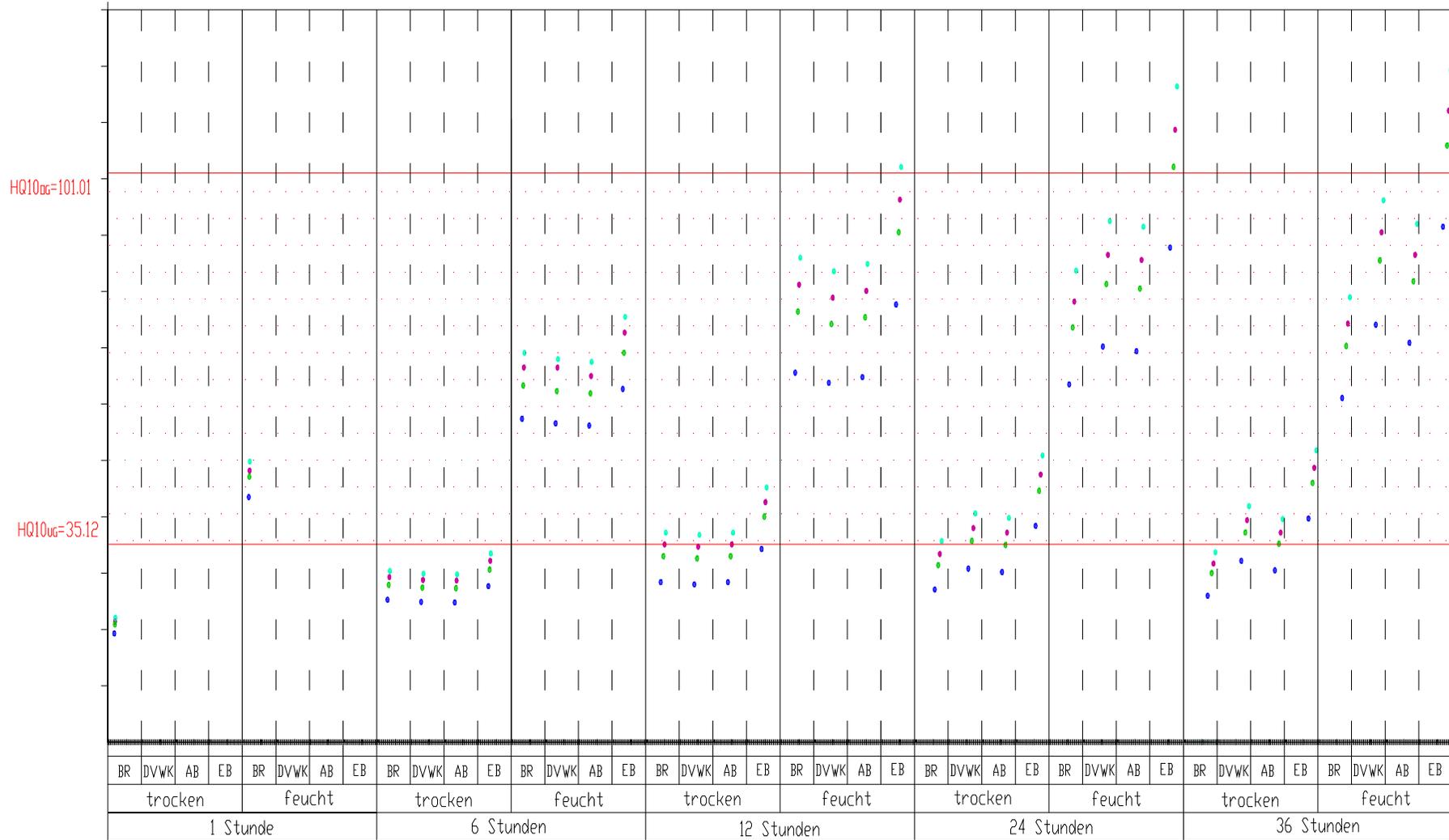
Vergleich zwischen den Ergebnissen der Statistik und des NA-Modells



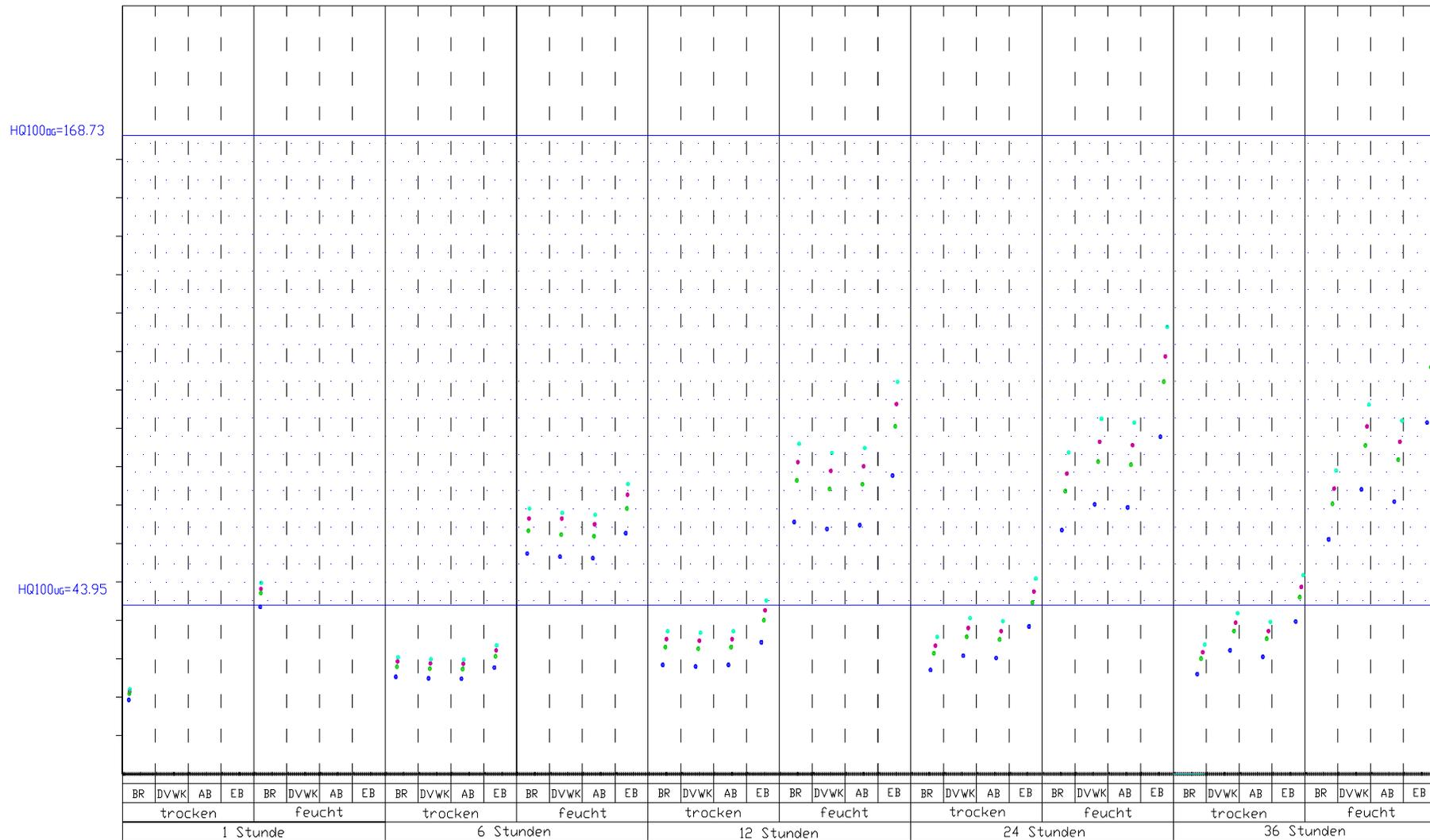
Anhang XI.1 Vergleich zwischen den Ergebnissen der Statistik und NA-Modell-HQ10 bei der Gumbelverteilung (1951-2002)



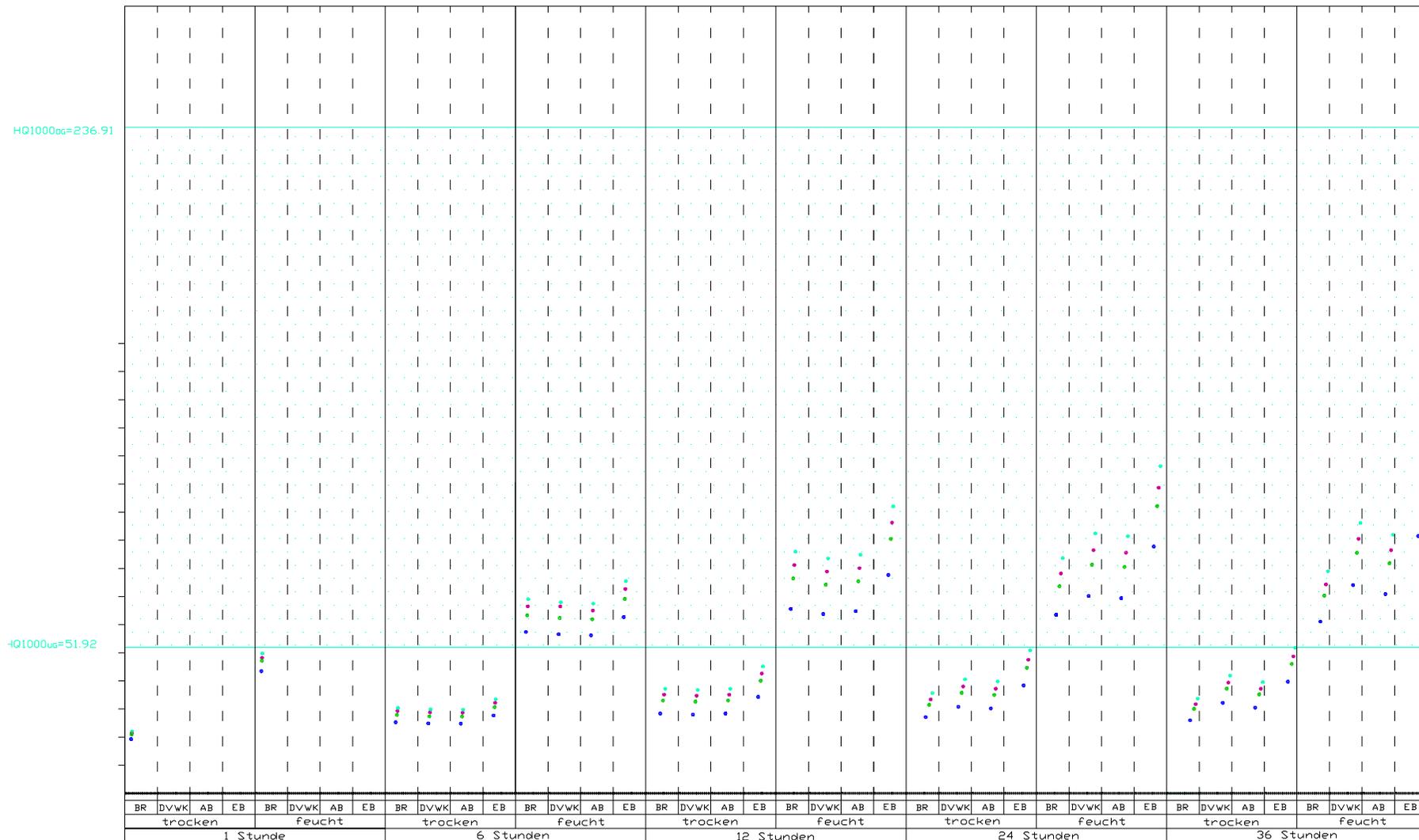
Anhang XI.2 Vergleich zwischen den Ergebnissen der Statistik und NA-Modell-HQ100 bei der Gumbelverteilung (1951-2002)



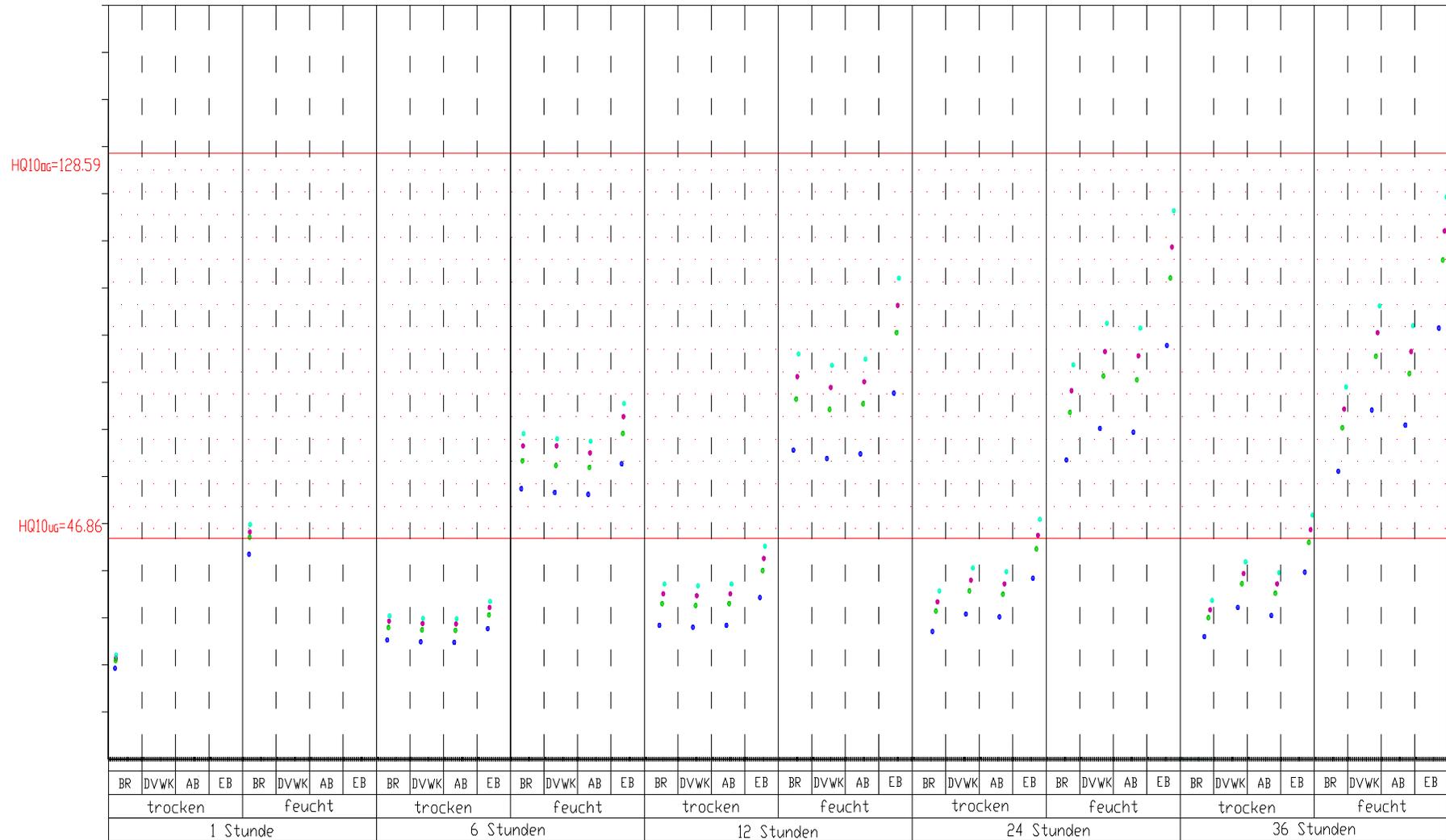
Anhang XI.4 Vergleich zwischen den Ergebnissen der Statistik und NA-Modell-HQ10 bei der Gumbelverteilung (1977-2002)



Anhang XI.5 Vergleich zwischen den Ergebnissen der Statistik und NA-Modell-HQ100 bei der Gumbelverteilung (1977-2002)



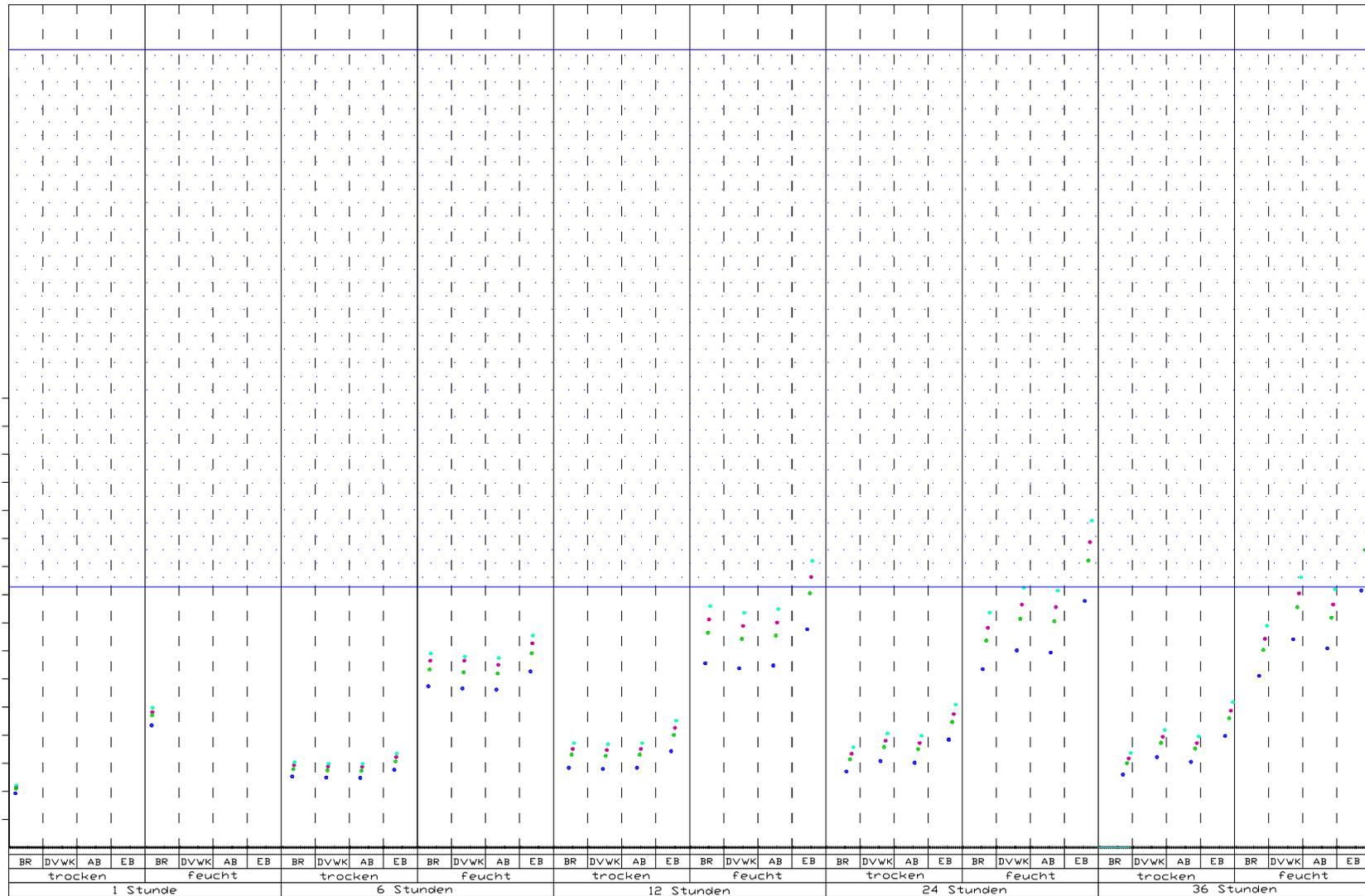
Anhang XI.6 Vergleich zwischen den Ergebnissen der Statistik und NA-Modell-HQ1000 bei der Gumbelverteilung (1977-2002)



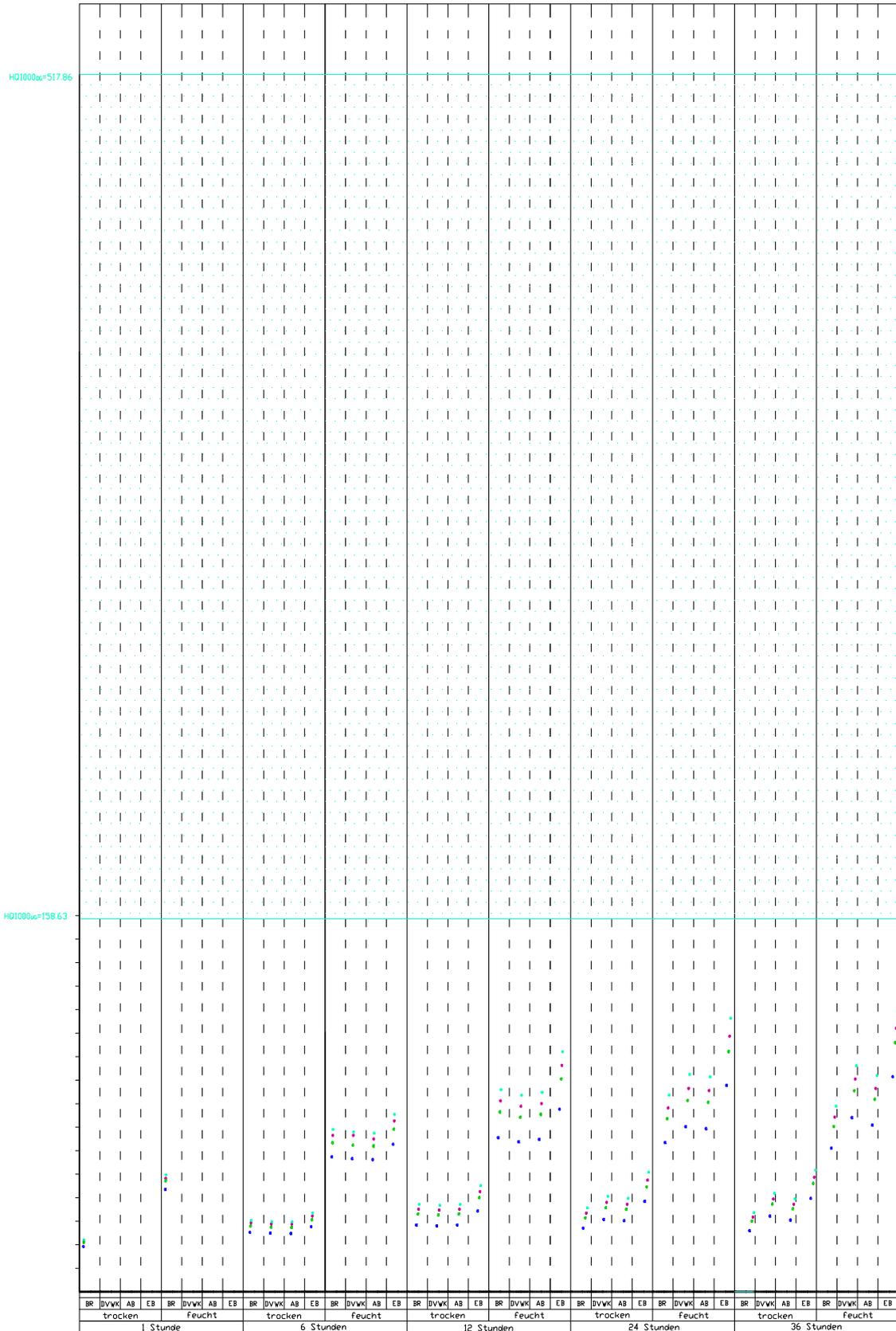
Anhang XI.7 Vergleich zwischen den Ergebnissen der Statistik und NA-Modell-HQ10 bei der allgemeinen Extremwertverteilung (1951-2002)

HQ100_{bc}=284.01

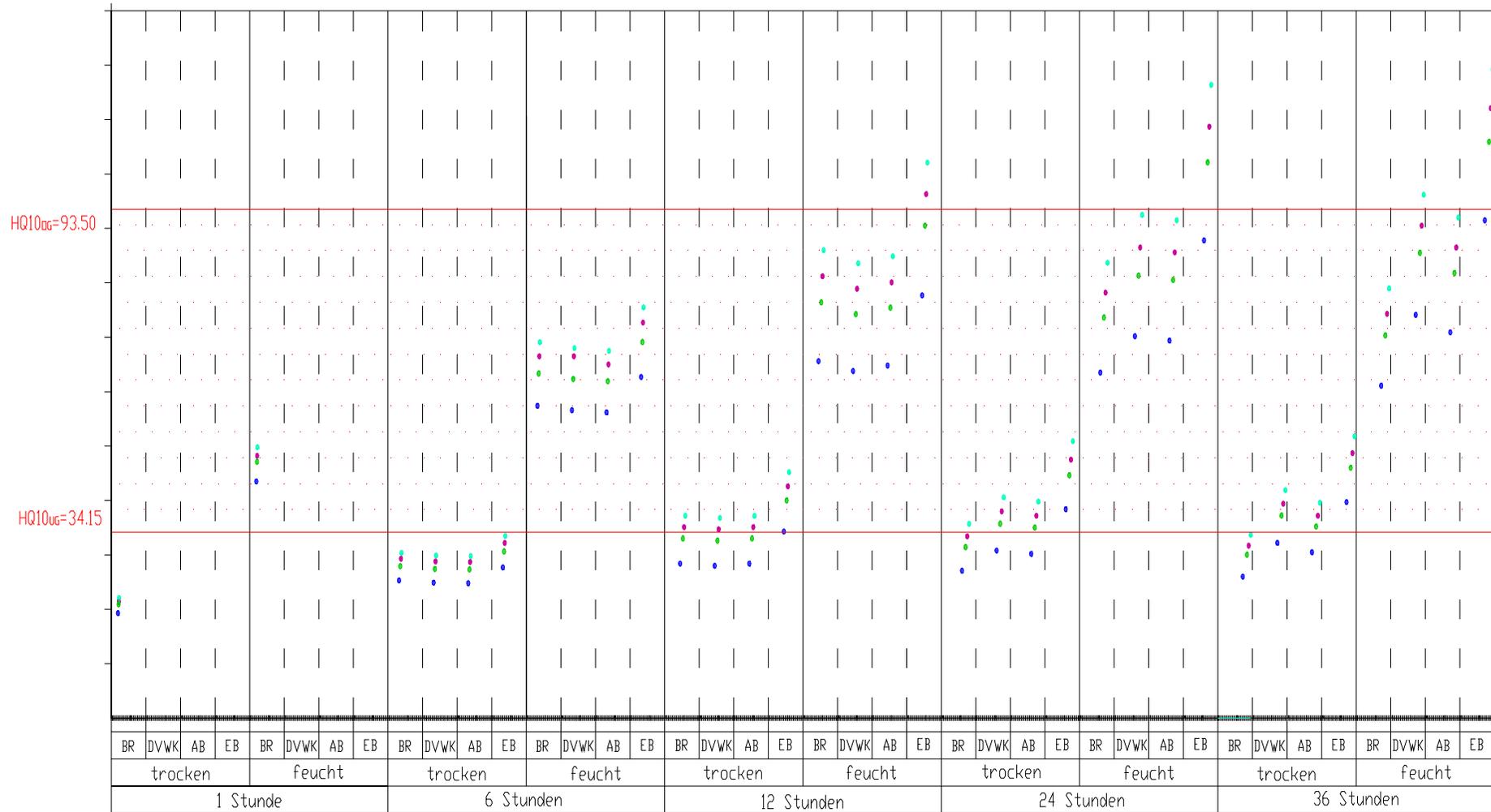
HQ100_{bc}=92.77



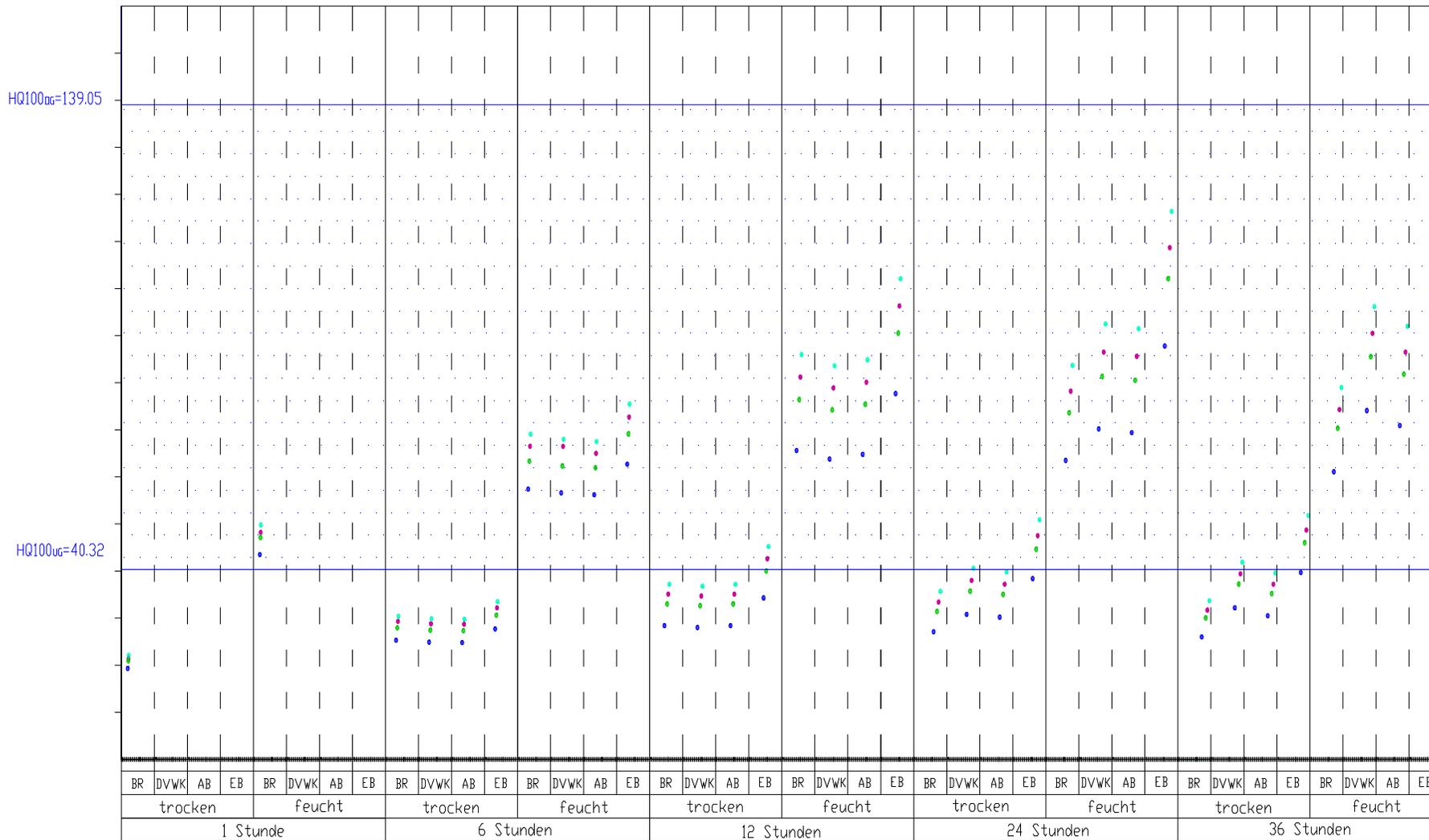
Anhang X1.8 Vergleich zwischen den Ergebnissen der Statistik und NA-Modell-HQ100 bei der allgemeinen Extremwertverteilung (1951-2002)



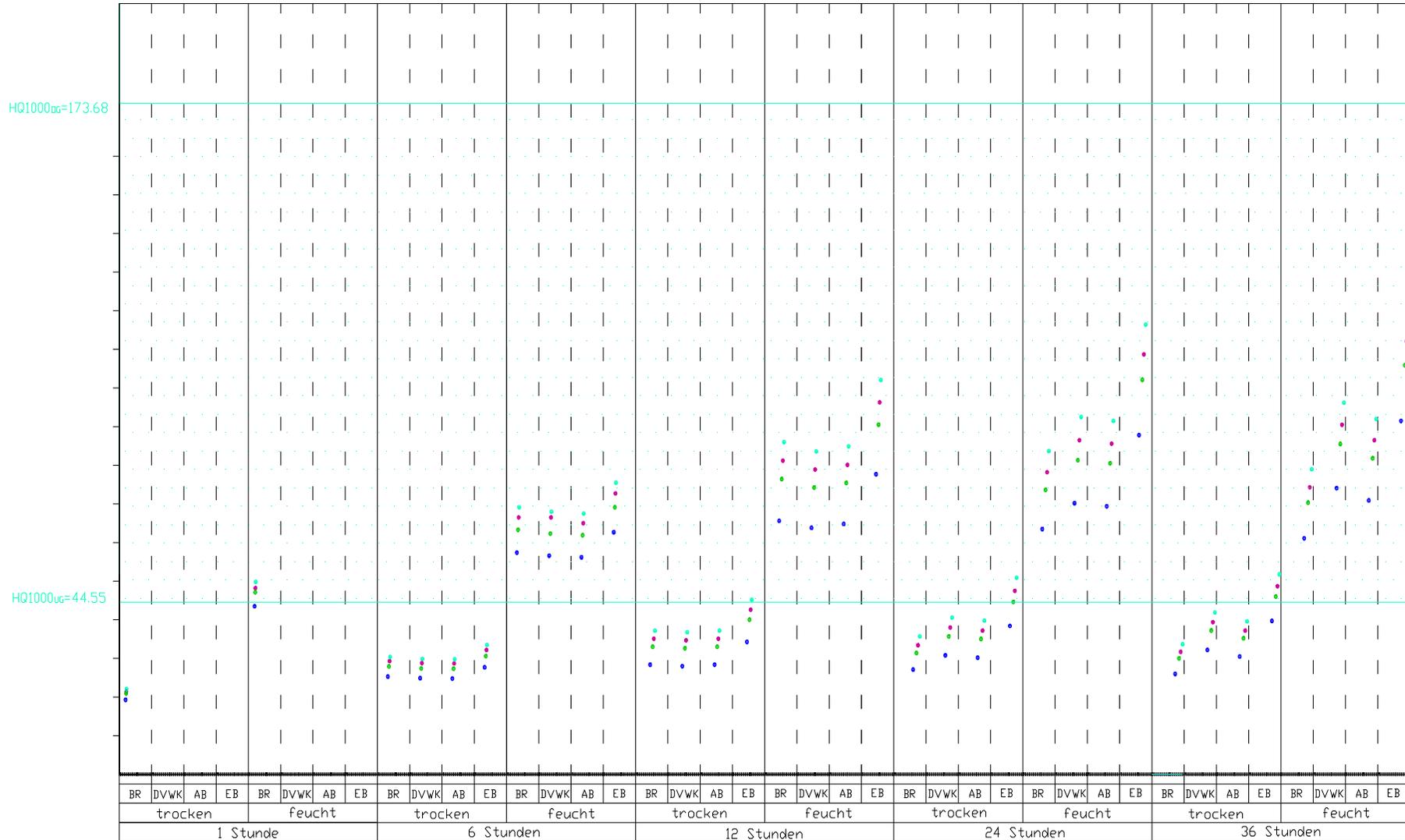
Anhang XI.9 Vergleich zwischen den Ergebnissen der Statistik und NA-Modell-H01000 bei der allgemeinen Extremwertverteilung (1951-2002)



Anhang XI.10 Vergleich zwischen den Ergebnissen der Statistik und NA-Modell-HQ10 bei der allgemeinen Extremwertverteilung (1977-2002)



Anhang XI.11 Vergleich zwischen den Ergebnissen der Statistik und NA-Modell-HQ100 bei der allgemeinen Extremwertverteilung (1977-2002)



Anhang XI.12 Vergleich zwischen den Ergebnissen der Statistik und NA-Modell-HQ1000 bei der allgemeinen Extremwertverteilung (1977-2002)