

Konzeptionelle Vorplanung für Maßnahmen zur Zielerreichung für den ökologischen Zustand nach EU-WRRL in der Nuthe

Schlussbericht Leistungsphase 2, Ergebnisse der N-A-Modellierung Luckenwalde

Auftraggeber:

Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und
Verbraucherschutz
Heinrich-Mann-Allee 103, D - 14473 Potsdam
mit fachlicher Betreuung durch das Landesumweltamt (LUA)

Auftragnehmer:

DHI-WASY GmbH
Waltersdorfer Straße 105, D - 12526 Berlin
Tel.: +49 (30) 67 99 98-0
Fax: +49 (30) 67 99 98-99
E-Mail: mail@dhi-wasy.de
Netz: www.dhi-wasy.de

Berlin, 31.03.2009

Prof. Dr. Stefan O. Kaden



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Veranlassung und Zielstellung	6
1.2	Untersuchungsgebiet	6
1.2.1	Klimatische Verhältnisse	8
1.2.2	Hydrologische Verhältnisse	10
1.3	Verwendete Modelle und Vorgehensweise bei der Modellierung	11
1.3.1	N-A-Modell NASIM	11
1.3.2	Vorgehensweise bei der N-A-Modellierung	13
2	Ermittlung von Abflusslängsschnitten anhand der Pegelstatistik	15
2.1	Datenbasis	15
2.2	Berechnung der Abflusslängsschnitte	19
3	Datengrundlage und Aufbau des N-A-Modells	23
3.1	Geographische Basisdaten	23
3.2	Regenwasserkanalisation in Luckenwalde	24
3.2.1	Bestandsunterlagen zur Regenentwässerung Luckenwalde	24
3.3	Stauanlagen	31
3.3.1.1	Hochwasserrückhaltebecken (HRB) Jüterbog	31
3.3.1.2	Polder Luckenwalde-Kolzenburg	36
3.4	Teilgebietsgliederung	36
3.4.1	Ausgrenzung von natürlichen Teileinzugsgebieten	36
3.4.2	Berücksichtigung von urbanen Teilgebieten	37
3.4.3	Ableitung von teilgebietsbezogenen Modellparametern	38
3.4.3.1	Parameter zur Beschreibung der Abflusskonzentration	38
3.4.3.2	Grundwasser	39
3.4.3.3	Gerinne	41
3.4.3.4	Abbildung der Regenwasserkanalisation	41
3.4.3.5	Speicher	41
3.4.4	Ableitung von elementarflächenbezogenen Modellparametern	41
4	Ergebnisse der Kalibrierung und Validierung des Langfristmodells	42
4.1	Datengrundlagen	42
4.1.1	Langjährige Niederschlags- und Verdunstungsreihen	42
4.1.2	Abflüsse	42
4.2	Modellkalibrierung	44
4.3	Modellvalidierung	50
5	Simulationsrechnungen mit dem Langfristmodell	53
5.1	Langfristsimulation zur Registrierung von wichtigen Systemzuständen	53
5.1.1	Systemzustände für ausgewählte Hochwasserereignisse	53
5.1.2	Systematische Auswertung von relevanten Systemzuständen für die Hochwassersimulation	53
5.1.3	Langfristsimulation zur Registrierung von Jahreshöchstabflüssen	58



6	Ergebnisse der Kalibrierung und Validierung des Kurzfristmodells.....	59
6.1	Datengrundlagen	60
6.1.1	Niederschläge	60
6.1.1.1	Ereignisbezogene Niederschläge.....	60
6.1.1.2	Bemessungsniederschläge.....	64
6.1.2	Wasserstände und Abflüsse.....	67
6.1.3	Hochwasserrückhaltebecken (HRB) Jüterbog	68
6.1.4	Anfangsbedingungen.....	69
6.2	Modellkalibrierung und -validierung.....	69
6.2.1	Ereignisbezogene Kalibrierung und Validierung	69
6.2.2	Plausibilisierung im Stadtgebiet Luckenwalde.....	75
6.2.3	Vergleich der HQ_T der N-A-Simulation mit denen der Extremwertstatistik.....	76
6.2.4	Sensitivitätsuntersuchungen zum Einfluss der Vorfeuchte	79
7	Simulationsrechnungen mit dem Kurzfristmodell.....	81
7.1	HQ_T - Längsschnitte	81
7.2	Prüfung der Regenwasserableitung im Stadtgebiet Luckenwalde.....	82
7.2.1	Variantenrechnungen zur Regenwasserableitung	82
7.2.2	Maßnahmen zur Reduzierung des Regenwasseranfalls in Luckenwalde.....	86
8	Literatur	88
9	Glossar.....	89
10	Anlagen.....	90



Tabellen

Tabelle 2-1:	Daten für die Abflusslängsschnitte.....	15
Tabelle 2-2:	Bemessungsabflüsse HQ_T	17
Tabelle 2-3:	Ausgewählte Gewässerquerschnitte.....	18
Tabelle 2-4:	Abflusslängsschnitte für MNQ, MQ und MHQ	21
Tabelle 2-5:	Abflusslängsschnitt für die HQ_T	21
Tabelle 3-1:	Geographische Basisdaten	23
Tabelle 3-2:	Kenngößen zur Regenwasserkanalisation in Luckenwalde	28
Tabelle 3-3:	Wasserrechtlich erlaubte Einleitungen in Luckenwalde.....	30
Tabelle 3-4:	Speicherinhalts-/Stauflächenlinien und Leistungskurven des HRB Jüterbog (BAH, 1998)..	32
Tabelle 3-5:	Speicherinhaltslinie und Leistungskurven des HRB Jüterbog (SCHIMANOSWKI, 2007).....	33
Tabelle 3-6:	Teilgebiete mit GWTIEF-Speicher	40
Tabelle 4-1:	Beobachtete mittlere Abflüsse und Spenden	42
Tabelle 4-2:	Korrelationskoeffizienten der beobachteten Abflüsse zwischen den Pegeln.....	43
Tabelle 4-3:	Vergleich der mittleren Abflüsse an den Pegeln Jüterbog-Bürgermühle und Woltersdorf...	45
Tabelle 4-4:	Vergleich der mittleren Abflüsse am Pegel Lindenberg Wehr OP.....	50
Tabelle 5-1:	Bodenfeuchte in % nFK	55
Tabelle 5-2:	Speicherinhalt des tiefen Grundwasserspeichers bei einer Rückgangskonstante von 200 d57	
Tabelle 5-3:	Speicherinhalt des tiefen Grundwasserspeichers bei einer Rückgangskonstante von 900 d57	
Tabelle 6-1:	Tägliche Niederschläge im Juli/August 2005 an Stationen im und um das Nutheinzugsgebiet bis zum Hammerfließ (Bezugszeitraum ist jeweils die Zeitspanne von 7 Uhr bis 7 Uhr des Folgetages)	60
Tabelle 6-2:	Tägliche Niederschläge im August 2002 an Stationen im und um das Nutheinzugsgebiet bis zum Hammerfließ (Bezugszeitraum ist jeweils die Zeitspanne von 7 Uhr bis 7 Uhr des Folgetages).....	63
Tabelle 6-3:	Durch Extrapolation der KOSTRA-Niederschläge ermittelte Bemessungsniederschläge für $T = 200$ a als Grundlage für die Berechnung von HQ_{200} (HQ_{EXTREM})	66
Tabelle 6-4:	Zusammenfassung der Ergebnisse der Modellkalibrierung	73
Tabelle 6-5:	Einleitmengen aus der Regenwasserkanalisation in Luckenwalde.....	75
Tabelle 6-6:	HQ_T für ausgewählte Gewässerquerschnitte	79
Tabelle 6-7:	HQ_{10} bei verschiedener Anfangsbodenfeuchte	80
Tabelle 6-8:	HQ_{100} bei verschiedener Anfangsbodenfeuchte	80
Tabelle 7-1:	Einleitmengen aus der Regenwasserkanalisation in Luckenwalde bei verschiedenen Lastfällen	83
Tabelle 7-2:	KOSTRA-Niederschlagshöhen für verschiedenen Wiederkehrintervalle und Regendauern	84



Abbildungen

Abbildung 1-1: Hydrografische Gliederung des Einzugsgebietes der Nuthe bis zum Hammerfließ.....	7
Abbildung 1-2: Jahressummen des Niederschlagsdargebotes und der potenziellen Verdunstung.....	9
Abbildung 1-3: Mittlere Monatssummen des Niederschlagsdargebotes und der potenziellen Landverdunstung.....	10
Abbildung 1-4: Speicher- und Transportvorgänge im Modell NASIM (aus HYDROTEC, 2005).....	13
Abbildung 1-5: Vorgehensweise bei der N-A-Modellierung	14
Abbildung 2-1: Jahreshöchstabflüsse HQ(a) für die drei Nuthepegel.....	16
Abbildung 2-2: HQ_T (ermittelt mit HQEX)	17
Abbildung 3-1: Entwässerungsgebiete aus dem GEP (grün-Bestand, gelb-Plan) und die Einleitungsstellen.....	25
Abbildung 3-2: Regenwassereinleitstellen mit angeschlossenen Entwässerungsflächen, den wasserrechtlich erlaubten Einleitungspunkten und den Regenrückhaltebecken	29
Abbildung 3-3: Vergleich der Stauinhaltslinien (oben) und der Leistungskurven von Grundablass und Überlauf (unten) des HRB Jüterbog	35
Abbildung 3-4: Verfeinerte Gebietsgliederung im Stadtgebiet Luckenwalde	37
Abbildung 3-5: Prinzip der „Urbanen Teilgebiete“ in NASIM	37
Abbildung 4-1: Gegenüberstellung der beobachteten monatlichen Abflüsse	43
Abbildung 4-2: Vergleich der mittleren jährlichen Abflüsse am Pegel Jüterbog-Bürgermühle/Nuthe (oben) und am Pegel Woltersdorf 1/Nuthe (unten) (ohne HRB)	47
Abbildung 4-3: Vergleich der mittleren monatlichen Abflüsse am Pegel Jüterbog-Bürgermühle/Nuthe (oben) und am Pegel Woltersdorf 1/Nuthe (unten) (ohne HRB)	48
Abbildung 4-4: Vergleich der Dauerlinien der täglichen Abflüsse am Pegel Jüterbog-Bürgermühle/Nuthe (oben) und am Pegel Woltersdorf 1/Nuthe (unten)(ohne HRB)	49
Abbildung 4-5: Vergleich der mittleren jährlichen Abflüsse am Pegel Lindenberg/Nuthe (ohne HRB)	51
Abbildung 4-6: Vergleich der mittleren monatlichen Abflüsse am Pegel Lindenberg/Nuthe (ohne HRB)....	51
Abbildung 4-7: Vergleich der Dauerlinie der täglichen Abflüsse am Pegel Lindenberg/Nuthe (ohne HRB) .	52
Abbildung 5-1: Jahresgang der Bodenfeuchte im Einzugsgebiet der Nuthe bis zum Pegel Woltersdorf 1	54
Abbildung 5-2: Speicherinhalt des tiefen Grundwasserspeichers bei einer Rückgangskonstante von 200 d.....	56
Abbildung 5-3: Speicherinhalt des tiefen Grundwasserspeichers bei einer Rückgangskonstante von 900 d.....	56
Abbildung 6-1: Niederschlagssumme in mm vom 27.7. morgens bis zum 4.8.2005 morgens	61
Abbildung 6-2: Niederschlagsintensitäten vom 29.7. bis 31.7.2005 an der DWD-Station Baruth.....	62
Abbildung 6-3: Niederschlagssumme in mm vom 11.8. morgens bis zum 14.8. morgens	63
Abbildung 6-4: Niederschlagsintensitäten vom 11.8. bis 13.8.2002 an der DWD-Station Baruth.....	64
Abbildung 6-5: Für das Untersuchungsgebiet relevante KOSTRA- Rasterfelder und Gültigkeitsbereiche der einzelnen Starkniederschlagstabellen	65
Abbildung 6-6: Beispiel für eine mittebetonte Niederschlagsverteilung gemäß Modellregentyp Euler II	66
Abbildung 6-7: Beobachtete Hochwasserganglinie am Pegel Jüterbog-Bürgermühle und Niederschläge an der Station Baruth im Juli/August 2005	67



Abbildung 6-8: Beobachtete Hochwasserganglinie am Pegel Jüterbog-Bürgermühle und Niederschläge an der Station Baruth im August 2002	68
Abbildung 6-9: Vergleich der mit dem unkalibrierten N-A-Modell (Nullsimulation) simulierten Abflussganglinie mit der beobachteten Abflussganglinie im Juli 2005	70
Abbildung 6-10: Vergleich der mit dem kalibrierten N-A-Modell simulierten Abflussganglinien mit der beobachteten Abflussganglinie in Jüterbog-Bürgermühle im Juli 2005	71
Abbildung 6-11: Vergleich der mit dem kalibrierten N-A-Modell simulierten Abflussganglinie mit der beobachteten Abflussganglinie in Jüterbog-Bürgermühle im August 2002	72
Abbildung 6-12: Beobachtete Pegelabflüsse im Juli 2005.....	74
Abbildung 6-13: Beobachtete Pegelabflüsse im August 2002.....	74
Abbildung 6-14: Vergleich der HQ_T der N-A-Simulation (Kurzfrist, Langfrist) mit denen der Extremwertstatistik für den Pegel Jüterbog-Bürgermühle.....	77
Abbildung 6-15: Vergleich der HQ_T der N-A-Simulation (Kurzfrist, Langfrist) mit denen der Extremwertstatistik für den Pegel Lindenberg	77
Abbildung 6-16: Vergleich der HQ_T der N-A-Simulation (Kurzfrist, Langfrist) mit denen aus den Abflusslängsschnitten für die Nuthe oberhalb des Abzweigs des Königsgraben	78
Abbildung 6-17: Vergleich der HQ_T der N-A-Simulation (Kurzfrist, Langfrist) mit denen der Extremwertstatistik für den Pegel Woltersdorf 1	78
Abbildung 7-1: Abflusslängsschnitte für HQ_{10} und HQ_{100} in der Nuthe bis oh. Mündung Hammerfließ	82
Abbildung 7-2: Max. Einleitmengen aus den Regenwasserkanälen in die Stadtnuthe und den Röhthegraben bei verschiedenen Regenereignissen	85
Abbildung 7-3: Regenwassereinleitmengen aus den Regenwasserkanälen in die Stadtnuthe und den Röhthegraben bei verschiedenen Regenereignissen	85



1 Einleitung

1.1 Veranlassung und Zielstellung

Bestandteil des Projektes „Konzeptionelle Vorplanung für Maßnahmen zur Zielerreichung für den ökologischen Zustand nach EU-WRRL in der Nuthe“ war

- die Ermittlung von Abflusslängsschnitten in der Nuthe für Niedrig-, Mittel- und Hochwasserverhältnisse sowie für Bemessungsabflüsse HQ_T als Grundlage für die hydraulische Modellierung und
- der Aufbau eines N-A-Modells für das Stadtgebiet von Luckenwalde.

Die Bemessungsgrundlagen für die hydraulische Modellierung (Abflusslängsschnitte) wurden anhand von Pegelbeobachtungen ermittelt.

Das N-A-Modell wurde für das gesamte Einzugsgebiet der Nuthe bis oberhalb der Einmündung des Hammerfließes aufgebaut, um die Abflussbeobachtungen an den Pegeln Jüterbog-Bürgermühle und Woltersdorf 1 für die Modellkalibrierung anwenden zu können. Ziel der N-A-Modellierung war in zeitlich hoch aufgelösten Hochwassersimulationen speziell die Problematik der Regenwasserableitung im Stadtgebiet von Luckenwalde analysieren zu können und somit die anhand der Pegelbeobachtungen berechneten HQ_T weiter zu untersetzen.

Ursprünglich bestand auftragsgemäß die Aufgabe der N-A-Modellierung darin, ein Kurzfristmodell aufzubauen. Das methodische Vorgehen wurde dem Auftraggeber im 1. Zwischenbericht (30.4.2008) vorgestellt. In der Stellungnahme der Referate Ö4 und RW5.2 vom 13.6.2008 wurde u. a. darauf hingewiesen, dass es Stand der Technik sei, N-A-Modelle mittels Langfristsimulation zu kalibrieren. In einer Beratung mit dem Auftraggeber am 3.7.2008 bei DHI-WASY bestand Einvernehmen, dass die vorgesehene Langfristsimulation zusätzlichen Aufwand bedeutet. Daraufhin wurde in einem Ergänzungsvertrag vom 16.10.2008 eine zusätzliche Langfristsimulation vereinbart. Die Langfristsimulation auf Tageswertbasis stellt demnach eine Qualifizierung des N-A-Modells zur Hochwassersimulation dar, insbesondere was die darin zu treffenden Annahmen über Anfangsbedingungen, z. B. über die Vorfeuchte im Einzugsgebiet, betrifft. Außerdem kann das LUA Brandenburg das N-A-Modell auf Tageswertbasis als Wasserhaushaltsmodell zur Untersuchung von weiteren hydrologischen Fragestellungen nutzen.

1.2 Untersuchungsgebiet

Das N-A-Modell wurde für das Einzugsgebiet der Nuthe bis zur Einmündung des Hammerfließes unterhalb des Pegels Woltersdorf 1 aufgebaut. Schwerpunkt des Untersuchungsgebietes war das Stadtgebiet Luckenwalde.

Entsprechend der hydrografischen Gliederung des Einzugsgebietes der Nuthe sind oberhalb des Pegels Jüterbog-Bürgermühle der Rohrbecker Graben, der Feldgraben Rohrbeck, der Rohrbecker Ostgraben, der Bochower Graben, der Jüterboger Graben, die Wasche und der Bürgerwiesener Graben Hauptnebegewässer der Nuthe. Unterhalb Jüterbog mün-



den der Markendorfer Graben, der Zinnaer Ostgraben, der Zinnaer Klostergraben und der Grönaer Graben. Unterhalb des Pegels Lindenberg in Luckenwalde verzweigt die Nuthe in den Hochwasserentlaster Königsgraben und die Stadtnuthe. Unterhalb der Verzweigung und oberhalb des Pegels Woltersdorf 1 münden das Steinerfließ und der Kreuzfeldgraben in die Nuthe.

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die hydrografische Gliederung sowie wichtige Pegel im Untersuchungsgebiet der Nuthe.

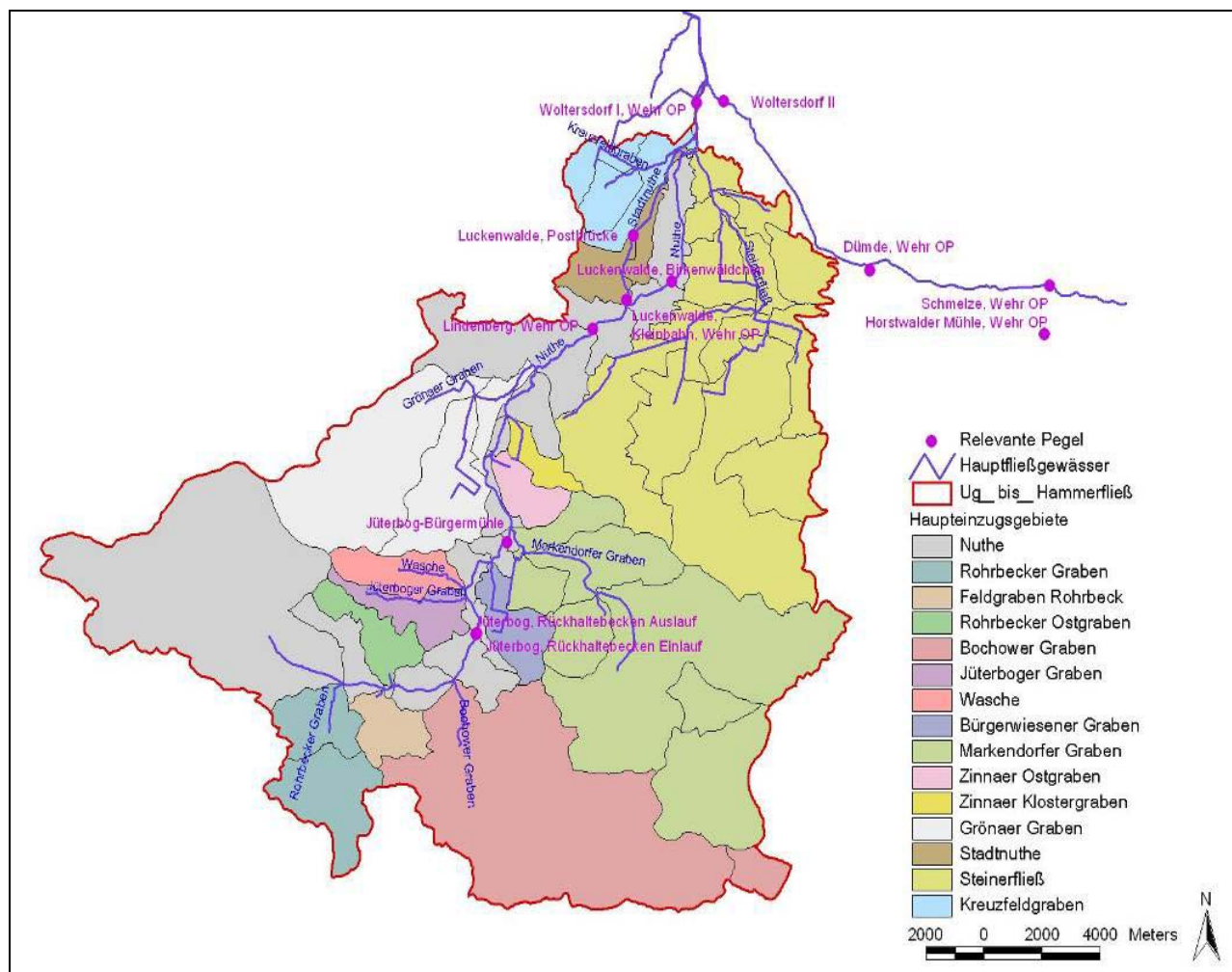


Abbildung 1-1: Hydrografische Gliederung des Einzugsgebietes der Nuthe bis zum Hammerfließ

Die wasserwirtschaftlich bedeutsamste Stauanlage im Untersuchungsgebiet ist das Hochwasserrückhaltebecken (HRB) Jüterbog, das ausschließlich dem Hochwasserschutz dient, vornehmlich für die Ortslage Jüterbog.



1.2.1 Klimatische Verhältnisse

Datengrundlage für die Beschreibung der klimatischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet bilden die vom DWD bereitgestellten repräsentativen Zeitreihen von Tageswerten des Niederschlagsdargebotes und der potenziellen Verdunstung, die auch als Datengrundlagen für die Langfristsimulation genutzt wurden (Abschnitt 4.1.1).

Vom DWD wurden für den Zeitraum vom 01.11.1971 bis 31.12.2005 (34 Jahre) kontinuierliche Zeitreihen von Tageswerten

- des Niederschlagsdargebotes und
- der potenziellen Verdunstung

für das Einzugsgebiet der Nuthe (Untersuchungsgebiet) bereitgestellt (DWD, 2008).

Als Niederschlagsdargebot wird die Summe aus Schmelzwasserabgabe aus der Schneedecke und flüssigem Niederschlag bezeichnet. Bei der Ermittlung des Niederschlagsdargebotes wurde vom DWD eine Korrektur der Messwerte vorgenommen, durch die der systematische Fehler der Niederschlagsmessung berücksichtigt wird. Bei der potenziellen Verdunstung handelt es sich um Maximalwerte für die Verdunstung von Landflächen. Die potenzielle Verdunstung wurde vom DWD anhand der Lufttemperatur, der Globalstrahlung und der relativen Luftfeuchte mit Hilfe der Gleichungen von TURC und IVANOV berechnet, wobei die systematische Unterschätzung der potenziellen Verdunstung durch diese beiden Gleichungen korrigiert wurde (DWD, 2008).

In Abbildung 1-2 werden die aus den Zeitreihen von Tageswerten (01.11.1971 bis 31.12.2005) für Abflussjahre (01.11. bis 31.10.) abgeleiteten Jahressummen des Niederschlagsdargebotes und der potenziellen Verdunstung gegenübergestellt. Die mittlere Jahressumme des Niederschlagsdargebotes für das Untersuchungsgebiet beträgt 578 mm und die mittlere Jahressumme der potenziellen Verdunstung 657 mm. In Einzeljahren bewegt sich das Niederschlagsdargebot zwischen 385 mm/a (1976) und 796 mm/a (1994) und die potenzielle Verdunstung zwischen 581 mm/a (1996) und 723 mm/a (1989).

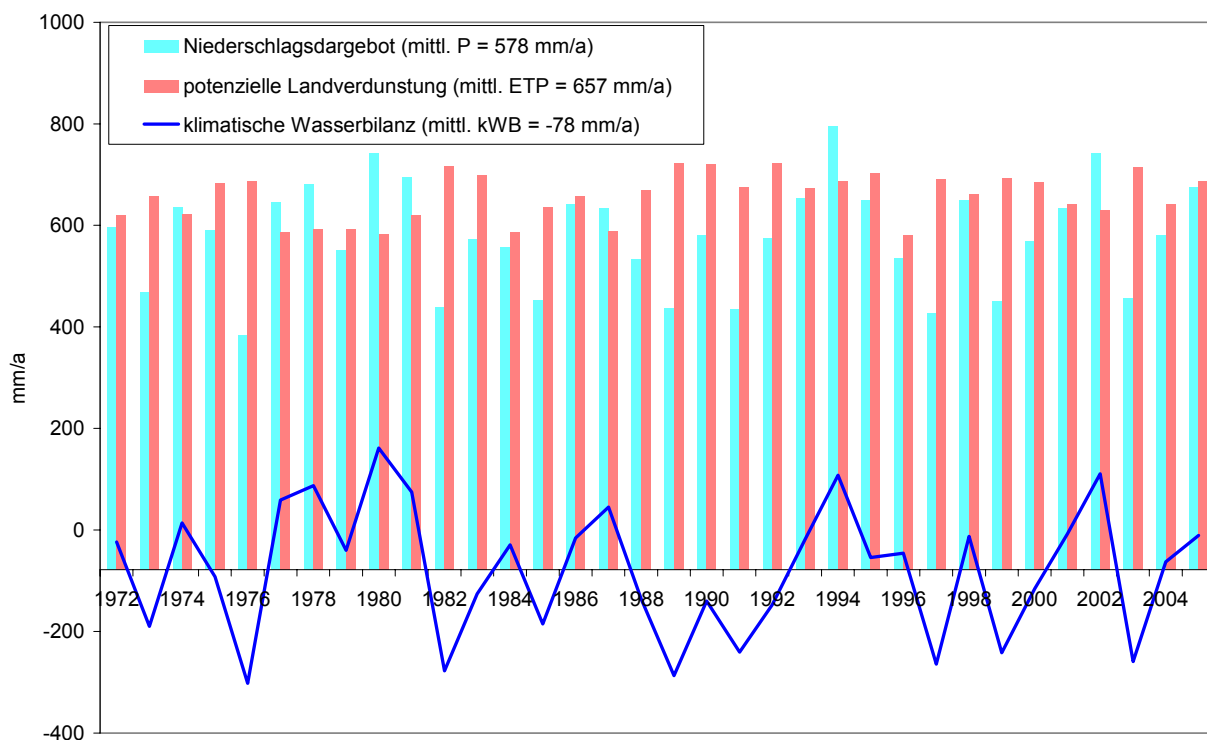


Abbildung 1-2: Jahressummen des Niederschlagsdargebotes und der potenziellen Verdunstung

Abbildung 1-2 enthält auch die auf ihren Mittelwert (= -78 mm/a) bezogene Differenz zwischen Niederschlagsdargebot und potenzieller Verdunstung, die so genannte klimatische Wasserbilanz. Sie erlaubt eine erste Einschätzung, ob es sich bei den Einzeljahren um normale (Klimatische Wasserbilanz \approx -78 mm), trockene (Klimatische Wasserbilanz \ll -78 mm) oder feuchte (Klimatische Wasserbilanz \gg -78 mm) Jahre gehandelt hat.

Abbildung 1-3 zeigt den innerjährlichen Gang des Niederschlagsdargebotes und der potenziellen Verdunstung als mittlere Monatssummen von 1972 bis 2005. Niederschlagsreiche Monate sind die Monate Juni bis August und der Dezember, niederschlagsarme Monate Oktober sowie Februar und April. Die potenzielle Verdunstung erreicht erwartungsgemäß im Juni und Juli ihre Maximalwerte, während die kleinsten Werte von November bis Februar auftreten.

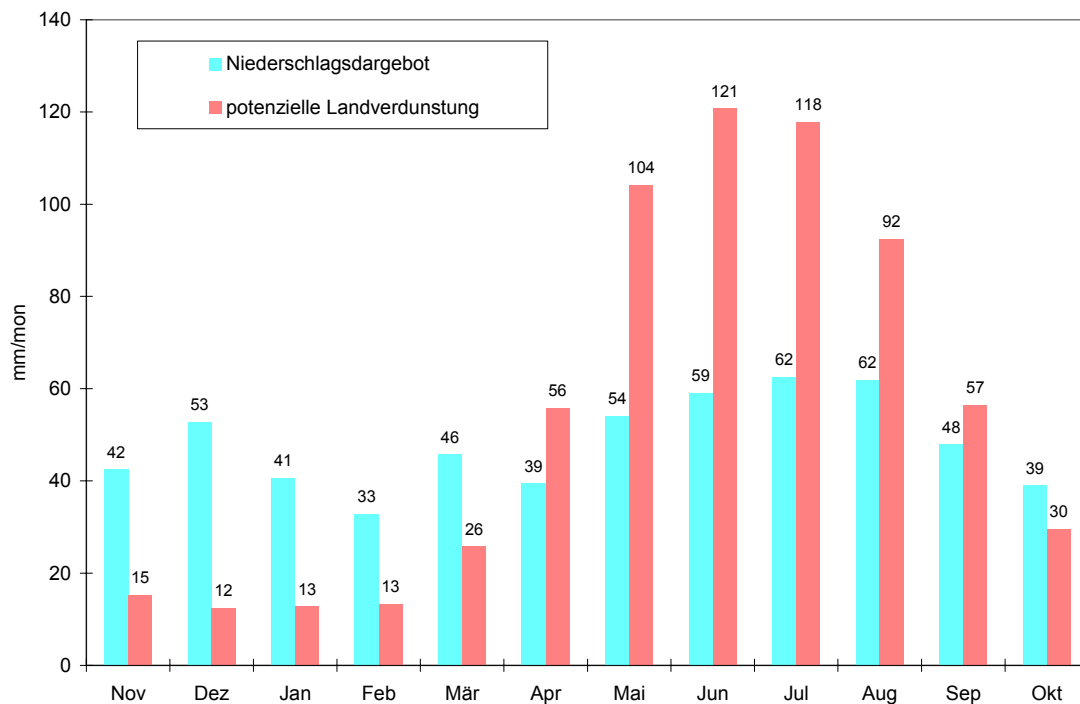


Abbildung 1-3: Mittlere Monatssummen des Niederschlagsdargebotes und der potenziellen Landverdunstung

1.2.2 Hydrologische Verhältnisse

Zur Einschätzung des Abflussregimes sind in der nachfolgenden Tabelle die gewässerkundlichen Hauptzahlen und die dazugehörigen Abflusspenden für die Abflussjahre des gesamten und des verkürzten Beobachtungszeitraumes (ab 1990 Einfluss durch das HRB Jüterbog) dargestellt, die vom LUA Brandenburg zur Verfügung gestellt wurden.

Tabelle 1-1: Gewässerkundliche Hauptzahlen

Pegel/ Gewässer	Aeo	Reihe	MNQ	MQ	MHQ	MNq	Mq	MHq
	[km ²]		[m ³ /s]			[l/(s*km ²)]		
Jüterbog- Bürgermühle/ Nuthe	141	1977- 2007	0,043	0,217	1,79	0,305	1,54	12,9
		1990- 2007	0,039	0,198	1,53	0,277	1,40	10,9
Lindenberg, Wehr OP/ Nuthe	263	1994- 2007	0,204	0,504	2,01	0,776	1,92	7,60
Waltersdorf 1/ Nuthe	363	1984- 2007	0,224	1,08	3,24	0,617	2,98	8,90
		1990- 2007	0,165	1,02	3,09	0,455	2,81	8,50



Bei der Betrachtung der Abflussdaten fallen die sehr geringen Abflüsse im Oberlauf der Nuthe auf. So beträgt der MQ in Jüterbog-Bürgermühle bei einer Einzugsgebietsgröße von 141 km² nur 217 l/s, was einer Abflussspende von 1,5 l/(s*km²) entspricht. Die mittleren Abflussspenden steigen mit wachsender Gebietsgröße an. Erst unterhalb von Lindenberg erreichen sie in Woltersdorf mit 3 l/(s*km²) für Brandenburg typische Werte.

Ursachen für die geringen Abflussspenden im Oberlauf der Nuthe sind die großen Grundwasserflurabstände (teilweise größer 20 m) im Fläming, so dass die Vorfluter offenbar nicht durch das Grundwasser gespeist werden (BAH, 1998). Darauf weisen auch die geringe Fließgewässerdichte und das Auftreten von Binneneinzugsgebieten hin.

1.3 Verwendete Modelle und Vorgehensweise bei der Modellierung

1.3.1 N-A-Modell NASIM

Für die Niederschlag-Abfluss-Modellierung wird die Software **NASIM** (Hydrotec GmbH Aachen) eingesetzt. Dieses N-A-Modell ermöglicht die kontinuierliche Simulation des Abflussprozesses bei im Prinzip frei wählbarer zeitlicher Diskretisierung. Zu diesem Zweck enthält das Modell Ansätze zur Beschreibung der folgenden Teilprozesse des hydrologischen Kreislaufs: Verdunstung (einschließlich Interzeption), Infiltration und Versickerung, Oberflächenabfluss, Interflow (Zwischenabfluss) und Basisabfluss sowie Abflusskonzentration auf der Landoberfläche, im Gerinne und in der Kanalisation (Abbildung 1-4). NASIM besteht aus Modellbausteinen überwiegend konzeptioneller Art, deren Parameter teilweise aus physikalisch messbaren Größen ableitbar sind. Modellstruktur und die verwendeten Algorithmen zielen auf einen Kompromiss zwischen Modellkomplexität und der Anwendbarkeit hinsichtlich Daten- und Berechnungsaufwand ab (HYDROTEC, 2005).

Die Niederschlag-Abfluss-Simulation mit NASIM kann grundsätzlich als Langfrist- oder als Kurzfristsimulation erfolgen. Modelleingangsgrößen für die Langfristsimulation sind langjährige Zeitreihen des Niederschlagsdargebotes und der potenziellen Verdunstung. Einsatzgebiete der Langfristsimulation sind Untersuchungen zum Abflussregime und zum Wasserhaushalt, wobei meistens mit Tageswerten als Eingangsgrößen gearbeitet wird. Modelleingangsgrößen für die Kurzfristsimulation sind Starkniederschläge mit definierter Dauer und Jährlichkeit. Klassisches Einsatzgebiet einer zeitlich hoch aufgelösten Kurzfristsimulation (Δt im Bereich weniger Minuten) ist die Ermittlung von Hochwasserkenngößen H_{QT} aus Starkniederschlägen gleicher Jährlichkeit. Die für Hochwasseruntersuchungen theoretisch mögliche Langfristsimulation mit zeitlich hochaufgelösten langen Niederschlagsreihen wird in der Regel aus Aufwands- und Kostengründen verworfen.

Für die N-A-Simulation werden folgende hydrologisch relevante Gebietsinformationen benötigt, die im Interesse einer effizienten Dateneingabe in den Formaten der GIS ArcInfo oder ArcView bereitgestellt werden sollten:

- Teilgebietsgrenzen,
- Fließgewässer,



- Landnutzung,
- Bodenformen/Bodenarten,
- Geländehöhen.

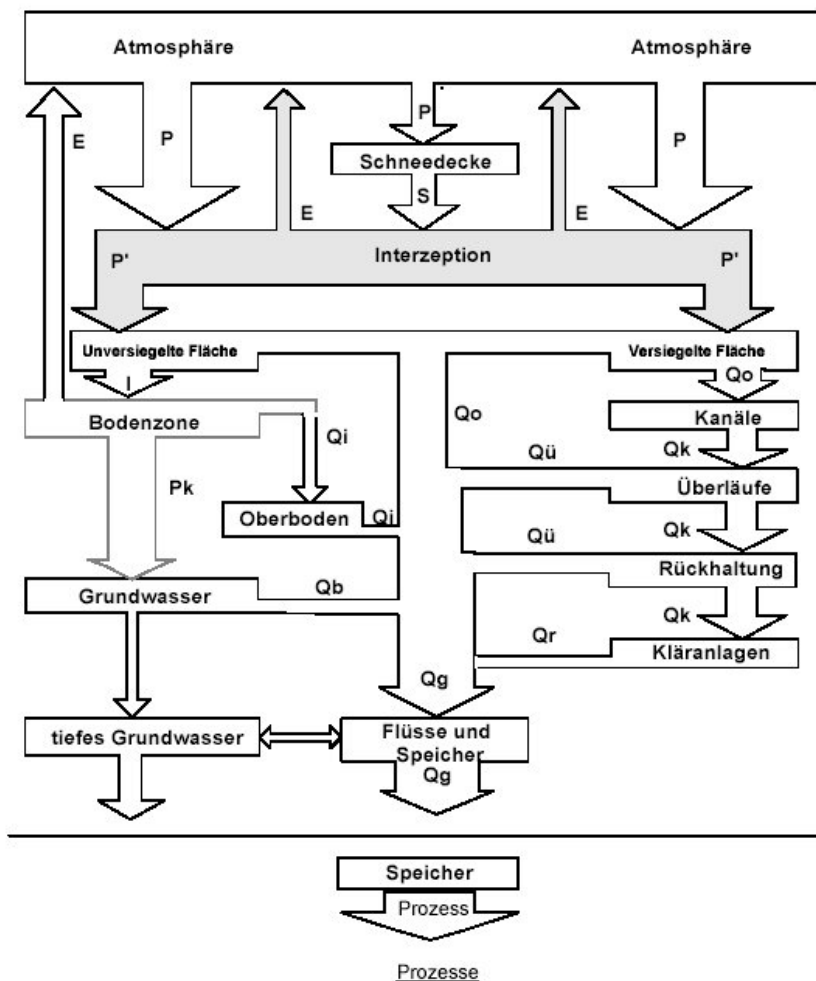
Durch die Teilbietsgrenzen wird das Gesamteinzugsgebiet in einzelne Simulationsteilgebiete gegliedert und damit räumlich strukturiert. Kriterien für die Festlegung der Teilbietsgrenzen sind u. a. die Berücksichtigung von Mündungen wichtiger Nebenflüsse oder von Anschlüssen städtischer Gebiete an das natürliche Gewässernetz. Durch die Verschneidung der Teilbietsgrenzen mit den Landnutzungs- und Bodendaten entstehen so genannte Elementarflächen, die homogen bezüglich der beiden letztgenannten Flächeneigenschaften sind.

Die Elementarflächen sind die kleinste Modellierungseinheit im Modell NASIM. Alle Prozesse des Bodenwasserhaushaltes (Verdunstung, Infiltration, Versickerung, Abflussbildung) werden standortbezogen für die einzelnen Elementarflächen berechnet. Dagegen erfolgt die Modellierung der Abflusskonzentration auf der Basis der Simulationsteilgebiete und der im Modell zwischen ihnen definierten Lagebeziehungen.

Die Übernahme der Elementarflächen und Simulationsteilgebiete nach NASIM erfolgt über die GIS-Schnittstelle des N-A-Modells. Über Zuordnungstabellen werden dabei hydrologische Parameter, z. B. Wurzeltiefe oder Feldkapazität, mit den Elementarflächeneigenschaften Landnutzung, z. B. Wald, und Bodenform, z. B. Löss-Staugley, verknüpft. Ergebnis der Übernahme der GIS-Daten nach NASIM ist ein Ersatzschema des natürlichen Fließgewässersystems, der so genannte Systemplan, der durch Eingabe weiterer Daten vervollständigt wird. Zu diesen sonstigen Daten gehören:

- Laufzeit-Flächen-Funktionen zur Beschreibung der Abflusskonzentration des Oberflächenabflusses von natürlichen Flächen. Sie werden mit Hilfe einer ArcView-Extension auf der Basis des digitalen Höhenmodells und des Fließgewässernetzes abgeleitet.
- Rückgangskonstanten zur Beschreibung der Abflusskonzentration der Abflusskomponenten von natürlichen (Oberflächenabfluss, Zwischenabfluss und Basisabfluss) und versiegelten (nur Oberflächenabfluss) Flächen.
- Länge und Gefälle von Fließgewässern sowie repräsentative Querprofile mit Rauheitsangaben.
- Kenngrößen und Kennlinien von Speichern und Hochwasserrückhaltebecken.

Modellkalibrierung und Modellverifikation erfolgen bei der Langfristsimulation üblicherweise anhand von beobachteten täglichen Abflussreihen und bei der Kurzfristsimulation anhand von gesicherten Abflussganglinien.



- | | |
|------------------------|--------------------------|
| P : Gesamtniederschlag | P' : Nettoniederschlag |
| S : Schneeschmelze | E : Evapotranspiration |
| I : Infiltration | Qo: Oberflächenabfluss |
| Qi : Interflow | Qü: Überlaufabfluss |
| Pk: Perkolatation | Qk: Kanalabfluss |
| Qb: Basisabfluss | Qr : Gereinigter Abfluss |
| Qg: Gerinneabfluss | |

Abbildung 1-4: Speicher- und Transportvorgänge im Modell NASIM (aus HYDROTEC, 2005)

1.3.2 Vorgehensweise bei der N-A-Modellierung

Die folgende Abbildung 1-5 veranschaulicht die Vorgehensweise bei der N-A-Modellierung. In einem ersten Schritt wurde ein Basismodell für das gesamte Einzugsgebiet der Nuthe bis zur Einmündung des Hammerfließes aufgebaut, das das natürliche oberirdische Einzugsgebiet der Nuthe einschließlich der über die Regenwasserkanalisation im Stadtgebiet Luckenwalde entwässernden Flächen abbildet (Abschnitt 3). Aus diesem Modell, das aus insgesamt 113 Simulationsteilgebieten besteht, wurde anschließend ein Modell für die Hochwassersimulation und ein zweites Modell für die Wasserhaushaltssimulation abgeleitet. Für die Hochwassersimulation wurde das Basismodell anhand der 15-minütigen beobachteten Abflüsse



am Pegel Jüterbog-Bürgermühle/Nuthe der zwei Hochwasserereignisse Juli 2005 und August 2002 kalibriert sowie für die Regenwassereinleitungsmengen im Stadtgebiet Luckenwalde plausibilisiert (Abschnitt 6.2). Für die Wasserhaushaltssimulation wurde das Basismodell anhand der beobachteten täglichen Abflüsse an den Pegeln Jüterbog-Bürgermühle/Nuthe und Woltersdorf 1 Wehr OP/Nuthe kalibriert sowie am Pegel Lindenberg Wehr OP/Nuthe validiert (Abschnitt 4.2).

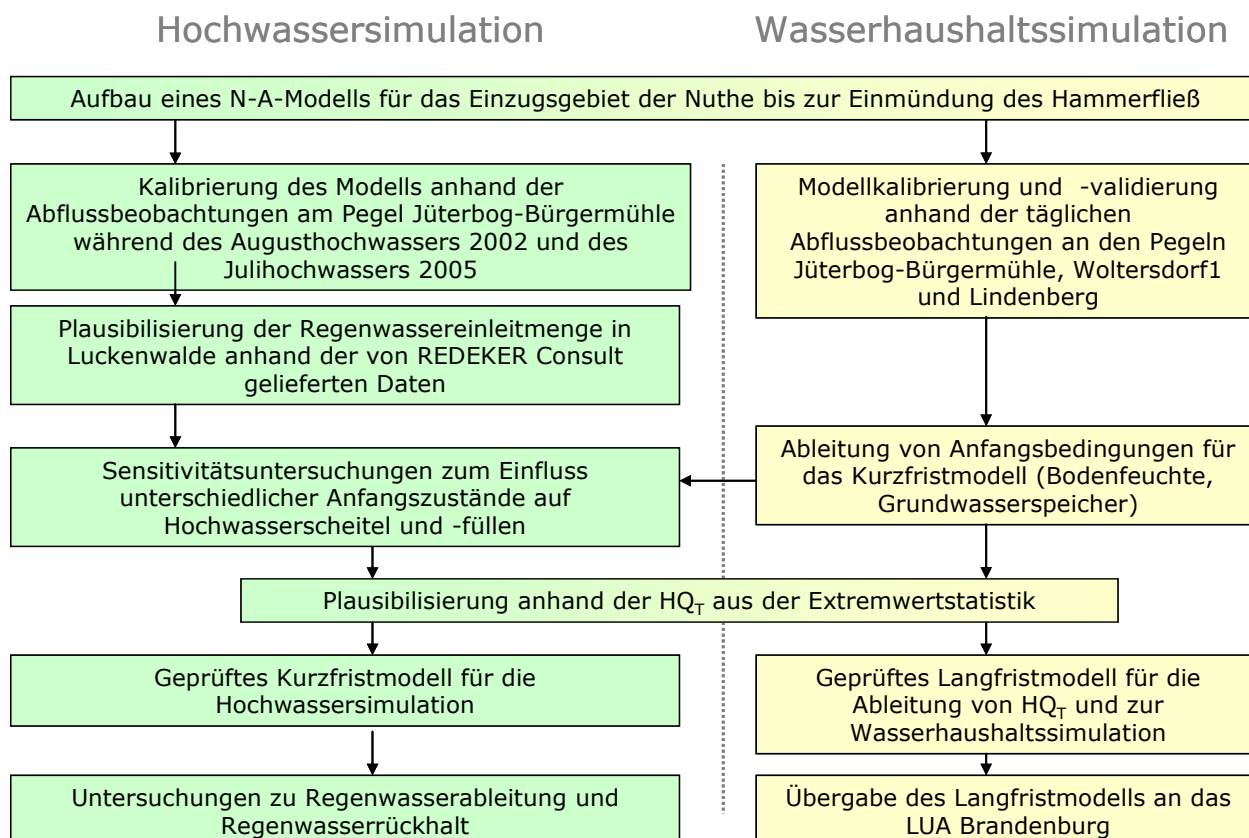


Abbildung 1-5: Vorgehensweise bei der N-A-Modellierung



2 Ermittlung von Abflusslängsschnitten anhand der Pegelstatistik

Die Abflusslängsschnitte für Niedrig-, Mittel- und Hochwasserverhältnisse, die als Bemessungsgrundlagen für die hydraulische Modellierung dienen, wurden anhand von Pegelbeobachtungen aufgestellt.

2.1 Datenbasis

Für die vier Pegel Jüterbog-Bürgermühle/Nuthe, Lindenberg/Nuthe, Woltersdorf 1/Nuthe und Woltersdorf 2/Hammerfließ wurden vom Landesumweltamt Brandenburg die gewässerkundlichen Hauptzahlen MNQ, MQ und MHQ übergeben (Tabelle 1-1). Weiterhin stehen Bemessungsabflüsse HQ_T für die Wiederkehrintervalle $T= 2$ a, 5 a, 10 a, 20 a, 50 a, 100 a und 200 a aus der Projektarbeit des Büros für Angewandte Hydrologie zur „Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten für die Nuthe zwischen Jüterbog und Woltersdorf“ (BAH, 2004) und aus dem durch die DHI-WASY GmbH seit 2007 bearbeiteten Projekt zur „Landeseinheitlichen Regionalisierung von Hochwasserabflüssen im Land Brandenburg“ zur Verfügung (DHI-WASY, 2008).

Folgende Tabelle gibt einen Überblick zu den vorliegenden Abflussdaten.

Tabelle 2-1: Daten für die Abflusslängsschnitte

Pegel/Gewässer	Kennzahl	Art	Zeitraum	Datenquelle
Jüterbog-Bürgermühle/ Nuthe	5879500	Hauptzahlen	1977 - 2007	LUA Brandenburg
		HQ_T	1991 - 2004	BAH (2004)
			1977 - 2007	DHI-WASY (2008)
Lindenberg, Wehr OP/Nuthe	5879401	Hauptzahlen	1994 - 2007	LUA Brandenburg
		HQ_T	1994 - 2006	DHI-WASY (2008)
Woltersdorf 1, Wehr OP/Nuthe	5871101	Hauptzahlen	1984 - 2007	LUA Brandenburg
		HQ_T	1984 - 2004	BAH (2004)
			1984 - 2006	DHI-WASY (2008)
Woltersdorf 2/ Hammerfließ	5871800	Hauptzahlen	1968 - 2007	LUA Brandenburg
		HQ_T	1968 - 2006	DHI-WASY (2008)

Die gewässerkundlichen Hauptzahlen wurden im Abschnitt 1.2.2 ausführlich analysiert.

Die Bemessungsabflüsse wurden jeweils durch eine extremwertstatistische Auswertung der Jahreshöchstabflüsse mit Hilfe der Statistik-Software HQ-EX 3.0 (WASY, 2005) ermittelt. Dabei führte jeweils die dreiparametrische Weibullverteilung (WB3), deren Parameter nach der Me-



thode der wahrscheinlichkeitsgewichteten Momente (WGM) geschätzt wurden, zur besten Anpassung an die beobachteten Jahreshöchstabflüsse.

Folgende Abbildung zeigt die Jahreshöchstabflüsse für den gesamten Beobachtungszeitraum, die der extremwertstatistischen Auswertung zu Grunde lagen. Gut zu erkennen ist die dämpfende Wirkung des HRB ab 1990 auf die Hochwasserscheitel in Jüterbog-Bürgermühle.

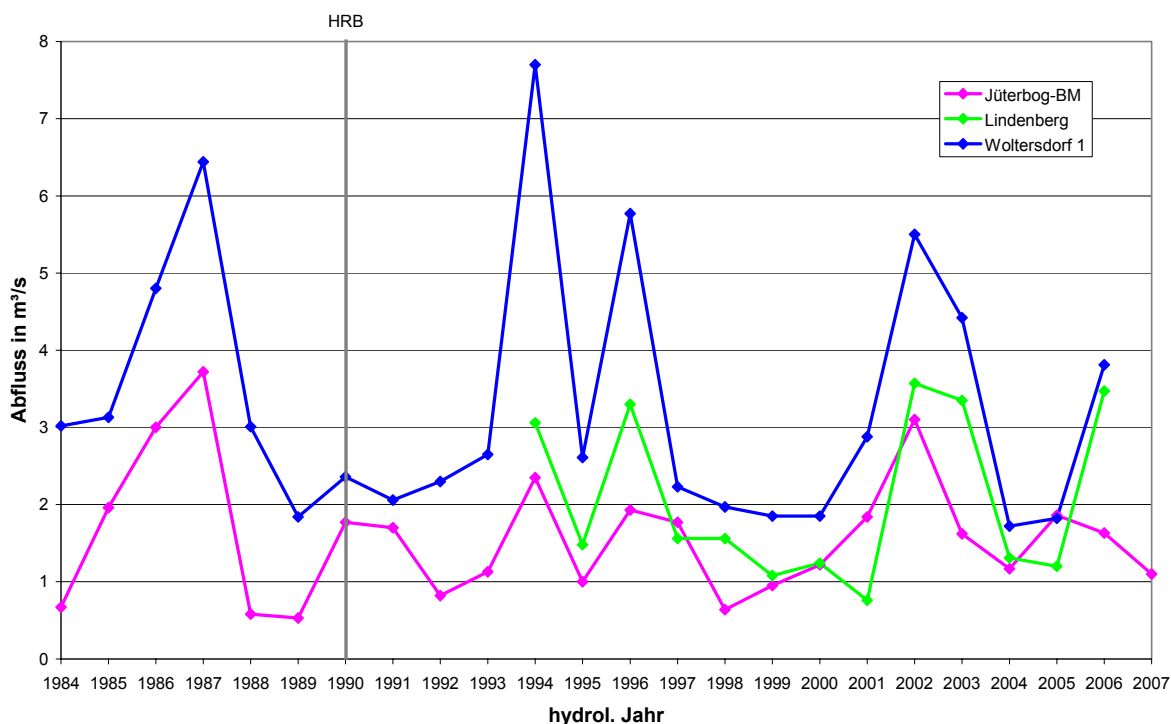


Abbildung 2-1: Jahreshöchstabflüsse HQ(a) für die drei Nuthepegel

In der nachfolgenden Tabelle sind die Hochwasserscheitelabflüsse HQ_T für die Wiederkehrintervalle $T = 2$ a, 5 a, 10 a, 20 a, 50 a, 100 a und 200 a aus dem aktuellen Projekt HQ-Regio Brandenburg (WASY, 2007) dargestellt. Für Jüterbog-Bürgermühle und Woltersdorf 1 wurden zusätzlich die Jahreshöchstabflüsse der verkürzten Reihe ab dem hydrologischen Jahr 1991 extremwertstatistisch ausgewertet und mit in die Tabelle aufgenommen. Kursiv und unterstrichen gedruckt sind die Bemessungsabflüsse, die sich außerhalb des eigentlich zulässigen Extrapolationsbereiches befinden (nach DYCK, 1980 maximal das Dreifache des Beobachtungszeitraumes) und demnach statistisch gesehen, relativ unsicher sind. Dementsprechend können statistisch gesehen die HQ_T für Jüterbog-Bürgermühle und Woltersdorf 1 bis zu einem Wiederkehrintervall von $T=50$ a, für Lindenberg bis $T = 20$ a als relativ sicher angesehen werden.



Tabelle 2-2: Bemessungsabflüsse HQ_T

Pegel/ Gewässer	Berechnungs- zeitraum	HQ_T in m^3/s für $T [a] =$						
		2	5	10	20	50	100	200
Jüterbog- Bürgermühle/ Nuthe	1977-2002	1,90	2,80	3,42	4,09	4,92	<u>5,52</u>	<u>6,09</u>
	1991-2007	1,42	2,02	2,37	2,68	3,05	<u>3,30</u>	<u>3,54</u>
Lindenberg, Wehr OP/ Nuthe	1994-2006	2,15	3,02	3,60	4,22	<u>4,98</u>	<u>5,51</u>	<u>6,02</u>
Woltersdorf 1, Wehr OP/ Nuthe	1984-2006	3,08	4,50	5,64	7,03	8,92	<u>10,4</u>	<u>11,9</u>
	1991-2006	2,44	4,09	5,59	7,25	<u>9,67</u>	<u>11,6</u>	<u>13,7</u>
Woltersdorf 2/ Hammerfließ	1968-2006	4,24	5,51	6,35	7,23	8,29	9,03	<u>9,74</u>

Abbildung 2-2 stellt die Bemessungsabflüsse, die anhand der kurzen Beobachtungsreihen ermittelt wurden, grafisch dar. Bei Woltersdorf 1 fällt ein steilerer Anstieg der HQ_T für höhere Wiederkehrintervalle auf. Die Ursache liegt bei den großen Jahreshöchstabflüssen nach 1990 (1994, 1996 und 2002).

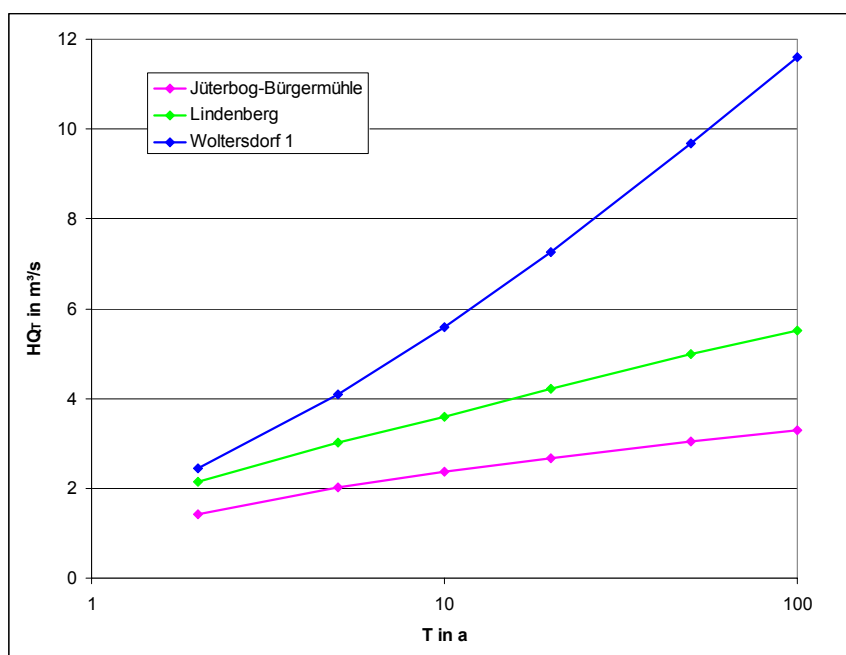


Abbildung 2-2: HQ_T (ermittelt mit HQ-EX)



Folgende Tabelle zeigt eine Beschreibung der wichtigsten Gewässerquerschnitte zwischen Pegel Jüterbog-Bürgermühle bis oberhalb Mündung Polenzgraben, für die die Abflüsse ermittelt wurden. Dargestellt sind weiterhin die Zuordnung der Flusskilometer und die Einzugsgebietsflächen (mit und ohne Binneneinzugsgebiet). Als Binneneinzugsgebiete werden dabei Geländesenken bezeichnet, die nicht über das Oberflächengewässer entwässert werden können, so genannte „abflusslose Senken“. Der Niederschlag versickert und kommt nur den unterirdischen Abflusskomponenten zu Gute. Im Hochwasserfall tragen diese Gebiete nicht zum schnellen oberirdischen Abfluss bei. Im Einzugsgebiet von Jüterbog-Bürgermühle sind 7 Prozent, im Einzugsgebiet von Woltersdorf 1 sind 10 Prozent der Gebietsfläche Binneneinzugsgebiete.

Die Einzugsgebietsflächen basieren auf dem aktuellen Datenstand der Einzugsgebiete in Brandenburg. Auf der Beratung am 17.06.2008 wurde entschieden, dass die Stationierung an den C-Bericht anzupassen ist, d. h. dass im Stadtgebiet von Luckenwalde die Nuthe das Hauptgewässer ist und nicht der Hochwasserentlastler (Königsgraben).

Tabelle 2-3: Ausgewählte Gewässerquerschnitte

Gewässerquerschnitt	Fluss -km	Einzugsgebiet [km ²]		BE [km ²]	Lage
		mit BE	ohne BE		
Nuthe, Pegel Jüterbog-Bürgermühle	54,0	141,40	130,95	10,45	b
Nuthe, oh. Mdg. Markendorfer Graben	53,6	141,64	131,19		b
Nuthe, uh. Mdg. Markendorfer Graben	53,6	208,38	182,48	15,45	r
Nuthe, oh. Mdg. Zinnaer Ostgraben	50,7	209,78	183,88		b
Nuthe, uh. Mdg. Zinnaer Ostgraben	50,7	213,22	187,32		r
Nuthe, oh. Mdg. Zinnaer Klostergraben	49,4	213,86	187,96		b
Nuthe, uh. Mdg. Zinnaer Klostergraben	49,4	216,20	190,30		r
Nuthe oh. Mdg. Grönaer Graben	47,1	219,03	193,13		b
Nuthe uh. Mdg. Grönaer Graben	47,1	251,33	225,44		l
Nuthe, Pegel Lindenberg Wehr OP	44,4	262,69	236,79		b
Nuthe, oh. Abzweig Stadtnuthe	42,9	266,07	240,17		b
Stadtnuthe, Luckenwalde Kleinbahnwehr OP	42,7	266,12	240,22		b
Stadtnuthe, Luckenwalde Postbrücke	40,5	269,66	243,76		b
Stadtnuthe, oh. Mdg. Königsgraben	37,0	271,66	245,75		b
Nuthe, uh. Mdg. Königsgraben	37,0	277,96	252,06		r
Nuthe, oh. Mdg. Steinerfließ	36,8	278,00	252,11		b
Nuthe, uh. Mdg. Steinerfließ	36,8	353,59	317,31	10,39	r
Nuthe, oh. Mdg. Kreuzfeldgraben	36,2	353,63	317,35		b
Nuthe, uh. Mdg. Kreuzfeldgraben	36,2	362,84	326,55		r
Nuthe, Pegel Woltersdorf 1 Wehr OP	35,2	362,92	326,63		b
Nuthe, oh. Mdg. Hammerfließ	34,5	362,94	326,66		b
Nuthe, uh. Mdg. Hammerfließ	34,5	575,02	538,74		r
Nuthe, oh. Mdg. Illichengraben	30,9	580,19	543,90		b
Nuthe, uh. Mdg. Illichengraben	30,9	597,35	561,06		b
Nuthe, oh. Mdg. Polenzgraben	29,0	598,13	561,85		b

Erläuterung zur Tabelle:

BE – Binneneinzugsgebiet

Mdg. – Abkürzung für Mündung



2.2 Berechnung der Abflusslängsschnitte

Die Berechnung der Abflusslängsschnitte erfolgte sowohl für die MNQ-, MQ- und MHQ-Verhältnisse als auch für die Bemessungsabflüsse HQ_T auf der Basis der Pegelstatistik. Als Stützstellen für die Berechnung dienten die vorliegenden gewässerkundlichen Hauptzahlen und die Bemessungsabflüsse HQ_T an den drei Nuthepegeln Jüterbog-Bürgermühle, Lindenberg und Woltersdorf 1, wobei die Entscheidung getroffen wurde, für den Hochwasserbereich einheitlich die Reihen *mit* Wirkung des HRB Jüterbog zu verwenden. Demzufolge wurden für die Mittel- und Niedrigwasserabflüsse jeweils die MQ- und MNQ-Werte verwendet, die auf dem gesamten Beobachtungszeitraum basieren und für die Hochwasserabflüsse die MHQ und HQ_T , die auf der verkürzten Reihe ab 1990 basieren (vgl. Tabelle 2-2). Der Pegel Lindenberg wurde als Stützstelle auf halber Strecke zwischen Jüterbog-Bürgermühle und Woltersdorf 1 mit einbezogen, da Untersuchungen zeigten, dass bei Interpolation der Abflüsse nur zwischen Jüterbog-Bürgermühle und Woltersdorf 1 die berechneten Abflüsse in Lindenberg beträchtlich von den gewässerkundlichen Hauptwerten abweichen würden.

Weiterhin wurde der Ansatz der Binneneinzugsgebiete mit dem LUA Brandenburg abgestimmt. Danach wurden für die MNQ- und MQ-Längsschnitte die Flächen der Binneneinzugsgebiete mit eingerechnet, während bei den Längsschnitten der MHQ und HQ_T diese nicht mit berücksichtigt wurden.

Die Abflüsse wurden gewässerabschnittsweise berechnet. Am Beispiel des mittleren Abflusses MQ und des mittleren Hochwasserabflusses MHQ ist im Folgenden die Berechnung der Abflusslängsschnitte näher erläutert. Für MNQ und HQ_T wurde analog vorgegangen.

Nutheabflüsse bis Woltersdorf 1

Die Nutheabflüsse bis Woltersdorf 1 konnten durch Interpolation der Pegelabflüsse in zwei Abschnitten berechnet werden:

- Abschnitt 1: Jüterbog-Bürgermühle bis Lindenberg
- Abschnitt 2: Lindenberg bis Woltersdorf 1.

Die Berechnungsgleichungen lauten

im Abschnitt 1

$$MQ_{x1} = [(AE_{x1} - AE_{JB}) / (AE_{LB} - AE_{JB})] * (MQ_{LB} - MQ_{JB}) + MQ_{JB} \quad (1)$$

mit

MQ_{x1} - MQ am Gewässerquerschnitt X1 im Abschnitt 1

AE_{x1} - Einzugsgebietsfläche am Querschnitt X1

AE_{JB} - Einzugsgebietsfläche am Pegel Jüterbog-Bürgermühle

AE_{LB} - Einzugsgebietsfläche am Pegel Lindenberg

MQ_{LB} - MQ am Pegel Lindenberg

MQ_{JB} - MQ am Pegel Jüterbog-Bürgermühle

und im Abschnitt 2

$$MQ_{x2} = [(AE_{x2} - AE_{LB}) / (AE_{W0} - AE_{LB})] * (MQ_{W0} - MQ_{LB}) + MQ_{LB} \quad (2)$$

mit

MQ_{x2} - MQ am Gewässerquerschnitt X2 im Abschnitt 2



AE_{x2} - Einzugsgebietsfläche am Querschnitt X2
 AE_{LB} - Einzugsgebietsfläche am Pegel Lindenberg
 AE_{W0} - Einzugsgebietsfläche am Pegel Woltersdorf 1
 MQ_{W0} - MQ am Pegel Woltersdorf 1
 MQ_{LB} - MQ am Pegel Lindenberg

Nutheabflüsse oberhalb der Einmündung des Hammerfließes

Die Nutheabflüsse oberhalb der Einmündung des Hammerfließes konnten aufgrund des kleinen Zwischengebietes von nur 0,03 km² ermittelt werden, indem die Abflüsse von Woltersdorf 1 mit dem Flächenfaktor (Einzugsgebietsfläche oberhalb Einmündung des Hammerfließes/Einzugsgebietsfläche am Pegel Woltersdorf 1) multipliziert wurden.

Nutheabflüsse unterhalb der Einmündung des Hammerfließes bis oberhalb Einmündung Polenzgraben

Für die Berechnung der Nutheabflüsse unterhalb der Einmündung des Hammerfließes bis oberhalb Einmündung Polenzgraben wurden entsprechend dem zu berechnenden Abflusswert folgende Beziehungen angewendet: Für Abflusskennwerte im Mittel- und Niedrigwasserbereich (MQ und MNQ) wurden die Nutheabflüsse oberhalb des Hammerfließes und die Abflüsse aus dem Hammerfließ addiert. Unterhalb des Hammerfließes wurden die Abflüsse nach Gleichung (3) berechnet, da davon ausgegangen werden kann, dass das Prinzip der Konstanz der Abflussspenden gilt:

$$MQ_Y = MQ_{HF} * (AE_Y/AE_{HF}) \quad (3)$$

mit

MQ_Y - MQ am Querschnitt Y

MQ_{HF} - MQ unterhalb der Einmündung des Hammerfließes

AE_Y - Einzugsgebietsfläche am Querschnitt Y

AE_{HF} - Einzugsgebietsfläche unterhalb der Einmündung des Hammerfließes

Die Abflusskennwerte im Hochwasserbereich (MHQ und HQ_T) wurden ermittelt, indem die für die Nuthe oberhalb des Hammerfließes ermittelten MHQ und HQ_T nach folgender Beziehung (DYCK et al., 1980) übertragen wurden, da von konstanten Abflussspenden nicht ausgegangen werden kann:

$$MHQ_Y = MHQ_{HF} * (AE_Y/AE_{HF})^{0,7} \quad (4)$$

mit

MHQ_Y - MHQ am Querschnitt Y

MHQ_{HF} - MHQ oberhalb der Einmündung des Hammerfließes

AE_Y - Einzugsgebietsfläche am Querschnitt Y

AE_{HF} - Einzugsgebietsfläche oberhalb Einmündung des Hammerfließes

In den beiden folgenden Tabellen sind die nach den oben beschriebenen Ansätzen berechneten Abflusslängsschnitte für die Nuthe dargestellt. Die fettgedruckten Zeilen heben die Stützstellen hervor und sind die gewässerkundlichen Hauptzahlen bzw. die HQ_T an den drei Nuthepegeln.



Tabelle 2-4: Abflusslängsschnitte für MNQ, MQ und MHQ

Gewässerquerschnitt	Fluss-km	MNQ	MQ	MHQ
		[m ³ /s]		
Nuthe, Jüterbog-Bürgermühle	54,0	0,043	0,217	1,53
Nuthe, oh. Mdg. Markendorfer Graben	53,6	0,043	0,218	1,53
Nuthe, uh. Mdg. Markendorfer Graben	53,6	0,132	0,375	1,76
Nuthe, oh. Mdg. Zinnaer Ostgraben	50,7	0,134	0,379	1,77
Nuthe, uh. Mdg. Zinnaer Ostgraben	50,7	0,138	0,387	1,79
Nuthe, oh. Mdg. Zinnaer Klostergraben	49,4	0,139	0,388	1,79
Nuthe, uh. Mdg. Zinnaer Klostergraben	49,4	0,142	0,394	1,80
Nuthe oh. Mdg. Grönaer Graben	47,1	0,146	0,401	1,81
Nuthe uh. Mdg. Grönaer Graben	47,1	0,189	0,477	1,96
Nuthe, Lindenberg Wehr OP	44,4	0,204	0,504	2,01
Nuthe, oh. Abzweig Stadtnuthe	42,9	0,205	0,523	2,05
Stadtnuthe, Pegel Luckenwalde Kleinbahnwehr OP	42,7	0,205	0,524	2,05
Stadtnuthe, Pegel Luckenwalde Postbrücke	40,5	0,205	0,544	2,09
Stadtnuthe, oh. Mdg. Königsgraben	37,0	0,206	0,556	2,12
Nuthe, uh. Mdg. Königsgraben	37,0	0,207	0,592	2,19
Nuthe, oh. Mdg. Steinerfließ	36,8	0,207	0,592	2,19
Nuthe, uh. Mdg. Steinerfließ	36,8	0,222	1,03	2,98
Nuthe, oh. Mdg. Kreuzfeldgraben	36,2	0,222	1,03	2,98
Nuthe, uh. Mdg. Kreuzfeldgraben	36,2	0,224	1,08	3,09
Nuthe, Woltersdorf 1 Wehr OP	35,2	0,224	1,08	3,09
Nuthe, oh. Mdg. Hammerfließ	34,5	0,224	1,08	3,09
Nuthe, uh. Mdg. Hammerfließ	34,5	0,470	2,19	4,39
Nuthe, oh. Mdg. Illichengraben	30,9	0,474	2,21	4,42
Nuthe, uh. Mdg. Illichengraben	30,9	0,488	2,28	4,51
Nuthe, oh. Mdg. Polenzgraben	29,0	0,489	2,28	4,52

Tabelle 2-5: Abflusslängsschnitt für die HQ_T

Gewässerquerschnitt an der Nuthe	Fluss-km	HQ ₂	HQ ₅	HQ ₁₀	HQ ₂₀	HQ ₅₀	HQ ₁₀₀	HQ ₂₀₀
		[m ³ /s]						
Nuthe, Jüterbog-Bürgermühle	54,0	1,42	2,02	2,37	2,68	3,05	3,30	3,54
oh. Mdg. Markendorfer Graben	53,6	1,42	2,02	2,37	2,68	3,05	3,31	3,55
Nuthe, uh. Mdg. Markendorfer Graben	53,6	1,78	2,51	2,97	3,43	3,99	4,38	4,75
Nuthe, oh. Mdg. Zinnaer Ostgraben	50,7	1,79	2,52	2,99	3,45	4,02	4,41	4,78
Nuthe, uh. Mdg. Zinnaer Ostgraben	50,7	1,81	2,55	3,03	3,50	4,08	4,48	4,86
Nuthe, oh. Mdg. Zinnaer Klostergraben	49,4	1,81	2,56	3,03	3,51	4,09	4,49	4,88
Nuthe, uh. Mdg. Zinnaer Klostergraben	49,4	1,83	2,58	3,06	3,54	4,13	4,54	4,93
Nuthe oh. Mdg. Grönaer Graben	47,1	1,85	2,61	3,09	3,58	4,18	4,60	5,00



Gewässerquerschnitt an der Nuthe	Fluss-km	HQ ₂	HQ ₅	HQ ₁₀	HQ ₂₀	HQ ₅₀	HQ ₁₀₀	HQ ₂₀₀
		[m ³ /s]						
Nuthe uh. Mdg. Grönaer Graben	47,1	2,07	2,91	3,47	4,05	4,77	5,27	5,75
Nuthe, Lindenberg Wehr OP	44,4	2,15	3,02	3,60	4,22	4,98	5,51	6,02
Nuthe, oh. Abzweig Stadtnuthe	42,9	2,16	3,06	3,67	4,33	5,16	5,74	6,31
Stadtnuthe, Pegel Luckenwalde Kleinbahnwehr OP	42,7	2,16	3,06	3,68	4,34	5,16	5,74	6,31
Stadtnuthe, Pegel Luckenwalde Postbrücke	40,5	2,17	3,10	3,75	4,46	5,34	5,98	6,62
Stadtnuthe, oh. Mdg. Königsgraben	37,0	2,18	3,13	3,80	4,52	5,45	6,12	6,79
Nuthe, uh. Mdg. Königsgraben	37,0	2,20	3,20	3,94	4,74	5,78	6,55	7,33
Nuthe, oh. Mdg. Steinerfließ	36,8	2,20	3,20	3,94	4,74	5,78	6,55	7,33
Nuthe, uh. Mdg. Steinerfließ	36,8	2,41	3,98	5,38	6,94	9,18	11,0	12,9
Nuthe, oh. Mdg. Kreuzfeldgraben	36,2	2,41	3,98	5,38	6,94	9,19	11,0	12,9
Nuthe, uh. Mdg. Kreuzfeldgraben	36,2	2,44	4,09	5,59	7,25	9,67	11,6	13,7
Nuthe, Woltersdorf 1 Wehr OP	35,2	2,44	4,09	5,59	7,25	9,67	11,6	13,7
Nuthe, oh. Mdg. Hammerfließ	34,5	2,44	4,09	5,59	7,25	9,67	11,6	13,7
Nuthe, uh. Mdg. Hammerfließ	34,5	3,46	5,81	7,93	10,3	13,7	16,5	19,4
Nuthe, oh. Mdg. Illichengraben	30,9	3,49	5,84	7,99	10,4	13,8	16,6	19,6
Nuthe, uh. Mdg. Illichengraben	30,9	3,56	5,97	8,16	10,6	14,1	16,9	20,0
Nuthe, oh. Mdg. Polenzgraben	29,0	3,57	5,98	8,17	10,6	14,1	17,0	20,0

Bei der Interpretation der Ergebnisse sind zwei Punkte hervorzuheben. Zum einen überträgt sich die statistische Unsicherheit in den HQ_T an den Pegeln auch auf die durch Interpolation berechneten HQ_T an den anderen Gewässerquerschnitten. So ist z. B. das HQ₁₀₀ des Nutheabflusses oberhalb der Aufteilung in Stadtnuthe und Königsgraben (5,74 m³/s) statistisch gesehen relativ unsicher, da der Gewässerquerschnitt im Interpolationsabschnitt zwischen Lindenberg und Woltersdorf 1 liegt und vor allem durch den HQ₁₀₀-Wert am Pegel Lindenberg bestimmt wird. Bei Verwendung der gesamten Beobachtungsreihe in Woltersdorf 1 (1984 bis 2006) zur Ermittlung der HQ_T würde sich ein ähnliches HQ₁₀₀ = 5,69 m³/s ergeben. Zum Vergleich: Bei einer Interpolation der Pegelabflüsse ohne die Stützstelle Lindenberg würde sich ein HQ₁₀₀ oberhalb des Königsgrabenabzweiges von 7,25 m³/s errechnen. Da nach Aussagen des LUA Brandenburg ein aufzuteilender Abfluss von ca. 7 m³/s als nicht mehr realistisch eingeschätzt wird, sondern hydrologische Studien in der oberen Nuthe auf eine erheblich geringere Menge im Bereich von ca. 5 m³/s hindeuten (Stellungnahme zum Zwischenbericht Leistungsphase 1 Planungsgrundlagen vom 30.04.2008), wurde der berechnete HQ₁₀₀-Wert von 5,74 m³/s als plausibel eingeschätzt und damit auch das Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Abflusslängsschnitte.

Zum anderen geben die Abflusslängsschnitte im Bereich von Luckenwalde keinen Aufschluss über eine Abflussaufteilung auf Stadtnuthe und Königsgraben. Die Längsschnitte geben lediglich die Abflüsse an, die sich aus dem Flächenzuwachs der Eigeneinzugsgebiete ergeben. Untersuchungen zur Abflussaufteilung wurden mit dem hydraulischen Modell (siehe Bericht 1D hydraulische Modellierung) durchgeführt.



3 Datengrundlage und Aufbau des N-A-Modells

3.1 Geographische Basisdaten

Ein wichtiger Grundsatz beim Aufbau des N-A-Modells war, auf eine einheitliche Geodatenbasis für das gesamte Untersuchungsgebiet zuzugreifen. Für den Aufbau des N-A-Modells (Basismodell) wurden folgende Geodaten benötigt: Einzugsgebietsgrenzen, Fließgewässer, Landnutzung, Bodenformen, Grundwasserisohypsen, Geländehöhen, Topographie. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die verwendeten digitalen Datenquellen, die vom LUA Brandenburg flächendeckend bereitgestellt wurden.

Tabelle 3-1: Geographische Basisdaten

Thema	Digitale Datenquelle	Flächen- deckung	Bemerkung
Einzugsgebiete	Flächenverzeichnis für EU-WRRL	100%	Ausgewiesen für alle Fließgewässer mit einer Einzugsgebietsgröße > 10 km ²
Fließgewässer	ATKIS-DLM 25 W	100%	Hauptwasserläufe für alle ausgewiesenen oberirdischen Einzugsgebiete
	ATKIS05_5101_I (Strom, Fluss, Bach)	100%	
	ATKIS05_5103_I (Graben, Kanal)	100%	
Landnutzung	CIR-Landnutzungskartierung	100%	
Bodenformen	Bodenübersichtskarte BÜK 300	100%	
Grundwasser	Grundwasserisohypsen aus der Vorratsprognose von 1989 des LUA BB	100%	
Geländehöhen	ATKIS-DGM 25	100%	
Topographie	TK 10, TK 25, TK50, TK 100	100%	Rasterdaten



3.2 Regenwasserkanalisation in Luckenwalde

3.2.1 Bestandsunterlagen zur Regenentwässerung Luckenwalde

Ein Schwerpunkt beim Aufbau des N-A-Modells war die Modellierung des Regenwasseranfalls aus der Kanalisation im Stadtgebiet Luckenwalde.

Zur Berücksichtigung der Regenentwässerung sind folgende Informationen aus den Bestandsunterlagen notwendig:

- Zuschnitt der an die Kanalisation angeschlossenen Einzugsgebiete und ihre Größe (Summe der befestigten Flächen),
- Dimensionierung der Regenwasser- und Mischwasserkanäle,
- Lage und Dimensionierung von Entlastungsbauwerken in der Kanalisation, über die Wasser in die natürlichen Gewässer gelangen kann (z. B. Regenüberläufe) und
- Lage und Dimensionierung von Bauwerken, die zur zeitweiligen Speicherung von Regenwasser dienen und damit den Abfluss verzögern (z. B. Regenrückhaltebecken, Stauraumkanäle).

Im Jahre 1991 wurde die Redeker Consult Luckenwalde Ingenieurgesellschaft mbH von der Stadt Luckenwalde beauftragt, einen Generalentwässerungsplan (GEP) für das gesamte Stadtgebiet aufzustellen. Im GEP wurde 1993 bis 1995 die Regenwasserkanalisation hydrodynamisch dimensioniert (GEP-Bestand) sowie Planungen zur Sanierung und Erweiterung der Regenwasserkanalisation (GEP-Plan) durchgeführt (GEP, 1995). Bei anderen Einrichtungen (Tiefbauamt, Untere Wasserbehörde) liegen keine Daten zur Regenentwässerung (Bestand und Planung) vor.

Laut GEP-Bestand ist in Luckenwalde nominell ein Trennsystem vorhanden. In einigen Bereichen sind allerdings keine Regenkanäle vorhanden. Dort sind vielfach die Straßenabläufe an die Schmutzwasserkanäle angeschlossen, wobei dann bei Regenwetter entsprechende Überlastungen entstehen. Da die Schmutzwasserableitung nicht Bestandteil der N-A-Modellierung ist, wurden die Stadtbereiche ohne Regenwasserkanalisation als natürliche Teilgebiete behandelt, d.h. das Regenwasser versickert entsprechend den natürlichen Boden- und Landnutzungsverhältnissen und entwässert zum natürlichen Vorfluter.

Die Regenwasserausläufe sind entlang der Stadtnuthe, des Röthegrabens und des Weichpohlteiches angeordnet. Innerhalb des Ableitungssystems bestehen keine Rückhaltebecken bzw. Stauräume. Zum Zeitpunkt der Erstellung des GEP entwässerte das Regenwasserkanalnetz eine Fläche von ca. 174 ha, was ungefähr 50 % der erforderlichen Gesamtentwässerungsfläche entspricht und das Problem der Regenwasserableitung veranschaulicht.

In den Untersuchungen zum GEP wurde bei den hydrodynamischen Berechnungen zum Bestand der Regenkanalisation ein Modellregen von 30 min mit einem Wiederkehrintervall von 1 Jahr angesetzt. Als Ergebnis der Modellrechnungen ist der Kanal an vielen Stellen übergelaufen. Die hydrodynamischen Berechnungen für die Planung der Regenkanalisation wurden so durchgeführt, dass bei einem Wiederkehrintervall von 1 und 2 Jahren der Kanal zwar eingestaut, aber nicht überstaut wird. Der GEP wurde nur in Teilen bautechnisch umgesetzt.



Folgende Daten wurden von Redeker Consult zur Verfügung gestellt:

- Stadtgrundkarte Luckenwalde (digital),
- Analoge Pläne mit den Einzugsgebieten der Regenwasserkanalisation aus dem GEP (Bestand und Planung),
- Vereinfachte Einzugsgebiete (digital),
- Regenwasserkanalisation aus GIS Stadt Luckenwalde mit Lage der Hauptsammler, der Abwasserschächte und der Abwasseranschlüsse (digital),
- Angaben zur Dimensionierung der Regenwasserkanalisation,
- Regenwassereinleitstellen mit Angaben zur angeschlossenen Fläche, zu den angeschlossenen Straßenzügen und zur Dimensionierung der Regenüberläufe (Nennweiten),
- Erläuterungsbericht zum GEP (Angaben zum Gefälle der Kanäle, Vorflutverhältnisse).

Die Daten zu den angeschlossenen Einzugsgebieten der Regenwassereinleitungsstellen, im Folgenden kurz als Entwässerungsgebiete bezeichnet, mussten komplettiert werden, da die von Redeker Consult übergebenen Polygonzüge nur die angeschlossenen Straßenflächen mit halber Hausfläche aus einer vereinfachten Berechnung für wasserrechtliche Erlaubnisse enthalten und nicht die gesamten angeschlossenen Flächen. Allerdings sind darin die nach 1995 angeschlossenen Straßenzüge berücksichtigt. Die Abbildung 3-1 gibt einen Überblick zu den Entwässerungsgebieten aus dem GEP (Bestand, Plan).

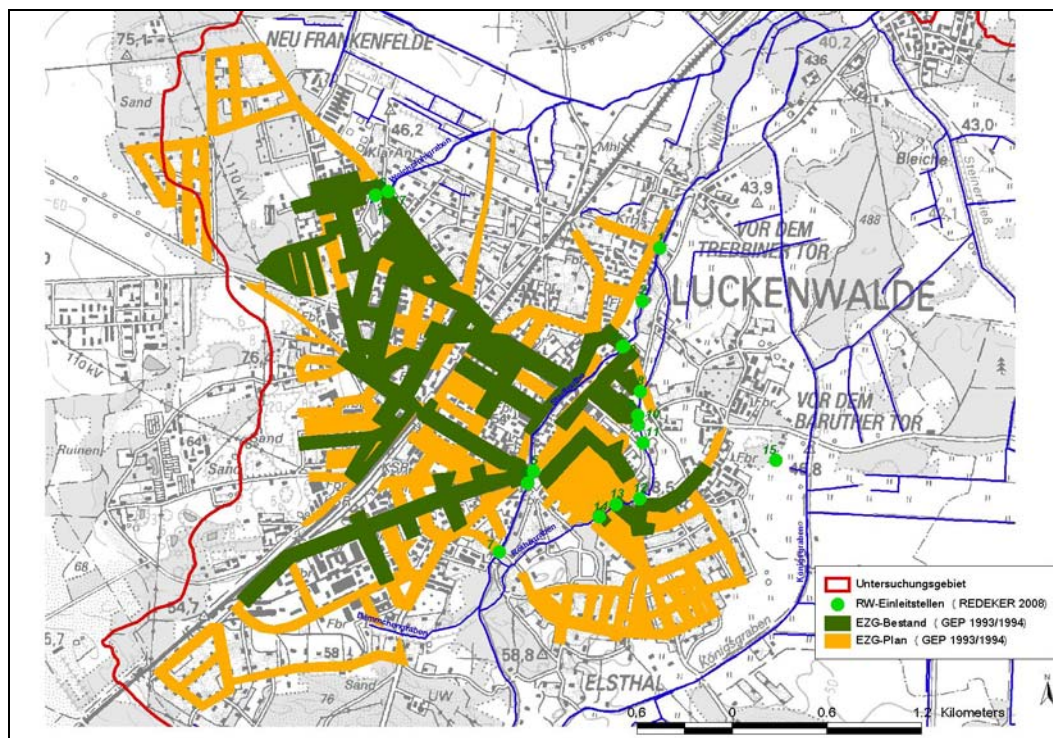


Abbildung 3-1: Entwässerungsgebiete aus dem GEP (grün-Bestand, gelb-Plan) und die Einleitungsstellen



Die Entwässerungsflächen (Ist-Zustand) wurden deshalb in Abstimmung mit Redeker Consult wie folgt ermittelt:

Die Grundlage für die anzusetzenden Entwässerungsgebiete waren die Einzugsgebiete „Bestand-Regenwasser“ aus dem Generalentwässerungsplan (GEP) von 1993/1994. Diese Bestands-Einzugsgebiete wurden durch die aktuellen Gebiete von Redeker Consult ergänzt und dabei mit den GEP-Plan-Gebieten abgeglichen. In den folgenden Bildern sind jeweils die vereinfachten Einzugsgebiete von Redeker Consult mit dargestellt. Bei der Ergänzung wurden folgende allgemeine Annahmen getroffen, die jeweils mit einem Beispiel erläutert sind:

1. Stimmen die von Redeker Consult ausgewiesenen Gebiete mit den GEP-Bestand-Gebieten (grün) überein, werden die GEP-Bestand-Gebiete angesetzt, da diese im Gegensatz zu den vereinfachten Einzugsgebieten von Redeker Consult die gesamte Entwässerungsfläche angeben:



2. Stimmen die zusätzlichen von Redeker Consult ausgewiesenen Gebiete mit den GEP-Plan-Gebieten (gelb) überein, werden die GEP-Plan-Gebiete angesetzt:





3. Liegen zu den von Redeker Consult ausgewiesenen Gebieten keine GEP-Plan-Gebiete vor, werden die von Redeker Consult ausgewiesenen Gebiete angesetzt:



4. Sind die von Redeker Consult ausgewiesenen Gebiete größer als die GEP-Plan-Gebiete, werden die von Redeker Consult ausgewiesenen Gebiete angesetzt:



Ausnahmen wurden einzeln geklärt. Im Ergebnis entstand ein ArcView-Shapefile mit den Entwässerungsgebieten in Luckenwalde, die den Regenwassereinleitungsstellen zugeordnet werden können. Diese Entwässerungsgebiete wurden mit den natürlichen Teilgebieten verschnitten und daraus so genannte urbane Teilgebiete abgeleitet, die im N-A-Modell entsprechend parametrisiert werden konnten (siehe Abschnitt 3.4). Die Entwässerungsgebiete sind in Abbildung 3-2 dargestellt.



Kenngrößen für die Regenwasserkanalisation

Aus den vorliegenden Daten wurden die Kenngrößen für die Regenwasserkanalisation abgeleitet, die in Tabelle 3-2 dargestellt sind. Zu den Einleitstellen sind jeweils neben der angeschlossene Fläche des Entwässerungsgebietes, das mittlere Gefälle, der maximale Durchmesser und die Länge des Kanals und der sich aus Durchmesser und Länge errechnende Stauraum angegeben. Die Sohlengefälle wurden dem Erläuterungsbericht zur GEP entnommen. Waren keine Angaben vorhanden, wurde das mittlere Gefälle von 0,03 % angesetzt. Der Kanal im Entwässerungsgebiet der Einleitstelle 4 ist teilweise als Eiprofil ausgebildet. Für die Modellierung wurde aber einheitlich von einem Kreiskanal ausgegangen, da für jede Einleitstelle jeweils nur eine Kanalstrecke mit einem einheitlichen Durchmesser angesetzt wurde. Für den Durchmesser wurde aus dem vorgegebenen Nennweitenbereich jeweils das Maximum ausgewählt. Bei der Ermittlung der Kanallänge wurden die Hauptsammler und großen Anschlusssammler berücksichtigt. Die Angaben zum Kanaldurchmesser und -länge wurden den Redeker Consult-Unterlagen entnommen. Aus Durchmesser und Länge wurde anschließend der Kanalstauraum berechnet.

Tabelle 3-2: Kenngrößen zur Regenwasserkanalisation in Luckenwalde

Kanal	Einleitstelle		Gewässer	ange- schlossene Fläche [ha]	Gefälle [%]	max. Durch- messer [m]	Länge [m]	Stauraum [Tm ³]
	Rechts- wert	Hoch- wert						
1	3375458	5773677	Stadtnuthe	4,30	0,03	0,50	1003,0	0,197
2	3375345	5773341	Stadtnuthe	7,11	0,02	0,60	1179,0	0,333
3	3375228	5773055	Stadtnuthe	8,23	0,03	0,40	1515,0	0,190
4	3375222	5773055	Stadtnuthe	62,17	0,03	0,80	9474,0	4,762
5	3374657	5772264	Stadtnuthe	35,89	0,03	1,00	4820,0	3,786
6	3374621	5772188	Stadtnuthe	0,70	0,03	0,60	174,0	0,049
7	3374442	5771754	Stadtnuthe	8,77	0,03	0,50	1713,0	0,336
8	3375333	5772768	Röthegraben	1,42	0,04	0,40	192,0	0,024
9	3375320	5772619	Röthegraben	4,30	0,04	0,30	878,0	0,062
10	3375322	5772556	Röthegraben	10,68	0,03	0,80	1708,0	0,859
11	3375350	5772443	Röthegraben	0,73	0,05	0,30	136,0	0,010
12	3375329	5772093	Röthegraben	3,83	0,005	0,50	834,0	0,164
13	3375181	5772055	Röthegraben	2,96	0,03	0,40	364,0	0,046
14	3375075	5771976	Röthegraben	0,53	0,03	0,45	67,0	0,011
15	3376189	5772330	Königsgraben	8,67	0,005	0,60	1583,0	0,448
16	3373741	5774035	Weichpfuhlgraben	23,92	0,03	0,60	4510,0	1,275
17	3373741	5774035	Weichpfuhlgraben	24,82	0,04	0,60	3912,0	1,106
18	3373659	5774011	Weichpfuhlgraben	5,56	0,05	0,60	922,0	0,261

Kursiv – mittleres Gefälle angesetzt

Tabelle 3-2 zeigt, dass die Regenwasserkanalisation in Luckenwalde zum jetzigen Zeitpunkt eine Fläche von ca. 215 ha entwässert, wobei 60 % der angeschlossenen Flächen über sieben Regenwassereinleitstellen direkt in die Stadtnuthe entwässern.

In der folgenden Abbildung 3-2 sind alle 18 Regenwassereinleitstellen zusammen mit den angeschlossenen Entwässerungsgebieten dargestellt.

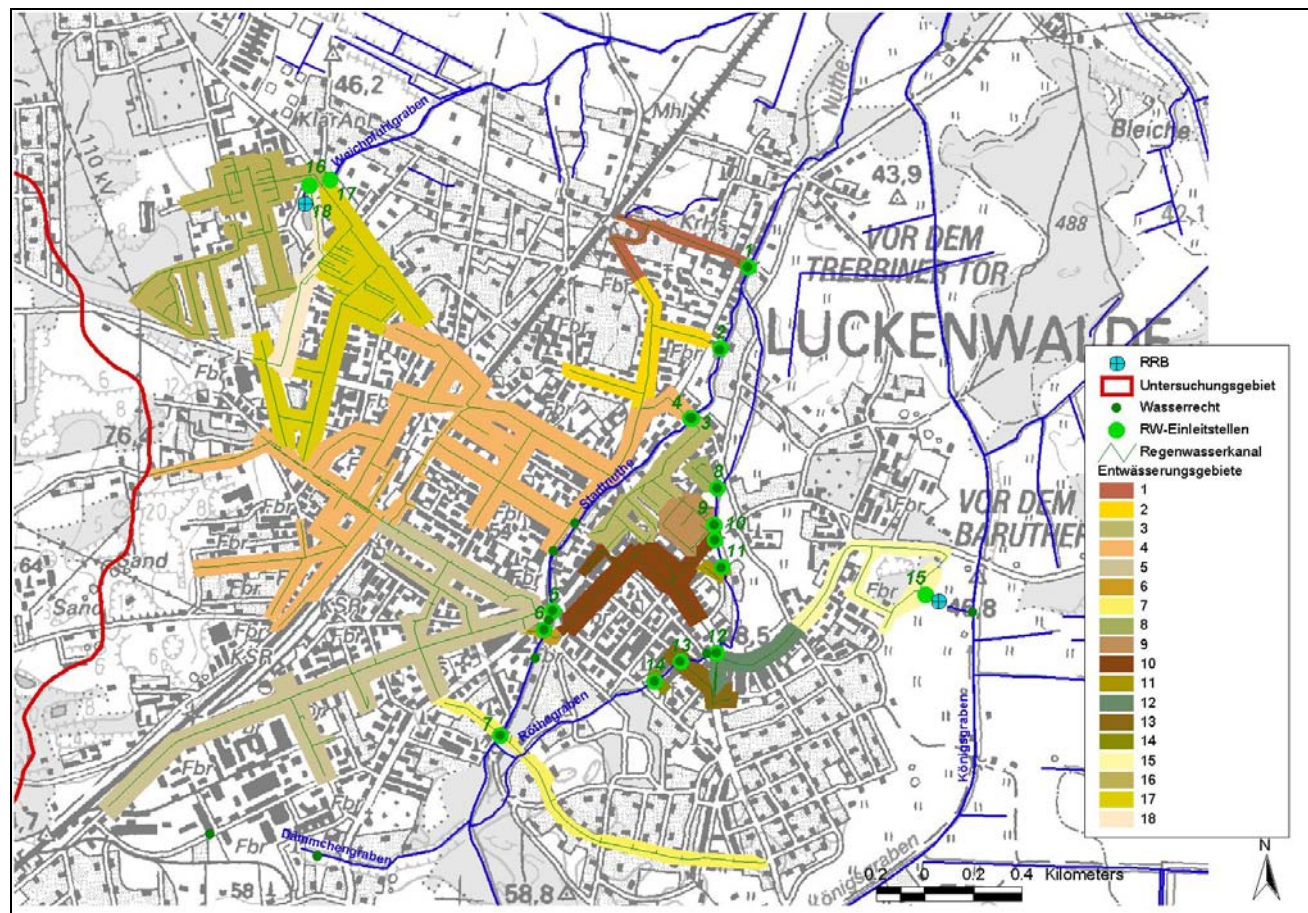


Abbildung 3-2: Regenwassereinleitstellen mit angeschlossenen Entwässerungsflächen, den wasserrechtlich erlaubten Einleitungspunkten und den Regenrückhaltebecken

Regenrückhaltebecken (RRB)

Im Stadtgebiet von Luckenwalde befinden sich weiterhin zwei aktive Regenrückhaltebecken,

- der Weichpfuhlteich am Weichpfuhlgraben und
- das RRB „Am Honigberg“ am Königgraben,

die sich beide im Nebenschluss eines Vorfluters befinden und in der Abbildung 3-2 verortet sind.

Der Weichpfuhlteich im Nordwesten der Stadt mündet in den Weichpfuhlgraben, der unterhalb der Einmündung des Königgrabens in die Nuthe mündet. In den Weichpfuhlgraben entwässern drei Regenwasserkanäle (Einleitstellen 16, 17 und 18). Planungsunterlagen zum Weichpfuhlteich lagen sowohl bei Redeker Consult als auch beim Tiefbauamt in Luckenwalde nicht vor. Im Osten der Stadt liegt am Königgraben das Regenrückhaltebecken „Am Honigberg“. Die an die Einleitstelle 15 angeschlossenen Flächen entwässern über das Regenrückhaltebecken in den Königgraben. Im Auslauf des Beckens befindet sich eine Pumpe. Angaben zur Pumpe und zum Regenrückhaltebecken lagen allerdings auch hier nicht vor. Laut Aussage des Tiefbauamtes ist die Speicherwirkung sowohl



des Weichpfuhlteiches als auch des Beckens „Am Honigberg“ nur sehr begrenzt. Auf den Abfluss in der Stadtnuthe ist keine Wirkung zu verzeichnen. Da auch keine Daten zur Dimensionierung der beschriebenen Regenrückhaltebecken (Volumen, Drosselabfluss) vorlagen, wurden die RRB im N-A-Modell nicht berücksichtigt.

Regenrückhaltebecken, die direkt den Regenwasserabfluss in die Stadtnuthe regulieren, sind nicht vorhanden.

Wasserrechtliche Erlaubnisse

Die Untere Wasserbehörde des Landkreises Teltow-Fläming übergab Daten zu wasserrechtlich erlaubten Einleitungen (Lageplan, Einleitungsmengen), die auf ein 15-minütiges einjähriges Regenereignis bemessen sind. Die Einleitstellen sind in der Abbildung 3-2 dargestellt und betreffen die Stadtnuthe, den Röthe- und Dämmchengraben sowie den Königsgraben. Aus den Daten geht hervor, dass bis auf die Regenwassereinleitstellen in den Weichpfuhlgraben (16, 17 und 18) alle Einleitstellen in Luckenwalde eine wasserrechtliche Erlaubnis haben. Die folgende Tabelle 3-3 enthält die Angaben aus den wasserrechtlichen Erlaubnissen für die Regenwassereinleitungen sowie industrielle und kommunale Einleiter. Die Summe der genehmigten Einleitungsmengen beträgt demnach 6,63 m³/s, wobei die Einleitungsmengen aus der Regenkanalisation mit rund 6,0 m³/s den größten Anteil ausmachen. Die genehmigte Regenwassereinleitungsmenge teilt sich dabei zu 4,6 m³/s auf die Stadtnuthe, 1,0 m³/s auf den Röthegraben und 0,394 m³/s auf den Königsgraben auf.

Tabelle 3-3: Wasserrechtlich erlaubte Einleitungen in Luckenwalde

Registrier- nummer	Bezeichnung	Rechts- wert	Hoch- wert	Einleitungsmenge		Gewäs- ser	RW- einleit- stelle
				[m ³]	[m ³ /s]		
Ab-N-Lh-11	Kraftverkehr Luckenwalde Verkehrshof	3373248	5771349	49,5	0,055	Nuthe	-
Ab-N-Lh-30/1	Stadt Luckenwalde Krankenhausgelände	3375458	5773676	58,516	0,065	Nuthe	-
Ab-N-Lh-31	HaBe Bauträger GmbH, Wohnanlage ehem. Volltuchge.	3374661	5772511	124,83	0,139	Nuthe	-
Ab-N-Lh-33/2	Landkreis Teltow-Fläming Krankenhausstandort LW.	3374585	5772068	7,7	0,009	Nuthe	-
Ab-N-Lh-35	Stadt Luckenwalde Krankenhausgelände Bereich Breitscheid-/Parkstr.	3374642	5772226	7,56	0,008	Nuthe	-
Ab-N-Lh-36	HRR Wetzlar mbH, Grundstück Neue Baruther Straße	3375291	5772089	45,75	0,051	Röthe- graben	-
Ab-N-Lh-42	Ministerium der Finanzen, Finanzamt Luckenwalde	3373691	5771259	26	0,029	Dämm- chengra- ben	-
Ab-N-Lh-45	Stadt Luckenwalde, Stadtgebiet/Poststraße	3374750	5772623	19,44	0,022	Nuthe	-
Ab-N-Lh-47/2	INA-Schaeffler KG, Betriebsgelände Luckenwalde	3373691	5771257	189,54	0,211	Dämm- chengra-	-



Registrier- nummer	Bezeichnung	Rechts- wert	Hoch- wert	Einleitungsmenge		Gewäs- ser	RW- einleit- stelle
				[m ³]	[m ³ /s]		
						ben	
Ab-N-Lh-20/1	NW-Abl. Straße zum Freibad, Luckenwalde	3374442	5771754	438,55	0,487	Nuthe	7
Ab-N-Lh-46/2	NW-Abl. Saarstraße Luckenwalde	3375458	5773677	204,91	0,228	Nuthe	1
Ab-N-Lh-53/1	NW-Abl. Potsdamer Straße, Luckenwalde	3375343	5773337	206,82	0,23	Nuthe	2
Ab-N-Lh-58/1	NW-Abl. Lindenstraße Luckenwalde	3375228	5773056	343,02	0,381	Nuthe	3
Ab-N-Lh-67	NW-Abl. Am Burgwall u. Heinrichsweg Luckenwalde	3375333	5772768	49,15	0,055	Röthe- graben	8
Ab-N-Lh-68	NW-Abl. Am Burgwall... Luckenwalde	3375320	5772619	225,62	0,251	Röthe- graben	9
Ab-N-Lh-69	NW-Abl. Straße Am Nuthefließ Luckenwalde	3374621	5772188	47,84	0,053	Nuthe	6
Ab-N-Lh-70	NW-Abl. Salzufler Allee Luckenwalde	3375350	5772443	50,14	0,056	Röthe- graben	11
Ab-N-Lh-71	NW-Abl. Kirchhofs- weg/Röthegraben, Lucken- walde	3375322	5772556	381,2	0,424	Röthe- graben	10
Ab-N-Lh-72	NW-Abl. Gottower Straße, Luckenwalde	3375329	5772093	130,36	0,145	Röthe- graben	12
Ab-N-Lh-76	NW-Abl. Dahmer Straße, Rosa-Luxemburg-Str. Lw	3375181	5772055	81,32	0,09	Röthe- graben	13
Ab-N-Lh-77	NW-Ab. Brahmuschstraße Luckenwalde	3375075	5771976	18,14	0,02	Röthe- graben	14
Ab-N-Lh-81	NW-Abl. Rudolf-Breitscheid-Straße Luckenwalde	3374657	5772264	1045,7	1,162	Nuthe	5
Ab-N-Lh-83	NW-Abl. Lindenstr., Schützenstr. ... Luckenwalde	3375222	5773055	1859,24	2,066	Nuthe	4
Ab-N-Lh-84	NW-Ableit, Am Honigberg, Luckenwalde	3376380	5772260	356,32	0,396	Königs- graben	15

3.3 Stauanlagen

3.3.1.1 Hochwasserrückhaltebecken (HRB) Jüterbog

Das HRB Jüterbog dient ausschließlich dem Hochwasserschutz, vorrangig für die Stadt Jüterbog, und ging 1990 in Betrieb. Grundlage für die Berücksichtigung des HRB Jüterbog im N-A-Modell bildeten die vorliegenden Planungsunterlagen (PROWA, 1983), die dem Bericht BAH (1998) entnommen wurden, sowie die Untersuchungen von SCHIMANOSWKI zur Aktualisierung der Kennlinien zum Abfluss und zum Speichervolumen (SCHIMANOSWKI, 2007).

Das HRB Jüterbog wird ohne Teil- oder Dauerstau als grünes Becken betrieben, das ständig von der Nuthe durchflossen wird und nicht regulierbar ist. Nach Aussage des LUA Brandenburg dient das HRB dem Schutz im Winter-Hochwasserfall (Niederschlag auf gefrorenem Boden bzw.



Schneedecke), bei Sommerhochwässern wird das HRB Jüterbog in der Regel nicht eingestaut.

Die folgenden Kenngrößen des HRB Jüterbog wurden dem Bericht BAH (1998) entnommen und beruhen auf den Planungsunterlagen von 1983. Das Hochwasserrückhaltebecken wurde mit einem Speichervolumen von 1,35 Mio. m³ errichtet. Das angeschlossene Einzugsgebiet ist 123 km² groß. Der Grundablass des Beckens ist als Doppelrohrleitung DN 1000 mit einer maximalen Kapazität von ca. 1,9 m³/s ausgelegt. Beim Erreichen der Stauhöhe von 3,80 m bzw. 75,30 mNN wird die Hochwasserentlastung über einen HW-Überlauf wirksam. Die Dammkrone liegt bei 76,50 mNN, das Beckenvolumen bei 870.000 m³. Für den Einbau des HRB Jüterbog in das N-A-Modell sind die Speicherinhalts- und Stauflächenlinien sowie Daten zur Ablaufcharakteristik erforderlich, die in folgender Tabelle dargestellt sind.

Tabelle 3-4: Speicherinhalts-/Stauflächenlinien und Leistungskurven des HRB Jüterbog (BAH, 1998)

Stauhöhe [mNN]	Stauinhalt [m ³]	Wasserfläche [m ²]	Grundablass [m ³ /s]	HW-Überlaufhöhe [m]	Leistung HW-Überlauf [m ³ /s]
71,28			0,683		
71,50			0,810		
72,00	10.000	31.000	1,01		
72,50	30.000	80.000	1,155		
73,00	70.000	135.000	1,375		
73,50	150.000	210.000	1,52		
74,00	275.000	290.000	1,66		
74,50	450.000	400.000	1,785		
75,00	670.000	525.000	1,895		
75,30	870.000	600.000	1,93	0,0	
75,50	1.000.000	690.000	1,93	0,2	0,68
75,60	1.020.000	705.000	1,92	0,3	1,32
75,70	1.050.000	725.000	1,91	0,4	2,08
75,80	1.270.000	850.000	1,88	0,5	3,00
76,00	1.350.000	910.000		0,7	

Der Vollstau ist für ein Bemessungshochwasser (BHQ) angesetzt, welches einem HQ₂₀₀ entspricht (SCHIMANOWSKI, 2007). Laut Aussage des LUA Brandenburg wurde das HRB so bemessen, dass auch ein HQ₅₀₀ schadlos aufgenommen werden kann, ohne dass es zu erhöhten Belastungen im Gewässerprofil kommt. Bei Zuflüssen, die einem HQ₅₀₀ entsprechen, wird



das Hochwasserentlastungsbauwerk (Schachtüberfall) in Anspruch genommen.

Für das HRB waren mit dem wasserwirtschaftlichen Vorbescheid vom 10.6.1981 und dem Nachtrag vom 2.2.1983 folgende Bemessungshochwässer (Zuflüsse zum HRB) definiert worden:

$$HQ_{25} = 4,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ_{100} = 5,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ_{200} = 6,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ_{500} = 7,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Von SCHIMANOSWKI (2007) wurden die Speicherinhaltslinie und die Kennlinie zum Abfluss aus dem HRB geprüft und überarbeitet. Inhalt der genannten Masterarbeit waren Untersuchungen zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Beckens. Mittels einer N-A-Modellierung im Einzugsgebiet des HRB wurden abgelaufene Hochwasserganglinien rekonstruiert und die Wirkung des HRB untersucht. Um Aussagen über das Abflussverhalten aus dem Einzugsgebiet zu erhalten, war es erforderlich, auch für geringe Stauhöhen (Pegelstände) den Abfluss aus dem HRB ermitteln zu können. Die Untersuchungen und Berechnungen von SCHIMANOSWKI führten zu etwas anderen Kenngrößen des HRB Jüterbog. Vor allem die Berechnung der Leistungskurve des Grundablasses wurde von SCHIMANOSWKI überarbeitet. So wird der Grundablass des Beckens mit einer maximalen Kapazität von 1,53 m³/s angegeben. Das maximale Stauvolumen beträgt 1,36 Mio. m³ und das Beckenvolumen 740.000 m³.

Zum Vergleich sind in der folgenden Tabelle die wichtigsten Kenngrößen für das HRB nach den Berechnungen von SCHIMANOSWKI (2007) dargestellt.

Tabelle 3-5: Speicherinhaltslinie und Leistungskurven des HRB Jüterbog (SCHIMANOSWKI, 2007)

Stauhöhe [mNN]	Stauinhalt [m ³]	Grundablass [m ³ /s]	Leistung HW-Überlauf [m ³ /s]
70,27	0	0	
70,29	0	0,001	
70,33	0	0,004	
70,39	0	0,007	
70,47	0	0,010	
70,76	0	0,184	
71,26	10.000	0,543	
71,76	20.000	0,746	
72,26	30.000	0,887	
72,76	60.000	1,011	
73,26	110.000	1,122	
73,76	190.000	1,223	
74,26	300.000	1,318	
74,76	470.000	1,406	
75,26	690.000	1,489	



Stauhöhe [mNN]	Stauinhalt [m³]	Grundablass [m³/s]	Leistung HW- Überlauf [m³/s]
75,36	740.000	1,506	
75,37	750.000	1,507	0,008
75,46	800.000	1,517	0,261
75,56	900.000	1,524	0,74
75,66	920.000	1,530	1,359
75,76	980.000	1,533	2,092
75,86	1.050.000	1,532	2,923
76,26	1.360.000	1,531	3,428

In der Abbildung 3-3 werden die Stauinhaltslinie und die Leistungskurve für den Grundablass und Überlauf nach den Projektierungsunterlagen (BAH, 1998) und nach SCHIMANOSWIKI (2007) gegenübergestellt. Der Vergleich der unterschiedlichen Charakteristika zeigt, dass nach den neueren Berechnungen sowohl der Stauinhalt des HRB als auch die hydraulische Leistungsfähigkeit von Grundablass und Überlauf etwas geringer sind als in den Projektierungsunterlagen. Auf die Berechnungsergebnisse des N-A-Modells hat das jedoch vernachlässigbare Auswirkungen.

Bei den Simulationsrechnungen, denen die Unterlagen von PROWA zugrunde gelegt wurden, wird davon ausgegangen, dass das HRB Jüterbog entsprechend seiner Nutzung als Trockenbecken ohne Teildauerstau zu Niederschlagsbeginn leer ist und somit der gesamte Hochwasserrückhalteraum auch retentionswirksam ist.

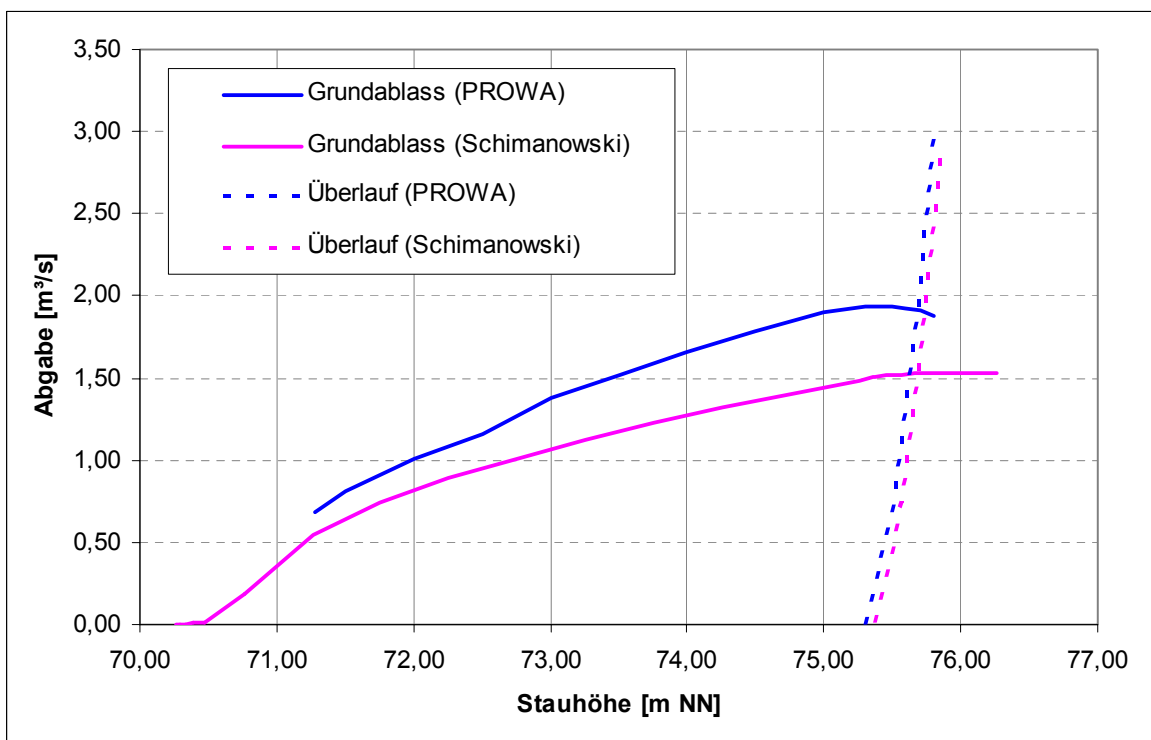
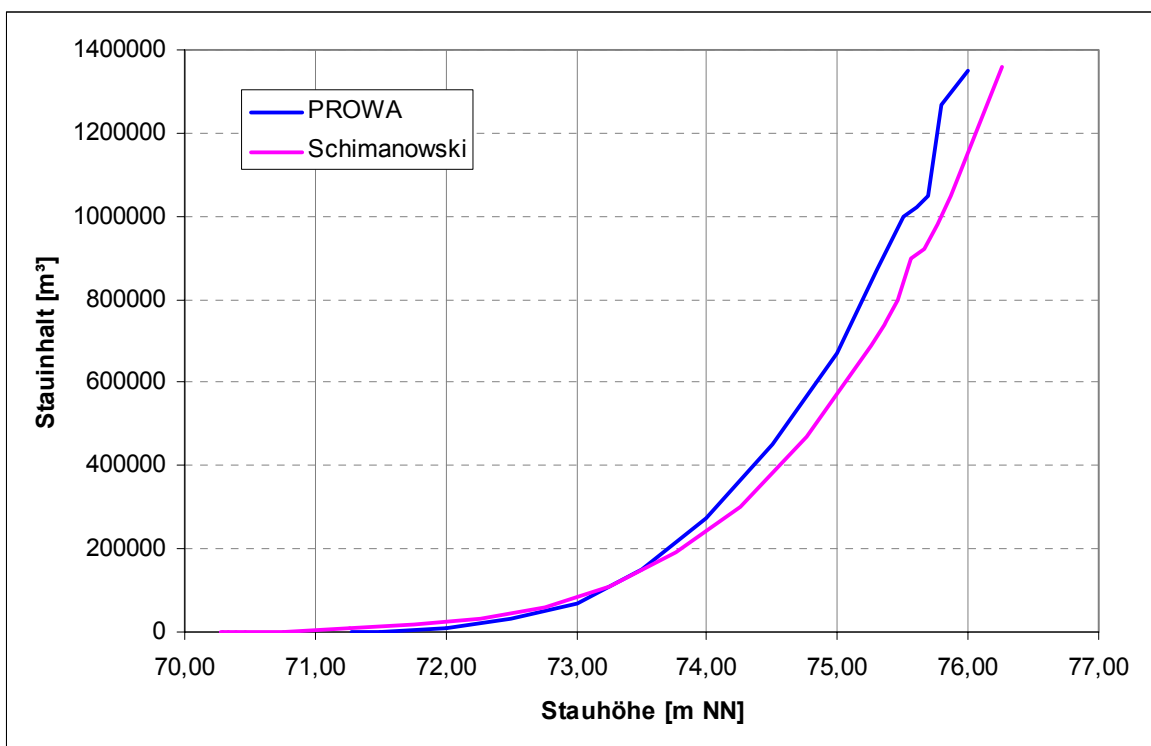


Abbildung 3-3: Vergleich der Stauinhaltlinien (oben) und der Leistungskurven von Grundablass und Überlauf (unten) des HRB Jüterbog



3.3.1.2 Polder Luckenwalde-Kolzenburg

Bei dem Rückhaltebecken **Luckenwalde-Kolzenburg** handelt es sich um eine Polderfläche von ca. 57 ha (Bezirkstagsbeschluss 1990), die durch Schließen der beiden Kleinbahn-Wehre (im Königsgaben und an der Nuthe) eingestaut werden kann. Weitere Unterlagen sind nicht vorhanden. Nach mündlichen Mitteilungen wurde vor der Entscheidung zum Bau des HRB Jüterbog dieser Polder als Überschwemmungsfläche ausgewiesen. Allerdings wurde diese Fläche noch nie eingestaut. Auch im August 2002 wurde diese Fläche nicht überschwemmt. In das N-A-Modell wurde diese Retentionsfläche nicht eingebaut, da keine Kennlinien und -größen vorlagen (z. B. Stauinhalts- und Stauflächenlinie, hydraulische Charakteristika).

3.4 Teilgebietsgliederung

3.4.1 Ausgrenzung von natürlichen Teileinzugsgebieten

Grundlage für die Teilgebietsgliederung im N-A-Modell bildete das 2007 aktualisierte digitale Flächenverzeichnis für die EU-Wasserrahmenrichtlinie. Die Teilgebietsgliederung wurde bis auf das Stadtgebiet in Luckenwalde übernommen. Im Stadtgebiet Luckenwalde wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Nach Abstimmung mit dem LUA Brandenburg wurde die Stadtnuthe als Hauptlauf der Nuthe festgelegt und der Königsgaben demzufolge als ein rechter Zufluss. Bisher folgte entsprechend der Gebietsverschlüsselung in den digitalen Einzugsgebieten als auch im DLM 25 der Hauptlauf der Nuthe im Stadtgebiet Luckenwalde dem Königsgaben und nicht der Stadtnuthe. Die Stadtnuthe war als separates Gewässer und als linksseitiger Zufluss zum Königsgaben angesetzt. Entsprechend war die Kilometrierung angelegt.
- Weiterhin wurde die Teilgebietsgliederung im Stadtgebiet an den Regenwassereinleitungsstellen verfeinert, wobei nahe beieinander liegende Einleitungsstellen zusammengefasst wurden.

Folgende Abbildung veranschaulicht den Sachverhalt.

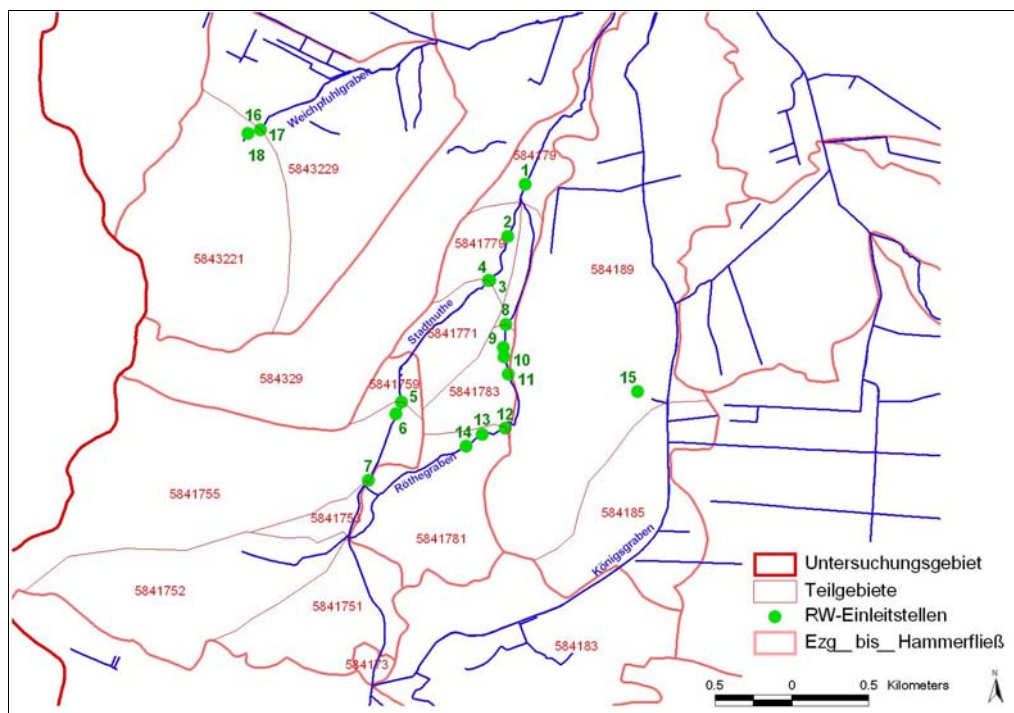


Abbildung 3-4: Verfeinerte Gebietsgliederung im Stadtgebiet Luckenwalde

3.4.2 Berücksichtigung von urbanen Teilgebieten

Neben den natürlichen Simulationsteilgebieten waren die kanalisiert Einzugsgebiete (Entwässerungsgebiete) (siehe Abschnitt 3.2.1) in die Teilgebietsgliederung zu integrieren. Dazu wurden die natürlichen mit den kanalisiert Einzugsgebieten überlagert. Aus der Überlagerung ergeben sich im N-A-Modell NASIM so genannte urbane Teilgebiete (siehe Abbildung 3-5). Diese zeichnen sich dadurch aus, dass die Abflüsse von versiegelten Flächen einem anderen Systemelement zugewiesen werden können als dem direkten Unterlieger.

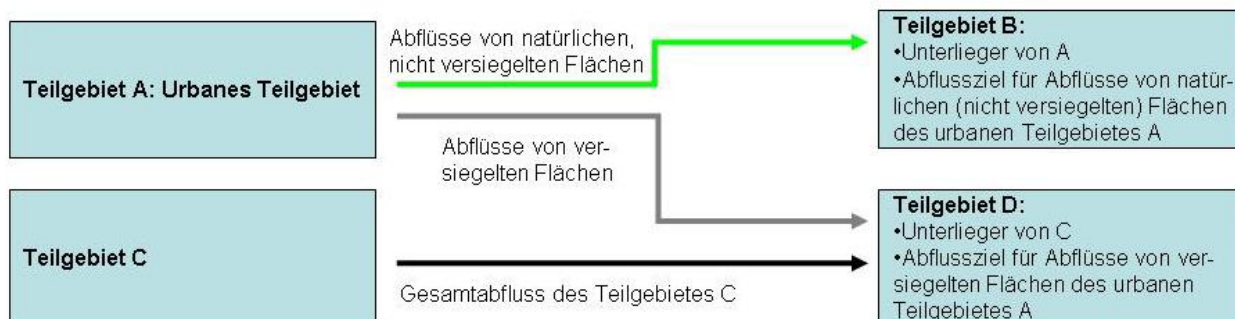


Abbildung 3-5: Prinzip der „Urbanen Teilgebiete“ in NASIM



Durch folgende Nomenklatur können im N-A-Modell urbane und natürliche Teilgebiete unterschieden werden:

- 584xxxx: Natürliches Teilgebiet (Kennzahl in Anlehnung an die Gewässerkennzahl aus dem Flächenverzeichnis)
- xxxx_yy: Urbanes Teilgebiet
mit
xxxx: ID des (natürlichen) Teilgebietes, in dem die kanalisierte Fläche liegt, aber ohne die 584 (Abflussziel für den natürlichen Abflussanteil)
yy: ID der Regenwassereinleitungsstelle bzw. des Regenwasserkanals (Abflussziel für den Abfluss von den versiegelten Flächen)

Anlage 1 enthält eine tabellarische Übersicht zu den Simulationsteilgebieten des N-A-Modells. Insgesamt wurden 113 Teilgebiete (73 natürliche und 40 urbane) ausgewiesen.

3.4.3 Ableitung von teilgebietsbezogenen Modellparametern

Nach Aufbau der Parametertabellen für die Landnutzung und die Bodenarten und Übernahme der Elementarflächen und Simulationsteilgebiete nach NASIM wurde das N-A-Modell durch die im Abschnitt 3.1 genannten Datengruppen komplettiert. Dabei waren die Parameter zur Abflusskonzentration (Laufzeit-Flächen-Funktionen und die Rückgangskonstanten), für alle Simulationsteilgebiete bereitzustellen, das Gerinne und das Hochwasserrückhaltebecken zu parametrisieren und weitere gebietspezifischen Kenngrößen (Versickerung in den tiefen Grundwasserleiter) festzulegen.

3.4.3.1 Parameter zur Beschreibung der Abflusskonzentration

Die Modellierung der Abflusskonzentration erfolgt auf der Basis der hydrologischen Teileinzugsgebiete und der zwischen ihnen definierten Lagebeziehungen. Die Abflusskonzentration in den Simulationsteilgebieten wird in NASIM in der Regel mit Hilfe von vier Einzellinearspeichern (ELS) beschrieben, ein ELS für den Abfluss von versiegelten Flächen und drei ELS für den Abfluss von natürlichen Flächen:

- ein ELS für den Oberflächenabfluss,
- ein ELS für den hypodermischen Abfluss (Interflow) und
- ein ELS für den Grundwasserabfluss (Basisabfluss).

Die Abflusskonzentration auf der nicht versiegelten (natürlichen) Landoberfläche stellt insofern einen Spezialfall dar, weil hier dem Einzellinearspeicher noch ein lineares Translationsglied vorgeschaltet wird. Dieses Translationsglied wird als Laufzeit-Flächen-Funktion bereitgestellt, die für jedes Teilgebiet die entwässerte Fläche über der Zeit enthält. Ermittelt wurden die Laufzeit-Flächen-Funktionen auf der Grundlage der Teilgebietsgliederung und des Digitalen Geländemodells mit Hilfe einer ArcView-Extension (HYDROTEC, 2003).



Für jeden der insgesamt vier Einzellinearspeicher muss eine Rückgangskonstante festgelegt werden. Die Rückgangskonstante für den Abfluss von versiegelten Flächen, die im Bereich von wenigen Minuten bis eine Stunde liegt, und die Rückgangskonstante für den Oberflächenabfluss von natürlichen Flächen wurden in Abhängigkeit von der Teilgebietsgröße abgeschätzt (HYDROTEC, 2005).

Die Rückgangskonstanten für den Interflow und den Basisabfluss wurden vor der Modellkalibrierung für alle Teilgebiete auf 5 bzw. 200 Tage geschätzt. Im Zuge der Modellkalibrierung mussten die Rückgangskonstanten jedoch verändert werden (siehe Abschnitt 4).

3.4.3.2 Grundwasser

Das Einzugsgebiet der oberen Nuthe ist im Bereich des Flämings geprägt durch Grundwasserflurabstände von über 20 m, so dass die einzelnen Grundwasserleiter keine direkte Anbindung an die Vorfluter haben. Darauf weisen die geringe Gewässerdichte und das Auftreten von (abflusslosen) Binneneinzugsgebieten hin. Hingegen sind die Gebiete nordwestlich von Jüterbog und östlich von Luckenwalde von extrem niedrigen Grundwasserflurabständen unter einem Meter charakterisiert.

Um dieses Gebietsverhalten im Modell abbilden zu können, wurde die Möglichkeit von NASIM genutzt, einen sog. „tiefen Grundwasserspeicher“, einzuschalten. Das hydrologische System GWTI EF kann an ein Simulationsteilgebiet angeschlossen werden und erhält als Zufluss den Abfluss des Basisspeichers (Leakage des Teilgebietes) und ggf. die Versickerung aus dem Gerinne. Entleert wird dieser GWTI EF-Speicher mit einer Retentionskonstante. Die resultierende Abflussganglinie kann an den Unterlieger oder an ein beliebig anderes Systemelement verschickt werden. Wird die maximale Speicherfüllung überschritten, entwässert der GWTI EF-Speicher im zugehörigen Gerinne.

Um einschätzen zu können, in welchen Gebieten ein tiefer Grundwasserleiter simuliert werden muss, wurden die Grundwasserflurabstände, die aus den Grundwasserisohypsen und dem Digitalen Geländemodell ermittelt wurden, ausgewertet. Für alle Gebiete mit einem Grundwasserflurabstand von größer 5 m wurde eine Versickerung in den tiefen Grundwasserleiter angesetzt. Weiterhin konnte anhand der ermittelten Grundwasserflurabstandskarte abgeschätzt werden, wo im Einzugsgebiet der Nuthe das tiefe Grundwasser wieder an den Vorfluter „angeschlossen“ wird. Sowohl der Anschluss des tiefen Grundwassers an den Vorfluter als auch die Entleerungszeit des GWTI EF-Speichers (Retention) wurde bei der Modellkalibrierung präzisiert.

Für 70 % des Einzugsgebietes der Nuthe bis zum Hammerfließ wurde eine Versickerung in den tiefen Grundwasserleiter angesetzt. Räumlich gesehen sind davon das gesamte Einzugsgebiet des Hochwasserrückhaltebeckens Jüterbog, die größten Teile des Zwischengebietes zwischen Jüterbog-Bürgermühle und Lindenberg sowie große Gebiete des Steinerfließes betroffen.

Für die Ziel-Teilgebiete wurde ebenfalls ein GWTI EF-Speicher definiert. Diese Zielgebiete wurden allerdings mit einer sehr geringen Mächtigkeit



und ohne Zufluss aus dem Teilgebiet parametrisiert, da sie nur die Aufgabe haben, das Grundwasser wieder an den Vorfluter anzuschließen.

In folgender Tabelle sind die Teilgebiete mit GWTIEF und dem jeweiligen Anschlussgebiet für den Abfluss aus dem tiefen Grundwasserspeicher dargestellt.

Tabelle 3-6: Teilgebiete mit GWTIEF-Speicher

Teilgebiet (Gebiets- kennzahl)	Gewässer	Fläche [km²]	GWtief- Ab- fluss nach Teilgebiet
584111	Nuthe	42,65	5841399
5841121	Rohrbecker Graben (Binnenein- zugsgebiet)	8,17	5841399
5841123	Rohrbecker Graben	5,12	5841399
584113	Nuthe	3,22	5841399
584114	Feldgraben Rohrbeck	4,12	5841399
584115	Nuthe	0,12	5841399
584116	Rohrbecker Ostgraben	4,50	5841399
584119	Nuthe	2,26	5841399
584121	Bochower Graben (Binneneinzugs- gebiet)	2,27	5841399
584123	Bochower Graben	47,16	5841391
5841311	Nuthe	3,71	5841399
5841319	Nuthe	1,19	5841399
584136	Bürgerwiesener Graben	4,97	5841399
5841411	Markendorfer Graben (Binneneinzugsgebiet)	12,13	5841719
5841412	Markendorfer Graben (Binneneinzugsgebiet)	3,32	5841719
5841413	Markendorfer Graben	33,48	5841719
584142	Markendorfer Westgraben	4,38	5841719
584143	Markendorfer Graben	7,38	5841719
584152	Zinnaer Ostgraben	3,44	5841719
584153	Nuthe	0,64	5841719
584154	Zinnaer Klostergraben	2,34	5841719
584159	Nuthe	2,83	5841719
584162	Grönaer Nordgraben	9,56	5841719
584169	Grönaer Graben	2,33	5841719
584221	Jänickendorfer Graben	6,68	58426
584223	Jänickendorfer Graben	23,02	58426
584242	Kolzenburger Graben	12,64	58426
584249	Jänickendorfer Schleusengraben	3,38	58426
584281	Kienhorstgraben	3,71	58426



3.4.3.3 Gerinne

Für das Gerinne mussten nur für die Simulationsteilgebiete, die einen Oberlieger haben, die Gerinnedaten eingetragen werden. Dazu wurden aus dem Fließgewässernetz und dem DGM Länge und mittleres Sohlgefälle des Gerinneabschnittes abgeleitet und im N-A-Modell implementiert.

3.4.3.4 Abbildung der Regenwasserkanalisation

Der versiegelte Oberflächenabfluss aus den urbanen Teilgebieten, der den Abfluss in die Regenwasserkanalisation darstellt, wurde modelltechnisch in Systemelemente verschickt, die die Regenwasserkanäle abbilden und mit Kanal 1 bis Kanal 18 bezeichnet sind. Die 18 Regenwasserkanäle wurden mit einem begrenzten Stauraum definiert (vgl. Tabelle 3-2). Der Kanalüberlauf fließt in das Unterlieger-Systemelement ab, welches die Vorfluter Stadtnuthe, Röthegraben, Königsgaben und Weichpfehlgraben sein können (vgl. Tabelle 3-2). Zur Registrierung des Regenwasserabflusses in die Stadtnuthe und den Röthegraben wurden zusätzlich folgende Systemelemente eingefügt:

- RW_N_1 (Ableitung aus Regenwasserkanal 1 in die Nuthe)
- RW_N_2_3_4 (Ableitung aus Regenwasserkanälen 2, 3, 4 in die Nuthe)
- RW_N_5_6_7 (Ableitung aus Regenwasserkanälen 5, 6, 7 in die Nuthe)
- RW_R_8 (Ableitung aus Regenwasserkanal 8 in den Röthegraben)
- RW_R_9_10_11 (Ableitung aus Regenwasserkanälen 9, 10, 11 in den Röthegraben)
- RW_R_12_13_14 (Ableitung aus Regenwasserkanälen 12, 13, 14 in den Röthegraben).

3.4.3.5 Speicher

In das N-A-Modell wurde weiterhin ein Systemelement für das Hochwasserrückhaltebecken Jüterbog eingefügt.

Der Systemplan des N-A-Modells ist Inhalt von Anlage 2.

3.4.4 Ableitung von elementarflächenbezogenen Modellparametern

Im Anschluss an die Teilgebietsgliederung wurden die Grenzen der Simulationsteilgebiete mit den Landnutzungs- und Bodendaten verschnitten. Ergebnis der Verschneidung sind die bezüglich Landnutzung und Bodenformen homogenen Elementarflächen (Abschnitt 1.3). Die Gesamtanzahl der Elementarflächen im N-A-Modell für die Nuthe beträgt 3475. Im Mittel ist eine Elementarfläche 10 ha groß.



4 Ergebnisse der Kalibrierung und Validierung des Langfristmodells

4.1 Datengrundlagen

4.1.1 Langjährige Niederschlags- und Verdunstungsreihen

Für die Wasserhaushaltmodellierung wurden die vom DWD bereitgestellten Zeitreihen der potenziellen Verdunstung und des Niederschlagsdargebotes genutzt (Abschnitt 1.2.1). Sie wurden als repräsentativ für das gesamte Untersuchungsgebiet angesehen.

4.1.2 Abflüsse

Datengrundlage für Modellkalibrierung und -validierung des Langfristmodells bildeten die beobachteten täglichen Abflüsse an den Nuthepegeln Jüterbog-Bürgermühle, Lindenberg Wehr OP und Woltersdorf 1, die vom LUA Brandenburg zur Verfügung gestellt wurden. Während die Abflüsse an den Pegeln Jüterbog-Bürgermühle und Woltersdorf 1 vereinbarungsgemäß zur Kalibrierung des Modells genutzt werden sollten, waren die Abflüsse am Pegel Lindenberg für die Validierung zu verwenden. Aus den täglichen Abflüssen wurden auch mittlere monatliche und Jahresabflüsse abgeleitet, die mit den simulierten Abflüssen verglichen wurden. Die folgende Tabelle zeigt die beobachteten, langjährigen mittleren Abflüsse und Spenden (Tabelle 4-1).

Tabelle 4-1: Beobachtete mittlere Abflüsse und Spenden

Pegel	Aeo [km ²]	MQ [m ³ /s]	Mq [l/s*km ²]	Abflussjahre
Jüterbog-Bürgermühle	141	0,222	1,6	1977-2005
Lindenberg Wehr OP	263	0,510	1,9	1994-2005
Woltersdorf 1 Wehr OP	363	1,10	3,0	1984-2005

Die Abflussspenden weisen einen untypischen Verlauf auf. Sie nehmen mit zunehmender Einzugsgebietsgröße zu und geben damit einen ersten Hinweis auf das unterschiedliche Abflussverhalten der Einzugsgebiete der Pegel Jüterbog-Bürgermühle bis Woltersdorf 1. Ursachen dafür wurden im Abschnitt 1.2 erläutert. Das unterschiedliche Abflussverhalten belegen auch die Korrelationskoeffizienten zwischen den Pegeln auf verschiedener Zeitbasis, die in der Tabelle 4-2 dargestellt sind. Die Korrelationskoeffizienten zeigen nur eine geringe Abhängigkeit zwischen Jüterbog-Bürgermühle und den beiden anderen Pegeln Lindenberg und Woltersdorf 1, egal ob tägliche, monatliche oder jährliche Abflüsse betrachtet werden. Dagegen sind die Abflüsse an den Pegeln Lindenberg und Woltersdorf 1 relativ eng miteinander korreliert.



Tabelle 4-2: Korrelationskoeffizienten der beobachteten Abflüsse zwischen den Pegeln

Korrelation zwischen	Korrelationskoeffizient			Abflussjahre
	Tägliche Abflüsse	Monatliche Abflüsse	Jährliche Abflüsse	
Jüterbog-BM und Woltersdorf 1	0,250	0,151	0,034	1983-2005
Jüterbog-BM und Lindenberg	0,223	0,039	-0,207	1994-2005
Lindenberg und Woltersdorf 1	0,739	0,798	0,687	1994-2005

Weiterhin wurden die beobachteten Abflüsse grafisch analysiert. Abbildung 4-1 enthält exemplarisch die monatlichen Abflüsse an den drei Nuthepegeln. Auch die monatlichen Abflüsse weisen ein teilweise gegenläufiges Abflussverhalten zwischen Jüterbog-Bürgermühle und Woltersdorf 1 auf. So traten z. B. im Juli 1997 und im September 2001 am Pegel Jüterbog sehr hohe Monatsabflüsse, in Woltersdorf 1 dagegen zum selben Zeitpunkt relativ geringe Monatsabflüsse auf.

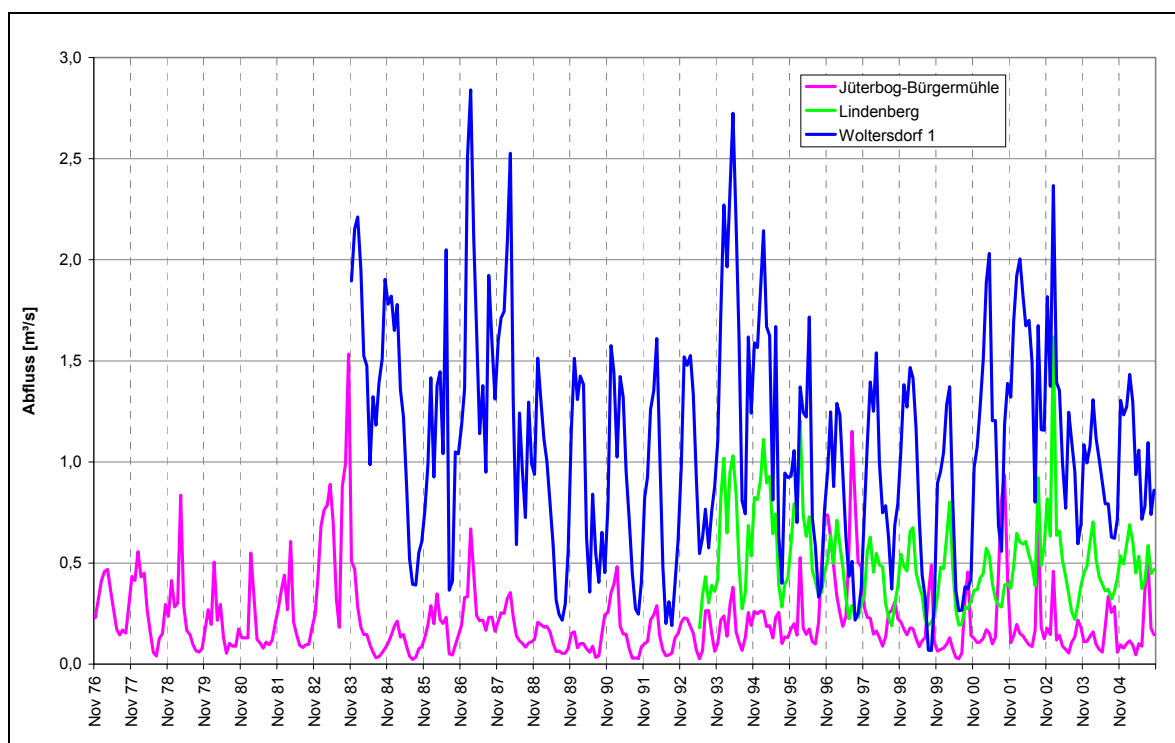


Abbildung 4-1: Gegenüberstellung der beobachteten monatlichen Abflüsse

Die Auswertungen der beobachteten Abflussdaten belegen die komplizierten Abflussverhältnisse in der Nuthe und damit die abzusehenden Schwierigkeiten, mit denen bei der Modellkalibrierung umzugehen war.



Neben den komplexen Grundwasserverhältnissen (geringe Speisung der Vorfluter durch das Grundwasser bedingt durch große Grundwasserflurabstände in der oberen Nuthe und Zustrom dieses Basisabflusses im Unterlauf in den Gebieten mit nahem Grundwasserflurabstand) sind auch andere Ursachen (z. B. ungenügende Bereinigung der beobachteten Abflusswerte bei Verkrautung) für das teils gegenläufige Abflussverhalten nicht ganz auszuschließen.

Auf die gleichen Probleme war auch das Büro für angewandte Hydrologie bei seinen Modellierungen in der Nuthe (BAH, 1998 und BAH, 2004) gestoßen.

4.2 Modellkalibrierung

Datengrundlage für die Kalibrierung des Langfristmodells (Wasserhaushaltsmodells) bildeten gemäß Abschnitt 4.1.2 die täglichen Abflüsse der beiden langjährigen beobachteten Basispegel Jüterbog-Bürgermühle (vom 1.11.1976 bis 31.10.2007) und Woltersdorf 1 (vom 1.11.1983 bis 31.10.2007).

Der Modellierungszeitraum umfasste die 34 Abflussjahre 1972 bis 2005, wofür auch die meteorologischen Zeitreihen vorlagen. Die ersten 5 Jahre dienten dabei zum Einschwingen des Modells, so dass der eigentliche Kalibrierungszeitraum entsprechend der Beobachtungsdauer des Pegels Jüterbog-Bürgermühle die Abflussjahre 1977 bis 2005 umfasst. Für den Pegel Woltersdorf 1 wurden die Abflussjahre 1984 bis 2005 ausgewertet.

Da das HRB Jüterbog ab 1990 betriebsbereit war und erst innerhalb des Modellierungszeitraumes retentionswirksam wurde, musste entschieden werden, ob die Simulationsrechnungen ohne oder mit HRB ausgeführt werden sollen. Die Entscheidung, das HRB bei der Modellkalibrierung und -validierung nicht zu berücksichtigen, wird damit begründet, dass es auf die vorgenommenen Auswertungen von mittleren jährlichen und monatlichen Abflüsse keine Auswirkungen hat und auf die Aufbereitung der täglichen Abflüsse als Dauerlinie allenfalls vernachlässigbare Auswirkungen. Seine Berücksichtigung würde die Ergebnisse der Kalibrierung und Validierung in keiner Weise beeinflussen.

Im Zuge der Modellkalibrierung wurden sensitive Modellparameter teilweise mit Hilfe einer Optimierung so verändert, dass die Abflussbeobachtungen durch die Simulationsergebnisse zufriedenstellend wiedergegeben wurden. Zu den veränderten sensitiven Modellparametern gehörten für das gesamte Untersuchungsgebiet die gesättigte (vertikale) hydraulische Leitfähigkeit k_f und die an sie gekoppelte maximale Infiltrationsrate f_{\max} , die mit dem Eichfaktor 0,1 bzw. 0,2 belegt wurden, sowie die horizontale Leitfähigkeit, die mit einem Eichfaktor von 10 belegt wurde. Weiterhin wurde die Rückgangskonstante für den Basisabfluss von 200 d auf 3 d stark herabgesetzt. Hydrologisch kann damit der Basisabfluss als Abfluss aus dem oberflächennahen Grundwasser interpretiert werden, der nach der Bodenpassage ohne nennenswerte Verzögerung wieder in das Gewässer gelangt. Im Gegenzug wurde die Retentionskonstante für den Abfluss aus dem tiefen Grundwasserleiter für alle Teilgebiete in Tabelle 3-6 außer Teilgebiet 584123 vom Anfangswert 200 d auf 900 d erhöht. Für die schnellere Abflusskomponente wurde die Retentionskonstante für den hypodermischen Zwischenabfluss auf 40 d im Einzugsgebiet von Jüter-



bog-Bürgermühle und auf 80 d in den Gebieten unterhalb Jüterbog gesetzt. Die maximale Leakagerate aus den Teilgebieten in den tiefen Grundwasserspeicher wurde auf 50 l/s*km² gesetzt (siehe auch Abschnitt 3.4.3.2).

Die Ergebnisse der Modellkalibrierung werden nachfolgend anhand folgender Gegenüberstellungen von beobachteten und simulierten Abflüssen beurteilt:

- Mittlere Abflüsse, getrennt für Winter- (Nov. – Apr.) und Sommerhalbjahr (Mai – Okt.),
- Ganglinien der mittleren jährlichen Abflüsse,
- Ganglinien der mittleren monatlichen Abflüsse,
- Dauerlinien der täglichen Abflüsse.

In Tabelle 4-3 werden zunächst die mittleren Abflüsse miteinander verglichen.

Tabelle 4-3: Vergleich der mittleren Abflüsse an den Pegeln Jüterbog-Bürgermühle und Woltersdorf

Jüterbog-Bürgermühle	Zeitraum 1977 bis 2005		
	Winter	Sommer	Jahr
Beobachtung	0,249	0,196	0,222
Simulation	0,297	0,262	0,279
Woltersdorf 1	Zeitraum 1984 bis 2005		
	Winter	Sommer	Jahr
Beobachtung	1,41	0,790	1,10
Simulation	1,25	0,865	1,04

Tabelle 4-3 zeigt, dass mit dem N-A-Modell der mittlere Abfluss in der Nuthe am Pegel Woltersdorf 1 gut wiedergegeben wird. Die Winterabflüsse werden leicht unter- und die Sommerabflüsse leicht überschätzt. Auch der mittlere Abfluss am Pegel Jüterbog-Bürgermühle wird recht gut wiedergegeben. Allerdings werden sowohl die Winter- als auch die Sommerabflüsse etwas überschätzt.

Die mittleren jährlichen Abflüsse in der Nuthe werden durch das N-A-Modell unterschiedlich gut getroffen, wie Abbildung 4-2 veranschaulicht. Für Woltersdorf 1 wird der Wechsel von Nass- und Trockenjahren durch das Modell zufriedenstellend abgebildet. Beleg dafür ist auch der relativ hohe Korrelationskoeffizient zwischen den simulierten und beobachteten jährlichen Abflüssen von 0,750. Am Pegel Jüterbog-Bürgermühle fällt der Vergleich zwischen den simulierten und beobachteten jährlichen Abflüssen nicht zufriedenstellend aus. So fällt in Abbildung 4-2 auf, dass oft zu hohe mittlere jährliche Abflüsse, in Einzeljahren (1983, 1997) aber auch viel zu geringe mittlere jährliche Abflüsse simuliert werden. Allerdings sind bei der Interpretation dieser Unterschiede auch die Probleme bei den beobachteten Abflüssen (Abschnitt 4.1.2) zu beachten und die Auswertungen zu den klimatischen Verhältnissen (Abschnitt 1.2.1) heranzuziehen. So sind gerade in Jahren, in denen die klimatische Wasserbilanz positiv ist (z. B. 1978, 1980 und 1981) und demzufolge die simulierten



jährlichen Abflüsse auch entsprechend hoch sind, die Abweichungen zu den beobachteten besonders groß. Weiterhin fällt beim Jahr 1997 auf, dass für Woltersdorf 1 das Simulationsergebnis zufriedenstellend ist, aber für Jüterbog-Bürgermühle der simulierte mittlere Jahresabfluss bedeutend kleiner als der beobachtete ist.

Die innerjährlichen Abflussschwankungen sollen durch die Ganglinien der monatlichen Abflüsse veranschaulicht werden und sind in Abbildung 4-3 dargestellt. Auch hier ist die Anpassung an die beobachteten Abflüsse für Woltersdorf 1 im Allgemeinen gut und für Jüterbog-Bürgermühle eher schlecht. Insgesamt werden die monatlichen Abflussschwankungen am Pegel Woltersdorf 1 mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,671 noch zufriedenstellend abgebildet. Der innerjährliche Gang der Abflüsse am Pegel Jüterbog-Bürgermühle ist offenbar sehr stark durch das Grundwasserregime beeinflusst. Wechselwirkungen zwischen Oberflächen- und Grundwasserabfluss können durch ein N-A-Modell jedoch nur näherungsweise abgebildet werden. Durch sehr viele Kalibrierungsrechenläufe wurde die Versickerung ins „tiefe“ Grundwasser und deren Anschluss an den Vorfluter (Retentionszeit) kalibriert. Die Übereinstimmung zwischen beobachteten und simulierten monatlichen Abflüssen bleibt dennoch nicht zufriedenstellend.

Weiterhin wurde die Simulationsgüte der täglichen Abflüsse analysiert. Für den grafischen Vergleich von täglichen Abflüssen sind aus Gründen der Übersichtlichkeit Dauerlinien besser geeignet als Ganglinien. Die Dauerlinie der täglichen Abflüsse charakterisiert das Abflussregime über den gesamten Abflussbereich vom Niedrigwasser bis zum Hochwasser. Deshalb wurde dieser Darstellungsform in Abbildung 4-4 der Vorzug gegeben. Die beiden Grafiken in Abbildung 4-4 zeigen eine insgesamt gute visuelle Übereinstimmung der Dauerlinien der täglichen Abflüsse sowohl für Woltersdorf 1 als auch für Jüterbog-Bürgermühle. Diese Einschätzung wird noch gestützt durch den Vergleich ausgewählter Stützstellen der Dauerlinien in den Tabellen links neben den Grafiken. Der Korrelationskoeffizient zwischen beobachteten und simulierten täglichen Abflüssen liegt bei Woltersdorf 1 bei 0,619 und bei Jüterbog-Bürgermühle bei 0,222. Trotz des relativ geringen Korrelationskoeffizienten für Jüterbog-Bürgermühle kann für diesen Pegel die Dauerlinie der täglichen Abflüsse mit hinreichender Genauigkeit durch das N-A-Modell reproduziert werden. Das ist insbesondere für die mit dem Modell angestrebten Hochwasseruntersuchungen wichtig.

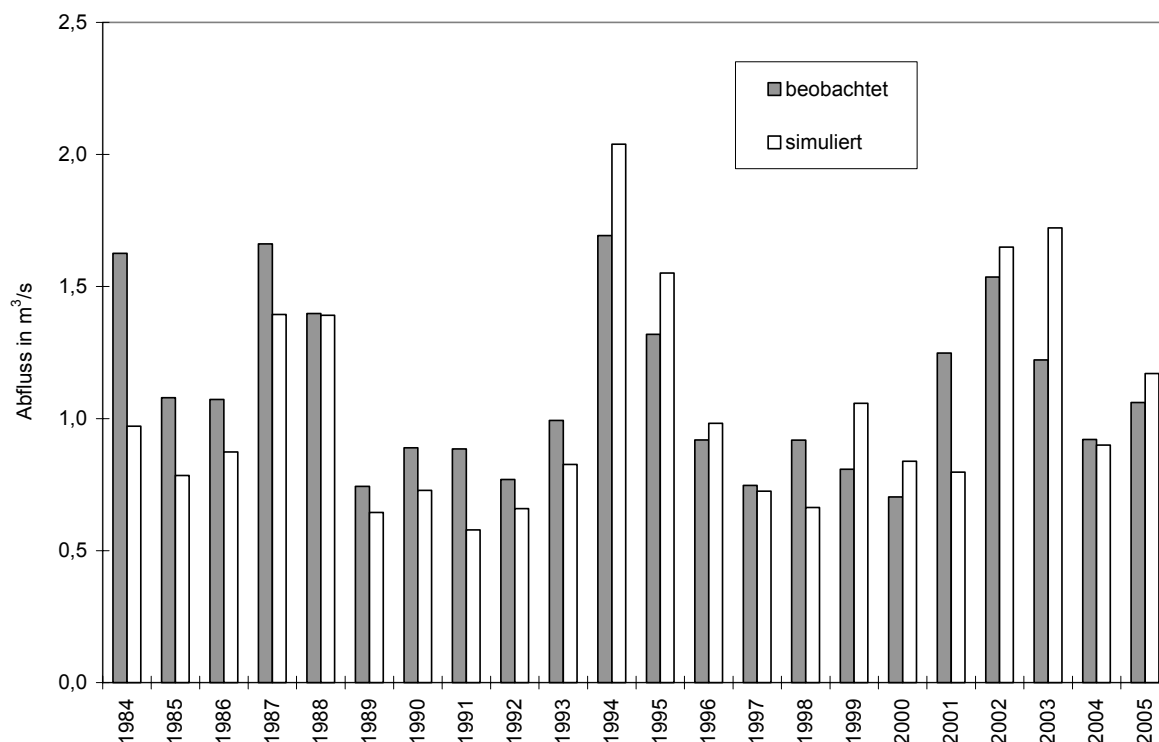
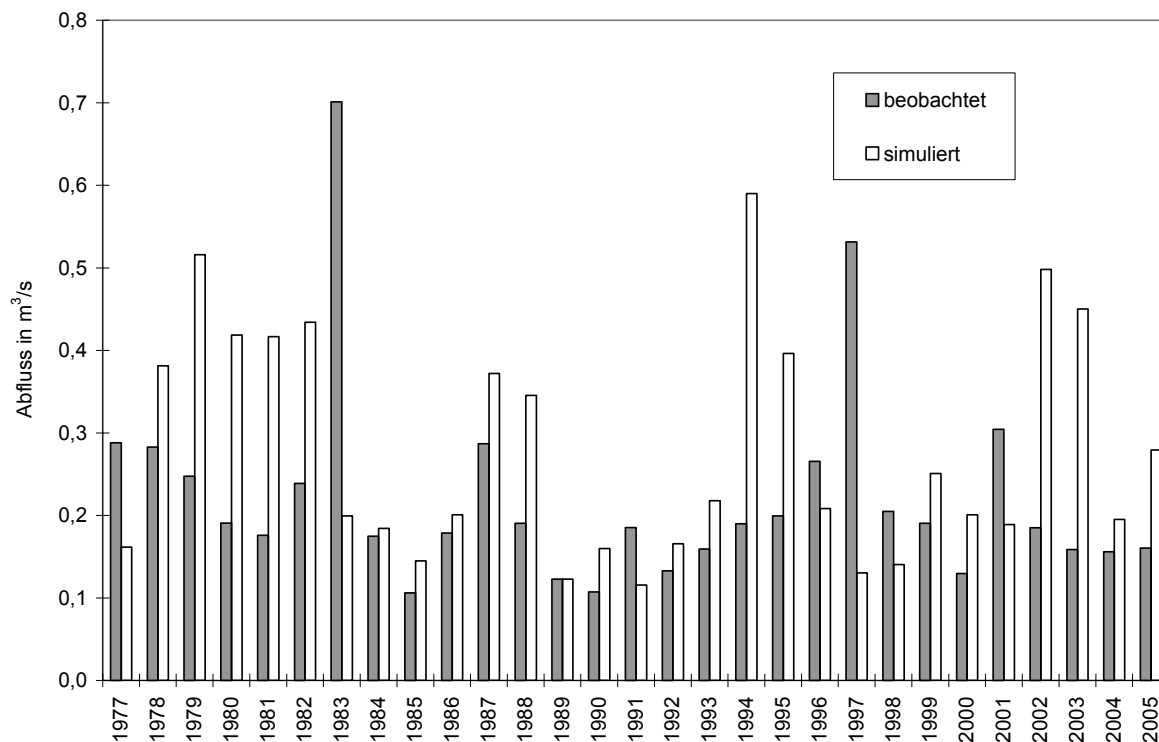


Abbildung 4-2: Vergleich der mittleren jährlichen Abflüsse am Pegel Jüterbog-Bürgermühle/Nuthe (oben) und am Pegel Woltersdorf 1/Nuthe (unten) (ohne HRB)

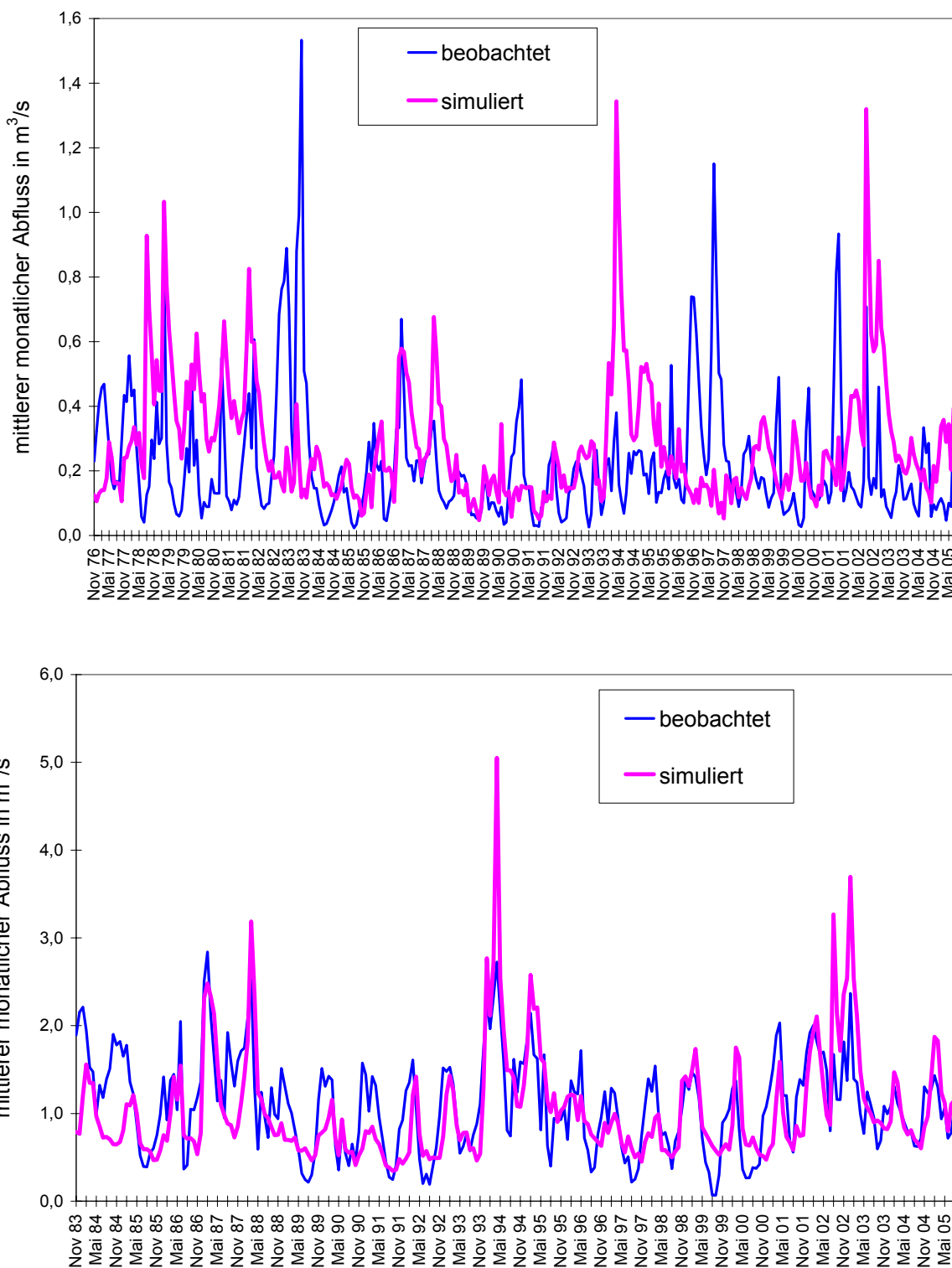
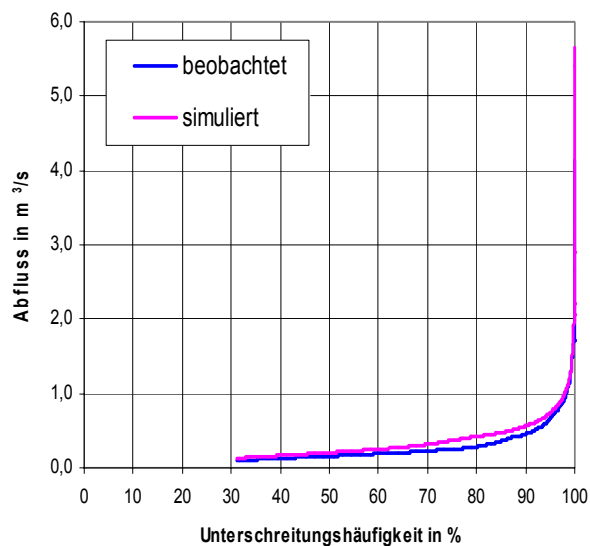


Abbildung 4-3: Vergleich der mittleren monatlichen Abflüsse am Pegel Jüterbog-Bürgermühle/Nuthe (oben) und am Pegel Waltersdorf 1/Nuthe (unten) (ohne HRB)



Unterschreitungs- häufigkeit [%]	Q _{beo} [m ³ /s]	Q _{sim} [m ³ /s]
100	4,14	5,66
95	0,66	0,74
90	0,45	0,56
80	0,29	0,42
50	0,15	0,20
20	0,08	0,10
10	0,06	0,07
5	0,04	0,06
0	0,01	0,03



Unterschreitungs- häufigkeit [%]	Q _{beo} [m ³ /s]	Q _{sim} [m ³ /s]
100	7,70	11,61
95	2,16	2,31
90	1,85	1,90
80	1,57	1,41
50	1,01	0,82
20	0,58	0,55
10	0,37	0,47
5	0,26	0,42
0	0,05	0,30

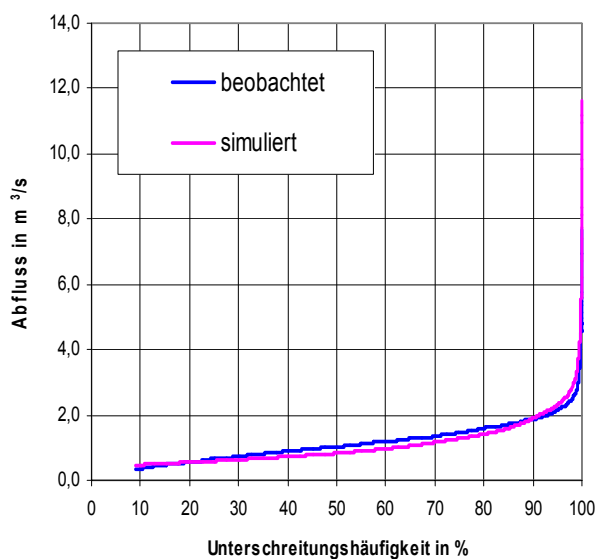


Abbildung 4-4: Vergleich der Dauerlinien der täglichen Abflüsse am Pegel Jüterbog-Bürgermühle/Nuthe (oben) und am Pegel Woltersdorf 1/Nuthe (unten)(ohne HRB)



Als Fazit der Modellkalibrierung des Langfristmodells kann festgehalten werden, dass für den Pegel Woltersdorf 1 die Kalibrierung erfolgreich war. Für den Pegel Jüterbog kann nur die Abbildung der mittleren Abflüsse (Tabelle 4-3) und die Dauerlinie der täglichen Abflüsse (Abbildung 4-4) als akzeptabel bezeichnet werden. Unbefriedigend bleibt die Erfassung von innerjährlichen und überjährlichen Abflussschwankungen (Abbildung 4-2, Abbildung 4-3). Mit völlig ähnlichen Problemen sah sich bereits BAH (1998) konfrontiert. Offenbar gibt es am Pegel Jüterbog-Bürgermühle prinzipielle Schwierigkeiten, das Abflussregime, das mit den anderen Nuthepegeln nur wenig korreliert ist, mit Hilfe von konzeptionellen Wasserhaushaltsmodellen zu erfassen.

4.3 Modellvalidierung

Für die Modellvalidierung wurden anschließend mit dem kalibrierten Modell die am Pegel Lindenberg simulierten Abflüsse ausgewertet. Die Modellparameter wurden bei der Validierung nicht verändert. Der Modellierungszeitraum umfasste wiederum die 34 Abflussjahre 1972 bis 2005. Die Auswertung erfolgte in Analogie zu den Pegeln Jüterbog-Bürgermühle und Woltersdorf 1, allerdings jetzt für den Beobachtungszeitraum des Pegels Lindenberg (1994-2005).

In Tabelle 4-4 werden zunächst wieder die mittleren Abflüsse miteinander verglichen.

Tabelle 4-4: Vergleich der mittleren Abflüsse am Pegel Lindenberg Wehr OP

	Zeitraum 1994 bis 2005		
	Winter	Sommer	Jahr
Beobachtung	0,632	0,415	0,510
Simulation	0,617	0,440	0,517

Tabelle 4-4 zeigt, dass mit dem N-A-Modell der mittlere Abfluss in der Nuthe auch am Pegel Lindenberg gut wiedergegeben wird, wobei die Winterabflüsse leicht unter- und die Sommerabflüsse leicht überschätzt werden.

In den folgenden Abbildungen ist der Vergleich der mittleren jährlichen Abflüsse (Abbildung 4-5), der mittleren monatlichen Abflüsse (Abbildung 4-6) und die Dauerlinie der täglichen Abflüsse (Abbildung 4-7) dargestellt.

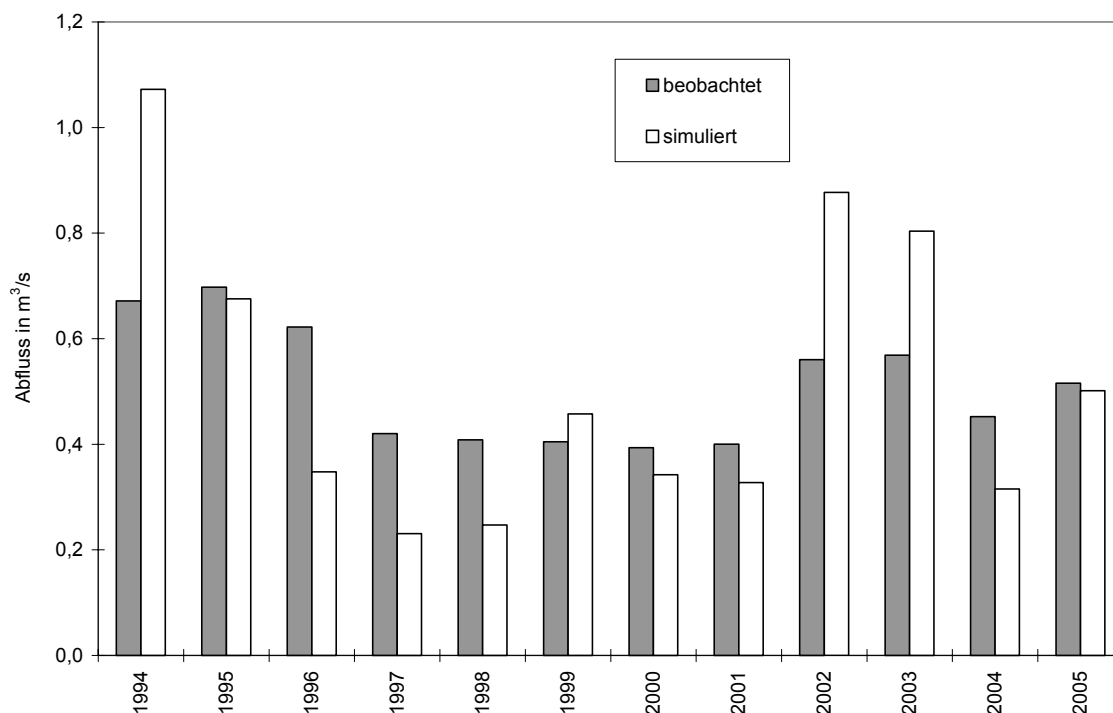


Abbildung 4-5: Vergleich der mittleren jährlichen Abflüsse am Pegel Lindenberg/Nuthe (ohne HRB)

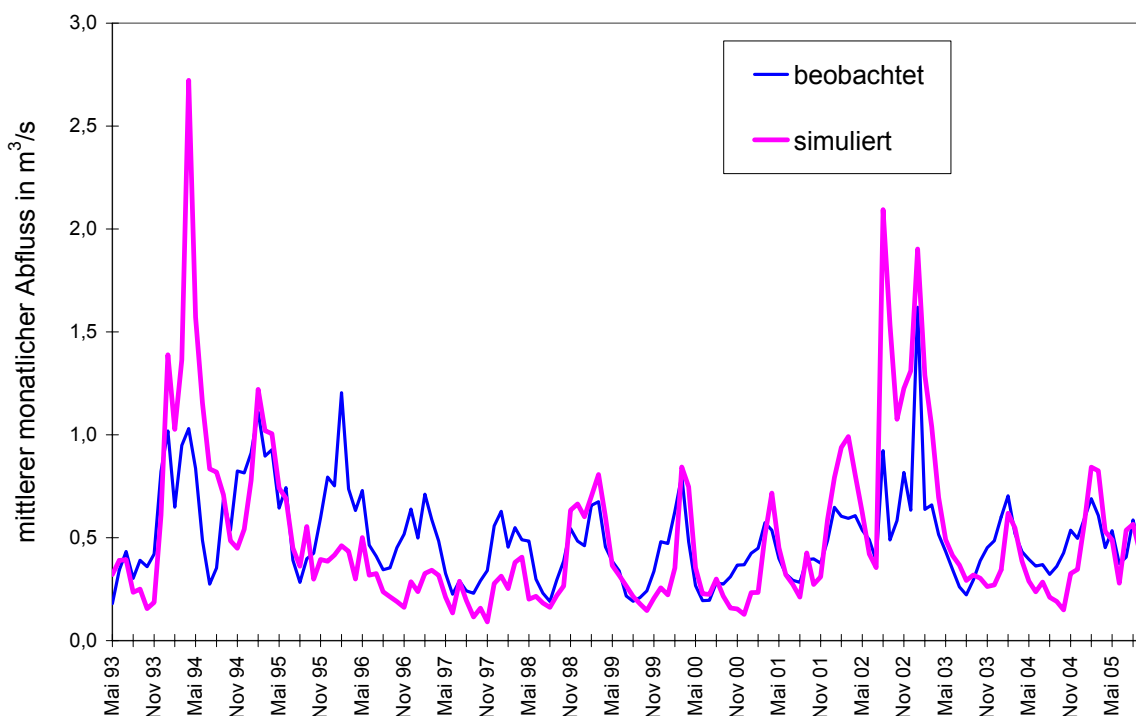


Abbildung 4-6: Vergleich der mittleren monatlichen Abflüsse am Pegel Lindenberg/Nuthe (ohne HRB)



Unterschreitungshäufigkeit [%]	Q _{beo} [m ³ /s]	Q _{sim} [m ³ /s]
100	3,57	7,33
95	1,00	1,36
90	0,76	1,07
80	0,64	0,76
50	0,44	0,35
20	0,33	0,18
10	0,23	0,13
5	0,23	0,11
0	0,08	0,07

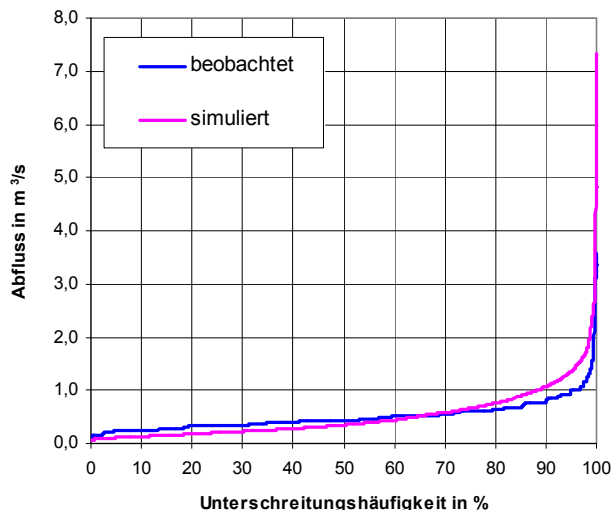


Abbildung 4-7: Vergleich der Dauerlinie der täglichen Abflüsse am Pegel Lindenberg/Nuthe (ohne HRB)

Bei Berücksichtigung der oben beschriebenen Probleme bei der Modellkalibrierung (vorherrschende komplizierte Grundwasserverhältnisse, Verhalten der beobachteten Pegelabflüsse) zeigt die Abbildung 4-5, dass am Pegel Lindenberg der Wechsel von Nass- und Trockenjahren durch das Modell akzeptabel abgebildet wird, was auch durch den Korrelationskoeffizienten zwischen den simulierten und beobachteten jährlichen Abflüssen von 0,726 belegt wird. Auch der innerjährliche Gang wird ausreichend genau abgebildet. Sind die Abweichungen zwischen beobachteten und simulierten monatlichen Abflüssen teilweise auch beachtlich, so wechseln sich doch Abschnitte mit Überschätzungen und Unterschätzungen ab, so dass ein systematischer Modellfehler ausgeschlossen werden kann. Die Ursachen für den längeren Abschnitt mit zu kleinen simulierten Abflüssen (Oktober 1995 bis August 1998) konnten modelltechnisch nicht geklärt werden. Der Korrelationskoeffizient zwischen beobachteten und simulierten monatlichen Abflüssen beträgt 0,693 und belegt eine gute Anpassung.

Die Grafik in Abbildung 4-7 zeigt eine insgesamt noch akzeptable visuelle Übereinstimmung der Dauerlinien der täglichen Abflüsse für den Pegel Lindenberg, wenn auch die Übereinstimmung nicht so gut ist.

Insgesamt rechtfertigen die Ergebnisse der Modellvalidierung den Einsatz des Langfristmodells zur Wasserhaushaltssimulation im Einzugsgebiet der Nuthe.



5 Simulationsrechnungen mit dem Langfristmodell

Auftragsgemäß wurden mit folgender Zielstellung Simulationsrechnungen mit dem Langfristmodell durchgeführt:

- Registrierung von wichtigen Systemzuständen (Bodenfeuchte, Grundwasserspeicher) als Anfangsbedingungen für die Kurzfristsimulation von ausgewählten Hochwasserereignissen,
- Registrierung von wichtigen Systemzuständen (s. o.) und systematische (ereignisunabhängige) Auswertung der registrierten Systemzustände,
- Registrierung der Jahreshöchstabflüsse für vier Gewässerquerschnitte und anschließende extremwertstatistische Auswertung mit HQ-EX.

Bei allen Simulationsrechnungen wurde das HRB Jüterbog als Systemelement im N-A-Modell berücksichtigt. Die Stauinhaltslinie und die hydraulischen Charakteristika von Grundablass und Überlauf wurden den in BAH (1998) dokumentierten Projektierungsunterlagen entnommen (Abschnitt 3.3.1.1).

5.1 Langfristsimulation zur Registrierung von wichtigen Systemzuständen

5.1.1 Systemzustände für ausgewählte Hochwasserereignisse

Für die zur Kalibrierung des Kurzfristmodells genutzten Hochwasserereignisse vom August 2002 und vom Juli 2005 wurden für alle Elementarflächen des N-A-Modells die Bodenfeuchte und für alle Teilgebiete die Speicherinhalte der Grundwasserspeicher zu Ereignisbeginn, d. h. am 11.8.2002 bzw. am 27.7.2005, registriert. Die registrierten Systemzustände können bei einer Kurzfristsimulation als Anfangswerte eingelesen werden.

Für eine Hochwassersimulation ist die Bodenfeuchte der maßgebende Systemzustand zur Charakterisierung der Ausgangsbedingungen im Einzugsgebiet. Der Einfluss der Grundwasserspeicher auf die Ergebnisse einer Nachrechnung von Hochwasserereignissen ist nachrangig. Von gewisser Bedeutung ist auf Grund der hohen Speicherkapazität der Inhalt des tiefen Grundwasserspeichers, der allerdings nicht für alle Teilgebiete definiert wurde (Abschnitt 3.4.3.2). Beide Kenngrößen, Bodenfeuchte und Inhalt des tiefen Grundwasserspeichers, werden in Abschnitt 5.1.2 systematisch ausgewertet. Im Zuge dieser Auswertung erfolgt auch eine Einschätzung der für die beiden o. g. Hochwasserereignisse registrierten Systemzustände.

5.1.2 Systematische Auswertung von relevanten Systemzuständen für die Hochwassersimulation

Zur Auswertung der relevanten Systemzustände Bodenfeuchte und Inhalt des tiefen Grundwasserspeichers werden mit dem Langfristmodell simulierte Tageswerte für den Zeitraum 1.1.1976 bis 31.12.2005 herangezogen, die räumlich und zeitlich aggregiert werden. Mit der räumlichen Ag-



gregation wird das Ziel verfolgt, repräsentative Ergebnisse für das gesamte Einzugsgebiet der Nuthe bis zum Pegel Woltersdorf 1 zu erhalten. Falls erforderlich werden dabei auch räumlich differenzierte Aussagen getroffen. Die zeitliche Aggregation der Tageswerte zu Monatsmittelwerten wurde vorgenommen, um die abgeleiteten Aussagen in einer verallgemeinerten praktikablen Form zur Verfügung zu stellen.

Abbildung 5-1 zeigt die Bodenfeuchte in Prozent der nutzbaren Feldkapazität, so wie sie auch im N-A-Modell NASIM als Anfangswert eingegeben wird. Die nutzbare Feldkapazität nFK, die Differenz aus Feldkapazität und Welkepunkt, ist ein Maß für das pflanzenverfügbare Wasser im Boden. Im Einzelnen werden in Abbildung 5-1 für jeden Monat dargestellt: die Mittelwerte, die höchsten und niedrigsten Tageswerte innerhalb des 30jährigen Simulationszeitraums sowie die aus den Tageswerten abgeleiteten Quantile, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 10 % unterschritten (10 %-Quantil) bzw. überschritten (90 %-Quantil) werden.

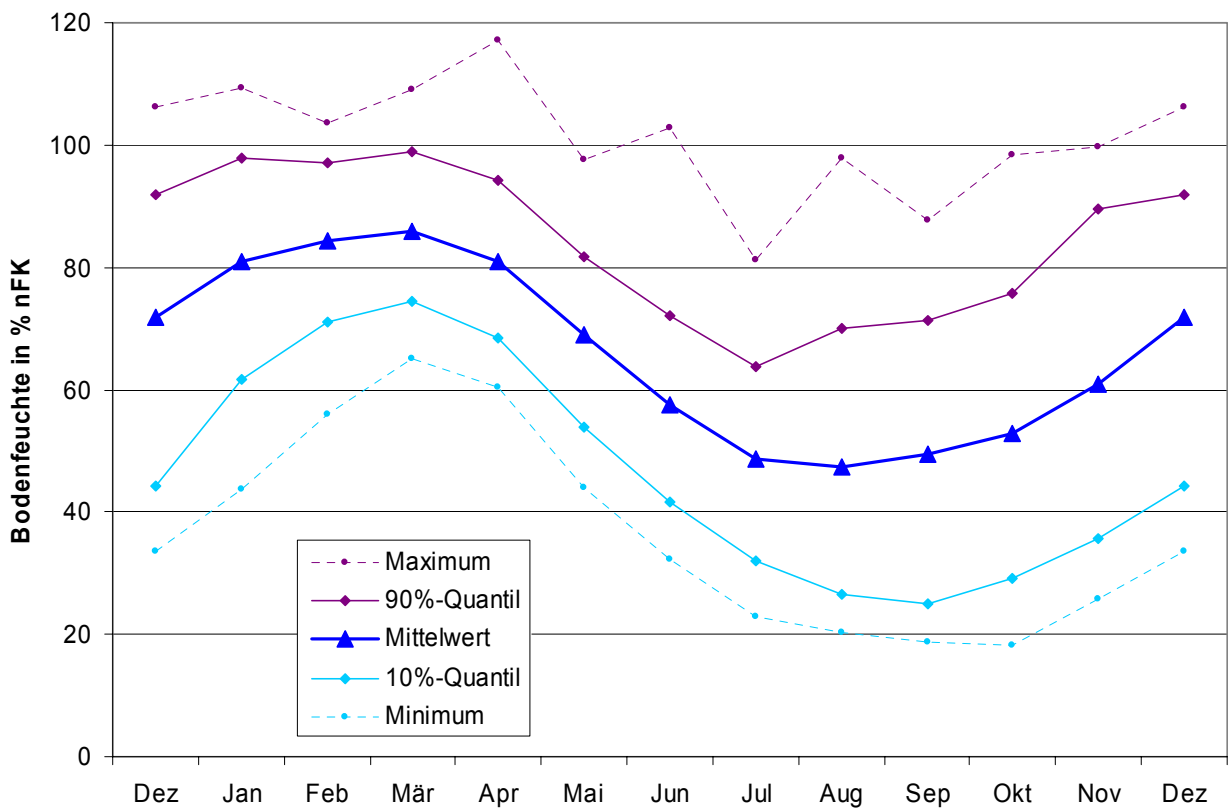


Abbildung 5-1: Jahresgang der Bodenfeuchte im Einzugsgebiet der Nuthe bis zum Pegel Woltersdorf 1

In Ergänzung zu Abbildung 5-1 enthält Tabelle 5-1 die entsprechenden Zahlenwerte für die einzelnen Monate sowie für die den vier Jahreszeiten entsprechenden Quartale.



Tabelle 5-1: Bodenfeuchte in % nFK

Monat	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov
Minimum	33,6	43,7	55,9	65,0	60,4	44,0	32,3	22,8	20,2	18,7	18,2	25,7
10%-Quantil	44,1	61,8	71,0	74,4	68,3	53,8	41,6	32,1	26,5	25,1	29,1	35,7
Mittelwert	71,8	80,9	84,3	85,8	80,9	68,9	57,6	48,6	47,3	49,4	52,9	60,9
90%-Quantil	91,8	97,9	97,0	99,0	94,3	81,8	72,1	63,7	70,0	71,3	75,7	89,5
Maximum	106,2	109,4	103,6	109,0	117,1	97,6	102,8	81,2	97,9	87,8	98,4	99,7
Quartal	Winter			Frühjahr			Sommer			Herbst		
Minimum	33,6			44,0			20,2			18,2		
10%-Quantil	55,8			62,6			32,4			28,9		
Mittelwert	78,9			78,5			51,1			54,4		
90%-Quantil	96,5			94,3			69,4			79,0		
Maximum	109,4			117,1			102,8			99,7		

Mit Hilfe der in Tabelle 5-1 angegebenen Zahlen können für historische oder synthetische Hochwasserereignisse realistische Anfangswerte für die Bodenfeuchte ermittelt werden. Es wird empfohlen, neben den Mittelwerten auch das 10 %-Quantil und das 90 %-Quantil zu berücksichtigen, um so die Sensitivität des Modells bzgl. einer Veränderung der Anfangsbodenfeuchte beurteilen zu können. Die Berücksichtigung der Minima und Maxima wird dagegen nicht für notwendig gehalten, da sie extreme und damit sehr unwahrscheinliche Bedingungen repräsentieren. Auch eine räumliche Differenzierung der Anfangswerte für die Bodenfeuchte erscheint im Ergebnis der Auswertung der Simulationsergebnisse und unter Beachtung der Gebietsgröße als nicht notwendig.

Die beiden zur Kalibrierung des Kurzfristmodells ausgewählten Hochwasserereignisse vom August 2002 und vom Juli 2005 weisen mit 70,1 bzw. 61,8 % nFK eine überdurchschnittliche Anfangsbodenfeuchte auf, die gemäß Tabelle 5-1 im Bereich der 90%-Quantile für die Monate August bzw. Juli liegt.

In Analogie zu Abbildung 5-1 werden in Abbildung 5-2 und Abbildung 5-3 die Speicherinhalte des tiefen Grundwasserspeichers GWTIEF dargestellt, und zwar einmal für eine Speicherkonstante von 200 d, die gemäß Abschnitt 4.2 für das im Teilgebiet 584123 im Oberlauf der Nuthe gewählt wurde, und zum anderen für eine Speicherkonstante von 900 d, die gemäß Abschnitt 4.2 für alle anderen Teilgebiete mit GWTIEF angesetzt wurde. Diese Unterscheidung ist erforderlich, da der Speicherinhalt S eines Einzellinearspeichers entsprechend der Grundgleichung $S = k * q$ umso größer ist, je größer die Speicherkonstante k ist.

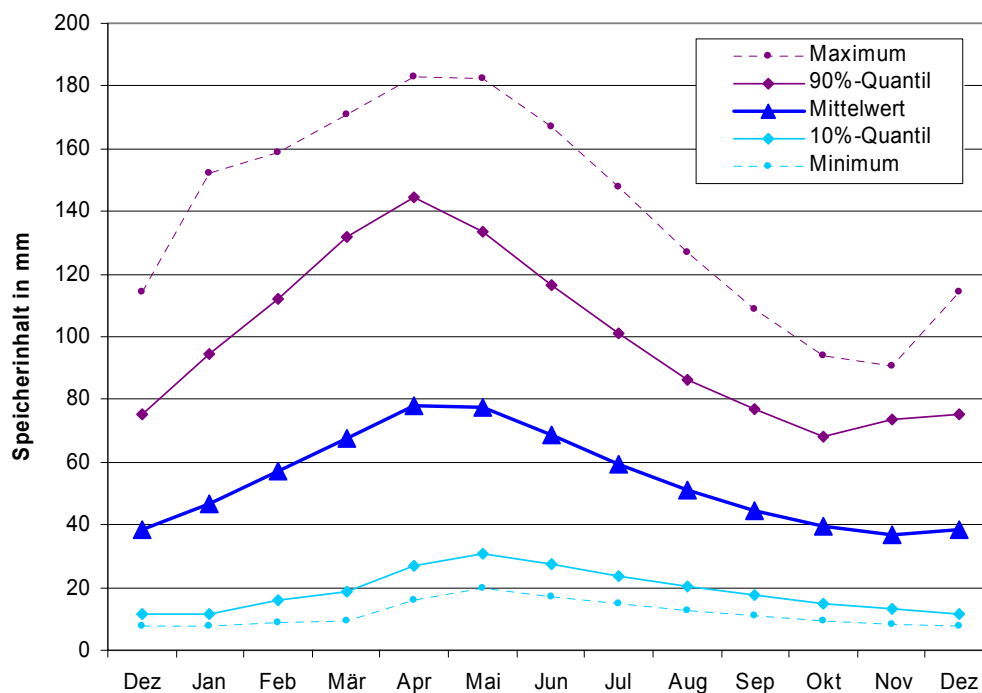


Abbildung 5-2: Speicherinhalt des tiefen Grundwasserspeichers bei einer Rückgangskonstante von 200 d

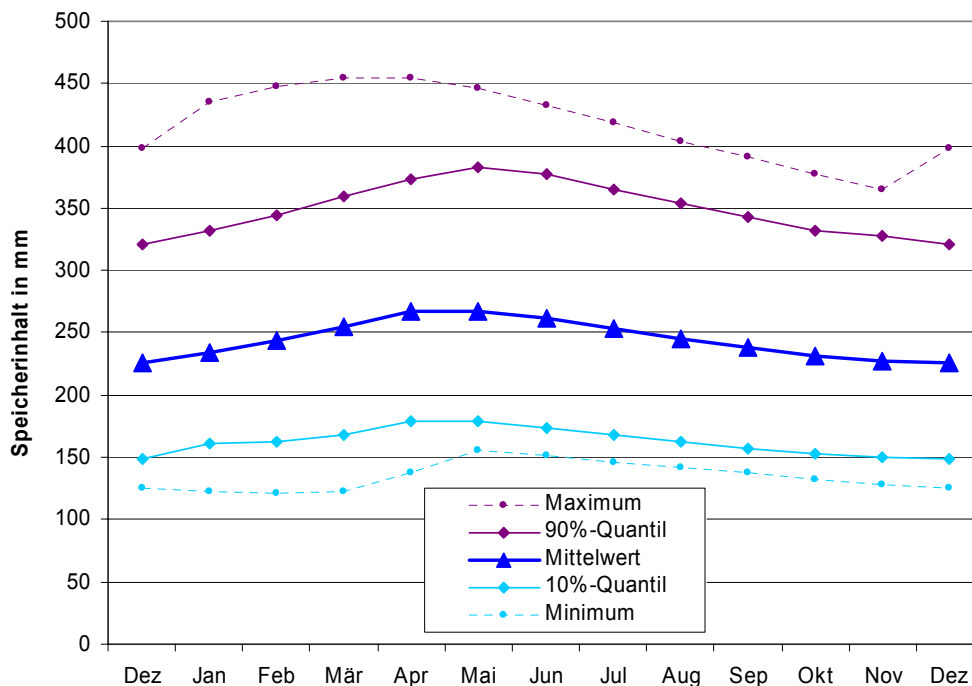


Abbildung 5-3: Speicherinhalt des tiefen Grundwasserspeichers bei einer Rückgangskonstante von 900 d



In Ergänzung zu Abbildung 5-2 und Abbildung 5-3 enthalten Tabelle 5-2 und Tabelle 5-3 die entsprechenden Zahlenwerte für die einzelnen Monate und Quartale.

Tabelle 5-2: Speicherinhalt des tiefen Grundwasserspeichers bei einer Rückgangskonstante von 200 d

Monat	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov
Minimum	7,6	7,9	8,6	9,4	15,7	19,9	17,2	14,8	12,7	10,9	9,3	8,2
10%-Quantil	11,6	11,5	15,9	18,6	27,2	30,6	27,5	23,7	20,3	17,5	15,0	13,4
Mittelwert	38,4	47,0	56,9	67,8	78,2	77,3	68,7	59,4	51,2	44,7	39,4	36,9
90%-Quantil	75,2	94,6	112	132	144	134	116	101	86,5	77,2	68,0	73,4
Maximum	114	152	159	171	183	183	167	148	127	109	94,1	90,5
Quartal	Winter			Frühjahr			Sommer			Herbst		
Minimum	7,6			9,4			12,7			8,2		
10%-Quantil	12,7			25,6			23,4			15,4		
Mittelwert	47,1			74,4			59,7			40,3		
90%-Quantil	99,8			139			110			74,1		
Maximum	159			183			167			109		

Tabelle 5-3: Speicherinhalt des tiefen Grundwasserspeichers bei einer Rückgangskonstante von 900 d

Monat	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov
Minimum	125	122	121	122	138	156	151	147	142	137	133	129
10%-Quantil	148	161	163	168	178	179	174	168	162	157	153	151
Mittelwert	226	234	243	255	267	268	261	254	246	238	231	227
90%-Quantil	321	332	344	359	374	383	377	365	354	343	332	328
Maximum	397	436	448	455	455	446	432	418	404	391	378	365
Quartal	Winter			Frühjahr			Sommer			Herbst		
Minimum	121			122			142			129		
10%-Quantil	154			175			167			153		
Mittelwert	234			263			253			232		
90%-Quantil	334			374			365			332		
Maximum	448			455			432			391		

In Analogie zu Tabelle 5-1 können mit Hilfe von Tabelle 5-2 und Tabelle 5-3 für historische oder synthetische Hochwasserereignisse realistische Anfangswerte für den Inhalt des tiefen Grundwasserspeichers ermittelt werden. Entsprechend den Festlegungen in Abschnitt 4.2 gelten die Zahlen in Tabelle 5-2 für das Teilgebiet 584123 und in Tabelle 5-3 für alle anderen Teilgebiete mit tiefem Grundwasserspeicher. Es wird als ausreichend angesehen, die jeweiligen Mittelwerte anzusetzen. Sensitivitätsun-



tersuchungen unter Berücksichtigung der Quantile, wie bei der Bodenfeuchte empfohlen (s. o.), sind auf Grund des geringeren Einflusses des Anfangsinhaltes des tiefen Grundwasserspeichers auf die simulierten Gewässerabflüsse nicht erforderlich.

Die beiden zur Kalibrierung des Kurzfristmodells ausgewählten Hochwasserereignisse vom August 2002 und vom Juli 2005 weisen mit 243 bzw. 249 mm (bezogen auf die Teilgebiete mit einer Rückgangskonstante von 900 d) einen durchschnittlichen Anfangsinhalt des tiefen Grundwasserspeichers auf.

5.1.3 Langfristsimulation zur Registrierung von Jahreshöchstabflüssen

Aus den mit dem Langfristmodell simulierten Tageswerten wurden für vier Gewässerquerschnitte die Jahreshöchstabflüsse herausgefiltert und anschließend mit HQ-EX extremwertstatistisch ausgewertet. Zur besseren Vergleichbarkeit mit den HQ_T aus der Pegelstatistik (Extremwertstatistik) wurde als Verteilungsfunktion wiederum die dreiparametrische Weibullverteilung (WB3) und als Parameterschätzmethode die Methode der wahrscheinlichkeitsgewichteten Momente (WGM) verwendet. Die Langfristsimulation wurde mit HRB Jüterbog durchgeführt.

Die ermittelten HQ_T und der Vergleich mit den HQ_T aus der Kurzfristsimulation und der Extremwertstatistik sind im Abschnitt 6.2.3 beschrieben.



6 Ergebnisse der Kalibrierung und Validierung des Kurzfristmodells

Neben dem Aufbau eines Wasserhaushaltsmodells (Langfristmodell) war der Aufbau eines Hochwassermodells (Kurzfristmodell) Aufgabe des Projektes. Aus dem Basismodell (siehe Abschnitt 1.3) wurde deshalb ein Kurzfristmodell abgeleitet. Datengrundlage für die Kalibrierung des Kurzfristmodells waren Abflussganglinien und Niederschlagsdaten für historische Abflussereignisse (siehe Abschnitt 6.1). Die Kalibrierung des Kurzfristmodells konzentrierte sich auf die hydrologisch plausible Abbildung des Abflusses nach sommerlichen Starkregenereignissen, da das Hauptziel dieser N-A-Modellierung darin bestand, ein Modell aufzubauen, das für Untersuchungen zur Regenwasserableitung und zum Regenwasserrückhalt in Luckenwalde und zur Ableitung von HQ_T -Werten geeignet ist.

Die Wirkung des HRB Jüterbog auf den Hochwasserablauf war zu berücksichtigen. Allerdings dient laut Aussage des LUA Brandenburg das HRB vorrangig dem Schutz im Winter-Hochwasserfall, wenn Niederschlag auf gefrorenen Boden bzw. die Schneedecke fällt. Im Sommer wird das HRB in der Regel nicht eingestaut. Vom LUA Brandenburg wurde deshalb angeregt, zur Kalibrierung des Modells neben den Sommerereignissen auch winterliche Hochwasserereignisse (Februar 1996, Februar 2006) heranzuziehen. Die Kalibrierung des Modells anhand von Winter-Hochwasserereignissen ist allerdings methodisch nicht so einfach umzusetzen. Die Ursachen liegen zum einen darin, dass zur Aneicherung an ein Winterereignis die Parameter im N-A-Modell so gesetzt werden müssen, dass die Abflussverhältnisse (gefrorener Boden) widergespiegelt werden. Ein so kalibriertes Modell wäre dann aber kein „allgemein“ gültiges N-A-Modell, d. h. bei sommerlichen Verhältnissen würden viel zu hohe Abflüsse berechnet werden. Außerdem ist die Datenlage für Winterhochwässer schwierig, da zur Nachbildung Informationen zur Schneeschmelze nötig sind. Stattdessen wurde auf der Beratung am 3.7.2008 abgestimmt, ein winterliches HW-Ereignis ohne Schnee heranzuziehen. Dafür wurde das April-Hochwasser 1994 ausgewählt. Leider stehen erst ab 2000 in Jüterbog-Bürgermühle 15 min-Werte des Abflusses zur Verfügung, sodass dieses Ereignis nicht für die Modellkalibrierung herangezogen werden konnte. Die Modellkalibrierung und -validierung für die Kurzfristsimulation wurde deshalb nur anhand der beiden Sommerereignisse Juli 2005 und August 2002 durchgeführt. Die Ergebnisse sind im Abschnitt 6.2.1 dargestellt.

Weiterhin wurde eine Plausibilisierung für die Regenwasserableitung in Luckenwalde durchgeführt (siehe Abschnitt 6.2.2).



6.1 Datengrundlagen

6.1.1 Niederschläge

6.1.1.1 Ereignisbezogene Niederschläge

Julihochwasser 2005

Für das Hochwasserereignis im Juli 2005, das die Grundlage für die Kalibrierung des Kurzfristmodells bildete, wurden sowohl Informationen über die zeitliche als auch die räumliche Verteilung der Hochwasser auslösenden Niederschläge benötigt.

Hochwasserauslösende Niederschläge (Tageswerte) wurden vom LUA Brandenburg für fünf Stationen (Petkus, Jüterbog, Baruth (AWST), Holbeck, Felgentreu) übergeben. Außer Jüterbog liegen die Stationen außerhalb des Nutheinzugsgebietes. Zur besseren Abbildung des Niederschlagsereignisses wurden aber alle sechs Stationen mit einbezogen. Da Angaben über die zeitliche Niederschlagsverteilung der Hochwasser auslösenden Niederschläge zwingend notwendig sind, wurde eine entsprechende Datenanfrage an den Deutschen Wetterdienst gestellt. Für die Station Baruth konnten vom DWD Stundenwerte bereitgestellt werden. Tabelle 6-1 enthält die täglichen Niederschlagssummen an den Stationen. Leider wurden die Messungen an der Station Reinsdorf eingestellt, sodass für die südlichen Bereiche des Untersuchungsgebietes die Niederschlagsdatenlage recht dünn ist.

Maßgeblich für den Hochwasserscheitel waren die Niederschläge, die vom 29.7. morgens bis zum 30.7.2005 morgens gefallen sind. In Jüterbog betrug die Tagessumme am 29.7.2005 35,8 mm.

Tabelle 6-1: Tägliche Niederschläge im Juli/August 2005 an Stationen im und um das Nutheinzugsgebiet bis zum Hammerfließ (Bezugszeitraum ist jeweils die Zeitspanne von 7 Uhr bis 7 Uhr des Folgetages)

Station	27.7.	28.7.	29.7.	30.7.	31.7.	1.8.	2.8.	3.8.	27.7.-3.8.
Petkus	4,8	0,2	49,2	0,2	0,0	0,0	2,7	11,0	68,1
Jüterbog	6,3	0,4	35,8	0,3	0,0	0,0	2,6	6,8	52,2
Reinsdorf	Station zum 31.8.2003 eingestellt								
Baruth	4,1	0,0	65,8	0,3	0,0	0,0	4,1	13,8	88,1
Holbeck	6,0	0,0	32,0	0,4	0,0	0,0	3,6	7,5	49,5
Felgentreu	5,4	0,9	32,5	0,2	0,0	0,0	0,0	7,4	46,4



Ergänzend wurde in Abbildung 6-1 die **räumliche Niederschlagsverteilung** für das Gesamtereignis vom 27.7. bis zum 3.8.2005 dargestellt, die aus den Beobachtungen aller verfügbaren Stationen interpoliert wurde. Danach beträgt der Gebietsniederschlag vom 27.7. morgens bis zum 4.8.2005 morgens 52,4 mm.

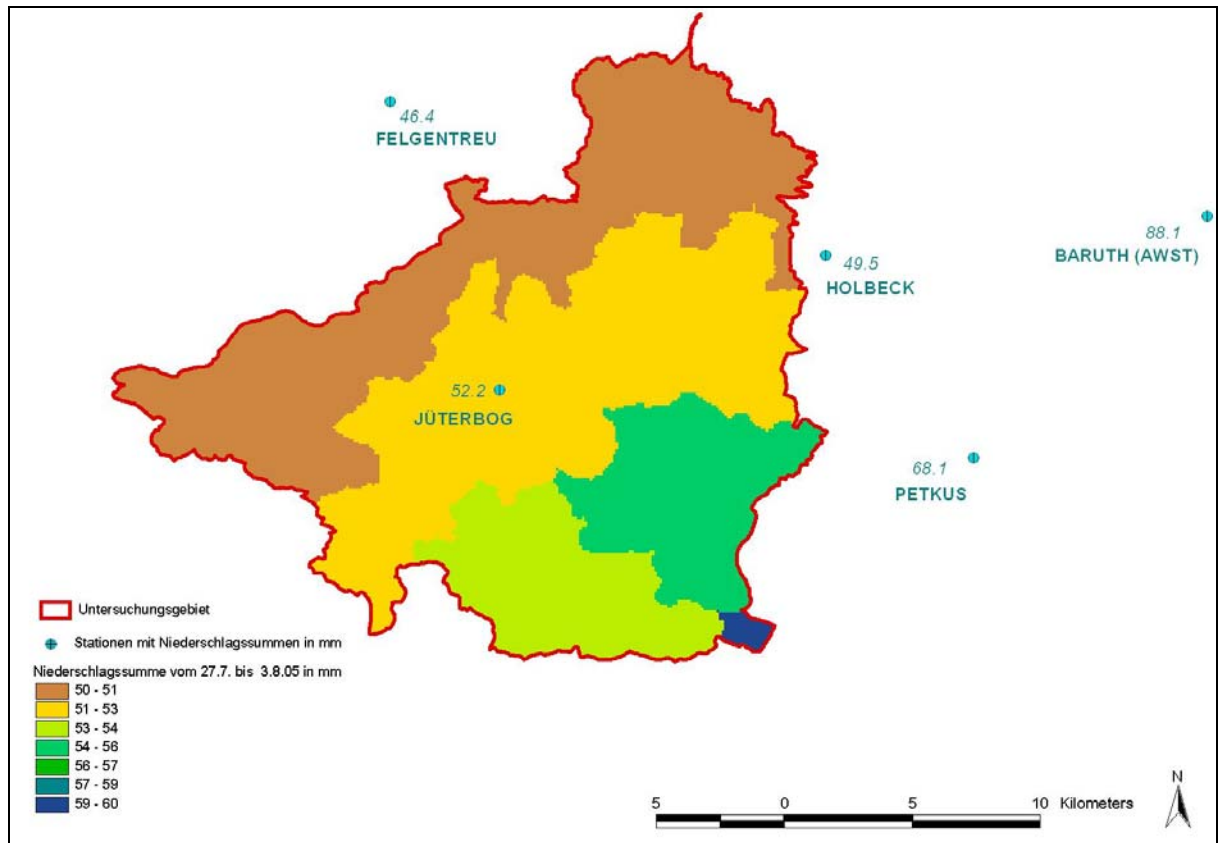


Abbildung 6-1: Niederschlagssumme in mm vom 27.7. morgens bis zum 4.8.2005 morgens

Auf der Grundlage von Abbildung 6-1 wurde für jedes Simulationsteilgebiet des N-A-Modells die Niederschlagssumme vom 27.7. morgens bis zum 4.8.2005 morgens bestimmt.

Für die Kalibrierung des N-A-Modells musste jedem Simulationsteilgebiet noch eine geeignete **zeitliche Niederschlagsverteilung** zugewiesen werden. Für deren Ableitung standen die Stundenwerte an der DWD-Station Baruth zur Verfügung. In der folgenden Abbildung sind die Niederschlagsintensitäten in Baruth dargestellt. Diese Niederschlagsverteilung wurde als relevant für die Niederschlagsverteilung im Nuthegebiet angesetzt, d. h. mittels dieser Niederschlagsverteilung wurde die Niederschlagssumme in jedem Simulationsteilgebiet des N-A-Modells aufgeteilt.



Tabelle 6-2: Tägliche Niederschläge im August 2002 an Stationen im und um das Nutheinzugsgebiet bis zum Hammerfließ (Bezugszeitraum ist jeweils die Zeitspanne von 7 Uhr bis 7 Uhr des Folgetages)

Station	6.8.	7.8.	8.8.	9.8.	10.8.	11.8.	12.8.	13.8.	14.8.	15.8.	11.8.-13.8.
Petkus	0,0	11,2	0,0	0,0	0,0	3,5	116,0	16,2	0,0	0,0	135,7
Jüterbog	0,0	0,5	0,1	0,0	0,0	3,0	94,0	2,7	0,0	0,0	99,7
Reinsdorf	0,0	1,6	0,0	0,0	0,1	3,5	76,4	3,4	0,0	0,0	83,3
Baruth	0,0	0,9	3,8	0,0	2,7	2,3	98,5	7,9	0,1	0,0	108,7
Holbeck	0,0	3,5	0,0	0,0	0,1	4,9	92,7	13,6	0,0	0,0	111,2
Felgentreu	0,0	3,2	21,6	0,0	0,0	7,1	98,6	6,1	0,0	0,0	111,8

Ergänzend wurde in Abbildung 6-3 die **räumliche Niederschlagsverteilung** für das Gesamtereignis vom 11.8. bis zum 13.08.2002 dargestellt, die aus den Beobachtungen aller verfügbaren Stationen interpoliert wurde. Danach beträgt der Gebietsniederschlag vom 11.8. morgens bis zum 14.8.2002 morgens 103 mm.

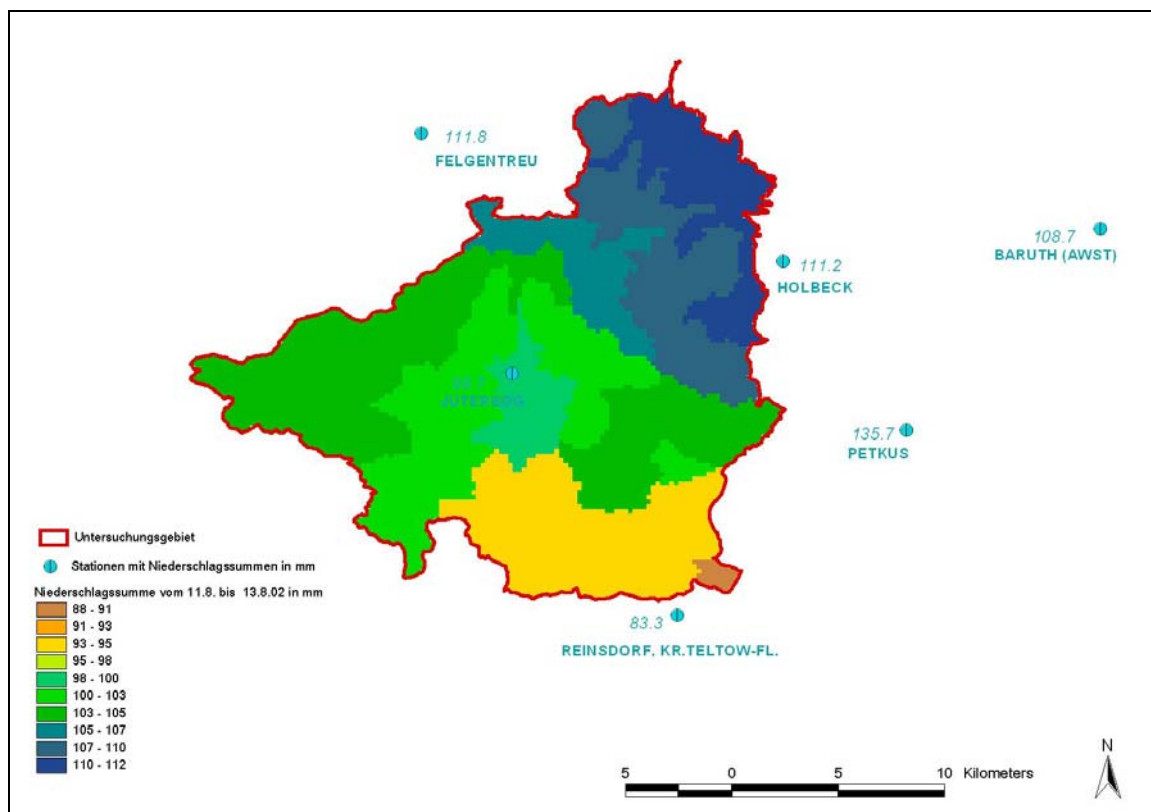


Abbildung 6-3: Niederschlagssumme in mm vom 11.8. morgens bis zum 14.8. morgens



Auf der Grundlage von Abbildung 6-3 wurde für jedes Simulationsteilgebiet des N-A-Modells die Niederschlagssumme vom 11.8. morgens bis zum 14.8. morgens bestimmt.

Für die **zeitliche Niederschlagsverteilung** wurden wiederum die Stundenwerte an der DWD-Station Baruth verwendet. In der Abbildung 6-4 sind die Niederschlagsintensitäten in Baruth dargestellt.

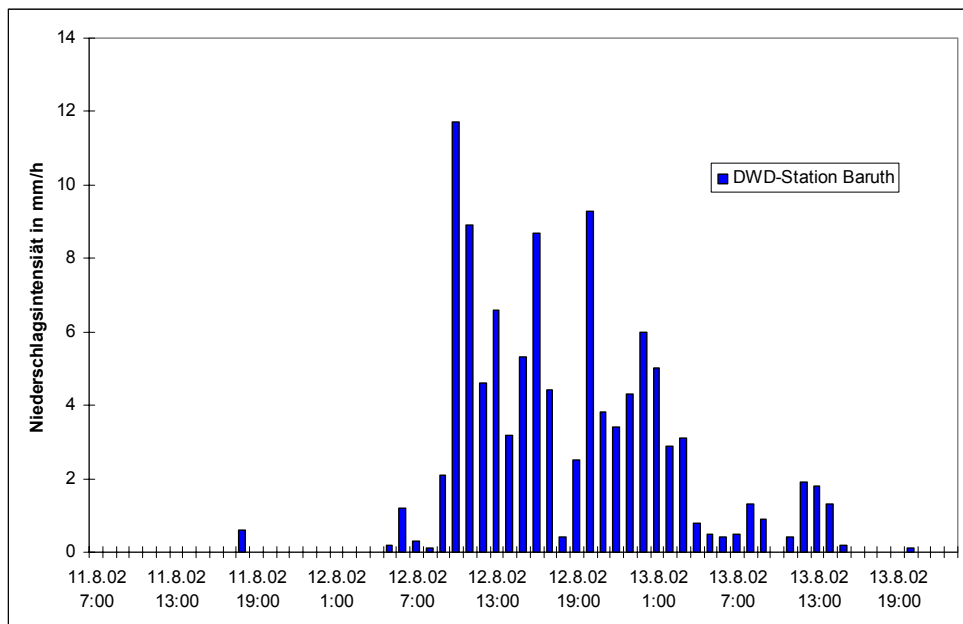


Abbildung 6-4: Niederschlagsintensitäten vom 11.8. bis 13.8.2002 an der DWD-Station Baruth

6.1.1.2 Bemessungsniederschläge

Für die Simulationsrechnungen mit dem N-A-Modell zur Ermittlung der HQ_T waren als Modelleingangsgrößen Bemessungsniederschläge $P_{D,T}$ für unterschiedliche Niederschlagsdauern D und Wiederkehrintervalle T bis einschließlich 200 Jahre bereitzustellen.

Die Bemessungsniederschläge bis $T = 100$ a wurden mit Hilfe der Software KOSTRA-DWD 2000 (ITWH, 2005) ermittelt, die auf der aktuellen Ausgabe des KOSTRA-Atlasess aufbaut. Von den ca. $8,46 \times 8,46$ km großen Rasterfeldern im KOSTRA-Atlas haben insgesamt 13 einen signifikanten Anteil am Untersuchungsgebiet. In Abbildung 6-5 sind diese Rasterfelder mit ihrer Rasternummer dargestellt (z. B. 4161 = Zeile 41 und Spalte 61 des KOSTRA-Rasters). Theoretisch wäre es möglich gewesen, für jedes Rasterfeld mit Hilfe der Software KOSTRA-DWD 2000 eine eigene Starkniederschlagstabelle zu erstellen. Praktisch war dies jedoch nicht notwendig, da sich die Unterschiede zwischen den Starkniederschlagstabellen für benachbarte Rasterfelder oftmals nur innerhalb der Klassengrenzen der Niederschlagshöhen bewegen. Deshalb wurde versucht, die Anzahl der zu erzeugenden Starkniederschlagstabellen so zu reduzieren, dass wirklich nur signifikante Unterschiede innerhalb der räumlichen Verteilung der Starkniederschlagshöhen berücksichtigt werden. Hierfür sind insgesamt drei verschiedene Starkniederschlagstabellen notwendig.



Abbildung 6-5 zeigt die räumlichen Gültigkeitsbereiche der einzelnen Starkniederschlagstabellen. Anlage 3 enthält die entsprechenden Berechnungsergebnisse der Software KOSTRA-DWD 2000.

Jedem Simulationsteilgebiet des N-A-Modells wurde eine repräsentative Starkniederschlagstabelle zugeordnet. Ausschlaggebend für diese Zuordnung war der jeweils größte Flächenanteil, den die räumlichen Gültigkeitsbereiche der einzelnen Starkniederschlagstabellen an den Teilgebietsflächen einnehmen.

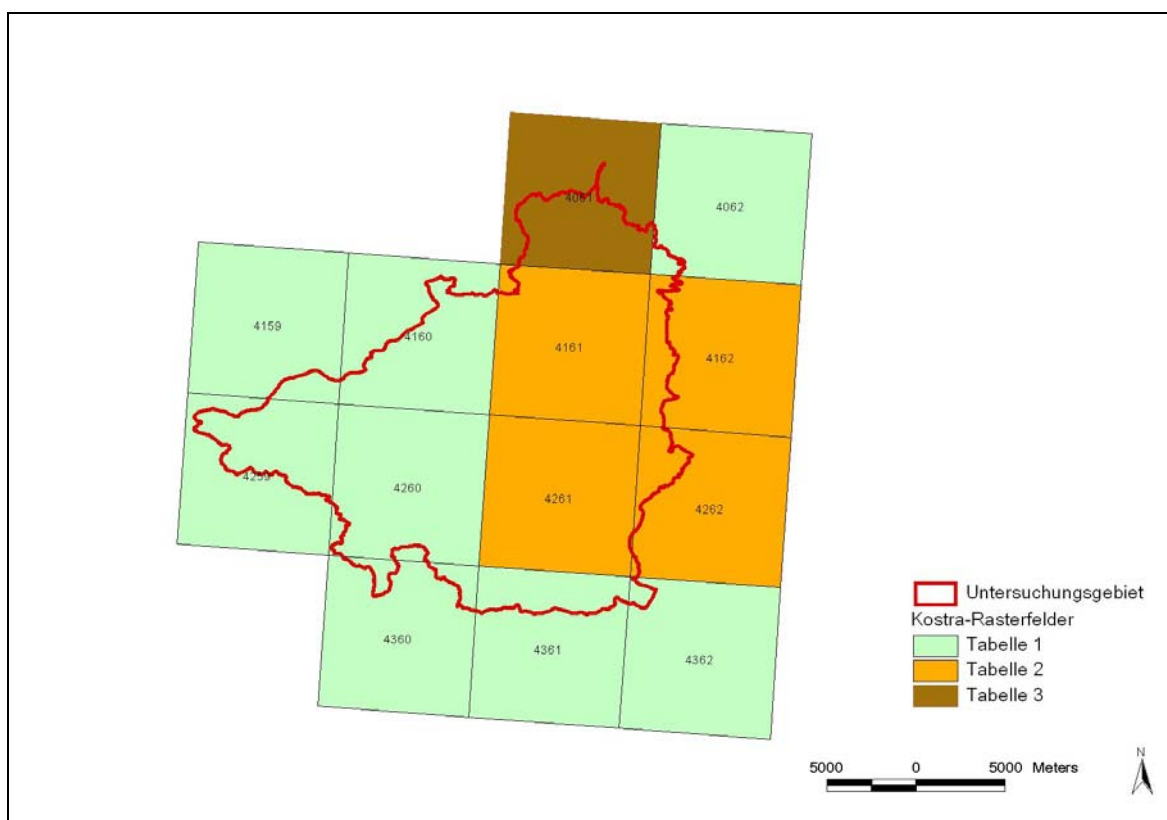


Abbildung 6-5: Für das Untersuchungsgebiet relevante KOSTRA-Rasterfelder und Gültigkeitsbereiche der einzelnen Starkniederschlagstabellen

Als theoretische Grundlage für den Ausgleich von Starkniederschlägen gleicher Dauer wird im KOSTRA-Atlas die zweiparametrische Variante der Exponentialverteilung verwendet. Für die Extrapolation der KOSTRA-Niederschläge bis $T = 200$ a wird das von VERWORN (2006) vorgeschlagene Verfahren angewendet, das von der Gültigkeit der Exponentialverteilung auch im Extrapolationsbereich ausgeht. Die nach dem Extrapolationsverfahren von VERWORN (2006) ermittelten Bemessungsniederschläge für $T = 200$ a sind Inhalt von Tabelle 6-3. In dieser Tabelle wurden die für die N-A-Simulation relevanten Niederschlagsdauern $D = 1, 2, 3, 6, 12, 24, 48$ und 72 Stunden berücksichtigt.



Tabelle 6-3: Durch Extrapolation der KOSTRA-Niederschläge ermittelte Bemessungsniederschläge für T = 200 a als Grundlage für die Berechnung von HQ₂₀₀ (HQ_{EXTREM})

KOSTRA-Tabelle gemäß Abbildung 6-5	Niederschlagsdauer in h							
	1	2	3	6	12	24	48	72
Tabelle 1	48,3	56,2	61,5	71,7	83,5	99,3	114,4	127,8
Tabelle 2	48,3	58,6	65,7	79,9	97,2	110,2	132,4	149,7
Tabelle 3	48,3	56,0	61,2	71,0	82,5	99,4	132,4	143,9

Die in Anlage 3 und Tabelle 6-3 enthaltenen Bemessungsniederschläge wurden bei der Berechnung der HQ_T und ihrer Ganglinien entsprechend dem mittebetonten Modellregentyp Euler II auf die einzelnen Berechnungszeitintervalle aufgeteilt. Bei diesem Modellregentyp treten die stärksten Niederschlagsintensitäten am Ende des ersten Drittels der Niederschlagsdauer auf. Mit Hilfe der Software KOSTRA-DWD 2000 können die entsprechenden Intensitätsverläufe für beliebige Starkniederschlags-höhen und -dauern automatisiert generiert werden. Als Beispiel zeigt Abbildung 6-6 den prozentualen Intensitätsverlauf gemäß Modellregentyp Euler II für den 100-jährigen Niederschlag nach Tabelle 1, Anlage 3 bei einer Niederschlagsdauer von 12 Stunden. Die Bemessungsniederschläge wurden bei der N-A-Simulation nicht mit Sicherheitszuschlägen beaufschlagt.

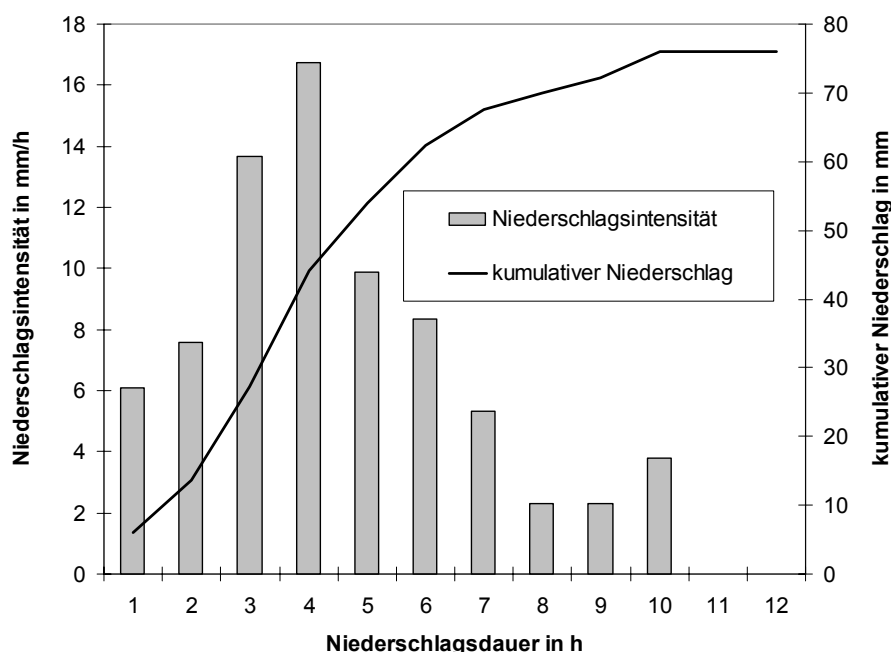


Abbildung 6-6: Beispiel für eine mittebetonte Niederschlagsverteilung gemäß Modellregentyp Euler II



6.1.2 Wasserstände und Abflüsse

Julihochwasser 2005

Vom LUA Brandenburg wurde eine zeitlich hochaufgelöste Abflussganglinie für den Pegel Jüterbog-Bürgermühle (15-Minuten-Werte) für den Zeitraum 20.7. bis 1.9.2005 übergeben. Dabei handelt es sich um eine Periode mit mehreren Hochwasserspitzen. Für die Modellkalibrierung wurde lediglich der Zeitraum vom 27.7. bis zum 3.8.2005 ausgewählt. Der Scheitelabfluss lag bei 1,86 m³/s und trat am 30.7.2005 von 9:45 bis 11:00 Uhr auf. Die Hochwasserganglinie (aggregiert zu Stundenwerten) ist in folgender Abbildung zusammen mit den Niederschlägen an der Station Baruth dargestellt.

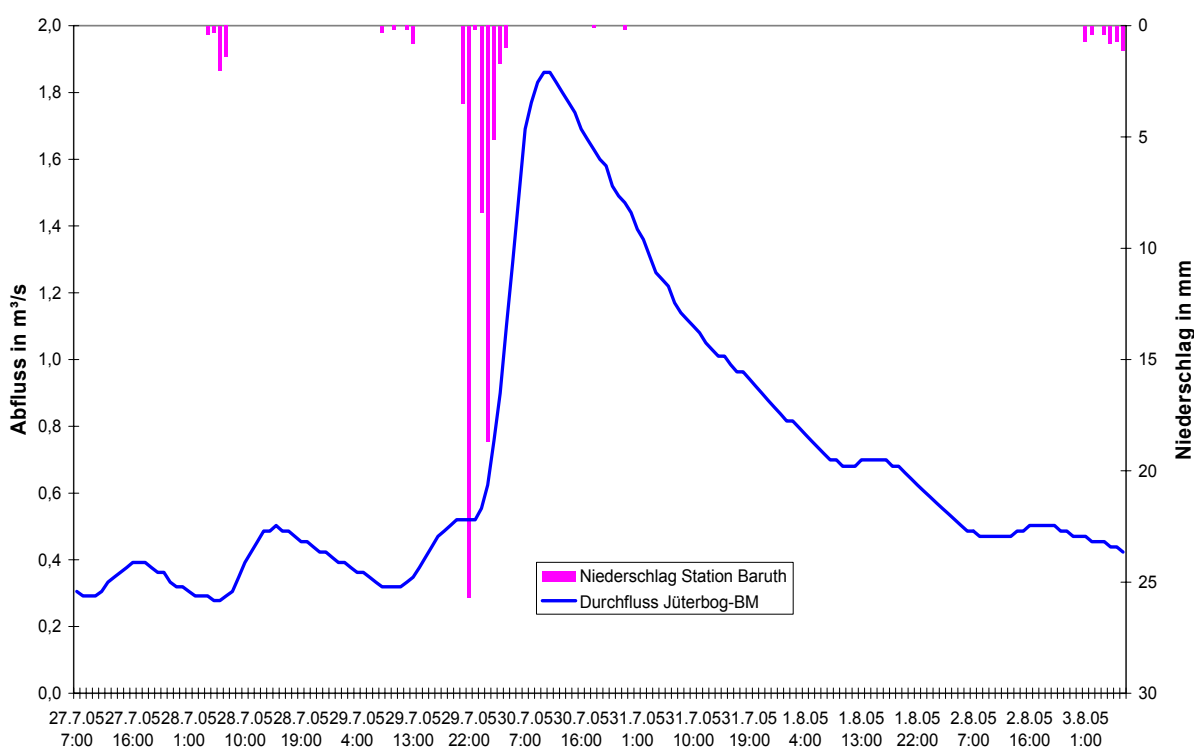


Abbildung 6-7: Beobachtete Hochwasserganglinie am Pegel Jüterbog-Bürgermühle und Niederschläge an der Station Baruth im Juli/August 2005

Neben der Abflussganglinie in Jüterbog-Bürgermühle lagen für folgende Pegel noch Angaben über die Scheitelabflüsse (basierend auf Tageswerten) vor:

- Jüterbog-Bürgermühle / Nuthe: $HQ_{2005} = 1,50 \text{ m}^3/\text{s}$,
- Lindenberg Wehr OP / Nuthe: $HQ_{2005} = 0,676 \text{ m}^3/\text{s}$,
- Woltersdorf 1 Wehr OP / Nuthe: $HQ_{2005} = 1,65 \text{ m}^3/\text{s}$.



Augusthochwasser 2002

Weiterhin wurde für den Pegel Jüterbog-Bürgermühle für den Zeitraum 7.8.2002 bis 22.8.2002 Abflüsse (15-Minuten-Werte) vom LUA Brandenburg übergeben. Der Scheitelabfluss lag bei 3,10 m³/s und trat am 13.8.2002 von 3:00 bis 5:00 Uhr auf. Die Hochwasserganglinie (aggregiert zu Stundenwerten) ist in folgender Abbildung zusammen mit den Niederschlägen an der Station Baruth dargestellt.

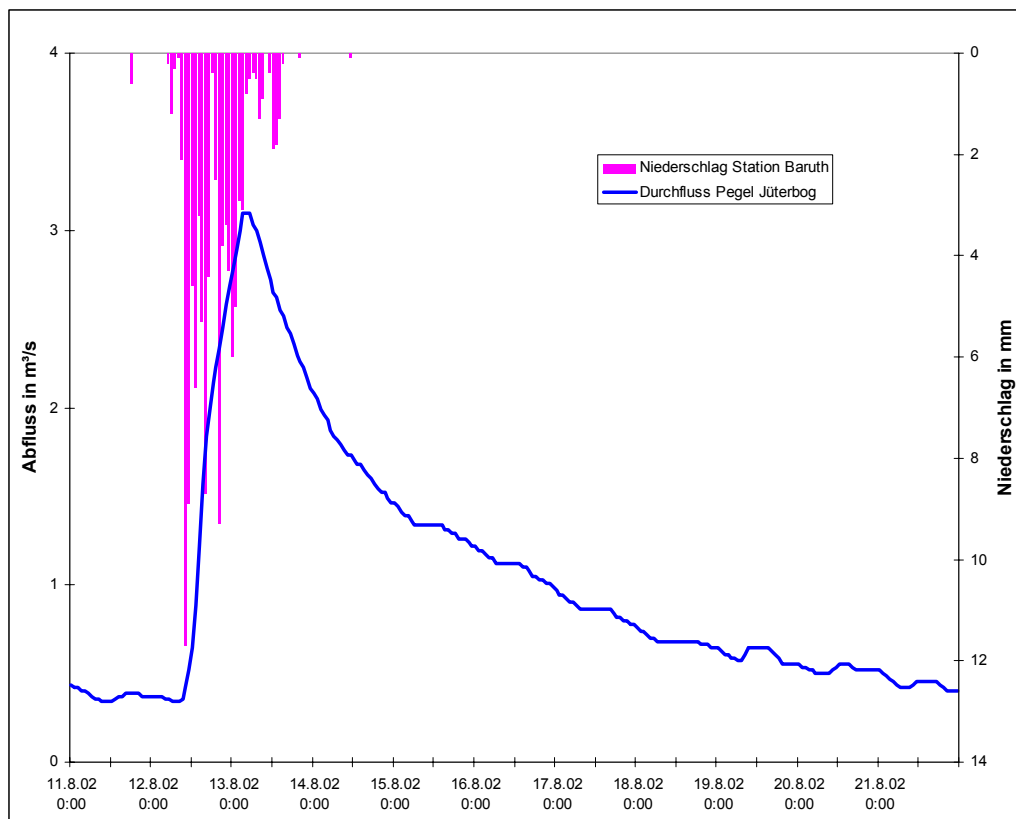


Abbildung 6-8: Beobachtete Hochwasserganglinie am Pegel Jüterbog-Bürgermühle und Niederschläge an der Station Baruth im August 2002

Neben der Abflussganglinie in Jüterbog-Bürgermühle lagen für folgende Pegel noch Angaben über die Scheitelabflüsse (basierend auf Tageswerten) vor:

- | | |
|----------------------------------|--|
| - Jüterbog-Bürgermühle / Nuthe: | HQ ₂₀₀₂ = 2,65 m ³ /s, |
| - Lindenberg Wehr OP / Nuthe: | HQ ₂₀₀₂ = 3,57 m ³ /s, |
| - Woltersdorf 1 Wehr OP / Nuthe: | HQ ₂₀₀₂ = 5,50 m ³ /s. |

6.1.3 Hochwasserrückhaltebecken (HRB) Jüterbog

Julihochwasser 2005

In die Modellkalibrierung war die Retentionswirkung des HRB Jüterbog einzubeziehen. Eine Zufluss- und Abflussganglinie lagen für das Julihochwasser 2005 nicht vor. Für den Zuflusspegel wurden vom LUA Brandenburg 15-Minuten-Wasserstandswerte übergeben. Der maximale Wasser-



stand am Zulauf- /Beckenpegel betrug 35 cm (70.61 mNN) und wurde am 30.7.2005 11:45 bis 15:30 Uhr registriert. Im Hochwasserrückhaltebecken wurde nach Aussage des LUA Brandenburg kein Wasser eingestaut.

Augusthochwasser 2002

Eine Zufluss- und Abflussganglinie lagen auch für das Augusthochwasser 2002 nicht vor. Für den Zuflusspegel konnten vom LUA Brandenburg 15-Minuten-Wasserstandswerte und die Ergebnisse einer Durchflussmessung am 13.08.2002 zur Verfügung gestellt werden. Für den Abgabepegel wurden sporadische Wasserstandsmessungen übergeben. Eine Speicherinhaltsganglinie lag nicht vor. Mit Hilfe der Stauinhaltslinien wurden deshalb die Wasserstände in Speicherinhalte umgerechnet. Danach können folgende Aussagen getroffen werden:

Der maximale Wasserstand am Zulauf-/Beckenpegel betrug 135 cm (71,56 mNN) und wurde am 13.8.2002 1:15 bis 1:45 Uhr registriert. Entsprechend den Leistungskurven für den Grundablass kann dementsprechend eine maximale Abgabe von ungefähr 0,8 m³/s abgeleitet werden.

Die Durchflussmessung, die am 13.8.2002 um 9:00 Uhr im Zulauf durchgeführt wurde, lag zeitlich nach dem Hochwasserscheitel. Der gemessene Durchfluss betrug 0,545 m³/s bei einem Wasserstand am Beckenpegel von 103 cm. Bei der Durchflussmessung wurde kein Einstau beobachtet. Das LUA Brandenburg bestätigte, dass das Hochwasserrückhaltebecken bei diesem Hochwasserereignis nicht eingestaut wurde, d. h. die Niederschläge im Gewässerprofil abgeführt werden konnten.

Die sporadisch gemessenen Wasserstände am Abgabepegel lagen

- am 10.8. bei 22 cm,
- am 13.8. bei 89 cm und
- am 18.8. bei 28 cm.

6.1.4 Anfangsbedingungen

Mit dem Langfristmodell wurden die für eine Hochwassersimulation mit dem Kurzfristmodell relevanten Systemzustände Bodenfeuchte und Inhalt des tiefen Grundwasserspeichers ausgewertet (Abschnitt 5.1.2). Zur Charakterisierung der Vorfeuchte im Einzugsgebiet wurden dementsprechend im Kurzfristmodell für die Hochwasserereignisse im Juli 2005 und im August 2002 die Bodenfeuchte (70,1 bzw. 61,8 % der nutzbaren Feldkapazität) und der Anfangsinhalt des tiefen Grundwasserspeichers (249 bzw. 243 mm für die Teilgebiete mit einer Rückgangskonstante von 900 d) angesetzt.

6.2 Modellkalibrierung und -validierung

6.2.1 Ereignisbezogene Kalibrierung und Validierung

Im Mittelpunkt der ereignisbezogenen Kalibrierung stand der Vergleich der am Nuthepegel Jüterbog-Bürgermühle simulierten Abflüsse mit den



beobachteten Abflüssen im Juli 2005 (Abbildung 6-7), da dieses Hochwassereignis nachvollziehbarer war als das Ereignis im August 2002. Das Augusthochwasser 2002 diente zur Validierung des N-A-Modells (Abbildung 6-8). Weiterhin wurde der Nuthepegel Woltersdorf 1 herangezogen. Für diesen Pegel lagen nur Tageswerte vor, weshalb lediglich die Hochwasserscheitelabflüsse zur Plausibilisierung der Simulationsergebnisse dienten.

Mit dem noch unkalibrierten N-A-Modell erfolgte zunächst eine so genannte Nullsimulation. In Abbildung 6-9 wird die simulierte Abflussganglinie der Nullsimulation für den Pegel Jüterbog-Bürgermühle mit der beobachteten Abflussganglinie verglichen.

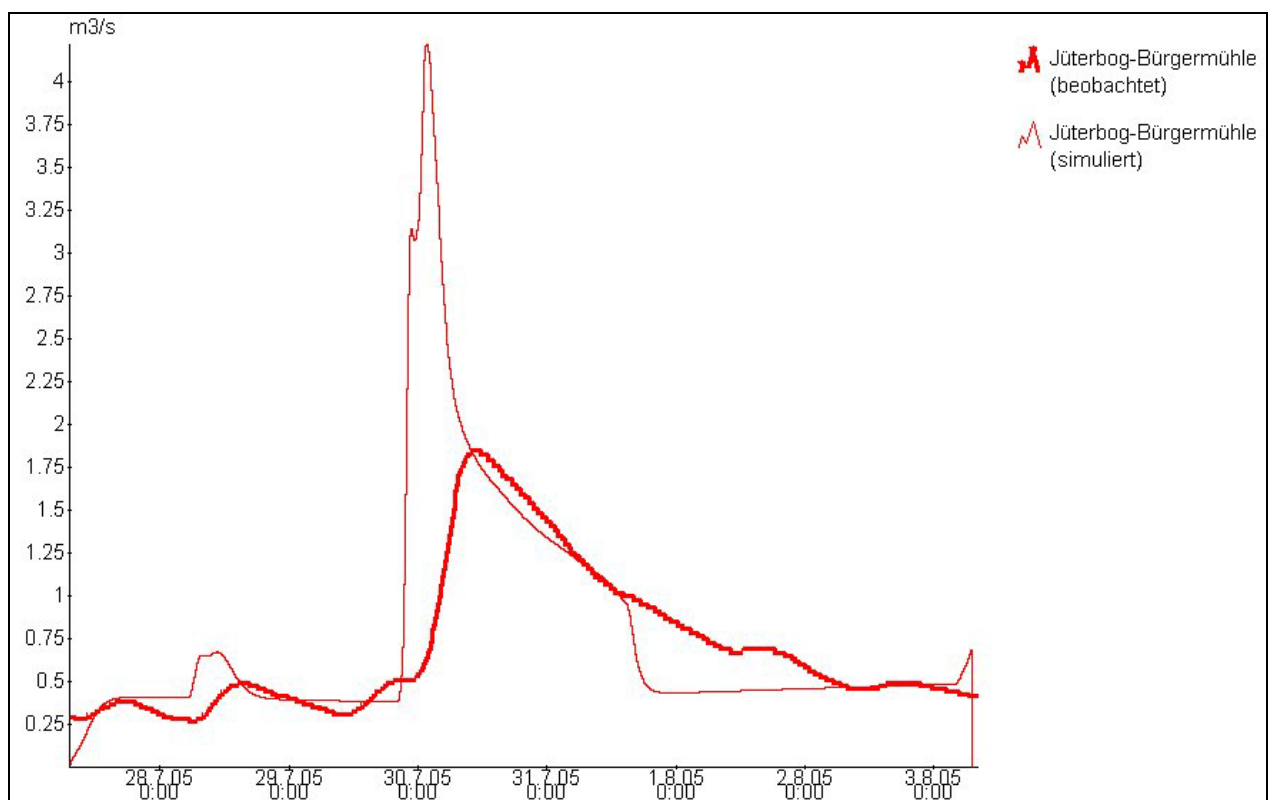


Abbildung 6-9: Vergleich der mit dem unkalibrierten N-A-Modell (Nullsimulation) simulierten Abflussganglinie mit der beobachteten Abflussganglinie im Juli 2005

Die Simulation mit dem unkalibrierten Modell zeigt eine Überschätzung des Scheitelabflusses und dadurch auch der Abflussfülle. Der steile Anstieg der Hochwasserwelle wird recht gut getroffen, allerdings tritt der berechnete Scheitel vor dem beobachteten ein. Der allmähliche Abflussrückgang wird noch nicht gut widerspiegelt. Dennoch zeigt das Ergebnis der Nullsimulation, dass die beim Modellaufbau gewählten Modellparameter im Großen und Ganzen richtig sind, da sich die Simulationsergebnisse in gleicher Größenordnung wie die beobachteten Abflüsse bewegen.

Die Ergebnisse der Nullsimulation waren Veranlassung dafür, an den Modellparametern folgende Veränderungen vorzunehmen:



1. Der Scheitelabfluss wurde verringert, indem die Versickerung erhöht und der versiegelte Oberflächenanteil verringert wurde. Weiterhin wurde die Retentionszeit des Oberflächenabflusses unversiegelter Flächen erhöht.
2. Das Verhältnis zwischen dem hypodermischen und dem Basisabfluss wurde zu Gunsten des hypodermischen Abflusses verändert. Dadurch wurde die Wellenform etwas breiter. Außerdem verläuft der Abflussrückgang weniger steil.

Die Abbildung 6-10 verdeutlicht die positiven Auswirkungen der im Zuge der Kalibrierung am N-A-Modell vorgenommenen Änderungen. Die mit dem kalibrierten Modell simulierte Abflussganglinie für den Pegel Jüterbog-Bürgermühle (Zeitraum 27.7.2005 bis 3.8.2005) stimmt jetzt wesentlich besser mit der beobachteten Abflussganglinie überein. In die Abbildung wurde zusätzlich die simulierte Ganglinie ohne das HRB Jüterbog aufgenommen.

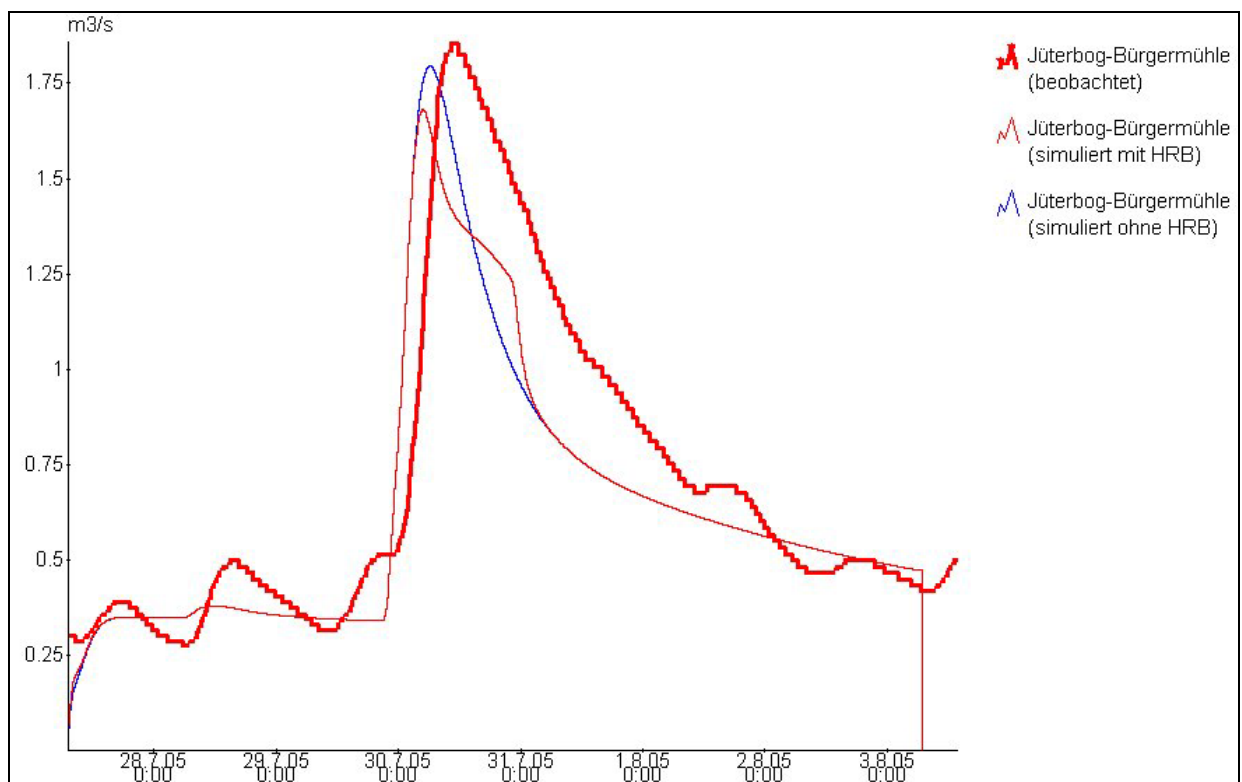


Abbildung 6-10: Vergleich der mit dem kalibrierten N-A-Modell simulierten Abflussganglinien mit der beobachteten Abflussganglinie in Jüterbog-Bürgermühle im Juli 2005

Mit dem kalibrierten Modell wurde anschließend das Hochwasserereignis im August 2002 nachgerechnet. Der Vergleich von beobachteten und simulierten Abflüssen am Pegel Jüterbog-Bürgermühle (mit/ohne HRB) ist in der Abbildung 6-11 dargestellt.

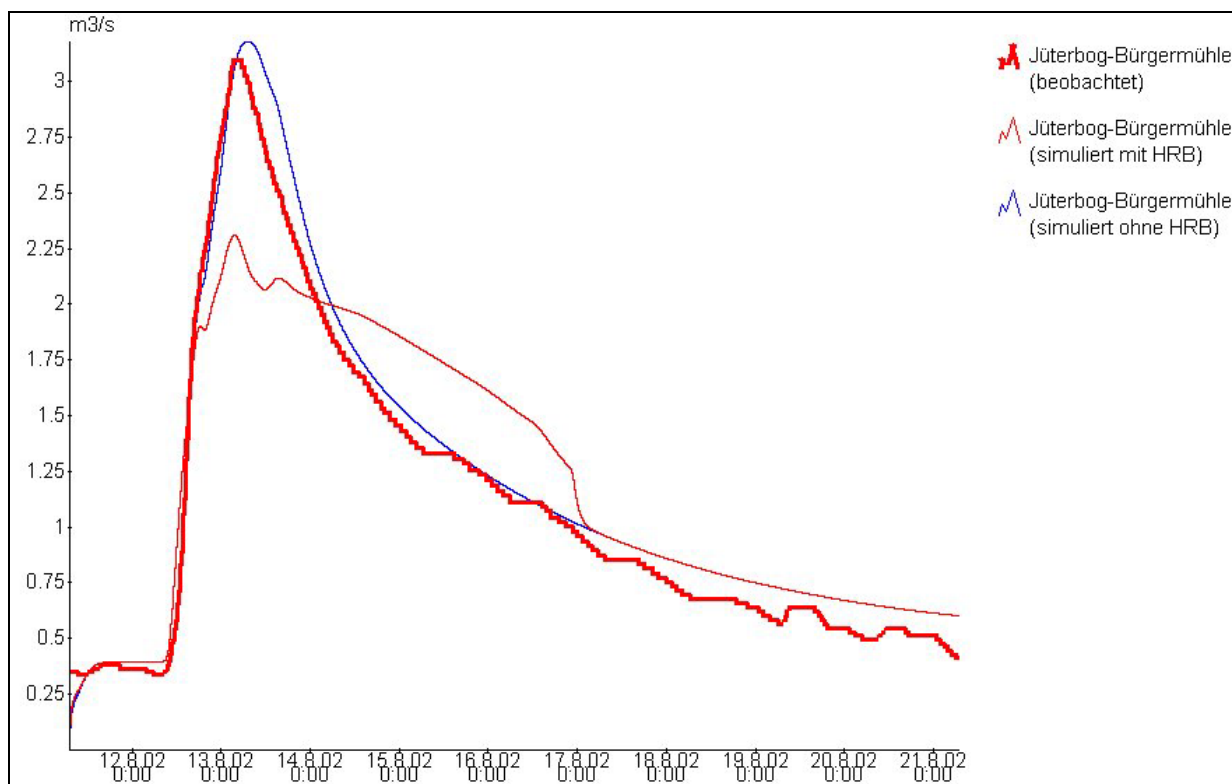


Abbildung 6-11: Vergleich der mit dem kalibrierten N-A-Modell simulierten Abflussganglinie mit der beobachteten Abflussganglinie in Jüterbog-Bürgermühle im August 2002

Die Ergebnisse der Validierung des N-A-Modells am Augusthochwasser 2002 gibt ein differenziertes Bild. Sowohl die Scheiteleintrittszeit als auch die Fülle werden gut nachgebildet, die Form der Ganglinie wird allerdings schlecht reproduziert. Der simulierte Scheitelabfluss ist etwas zu gering. Die Ursachen konnten nicht schlüssig geklärt werden. Die Niederschlagsverteilung (Abbildung 6-3) gibt keinen Hinweis auf Besonderheiten. Allerdings müssen lokale Effekte aufgetreten sein, die mit dem Modell nicht simuliert werden konnten. So flossen, entsprechend den vorliegenden Daten zum Abflussgeschehen am HRB Jüterbog (Abschnitt 6.1.3), am 13.8.2002 zwischen 1:15 und 1:45 Uhr unterhalb des HRB maximal zwischen 0,7 und 0,8 m³/s ab. Der Scheitelabfluss am Pegel Jüterbog-Bürgermühle am 13.8.2002 betrug 3,10 m³/s, d. h. den größten Beitrag zu diesem Scheitelabfluss müsste das Zwischengebiet unterhalb des HRB bis zum Pegel geleistet haben, das allerdings nur eine Fläche von ca. 20 km² aufweist. Dieses Verhalten ist modelltechnisch schwer nachzubilden. Die Betrachtung der Abflussdifferenz zum Zeitpunkt der Durchflussmessung im Zulauf des HRB führt zum gleichen Ergebnis. Am 13.8.2002 wurden dort 0,545 m³/s gemessen. Um diese Uhrzeit wurden am Pegel Jüterbog 2,86 m³/s registriert. Die Abflussdifferenz beträgt wiederum ca. 2,0 m³/s. Dieser schwer nachvollziehbare Sachverhalt wurde ebenfalls bei den Untersuchungen von BAH (2004) festgestellt. Die Anpassung der simulierten an die beobachtete Abflussganglinie am Pegel Jüterbog-Bürgermühle wird auch nicht besser bei Verwendung der Charakteristika des HRB nach SCHIMANOWSKI (Tabelle 3-5).



Die folgende Tabelle enthält zusammengefasst wichtige Ergebnisse der ereignisbezogenen Kalibrierung. Neben dem Scheitelabfluss wurden die Scheiteleintrittszeit und die Abflussfülle dargestellt. Die Simulation wurde für die beiden Pegel Jüterbog-Bürgermühle und Woltersdorf 1 ausgewertet. Die beobachteten Abflüsse basieren in Jüterbog-Bürgermühle auf 15 min-Werten und in Woltersdorf 1 auf Tageswerten. Die Simulation erfolgte im 5 min-Zeitschritt.

Tabelle 6-4: Zusammenfassung der Ergebnisse der Modellkalibrierung

Pegel	AE in km ²	Scheitelabfluss in m ³ /s		Scheiteleintrittszeit		Abflussfülle in Mio. m ³	
		beobachtet	simuliert	beobachtet	simuliert	beobachtet	simuliert
Julihochwasser 2005							
Jüterbog-Bürgermühle	141,4	1,86	1,68	30.7.2005 10 Uhr	30.7.2005 4:50 Uhr	0,428	0,378
Woltersdorf 1	362,9	1,65	2,86	31.7.2005	31.7.2005	-	-
Augusthochwasser 2002							
Jüterbog-Bürgermühle	141,4	3,10	2,31	13.8.2002 3 – 5 Uhr	13.8.2002 3:40 Uhr	0,979	1,02
Woltersdorf 1	362,9	5,50	4,78	14.8.2002	14.8.2002	-	-

Für Jüterbog-Bürgermühle stimmen sowohl im Julihochwasser 2005 als auch im Augusthochwasser 2002 die Scheiteleintrittszeit und die Abflussfülle gut überein. Die Unterschiede zwischen den beobachteten und simulierten Abflussscheiteln im August 2002 wurden schon diskutiert, im Juli 2005 sind die Unterschiede akzeptabel.

Am Pegel Woltersdorf 1 wird bei der Nachrechnung des Julihochwassers 2005 der beobachtete Scheitelabfluss stark überschätzt, obwohl die Hochwasserwelle am Pegel Jüterbog-Bürgermühle zu diesem Ereignis gut nachgebildet wird. Für das Hochwasserereignis im August 2002 liegt der simulierte Scheitel etwas unterhalb des beobachteten. Die Ursache liegt vermutlich in lokal unterschiedlichen Gebietsreaktionen bei den verschiedenen Hochwasserereignissen, die mit dem N-A-Modell nicht erfasst werden können. So war im August 2002 von Jüterbog-Bürgermühle bis Woltersdorf 1 ein Scheitelabflusszuwachs von 2,8 m³/s, im Juli 2005 lediglich von 0,15 m³/s beobachtet worden (bezogen auf Tageswerte). In den beiden folgenden Abbildungen ist dieser Sachverhalt grafisch dargestellt.

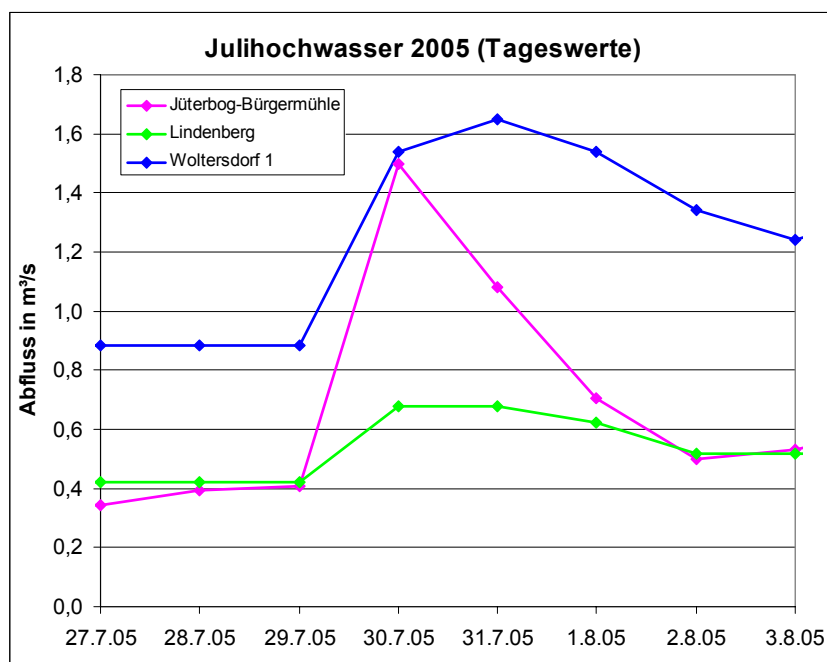


Abbildung 6-12: Beobachtete Pegelabflüsse im Juli 2005

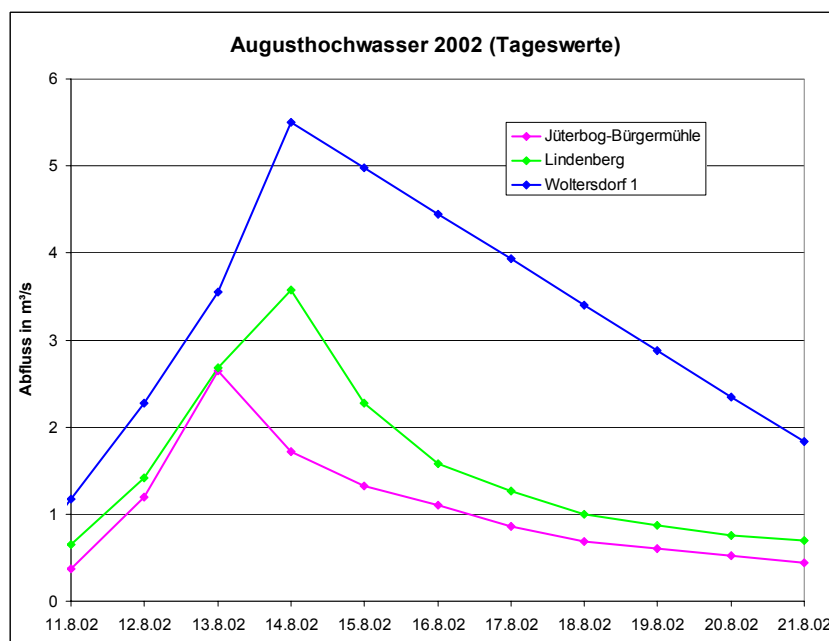


Abbildung 6-13: Beobachtete Pegelabflüsse im August 2002

In den beiden obigen Grafiken sind neben den beobachteten Abflüssen auf Tageswertbasis für Jüterbog-Bürgermühle und Woltersdorf 1 auch die beobachteten Abflüsse am Pegel Lindenberg dargestellt. Der beobachtete Scheitelabfluss in Lindenberg ist im Juli 2005 trotz eines Einzugsgebietszuwachses von 122 km² kleiner als der in Jüterbog-Bürgermühle. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass der Einfluss der Wehrstellung in Lindenberg bei diesen beiden Hochwasserereignissen doch erheblich ist.



Deshalb wurde der Pegel Lindenberg nicht mit zur Kalibrierung des N-A-Modells herangezogen.

6.2.2 Plausibilisierung im Stadtgebiet Luckenwalde

Ziel der Modellplausibilisierung im Stadtgebiet Luckenwalde war die Nachbildung der bei Starkregen über die Regenwasserkanalisation entwässernden Abflussmengen auf der Basis der Daten und Berechnungsergebnisse des GEP (1995) und weiterer Unterlagen von Redeker Consult (Abschnitt 3.2). Modelliert wurde damit der Ist-Zustand der Regenwasserentwässerung im Stadtgebiet Luckenwalde. Dafür wurde, in Übereinstimmung mit den Berechnungsansätzen von Redeker Consult ein Bemessungsregen mit einem Wiederkehrintervall T von 1 Jahr und einer Dauer D von 15 min angesetzt.

Bei der Kalibrierung wurde der Versiegelungsgrad soweit variiert, bis die simulierte Einleitmenge aus der Regenwasserkanalisation mit der von Redeker Consult berechneten Einleitmenge eine plausible Übereinstimmung erreicht hat. Modelltechnisch entspricht die Einleitmenge aus der Regenwasserkanalisation der retendierten Abflussmenge, die von den versiegelten Flächen der urbanen Teilgebiete aus den Regenwasserkanälen abfließen.

Für den Bemessungsfall T= 1 a und D= 15 min wurden für die Stadtnuthe, den Röthegraben, den Königsgraben und den Weichpfehlgraben folgende Regenwasserfrachten berechnet, die in Tabelle 6-5 dargestellt sind. Die Lage der Einleitstellen kann der Abbildung 3-2 entnommen werden. Die Gesamtmenge aus der Regenwasserkanalisation (Ist-Zustand) beträgt demnach 7876 m³, Redeker Consult berechnete 7747 m³.

Tabelle 6-5: Einleitmengen aus der Regenwasserkanalisation in Luckenwalde

RW-Kanal	Gewässer	Regenwassereinleitmenge (Fracht) [m ³]
1	Nuthe	164,2
2	Nuthe	272,7
3	Nuthe	318,7
4	Nuthe	2395,7
5	Nuthe	1367,8
6	Nuthe	26,8
7	Nuthe	267,0
8	Röthegraben	50,8
9	Röthegraben	157,8
10	Röthegraben	410,0
11	Röthegraben	26,1
12	Röthegraben	141,7
13	Röthegraben	107,8
14	Röthegraben	20,6
15	Königsgraben	123,6
16	Weichpfehlgraben	870,3
17	Weichpfehlgraben	958,3
18	Weichpfehlgraben	195,6



6.2.3 Vergleich der HQ_T der N-A-Simulation mit denen der Extremwertstatistik

Mit dem kalibrierten Kurzfristmodell wurden die Bemessungsabflüsse HQ_T für $T = 2, 5, 10, 20, 50$ und 100 a für vier Gewässerquerschnitte an der Nuthe in Jüterbog-Bürgermühle, Lindenberg, oberhalb Abzweig Königsgraben und Woltersdorf 1 berechnet. Als Modellinput dienten die KOSTRA-Starkniederschläge (Abschnitt 6.1.1.2). Weiterhin wurden als Anfangsbedingungen die Ergebnisse aus der Langfristsimulation herangezogen (Abschnitt 5.1.2) und zur Charakterisierung der Vorfeuchte die mittleren Systemzustände im Sommer angesetzt (51,1 % nutzbare Feldkapazität und 253 bzw. 59,7 mm Anfangsspeicherung des tiefen Grundwasserspeichers). Untersuchungen zur kritischen Regendauer zeigten, dass eine Regendauer von 6 h zu plausiblen Bemessungsabflüssen führte. Die Simulationsrechnungen wurden mit einem Berechnungszeitintervall Δt von 5 Minuten ausgeführt. Die Simulationsrechnungen wurden mit HRB Jüterbog durchgeführt.

Die berechneten HQ_T wurden analysiert und den HQ_T aus der Langfristsimulation (Abschnitt 4) und der Extremwertstatistik (Abschnitt 2) gegenübergestellt. Für den Querschnitt der Nuthe oberhalb Abzweig Königsgraben wurden die durch Interpolation ermittelten HQ_T (Tabelle 2-5) herangezogen.

Folgende Abbildungen zeigen die für die o.g. Gewässerquerschnitte ermittelten HQ_T . Bei dem Vergleich der mit den N-A-Modellen berechneten HQ_T mit den HQ_T -Werten der Extremwertstatistik war der Vertrauensbereich der extrapolierten Verteilungsfunktionen angemessen zu berücksichtigen. Zu diesem Zweck wurden die zu den geschätzten Verteilungsfunktionen gehörenden Konfidenzgrenzen berechnet, innerhalb der sich die wahre, aber unbekannte Verteilungsfunktion mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % befindet. In der Abbildung 6-14, Abbildung 6-16 und Abbildung 6-17 sind deshalb neben den Quantilen der Verteilungsfunktionen die dazugehörigen Konfidenzgrenzen dargestellt.

Bei der Diskussion und Interpretation von Unterschieden zwischen den HQ_T der Kurzfristsimulation und denen der Extremwertstatistik darf nicht außer Acht gelassen werden, dass hier die Ergebnisse von zwei Ansätzen miteinander verglichen werden, die sich bezüglich Datengrundlage und Methodik grundlegend voneinander unterscheiden. Die Berechtigung der bei der Kurzfristsimulation mit einem N-A-Modell getroffenen Annahme, dass mit Hilfe von Bemessungsniederschlägen unterschiedlicher Dauer ein Hochwasserabfluss berechnet werden kann, der statistisch gesehen das gleiche Wiederkehrintervall wie die Bemessungsniederschläge aufweist, wird in der Fachliteratur kontrovers diskutiert. In DVWK (1999) wird deshalb empfohlen, die Ergebnisse der N-A-Simulation nach verschiedenen Kriterien und unter Heranziehung aller verfügbaren Informationen, insbesondere statistische Abflussanalysen, abzusichern. Diese Empfehlung wurde mit dem in diesem Abschnitt vorgenommenen Vergleich umgesetzt.

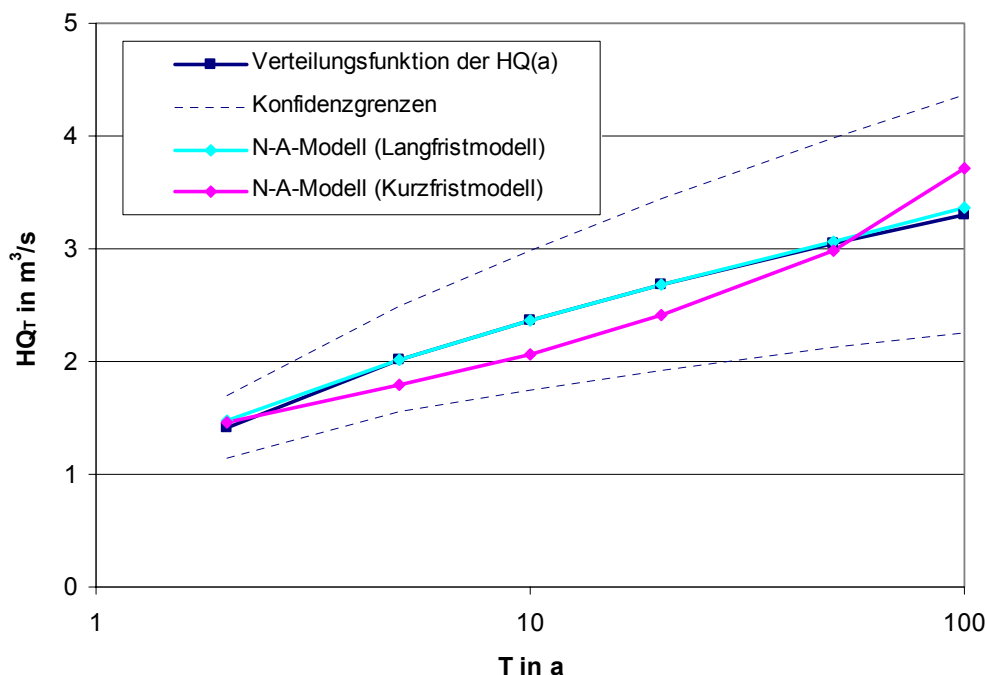


Abbildung 6-14: Vergleich der HQ_T der N-A-Simulation (Kurzfrist, Langfrist) mit denen der Extremwertstatistik für den Pegel Jüterbog-Bürgermühle

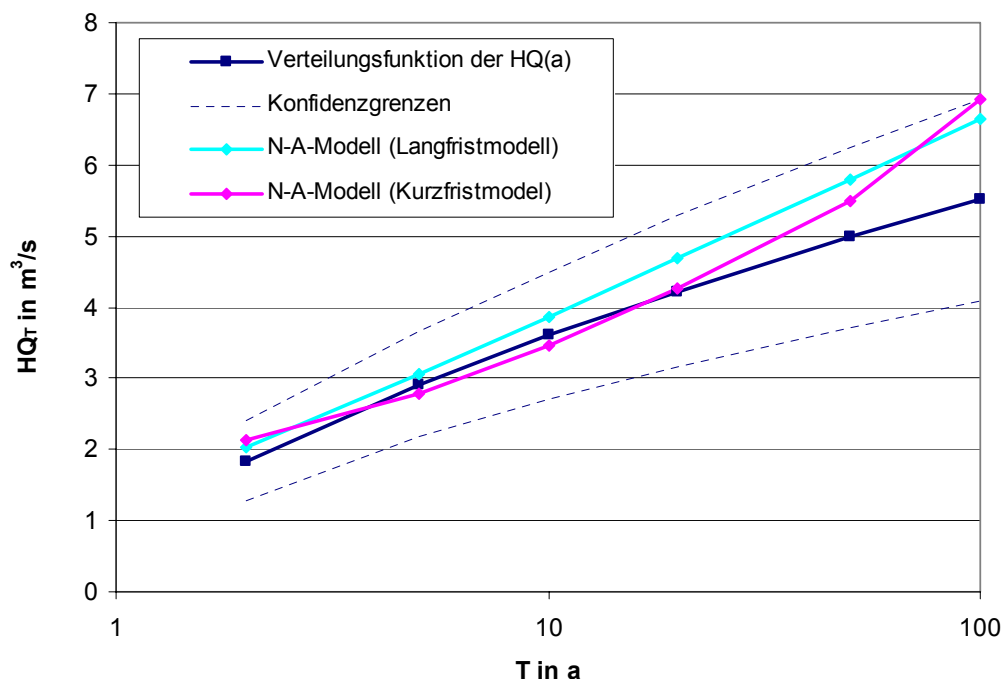


Abbildung 6-15: Vergleich der HQ_T der N-A-Simulation (Kurzfrist, Langfrist) mit denen der Extremwertstatistik für den Pegel Lindenberg

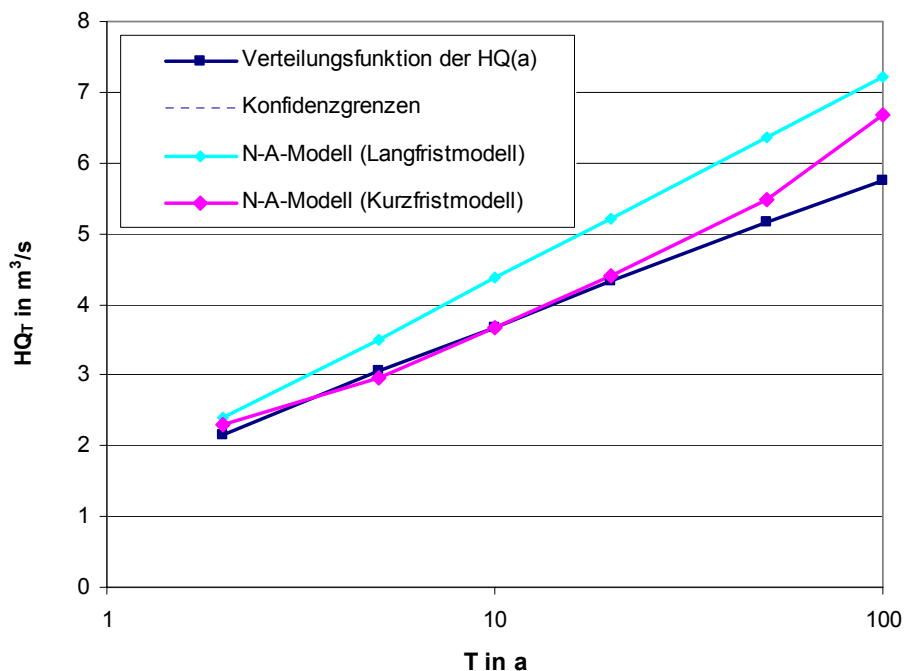


Abbildung 6-16: Vergleich der HQ_T der N-A-Simulation (Kurzfrist, Langfrist) mit denen aus den Abflusslängsschnitten für die Nuthe oberhalb des Abzweigs des Königsgraben

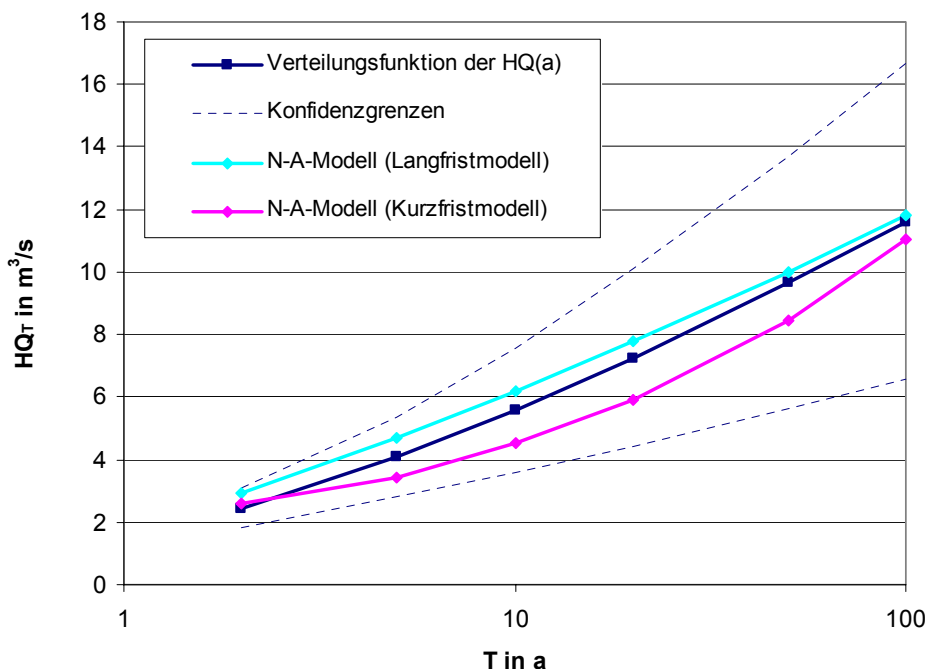


Abbildung 6-17: Vergleich der HQ_T der N-A-Simulation (Kurzfrist, Langfrist) mit denen der Extremwertstatistik für den Pegel Woltersdorf 1



Für alle vier Gewässerquerschnitte zeigen die obigen Abbildungen eine zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen den HQ_T der N-A-Simulation und denen der Extremwertstatistik. Für alle Wiederkehrintervalle liegen die mit den beiden N-A-Modellen berechneten HQ_T stets zwischen den Konfidenzgrenzen der Verteilungsfunktionen.

Zusammenfassend gibt Tabelle 6-6 einen Überblick über die nach den verschiedenen Methoden (N-A-Modellierung, Extremwertstatistik) berechneten HQ_T .

Tabelle 6-6: HQ_T für ausgewählte Gewässerquerschnitte

Pegel/ Gewässer	Methode	HQ_T in m^3/s für T [a] =					
		2	5	10	20	50	100
Jüterbog-Bürgermühle/ Nuthe	E	1,42	2,02	2,37	2,68	3,05	<u>3,30</u>
	LF	1,48	2,01	2,36	2,68	3,07	<u>3,36</u>
	KF	1,47	1,80	2,07	2,42	2,99	3,71
Lindenberg, Wehr OP/ Nuthe	E	2,15	3,02	3,60	4,22	<u>4,98</u>	<u>5,51</u>
	LF	2,02	3,05	3,86	4,68	5,79	<u>6,64</u>
	KF	2,13	2,79	3,45	4,25	5,49	6,93
Nuthe oberhalb Abzweig Königsgaben	E	2,16	3,06	3,67	4,33	<u>5,16</u>	<u>5,74</u>
	LF	2,40	3,51	4,37	5,22	6,36	<u>7,22</u>
	KF	2,29	2,96	3,66	4,41	5,49	6,68
Woltersdorf 1, Wehr OP/ Nuthe	E	2,44	4,08	5,58	7,25	<u>9,67</u>	<u>11,6</u>
	LF	2,92	4,68	6,18	7,78	10,0	<u>11,8</u>
	KF	2,57	3,45	4,55	5,92	8,44	11,0

Mit E - Extremwertstatistik, LF - Langfristmodell, KF - Kurzfristmodell

Auf Grund der Reihenlänge der zur extremwertstatistischen Auswertung vorhandenen Jahreshöchstabflüsse sind die HQ_{100} und teilweise auch die HQ_{50} , ermittelt auf der Basis der Pegelstatistik oder der Langfristsimulation, statistisch gesehen relativ unsicher und deshalb in der Tabelle 6-6 *kursiv* dargestellt.

6.2.4 Sensitivitätsuntersuchungen zum Einfluss der Vorfeuchte

Weiterhin wurde der Einfluss unterschiedlicher Anfangsbedingungen auf die berechneten Hochwasserscheitel und -füllen untersucht. An ausgewählten Gewässerquerschnitten wurden jeweils für zwei Wiederkehrintervalle (T= 10 und 100a) mit dem Kurzfristmodell die HQ_T und die dazugehörigen Füllen unter drei verschiedenen sommerlichen Vorfeuchtebedingungen berechnet. Die sommerlichen Vorfeuchtebedingungen (Mittelwert, 10 %-Quantil und 90 %-Quantil) wurden mit dem Langfristmodell ermittelt (Abschnitt 6.1.4) und ohne weitere räumliche Differenzierung angesetzt.

In Tabelle 6-7 und Tabelle 6-8 sind die Ergebnisse dargestellt.



Tabelle 6-7: HQ₁₀ bei verschiedener Anfangsbodenfeuchte

Gewässerquerschnitt	Bodenfeuchte in % der nutzbaren Feldkapazität					
	32,4 (10 %-Quantil)		51,1 (Mittelwert)		69,4 (90 %-Quantil)	
	HQ ₁₀ in m ³ /s	Fülle in Mio. m ³	HQ ₁₀ in m ³ /s	Fülle in Mio. m ³	HQ ₁₀ in m ³ /s	Fülle in Mio. m ³
Jüterbog-Bürgermühle	1,97	0,654	2,07	0,766	2,20	0,908
Lindenberg	3,02	0,947	3,45	1,18	3,96	1,46
oh. Abzweig Königsgraben	3,16	1,26	3,66	1,50	4,18	1,77
uh. Abzweig Königsgraben	3,24	1,29	3,70	1,52	4,20	1,79
Woltersdorf 1	3,84	1,54	4,61	1,87	5,49	2,26

Tabelle 6-8: HQ₁₀₀ bei verschiedener Anfangsbodenfeuchte

Gewässerquerschnitt	Bodenfeuchte in % der nutzbaren Feldkapazität					
	32,4 (10 %-Quantil)		51,1 (Mittelwert)		69,4 (90 %-Quantil)	
	HQ ₁₀₀ in m ³ /s	Fülle in Mio. m ³	HQ ₁₀₀ in m ³ /s	Fülle in Mio. m ³	HQ ₁₀₀ in m ³ /s	Fülle in Mio. m ³
Jüterbog-Bürgermühle	3,33	1,25	3,71	1,38	4,04	1,47
Lindenberg	5,87	2,03	6,93	2,32	8,36	2,63
oh. Abzweig Königsgraben	5,76	2,33	6,68	2,60	7,91	2,91
uh. Abzweig Königsgraben	5,80	2,35	6,71	2,62	7,91	2,93
Woltersdorf 1	9,25	3,24	11,1	3,70	13,0	4,18

Die Untersuchungen zum Einfluss der Vorfeuchte auf die Hochwasserscheitel und -fülle zeigen erwartungsgemäß, je größer die Vorfeuchte im Gebiet, desto größer der Hochwasserscheitel und die Fülle. Unter den untersuchten Bodenfeuchtebedingungen schwanken die Hochwasserscheitel um ± 15 Prozent.

Für Simulationsrechnungen mit dem Kurzfristmodell wird empfohlen, als Vorfeuchte im Einzugsgebiet flächendeckend eine mittlere sommerliche Bodenfeuchte von 51,1 % nutzbare Feldkapazität anzusetzen.



7 Simulationsrechnungen mit dem Kurzfristmodell

7.1 HQ_T - Längsschnitte

Mit dem Kurzfristmodell wurden anschließend Bemessungsabflüsse HQ_T für $T = 2, 5, 10, 20, 50$ und 100 a, einschließlich des HQ_{200} (= HQ_{EXTREM}) im Gewässerlängsschnitt der Nuthe berechnet. Als Modelleingangsgrößen wurden die in Anlage 3 bzw. in Tabelle 6-3 dokumentierten Starkniederschläge verwendet. Als kritische Regendauer wurde die Niederschlagsdauer von 6 h angesetzt. Als Anfangsbedingungen wurden die im Abschnitt 6.2.3 beschriebenen Werte für die Bodenfeuchte und für den Anfangsspeicherinhalt des tiefen Grundwasserspeichers angesetzt.

Vor der eigentlichen Simulationsrechnung wurden die Ergebnisse einer Prüfung im Gewässerlängsschnitt unterzogen. Dazu wurden die HQ_T mit den Abflusskenngrößen, ermittelt aus der Pegelstatistik, verglichen. Bei diesem Vergleich zeigte sich, dass im Gebiet zwischen Jüterbog-Bürgermühle und Lindenberg noch ein zu großer Abflusszuwachs, aus dem Steinerfließ und dem Kreuzfeldgraben ein zu geringer Zufluss zur Nuthe modelliert wird. Bei der sich anschließenden Feinkalibrierung wurde die Versickerung erhöht bzw. verringert, um eine bessere Anpassung an den Nuthelängsschnitt der Pegelstatistik zu erreichen.

Die berechneten Abflusslängsschnitte für die HQ_T sind in tabellarischer Form in Anlage 4 dargestellt. Die räumliche Diskretisierung der Ergebnisse entspricht der Teilgebietsgliederung im N-A-Modell. In Ergänzung zu Anlage 4 sind die berechneten Abflusslängsschnitte für $T=10$ a und 100 a in Abbildung 7-1 abgebildet. Die Flusskilometrierung orientiert sich am DLM25. Zum Vergleich sind die Abflusslängsschnitte, die anhand der Pegelstatistik ermittelt wurden, dargestellt.

An den Einmündungen wichtiger Nebengewässer erfolgt naturgemäß eine sprunghafte Zunahme der Abflüsse im Gewässerlängsschnitt. Die Abflusslängsschnitte der Nuthe werden insbesondere durch den Zufluss aus dem Markendorfer Graben bei Fluss-km 53,6, aus dem Grönaer Graben bei Fluss-km 47,3 und aus dem Steinerfließ bei Fluss-km 36,8 beeinflusst. In Abbildung 7-1 ist auch die Abfluss mindernde Wirkung des HRB Jüterbog bei Fluss-km 58,0 deutlich erkennbar.

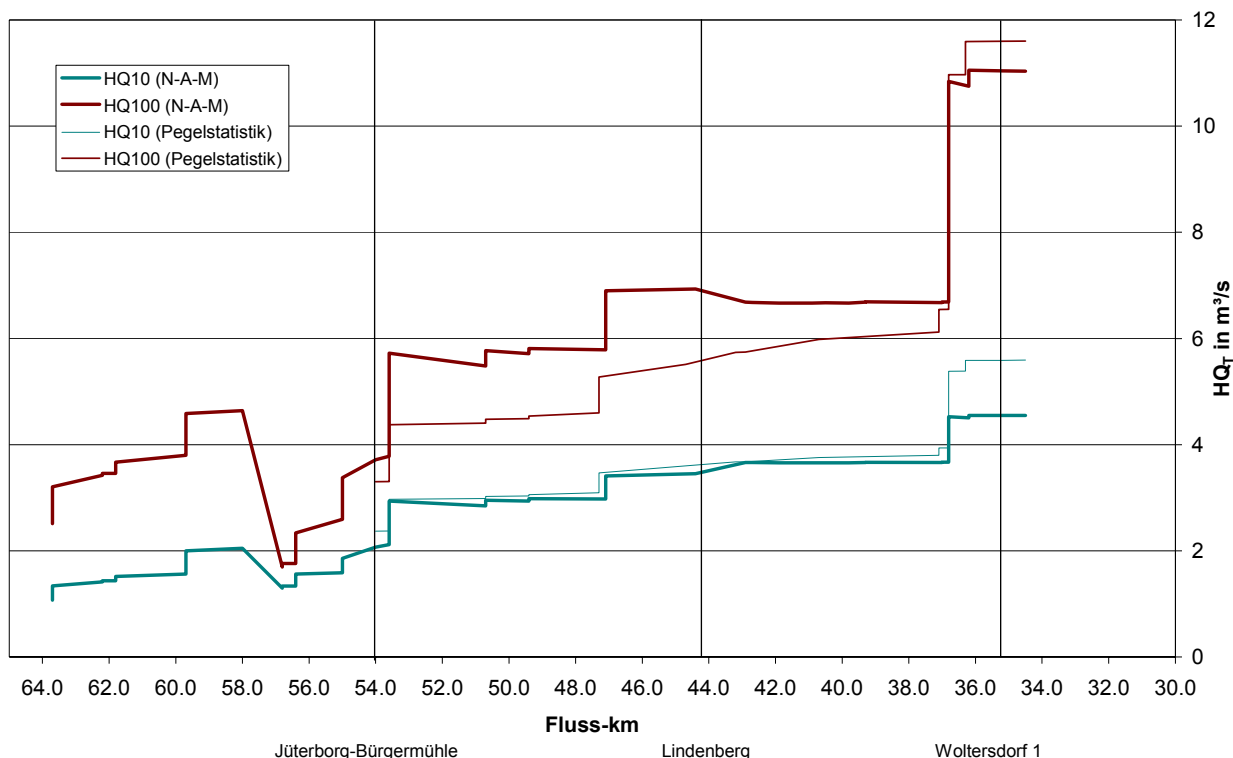


Abbildung 7-1: Abflusslängsschnitte für HQ₁₀ und HQ₁₀₀ in der Nuthe bis oh. Mündung Hammerfließ

7.2 Prüfung der Regenwasserableitung im Stadtgebiet Luckenwalde

Die Regenwasserableitung im Nahbereich der Stadtnuthe sollte auf mögliche Konfliktpotentiale geprüft sowie Vorschläge zum Rückhalt des aus der Regenwasserkanalisation eingeleiteten Regenwassers unterbreitet werden. Grundlage für diese Bewertung bildeten die Unterlagen zum Bestand der Regenwasseranlagen in Luckenwalde, die in das N-A-Modell eingeflossen sind (Abschnitt 3).

Laut Aussage von Redeker Consult bestehen Probleme mit dem Überlauf von Regenwasserkanälen im Bereich des Bahnhofs (Käthe-Kollwitz-Straße, Brandenburger Straße, Berkenbrücker Chaussee). Im Nahbereich der Stadtnuthe wurden keine derartigen Probleme benannt.

Mit dem N-A-Modell (Kurzfristmodell) wurden Varianten zur Regenwasserableitung in die Vorfluter durchgerechnet. Die Ergebnisse werden im Abschnitt 7.2.1 diskutiert. Im Abschnitt 7.2.2 werden die Untersuchungen zum Regenwasserrückhalt vorgestellt.

7.2.1 Variantenrechnungen zur Regenwasserableitung

Das Kurzfristmodell wurde bezüglich der Regenwasserableitung so plausibilisiert, dass für den Bemessungsfall $T=1$ a und $D=15$ min die Gesamtregeneinleitungsmenge mit der von Redeker Consult ermittelten Menge übereinstimmt (Abschnitt 6.2.2).



Mit dem Kurzfristmodell wurden weitere Lastfälle gerechnet. In folgender Tabelle sind die Regenwassereinleitmengen für verschiedene Regendauern, jeweils bei einem Wiederkehrintervall von 100 a dargestellt. Mit dieser Auswertung soll ein Anhaltspunkt über die Größenordnung der Regenwasserableitung bei sehr seltenen, aber großen Regenereignissen gegeben werden. Die Zuordnung zu den Regenwassereinleitungsstellen kann Abbildung 3-2 entnommen werden.

Tabelle 7-1: Einleitmengen aus der Regenwasserkanalisation in Luckenwalde bei verschiedenen Lastfällen

RW-Kanal	Gewässer	Regenwassereinleitmenge (Fracht) [m ³]			
		Bei T=100 a und Regendauer D=			
		15 min	30 min	60 min	90 min
1	SN	492,7	647,4	817,4	893,8
2	SN	818,0	1074,8	1357,0	1483,7
3	SN	956,0	1256,2	1586,0	1734,2
4	SN	7187,1	9443,5	11922,8	13037,0
5	SN	4103,5	5391,8	6807,3	7443,5
6	SN	80,3	105,6	133,3	145,7
7	SN	801,2	1052,7	1329,0	1453,3
8	RG	152,3	200,1	252,6	276,2
9	RG	495,0	650,3	821,0	897,8
10	RG	1229,9	1616,1	2040,4	2231,1
11	RG	78,3	103,0	129,9	142,1
12	RG	425,1	558,6	705,3	771,2
13	RG	323,2	424,8	536,3	586,4
14	RG	61,7	81,0	102,3	111,8
15	KG	370,7	487,1	615,0	673,9
16	WP	2610,9	3430,7	4331,4	4736,2
17	WP	2874,9	3777,4	4769,1	5214,8
18	WP	586,8	771,1	973,5	1064,5
Summe		23647,6	31072,2	39229,6	42897,2

Mit SN – Stadtnuthe
 RG – Röthegraben
 KG – Königsraben
 WP - Weichpfuhlgraben

Tabelle 7-1 zeigt, dass die größten Regenwassereinleitungsmengen in der Stadtnuthe aus den Regenwasserkanälen 4 und 5 auftreten. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass eine große Einleitungsmenge aus der Regenwasserkanalisation nicht zwangsläufig mit einem Hochwasser in der Stadtnuthe zusammenfallen muss.

Neben der Gesamtmenge ist für das Abflussvermögen der Stadtnuthe und der anderen Vorfluter im Stadtgebiet der Scheitelabfluss der Regenwassereinleitung Q_{\max} entscheidend. Für die maximalen Einleitmengen lagen keine aktuellen Vergleichswerte vor, da die Angaben zu Q_{\max} aus dem GEP auf den alten Entwässerungsflächen (Bestand) beruhen (Abschnitt



3.2.1). Aktuelle Daten aus Messungen lagen nicht vor. Die Einleitungsmengen aus den wasserrechtlichen Genehmigungen, die in Tabelle 3-3 stehen, sind nur bedingt verwendbar. Sie wurden wahrscheinlich ermittelt, indem die Regenwassermengen, die bei dem Bemessungsregen von $T=1$ a und $D=15$ min entstehen, auf die Zeitbasis 15 min umgerechnet wurden. Bei dieser Vorgehensweise wird allerdings davon ausgegangen, dass die Regenmenge nach 15 min in den Vorfluter entwässert ist. Die Retention im Stauraum der Regenwasserkanäle bleibt dabei unberücksichtigt. Weiterhin dürfen die Maxima der Einleitmenge nicht addiert werden, da die Regenwasserscheitel nicht zeitgleich auftreten. Die Berechnungen mit dem N-A-Modell wiesen im Mittel Scheiteleintrittszeiten von 2,5 Stunden aus.

Für zwei Wiederkehrintervalle ($T=1$ und 100 a) und zwei Regendauern ($D=15$ und 90 min) wurden die Simulationsrechnungen hinsichtlich der maximalen und der gesamten Regenwassereinleitmenge in die Stadtnuthe und den Röthegraben ausgewertet. Als Modellinput wurden die Niederschlagshöhen aus dem KOSTRA-Atlas angesetzt, die Tabelle 7-2 enthält. Die maximalen Einleitmengen sind in der Abbildung 7-2 und die Regenwassereinleitmengen (Frachten) in der Abbildung 7-3 dargestellt. Für die grafischen Darstellungen wurden zur besseren Übersichtlichkeit die Einleitstellen teilweise zusammengefasst.

Tabelle 7-2: KOSTRA-Niederschlagshöhen für verschiedenen Wiederkehrintervalle und Regendauern

Regendauer [min]	T = 1 a				T = 100 a			
	15	30	60	90	15	30	60	90
Niederschlagshöhe [mm]	9,8	13,0	15,5	16,8	27,0	35,1	44,0	48,0

Die Abbildung 7-2 zeigt besonders große Stoßbelastungen in die Stadtnuthe im Mündungsbereich der Regenwasserkanäle 5_6_7 (Rudolf-Breitscheid-Straße/Straße am Nuthefließ/Straße zum Freibad) und 2_3_4 (Potsdamer Straße/Lindenstraße/Schützenstraße). Für ein einjähriges Regenereignis wurde eine maximale Regenwassereinleitung von etwa $0,30 \text{ m}^3/\text{s}$, für ein hundertjähriges Regenereignis eine maximale Regenwassereinleitung von etwa $0,40 \text{ m}^3/\text{s}$ ermittelt. Im Röthegraben wurden die größten Regenwasserbelastungen im Mündungsbereich der Regenwasserkanäle 9_10_11 (Am Burgwall/Kirchhofweg/Salzufler Allee) berechnet. Dafür wurden maximale Regenwassereinleitungen von $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$ ($T=1$ a) bzw. $0,24 \text{ m}^3/\text{s}$ ($T=100$ a) ermittelt.

Die Abbildung 7-2 zeigt weiterhin, dass sich auch bei größeren Niederschlägen die maximale Regenwassereinleitung auf einem relativ konstanten Niveau einpegelt, die Regenwasserfracht sich dagegen fast verdoppelt (Abbildung 7-3). Daraus lässt sich ableiten, dass bei größeren und lang andauernden Niederschlägen mit einer Belastung der Vorfluter eher durch die länger anhaltende Regenwassereinleitung als durch eine sehr große Stoßbelastung, die Ausuferungen zur Folge haben können, zu rechnen ist.

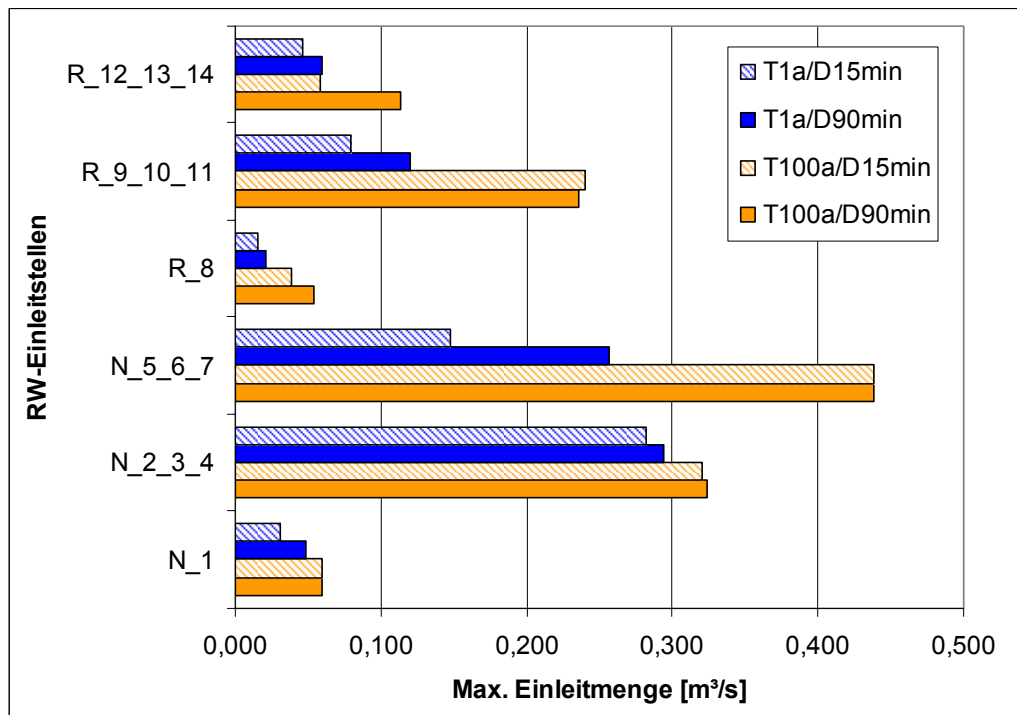


Abbildung 7-2: Max. Einleitmengen aus den Regenwasserkanälen in die Stadtnuthe und den Röthegraben bei verschiedenen Regenereignissen

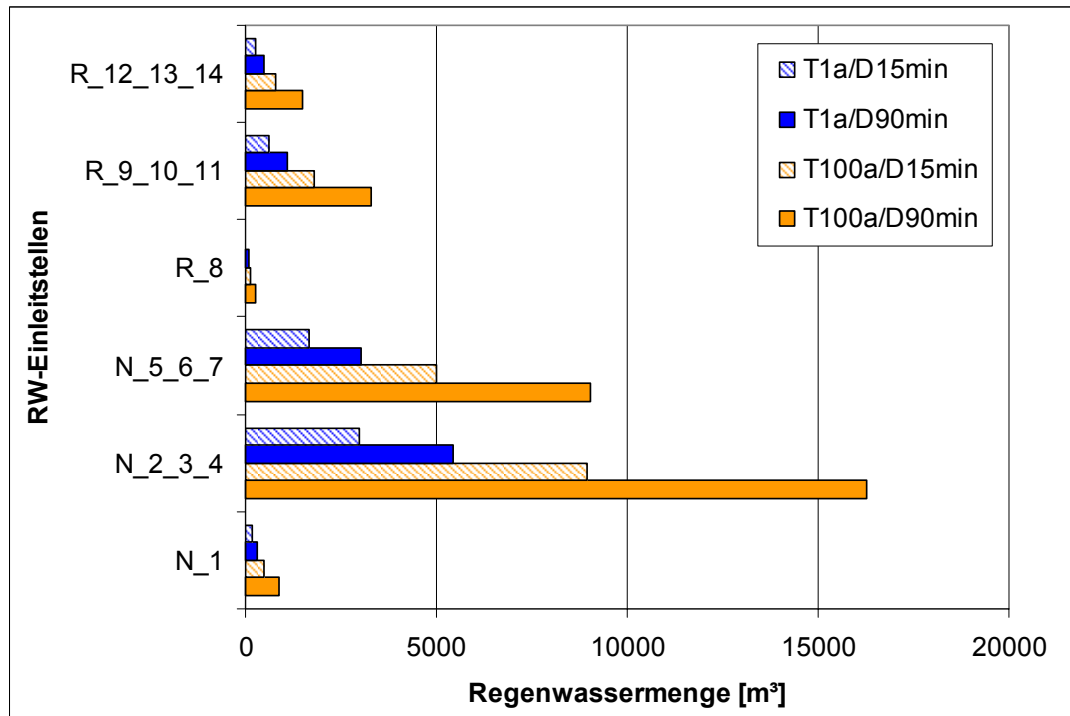


Abbildung 7-3: Regenwassereinleitmengen aus den Regenwasserkanälen in die Stadtnuthe und den Röthegraben bei verschiedenen Regenereignissen



Die aktuellen Untersuchungen zur Regenwasserableitung in Luckenwalde mit dem N-A-Modell belegen, dass die Retentionswirkung der Kanalstauräume bedeutend ist. So beträgt an den Einleitstellen 4 und 5 ohne Kanalretention die maximale Einleitmenge laut Wasserrecht 2,07 m³/s bzw. 1,16 m³/s, mit Berücksichtigung der Retention im Kanal wird an der Einleitstelle 4 maximal 0,208 m³/s und an der Einleitstelle 5 maximal 0,135 m³/s Regenwasser abgeschlagen. Zur weiteren Verringerung der Stoßbelastung durch die Regenwassereinleitung wäre es vorteilhaft, weitere natürliche oder technische Rückhalteräume (Versickerungsflächen, Kanalstauräume, Regenrückhaltebecken) zu schaffen, aus denen dann gezielt das gespeicherte Regenwasser in die Vorfluter abgeschlagen werden kann, wenn die Vorflutbedingungen dafür geeignet sind (z. B. nach der Hochwasserwelle).

Zusammenfassend soll an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen werden, dass die oben beschriebenen Ergebnisse auf wenig belastbaren Daten zum Kanalstauraum beruhen und deswegen eher abschätzenden Charakter haben. So mussten bei der Ermittlung der Kenngrößen der Regenwasserkanalisation (Tabelle 3-2) teilweise Annahmen getroffen werden, die im Abschnitt 3.2.1 beschrieben wurden.

Eine Drosselung der Abflussspitze der Regenwassereinleitung durch die Regenrückhaltebecken Weichpfehlteich und „Am Honigberg“ konnten auf Grund der fehlenden Daten nicht berücksichtigt werden (Abschnitt 3.2.1). Auf eine Ergebnisdarstellung für den Weichpfehlgraben und den Königsgraben wurde deshalb verzichtet, da diese beiden Vorfluter auch nicht im Vordergrund der Untersuchungen des Gesamtvorhabens standen.

7.2.2 Maßnahmen zur Reduzierung des Regenwasseranfalls in Luckenwalde

Es wurde eine Recherche zu geplanten Maßnahmen zur Reduzierung des Regenwasseranfalls in Luckenwalde durchgeführt. Zum Regenwasserrückhalt lagen nur bezüglich des Dämmchengrabens Planungsunterlagen bei Redeker Consult vor, die im Folgenden kurz erläutert werden. Information zu geplanten Regenrückhaltebecken oder anderen Maßnahmen (z. B. Entsiegelung größerer Flächen), die die Regenwasserableitung in die Stadtnuthe reduzieren, liegen nicht vor.

Industriegebiet „Industriestraße“

Im Zuge der durch die Stadt Luckenwalde beabsichtigten Erschließung des Industriegebietes „Industriestraße“ im Südwesten der Stadt führt die Redeker Consult GmbH u. a. Planungen zu Ver- und Entsorgungsanlagen (Regenwasser, Schmutzwasser und Trinkwasser) durch. Auszüge aus der Genehmigungsplanung Industriegebiet „Industriestraße“ in Luckenwalde, (2. und 3. Bauabschnitt) wurden zur Verfügung gestellt (REDEKER CONSULT, 2008). Nachfolgend wird eine kurze Zusammenfassung aus den Planungen von Redeker Consult gegeben.

Im Bereich des B-Plangebietes Industriestraße wurde ein neues Kanalnetz für die Regenwasserableitung einschließlich drei offener Regenwasserrückhaltebecken und vier geschlossener Regenwasserspeicher hydrodynamisch berechnet und teilweise schon geplant. Das vorhandene, aber zurzeit ungenutzte RRB Bausetra wurde in die Planung mit einbezogen. Die Entwässerungsfläche des Kanals beträgt 73,25 ha. Das geplante Kanalnetz entwässert in zwei Richtungen. Der nördliche und östliche Teil



(Treuenbrietzener Tor und Schieferling) fasst das Oberflächenwasser in der Kanalisation und leitet es über die Rudolf-Breitscheid-Straße in die Nuthe ab (jetzige Einleitstelle 5 in Abbildung 3-2). Zur Verminderung der Abflussspitzen sind der Stauraumkanal im Schieferling und der Regenwasserspeicher im Treuenbrietzener Tor vorgesehen. Der Kanal im Schieferling dient nur der Entwässerung des Industriegebietes. Das geplante zentrale und südliche Kanalnetz entwässert über die Regenrückhaltebecken in den Dämmchengraben. Durch die Drosselleitungen und Wehre an den RRB wird der Abfluss durch Aufstau und der damit möglichen Volumenausnutzung stark minimiert.

Das Kanalnetz wurde so berechnet, dass bei einem 2-jährlichen Regen nach EULER II (Regendauer = 60 min) rechnerisch kein Überstau erfolgt. Ziel der Berechnung war eine möglichst geringe Ableitungsmenge mit Hilfe von Regenwasserrückhalteanlagen und Drosselstrecken zu erreichen. Das Ergebnis der Berechnung zeigte, dass mit Hilfe der Regenwasserrückhaltung und dem damit verbundenen Aufstau in den Kanälen und Becken eine gedrosselte Abflussmenge von 96 l/s in den Dämmchengraben bzw. 303 l/s in den Kanal Rudolf-Breitscheid-Straße abgeleitet wird. Durch diese starke Regenwasserrückhaltung wird von einer Verringerung des Regenwasserabflusses in den Dämmchengraben und damit in den Röhthegraben ausgegangen. Bezüglich der Stadtnuthe ist die Wirkung der damit zurückgehaltenen Regenwassermengen, nach Aussage des Tiefbauamtes, aber nur sehr gering. Der Baubeginn für die Regenrückhaltebecken und Regenwasserspeicher ist 2009/2010.

Sanierung von Regenwasserkanälen

Im Erläuterungsbericht zum GEP der Stadt Luckenwalde wurde die Bestandsrechnung des vorhandenen Regenwassernetzes ausgewertet (GEP 1995). Die Auswertung zeigt, dass viele Regenwasserkanäle sanierungsbedürftig sind. Das Leistungsvermögen ist oft unzureichend.

Planungen führt Redeker Consult beispielsweise in der Beelitzer Straße durch. Im Zuge der Baumaßnahme „Ausbau der L73 in der OD Luckenwalde“ ist ein neuer Regenwasserkanal mit Kreisprofil DN 1000 geplant.

Eine weitere Sanierung der Regenwasserkanäle wird als wichtige Maßnahme zur Verminderung der Abflussspitzen der Regenwasserableitung in die Stadtnuthe angesehen.



8 Literatur

- BAH (1998): Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten für die Nuthe zwischen Jüterbog und Woltersdorf. BAH - Büro für Angewandte Hydrologie (Dr. Bernd Pfützner) und Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V. (PIK) (Dr. Beate Klöcking).
- BAH (2004): Wasserspiegellagenermittlung für den Oberlauf der Nuthe. BAH-Büro für Angewandte Hydrologie, 2004.
- DHI-WASY (2008): Landeseinheitliche Regionalisierung von Hochwasserabflüssen im Land Brandenburg. Zwischenbericht 2008. DHI-WASY GmbH.
- DVWK (1999): Hochwasserabflüsse. DVWK-Schrift 124. Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.
- DWD (2008): Zeitreihen hydrometeorologischer Größen für das Einzugsgebiet der Nuthe. Deutscher Wetterdienst, Abteilung Hydrometeorologie, Berlin.
- DYCK, S. u.a. (1980): Angewandte Hydrologie. Teil 1: Berechnung und Regelung des Durchflusses der Flüsse. 2. Auflage, Verlag für Bauwesen, 1980.
- GEP (1995): Generalentwässerungsplan für die Stadt Luckenwalde, Ing.-Büro für Bauwesen und Umwelttechnik Redeker Consult GmbH, Luckenwalde, 1995.
- HYDROTEC (2003): NASIM-ArcView-Extension Zeitflächenfunktion. Version 1.2.2. Benutzerhandbuch. Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt GmbH Aachen.
- HYDROTEC (2005): Modelldokumentation und Handbuch NASIM 3.4.1. Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt GmbH, Aachen.
- PROWA (1983): Rückhaltebecken Jüterbog – Dokumentation zur Vorbereitung der Grundsatzentscheidung; VEB Projektierung Wasserwirtschaft, 1983.
- REDEKER CONSULT (2008): Auszüge aus der Genehmigungsplanung Industriegebiet „Industriestraße“ in Luckenwalde, 2. und 3. Bauabschnitt; Redeker Consult GmbH, Luckenwalde, 2008.
- SCHIMANOWSKI, D. (2007): Masterarbeit im Masterstudiengang Urbane Infrastrukturplanung - Verkehr und Wasser an der Technischen Fachhochschule Berlin. Thema: Modellierung von Abflüssen im Einzugsgebiet des Hochwasserrückhaltebeckens Jüterbog.
- VERWORN (2006): Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlages. In: H.-B. Kleeberg (Hrsg.): Niederschlag – Input für hydrologische Berechnungen. Forum für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Heft 14.06, S. 173 – 185.
- WASY (2005): HQ-EX-Version 3.0. Software zur Wahrscheinlichkeitsanalyse von Jahreshöchstabflüssen. WASY GmbH.



9 Glossar

Aeo	oberirdische Einzugsgebietsfläche
BE	Binneneinzugsgebiet
ELS	Einzellinearspeicher
EZG	Einzugsgebiet
GEP	Generalentwässerungsplan
HRB	Hochwasserrückhaltebecken
Mdg.	Mündung
nFK	nutzbare Feldkapazität
oh.	Oberhalb
RRB	Regenrückhaltebecken
uh.	unterhalb



10 Anlagen

- Anlage 1: Tabellarische Übersicht zu den Simulationsteilgebieten des N-A-Modells
- Anlage 2: Systemplan des N-A-Modells für das Untersuchungsgebiet Nuthe
- Anlage 3: Bemessungsniederschläge für die Niederschlag-Abfluss-Simulation
- Anlage 4: HQ_T - Abflusslängsschnitte