

## Niederschlag-Abfluss-Modellierung für die Kleine Striegis



Kleine Striegis nordöstlich von Schlegel (© DHI-WASY GmbH)

Dieser Bericht wurde im Rahmen des DHI Business-Management-Systems  
(DNV-zertifiziert nach ISO 9001, Qualitätsmanagement) erstellt.



DNV Business Assurance, Danmark A/S

# Niederschlag-Abfluss-Modellierung für die Kleine Striegis

Erstellt für                    Stadtverwaltung Hainichen  
                                       Bau- u. Ordnungsamt  
                                       Markt 1  
                                       09661 Hainichen

Vertreten durch            Herr Böhme

---

Genehmigt: Dr. Kaltofen Niederlassungsleiter	Dr. Walther Projektleiter

Projektleiter	Dr. J. Walther
Projektbearbeiter	Dipl.-Hydrol. Katharina Köpp-Klausch

Projekt Nummer	14803503
Datum Genehmigung	17.06.2015
Datum Revision	
Einstufung	geschützt



## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Verwendete Unterlagen, Verfahren und Methoden .....</b>	<b>1</b>
2.1	Eingesetzte Software .....	1
2.2	Vorhandenes N-A-Modell.....	4
2.3	Anpassung des vorhandenen N-A-Modells an die Aufgabenstellung .....	4
2.3.1	Anpassung an die aktuelle Softwareversion .....	4
2.3.2	Verfeinerung der Teilgebietsgliederung und Übernahme in das N-A-Modell .....	4
2.3.3	Ermittlung der Starkniederschläge.....	6
<b>3</b>	<b>Ergebnisse der N-A-Simulation für den Istzustand .....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>9</b>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1:	Speicher- und Transportvorgänge im Modell NASIM (aus HYDROTEC, 2014).....	3
Abbildung 2-2:	Übersichtskarte zum Untersuchungsgebiet .....	5
Abbildung 2-3:	Gegenüberstellung der extrapolierten KOSTRA-Niederschläge für T = 5000 a und Maximierte Gebietsniederschläge MGN für die Dauerstufen D = 1, 12, 24 und 72 h.....	7
Abbildung 3-1:	Abflussganglinien an den Aussagequerschnitten bei $HQ_{5000}$ und der jeweils kritischen Niederschlagsdauer $D_{krit}$ .....	8

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1-1:	Lage und Einzugsgebietsfläche $A_E$ der Aussagequerschnitte (AQ) für die Kleine Striegis .....	1
Tabelle 3-1:	Maximale Scheitelabflüsse für AQ1 und AQ2 sowie Scheitelabflusspende für AQ2.....	8

## ANLAGEN

Anlage 1:	Starkniederschlagstabelle
Anlage 2:	Daten-CD

## 1 Aufgabenstellung

Auf Grundlage des Angebotes der DHI-WASY GmbH vom 21. Mai 2015 an die Stadtverwaltung Hainichen waren für zwei alternative Standorte (Tabelle 1-1) eines bereits in DHI-WASY (2008b) untersuchten potentiellen Hochwasserrückhaltebeckens (HRB 1) an der Kleinen Striegis hydrologische Kenngrößen mit Hilfe einer Niederschlag-Abfluss-Modellierung (N-A-Modellierung) bereitzustellen. Konkret handelte es sich um die Bemessungsabflüsse  $HQ_{500}$ ,  $HQ_{5000}$  (Hochwasserabflüsse mit Wiederkehrintervall) und den größten zu erwartenden Abfluss (PMF – Probable Maximum Flood) sowie die dazu gehörenden Abflussganglinien.

Tabelle 1-1: Lage und Einzugsgebietsfläche  $A_E$  der Aussagequerschnitte (AQ) für die Kleine Striegis

Nr.	Ort	Rechtswert	Hochwert	Einzugsgebietsfläche $A_E$
AQ1	HRB 1, Standort 1	4577375	5643868	27,01 km <sup>2</sup>
AQ2	HRB 1, Standort 2	4577444	5644377	27,48 km <sup>2</sup>

## 2 Verwendete Unterlagen, Verfahren und Methoden

### 2.1 Eingesetzte Software

Die Software NASIM (Hydrotec GmbH Aachen) 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 2-1). 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, 2014).

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 ( $\Delta t$  im Bereich weniger Minuten) ist die Ermittlung von Hochwasserkenngößen  $HQ_T$  aus Starkniederschlägen gleicher Jährlichkeit. Die für Hochwasseruntersuchungen theoretisch mögliche Langfristsimulation mit zeitlich hoch aufgelösten langen Niederschlagsreihen wird in der Regel aus Aufwands- und Kostengründen verworfen.

Für die N-A-Simulation werden folgende hydrologisch relevanten 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.



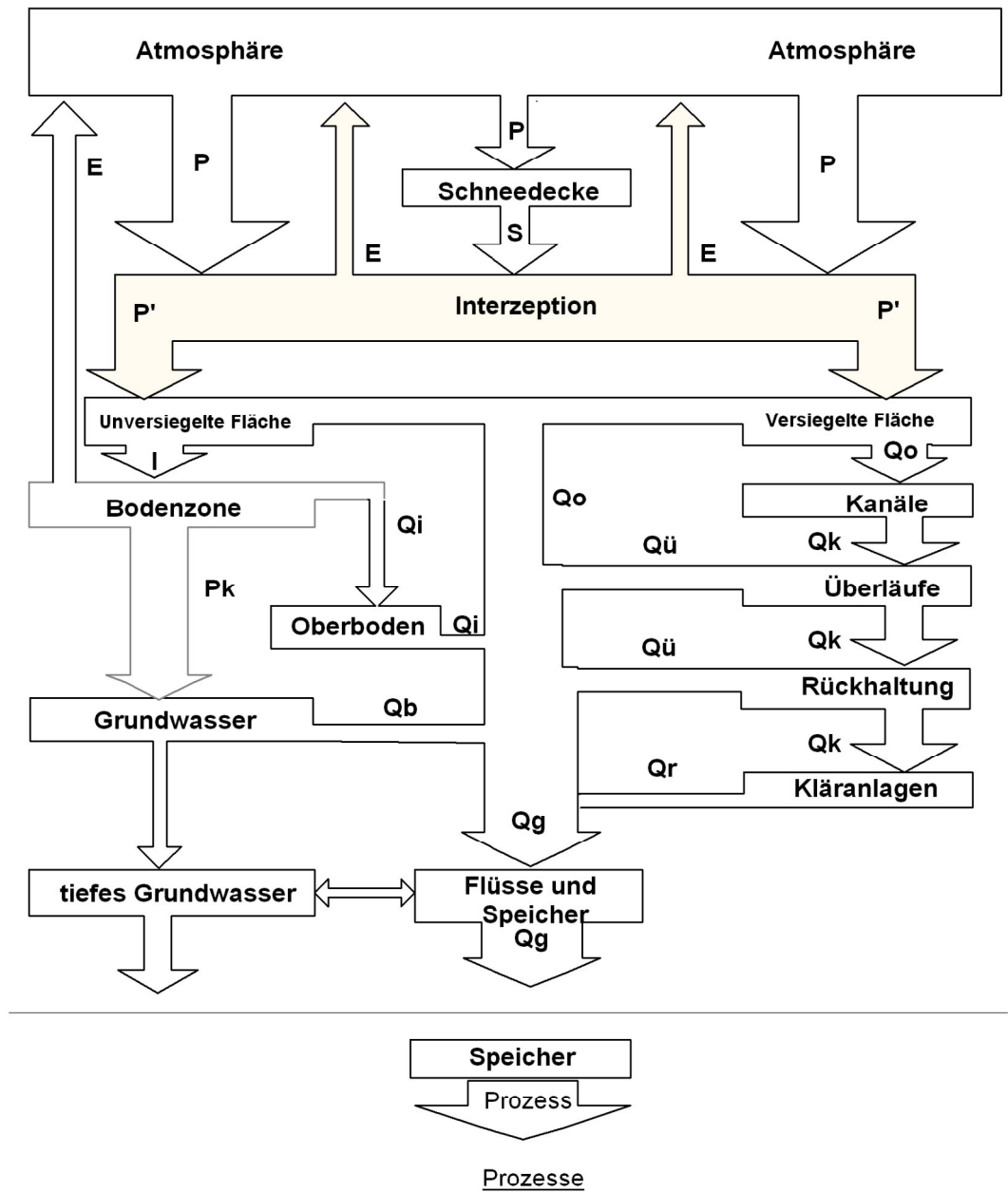
Durch die Teilgebietsgrenzen wird das Gesamteinzugsgebiet in einzelne Simulationsteilgebiete gegliedert und damit räumlich strukturiert. Kriterien für die Festlegung der Teilgebietsgrenzen sind u. a. die Berücksichtigung von Mündungen wichtiger Nebenflüsse oder von Anschlüssen städtischer Gebiete an das natürliche Gewässernetz. Durch die Verschneidung der Teilgebietsgrenzen 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 GIS-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. Anstelle der Eingabe einzelner Querprofile können zur Beschreibung des Wellenablaufs in den Gerinnen und Vorländern auch so genannte Abfluss-Volumen-Beziehungen, die aus terrestrisch vermessenen Gewässerquerprofilen berechnet werden, genutzt werden. Für diese Option muss allerdings eine durchgängige Gewässervermessung vorliegen, die auch die Vorländer einschließt.
- Kenngrößen und Kennlinien von Talsperren 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 2-1: Speicher- und Transportvorgänge im Modell NASIM (aus HYDROTEC, 2014)



## 2.2 Vorhandenes N-A-Modell

Als Bearbeitungsgrundlage für die erforderlichen Untersuchungen wurde das vorhandene N-A-Modell für das Einzugsgebiet der Kleinen Striegis genutzt, das im Auftrag der Ingenieur Consult Dr.-Ing. A. Kolbmüller GmbH (ICL) auf der Basis der Software NASIM (HYDROTEC, 2005) aufgebaut wurde (DHI-WASY, 2008a). Dieses Modell wurde 2008 eingesetzt, um für ICL verschiedene Standorte für Hochwasserrückhaltebecken im Einzugsgebiet der Kleinen Striegis zu untersuchen (DHI-WASY, 2008b). Plausibilisiert wurde dieses Modell anhand von Abflussbeobachtungen in der Großen Striegis, in die die Kleine Striegis mündet, und zwar an den beiden Pegeln Böhrigen und Niederstriegis.

## 2.3 Anpassung des vorhandenen N-A-Modells an die Aufgabenstellung

Zunächst musste das N-A-Modell an die Aufgabenstellung angepasst werden. Die dafür notwendigen Arbeiten umfassten

1. die Anpassung des N-A-Modells an die aktuelle NASIM-Softwareversion 4.3.1 (HYDROTEC, 2014),
2. die Verfeinerung der Teilgebietsgliederung des N-A-Modells mit dem Ziel, die Bemessungsabflüsse für  $HQ_{500}$ ,  $HQ_{5000}$  und PMF in der für die Untersuchung erforderlichen räumlichen Auflösung bereitzustellen,
3. Ermittlung der Starkniederschläge für  $T = 500$  a und  $T = 5000$  a sowie des maximierten Gebietsniederschlags (MGN) für 2 Rasterfelder des KOSTRA-Atlas (ITWH, 2005).

### 2.3.1 Anpassung an die aktuelle Softwareversion

Das vorhandene N-A-Modell für das Einzugsgebiet der Kleinen Striegis wurde im Jahr 2008 auf der Basis der Software NASIM, Version 3.4.1 (HYDROTEC, 2005) aufgebaut (Abschnitt 2.2). Aktuell verwendet die DHI-WASY GmbH die Softwareversion 4.3.1. An diese Version war das vorhandene Modell anzupassen. Mit dieser Anpassung waren keine inhaltlichen Änderungen verbunden.

### 2.3.2 Verfeinerung der Teilgebietsgliederung und Übernahme in das N-A-Modell

Das vorhandene N-A-Modell weist für den Aussagequerschnitt AQ1 der Tabelle 1-1 bereits eine Teilgebietsunterteilung auf. Für den AQ2 war diese noch vorzunehmen. Grundlage für die Festlegung des zum AQ2 gehörenden Einzugsgebietes bildete die Topografische Karte im Maßstab 1 : 25.000 (DTK 25). Die anhand der DTK 25 festgelegte Einzugsgebietsgrenze wurde mit Hilfe von ArcGIS digitalisiert. Inhalt von Abbildung 2-2 ist eine entsprechende Übersichtskarte. Durch die Verfeinerung der Teilgebietsgliederung erhöhte sich die Anzahl der Simulationsteilgebiete im Einzugsgebiet der Kleinen Striegis von 30 auf 31.

Die durch die Verfeinerung entstandenen zwei kleineren Simulationsteilgebiete (in Abbildung 2-2 türkis markiert) wurden in einem weiteren Arbeitsschritt mit den auch 2008 zu Grunde gelegten Landnutzungs- und Bodendaten lagegerecht verschnitten. 2008 wurden für die Landnutzung CIR-Daten verwendet. Die Informationen zu den vorkommenden Bodenformen entstammten der Bodenübersichtskarte im Maßstab 1 : 400.000 (BÜK 400). Ergebnis der Verschneidung waren die bezüglich Landnutzung und Bodenformen homogenen Elementarflächen (Abschnitt 2.1).

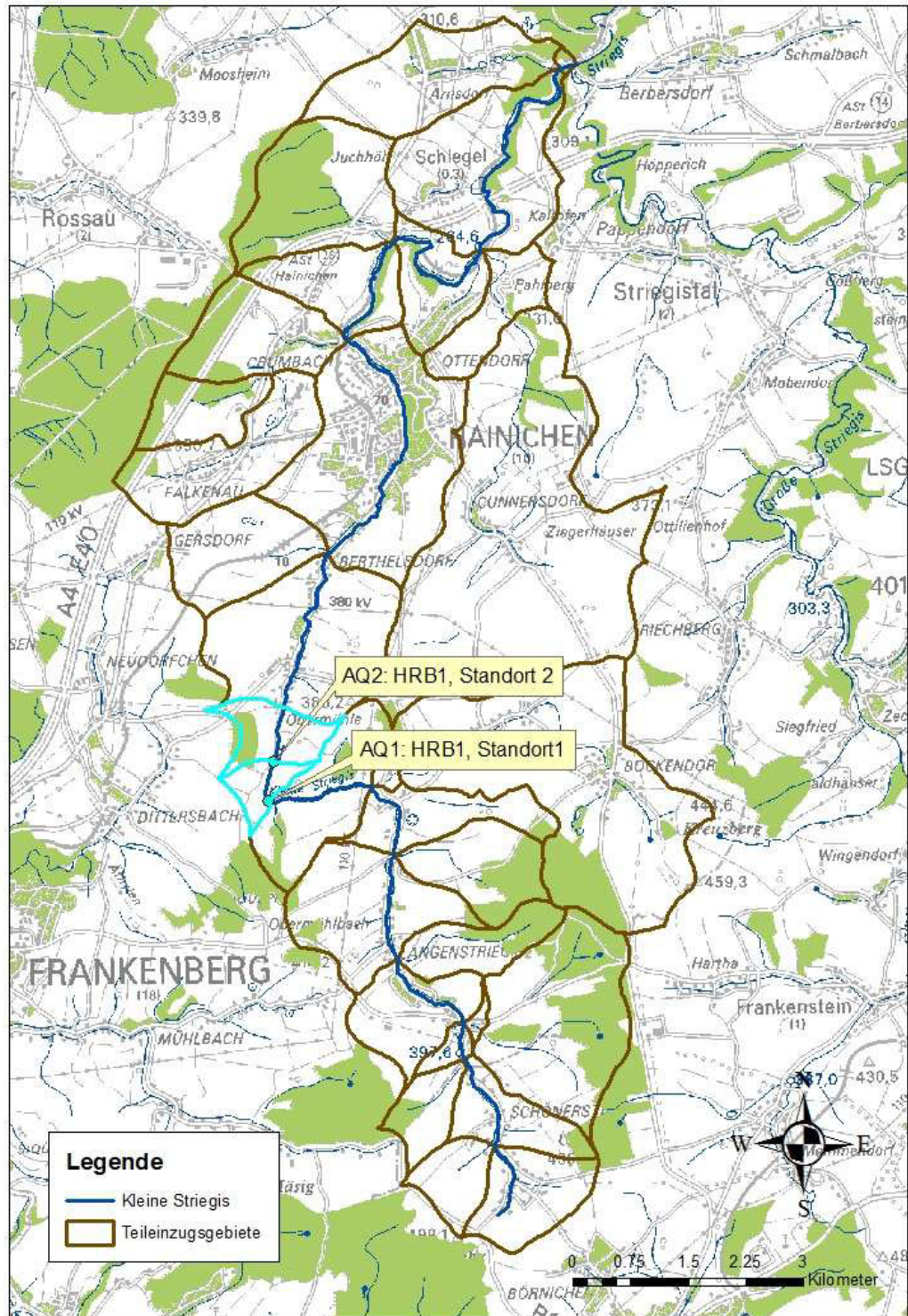


Abbildung 2-2: Übersichtskarte zum Untersuchungsgebiet

Die beiden kleineren Simulationsteilgebiete und ihre Elementarflächen wurden nach NASIM übernommen. Für die Erfassung der Geländehöhen bzw. Ermittlung der Laufzeit-Flächen-Funktion entsprechend Abschnitt 2.1 wurde wie auch im Jahr 2008 das Digitale Geländemodell mit einer Rasterweite von 25 m mal 25 m (DGM 25) verwendet.

### 2.3.3 Ermittlung der Starkniederschläge

Als Grundlage für die Ermittlung der Starkniederschläge  $P_{D,T}$  wurden die Richtlinien der Koordinierten Starkregen-Regionalisierungs-Auswertung KOSTRA des Deutschen Wetterdienstes DWD in ihrer überarbeiteten und aktualisierten Fassung (ITWH, 2005) verwendet. Gemäß DHI-WASY (2008a) sind für das Einzugsgebiet der Kleinen Striegis die Rasterzellen S61-Z55 und S61-Z56 relevant. Die beiden mit Hilfe der Software KOSTRA-DWD 2000 erstellten Starkniederschlagstabellen wurden in DHI-WASY (2008a) dokumentiert.

Für die Berechnung von  $HQ_{500}$  und  $HQ_{5000}$  wurden die mit Hilfe der Software KOSTRA-DWD 2000 (ITWH, 2005) ermittelten Starkniederschläge, die bis zum Wiederkehrintervall  $T = 100$  a vorliegen, extrapoliert. 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 einschließlich  $T = 5000$  a wurde die Gültigkeit der Exponentialverteilung auch im Extrapolationsbereich vorausgesetzt. Anlage 1 gibt Auskunft über die für die betrachteten Wiederkehrintervalle durch Extrapolation ermittelten Starkniederschläge für  $T = 500$  und  $5000$  a.

Für das Einzugsgebiet des potenziellen HRB 1 sind, unabhängig vom Standort, ausschließlich die in der Regel höheren Niederschläge für das Rasterfeld S61-Z56 relevant. Der maximierte Gebietsniederschlag MGN, der die Grundlage für die Berechnung des PMF bildet, wurde deshalb nur für dieses Rasterfeld ermittelt. Die Ermittlung des MGN erfolgte auf der Grundlage von Untersuchungsergebnissen des DWD in /3/.

Der MGN wurde anhand der in /3/ enthaltenen kartographischen Darstellungen der regionalisierten maximierten Gebietsniederschlagshöhen in Anhängigkeit von Jahreszeit und Dauerstufe ermittelt. So konnten die MGN-Werte für die Dauerstufen  $D = 1$  h, 12 h, 24 h und 72 h aus den Karten für die Monate Juni bis August und die Gebietsgrößenstufe  $G = 25$  km<sup>2</sup> entnommen werden. Der Quotient zwischen den MGN- und extrapolierten KOSTRA-Werten der in Abbildung 2-3 dargestellten Datenpunkte beträgt 3,0 für  $D = 1$  h, je 2,4 für  $D = 12$ , 2,1 für  $D = 24$  h und 1,7 für  $D = 72$  h. Er ist damit nicht konstant, sondern abhängig von der Dauerstufe. Deshalb wurden die MGN-Werte für die nicht in /3/ berücksichtigten Dauerstufen nicht mit Hilfe eines mittleren, konstanten Quotienten berechnet, sondern mit Hilfe der in Abbildung 2-3 dargestellten Gleichung der Regressionsgeraden. Mit der Regressionsgleichung wurden schließlich die MGN-Werte anhand der extrapolierten KOSTRA-Niederschläge für  $T = 5000$  a für alle 12 Niederschlagsdauern bestimmt.

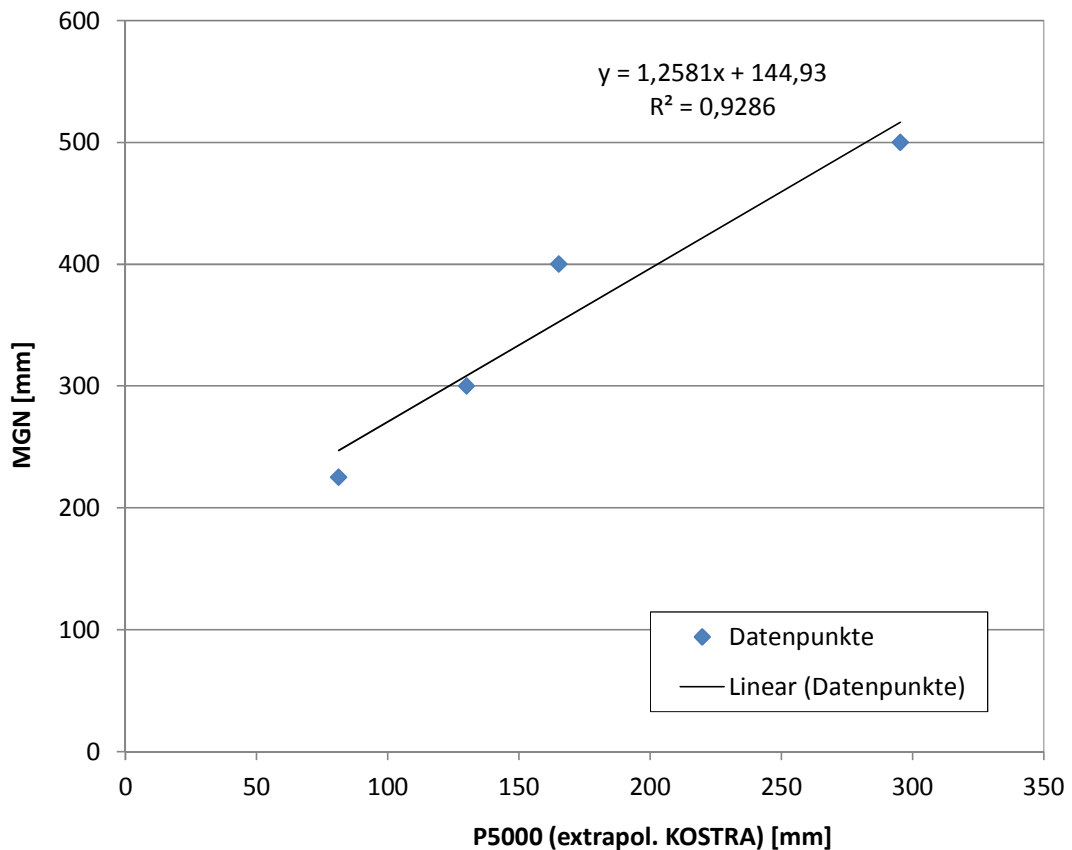


Abbildung 2-3: Gegenüberstellung der extrapolierten KOSTRA-Niederschläge für  $T = 5000$  a und Maximierte Gebietsniederschläge MGN für die Dauerstufen  $D = 1, 12, 24$  und  $72$  h

### 3 Ergebnisse der N-A-Simulation für den Istzustand

Mit dem angepassten N-A-Modell wurden die Hochwasserabflüsse für  $HQ_{500}$ ,  $HQ_{5000}$  und PMF an den zwei potentiellen Hochwasserrückhaltestandorten gemäß Tabelle 1-1 berechnet. Eingangsgrößen für die zeitlich hoch aufgelöste Kurzfristsimulation ( $\Delta t = 5$  min) waren die Bemessungsniederschläge  $P_{D,T}$  für  $T = 500$  und  $5000$  a sowie MGN, die für 12 verschiedene Dauern  $D$  von 1 bis 72 Stunden ermittelt wurden (Anlage 1).

Als Ergebnis der Simulationsrechnungen wurden die Abflussganglinien für die zwei potentiellen Hochwasserrückhaltestandorte erhalten. Die mit dem N-A-Modell berechneten Abflussganglinien für AQ1 und AQ2 wurden als halbstündige Ganglinien über einen Zeitraum von insgesamt 7 Tagen in je einer EXCEL-Datei archiviert, die Inhalt von Anlage 2 (Daten-CD) ist. Zu jedem Tabellenblatt gehört eine entsprechende Abbildung der Ganglinienschar.

Für jeden betrachteten Bemessungsfall führt eine bestimmte Niederschlagsdauer, die so genannte kritische Regendauer, zum Maximalabfluss. Die jeweils größten Scheitelabflüsse wurden in den EXCEL-Tabellen fett hervorgehoben. Sie werden in Tabelle 3-1 zusammenfassend aufgeführt. Abbildung 3-1 zeigt beispielhaft die Ganglinien des  $HQ_{5000}$  für die kritische Niederschlagsdauer an den Aussagequerschnitten AQ1 ( $D = 4$  h) und AQ2 ( $D = 6$  h).



Tabelle 3-1: Maximale Scheitelabflüsse für AQ1 und AQ2 sowie Scheitelabflussspende für AQ2

Kenngröße	AQ1 (HRB 1, Standort 1)	AQ2 (HRB 1, Standort 2)	Abflussspende AQ2 [l/(s*km <sup>2</sup> )]
HQ <sub>500</sub> in m <sup>3</sup> /s	35,1	35,8	1300
HQ <sub>5000</sub> in m <sup>3</sup> /s	52,2	53,2	1940
PMF in m <sup>3</sup> /s	195	199	7240

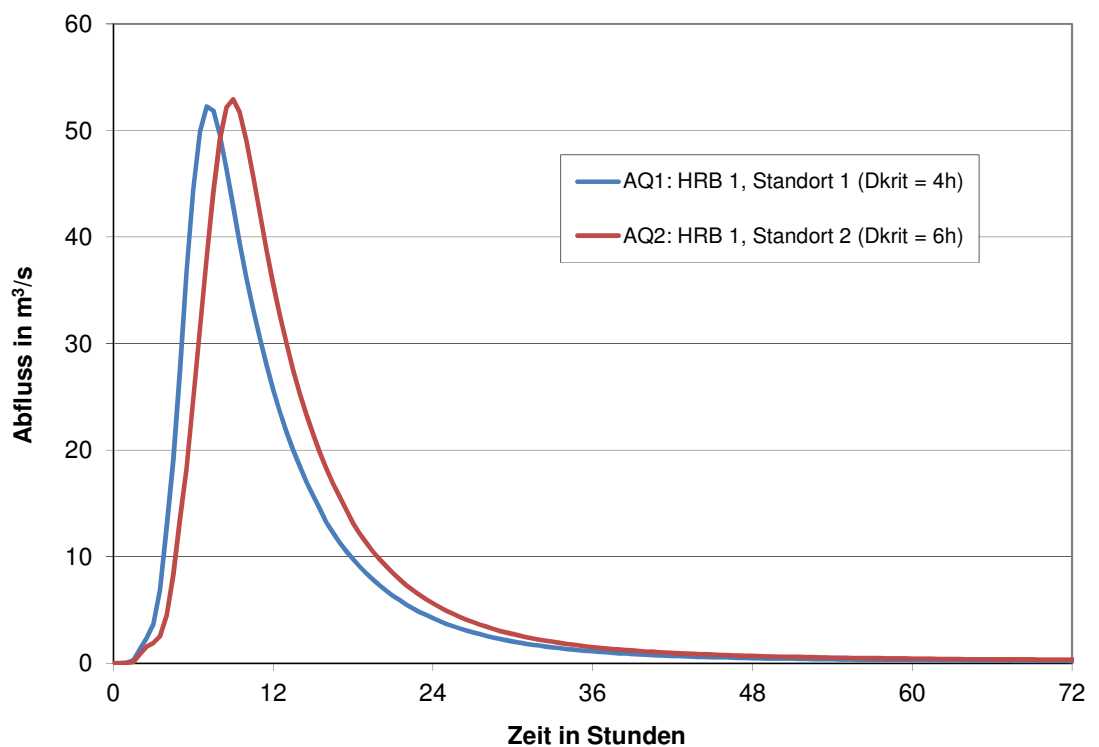


Abbildung 3-1: Abflussganglinien an den Aussagequerschnitten bei HQ<sub>5000</sub> und der jeweils kritischen Niederschlagsdauer  $D_{krit}$

Dem Auftraggeber wird empfohlen, bei weiterführenden eigenen Berechnungen jeweils die Ganglinien für alle 12 Niederschlagsdauern zu berücksichtigen. Allein anhand der maximalen Scheitelabflüsse (Tabelle 1-1) können keine gesicherten Aussagen darüber getroffen werden, welche Niederschlagsdauer z. B. bei Retentionsberechnungen für das potenzielle HRB zur maximalen Belastung, d. h. zum Maximalwasserstand im Becken, führt.

## 4 Literatur

- /1/ DHI-WASY (2008a): Hydrologische Untersuchungen im Zuge der Erarbeitung eines Hochwasserschutzkonzeptes für die Kleine Striegis - Leistungsphase 1. DHI-WASY GmbH im Auftrag von ICL Ingenieur Consult Dr.-Ing. A. Kolbmüller GmbH. Mai 2008.
- /2/ DHI-WASY (2008b): Hydrologische Untersuchungen im Zuge der Erarbeitung eines Hochwasserschutzkonzeptes für die Kleine Striegis - Leistungsphase 2. DHI-WASY GmbH im Auftrag von ICL Ingenieur Consult Dr.-Ing. A. Kolbmüller GmbH. November 2008.
- /3/ DVWK (1997): Maximierte Gebietsniederschlagshöhen für Deutschland. Deutscher Wetterdienst. Mitteilungen des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. Heft 29, Bonn.
- /4/ HYDROTEC (2005): Modelldokumentation und Handbuch NASIM 3.4.1. Hydrotec GmbH Aachen.
- /5/ HYDROTEC (2014): Modelldokumentation und Handbuch NASIM 4.3.1. Hydrotec GmbH Aachen.
- /6/ ITWH (2005): KOSTRA-DWD 2000 Version 2.1.1. Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH Hannover in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst Offenbach und der Fachhochschule Lippe und Höxter.



## Anlagen

# Anlage 1

## Starkniederschlagstabelle

## Bemessungsniederschläge [mm] für die Niederschlag-Abfluss-Simulation

### Starkniederschlagstabelle S61 - Z55

Bemessungsfall	Niederschlagsdauer in Stunden											
	1	1,5	2	3	4	6	9	12	18	24	48	72
500	64,5	67,8	70,4	74,3	77,2	81,6	86,4	90,0	99,2	108,4	173,2	189,9
5000	82,2	86,1	89,1	93,6	97,0	102,1	107,4	111,5	123,1	134,6	220,7	239,9

### Starkniederschlagstabelle S61 - Z56

Bemessungsfall	Niederschlagsdauer in Stunden											
	1	1,5	2	3	4	6	9	12	18	24	48	72
500	64,0	69,2	73,1	79,2	83,6	90,5	97,9	103,5	118,1	132,7	169,7	230,4
5000	81,3	87,7	92,6	100,1	105,5	114,1	123,2	130,0	147,6	165,2	212,2	295,4
MGN	247,2	255,3	261,4	270,9	277,7	288,4	299,9	308,5	330,6	352,8	411,9	516,6

alle Werte ohne Berücksichtigung von Sicherheitszuschlägen

## Anlage 2

### Daten-CD

