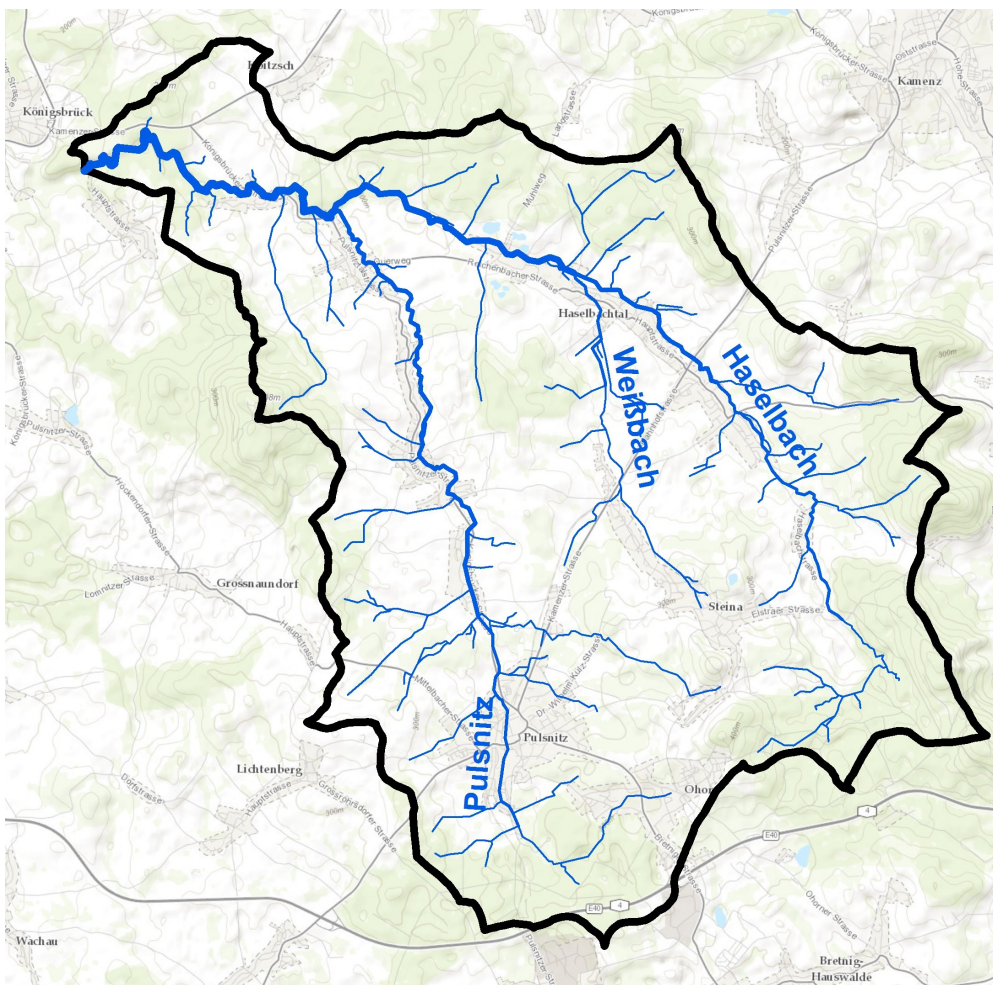


NA-Modellgestützte Ermittlung von Bemessungshochwasserwerten im Einzugsgebiet der oberen Pulsnitz

Auftraggeber: FUGRO Consult GmbH



INHALTSVERZEICHNIS

1	Veranlassung und Zielstellung.....	4
2	Methodik	6
3	Modell.....	10
3.1	Nutzbare Modellgrundlagen	10
3.2	Modellpräzisierungen	12
3.3	Meteorologische Daten.....	14
3.3.1	STRASA-Niederschläge.....	14
3.3.2	RASTER-Niederschläge	15
3.4	Hydrologische Daten	16
3.5	Gewässerretention.....	17
4	Modellkalibrierung.....	19
4.1	Kalibrierung Historisches Hochwasser	19
4.2	Kalibrierung anhand Extremwertstatistik	22
4.3	Kalibrierung über Abflusspendenbetrachtung	23
4.4	Kontrolle über Längsschnittbetrachtungen	24
5	Ergebnisse IST-Zustand	27
6	Datenquellen und weitere Unterlagen	28

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1-1: Übersichtskarte	4
Abbildung 1-2: Aussagequerschnitte	5
Abbildung 2-1: Komponenten des hydrologischen Modellierungssystems ArcEGMO	6
Abbildung 2-2: Zeitliche Verteilung des Niederschlages beim DVWK-Modellregen	8
Abbildung 2-3: Verfahrensweise bei der Einzelereignissimulation	9
Abbildung 3-1: NA-Modell Schwarze Elster	10
Abbildung 3-2: Flächennutzung	11
Abbildung 3-2: Aktualisierung Fließgewässernetz.....	12
Abbildung 3-3: Ausweisung von detaillierteren Teileinzugsgebieten	13
Abbildung 3-4: 1-km ² Raster für das Untersuchungsgebiet.....	15
Abbildung 3-5: Pegel.....	16
Abbildung 3-6: Durchflussgangline Pegel Königsbrück.....	16
Abbildung 3-8: Höhenverhältnisse im Gebiet und Gefälle im Fließgewässer.....	18
Abbildung 4-1: Simulationsergebnis der verschiedenen Optimierer für Königsbrück	21
Abbildung 4-2: Simulierte Ganglinie für Königsbrück mit Vorgeschichte.....	21
Abbildung 4-3: HQT	22
Abbildung 4-4: Abflussspenden hqs 100 der Querschnitte.....	23
Abbildung 4-5: Längsschnitt für Weißbach, Haselbach und Pulsnitz.....	25
Abbildung 4-6: Gegenüberstellung Gebietseigenschaften und Ergebnisse	26

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1-1: Aussagequerschnitte	5
Tabelle 3-1: STRASA-Niederschläge	14
Tabelle 3-2: HQT - Königsbrück.....	17
Tabelle 4-1: Optimierungsverfahren.....	20
Tabelle 4-2: Gegenüberstellung simulierte HQT mit Extremwertstatistik HQ[m ³ /s]	22
Tabelle 4-3: Scheitelstatistik benachbarter Pegel.....	23
Tabelle 5-1: Ergebnisse – IST-Zustand	27
Tabelle 6-1: Datenquellen und weitere Unterlagen.....	28

1 Veranlassung und Zielstellung

Für den Oberlauf der Pulsnitz im Gemeindegebiet Haselbachtal und Pulsnitz wurden als Grundlage für die Erstellung eines Hochwasserschutzkonzeptes Bemessungshochwasserwerte ermittelt. Betrachtet wurde die Pulsnitz selbst als Gewässer II. Ordnung mit einer Gesamtlängstrecke von 16,43 km inklusive des Haselbachs und des Weißbachs (siehe Abbildung 1-1). Die Einzugsgebietsgröße des Untersuchungsgebietes bis zum Pegel Königsbrück beträgt 92 km².

Zu ermitteln waren die Bemessungswerte für die Wiederkehrintervalle $T = 5, 10, 20, 50, 100$ und für das HQ_{extrem} an 24 Aussagequerschnitten. Abbildung 1-2 zeigt die Lage der Aussagequerschnitte, Tabelle 1-1 listet sie mit ihrer Einzugsgebietsgröße und einer Kurzbeschreibung der Lage auf.

Die Untersuchungen wurden in folgenden Bearbeitungsetappen durchgeführt:

- Phase 1: Ermittlung von Bemessungswerten für den IST-Zustand
- Phase 2: Ermittlung von Bemessungswerten unter Berücksichtigung von Hochwasser mindernden Maßnahmen (HRB) im PLAN-Zustand

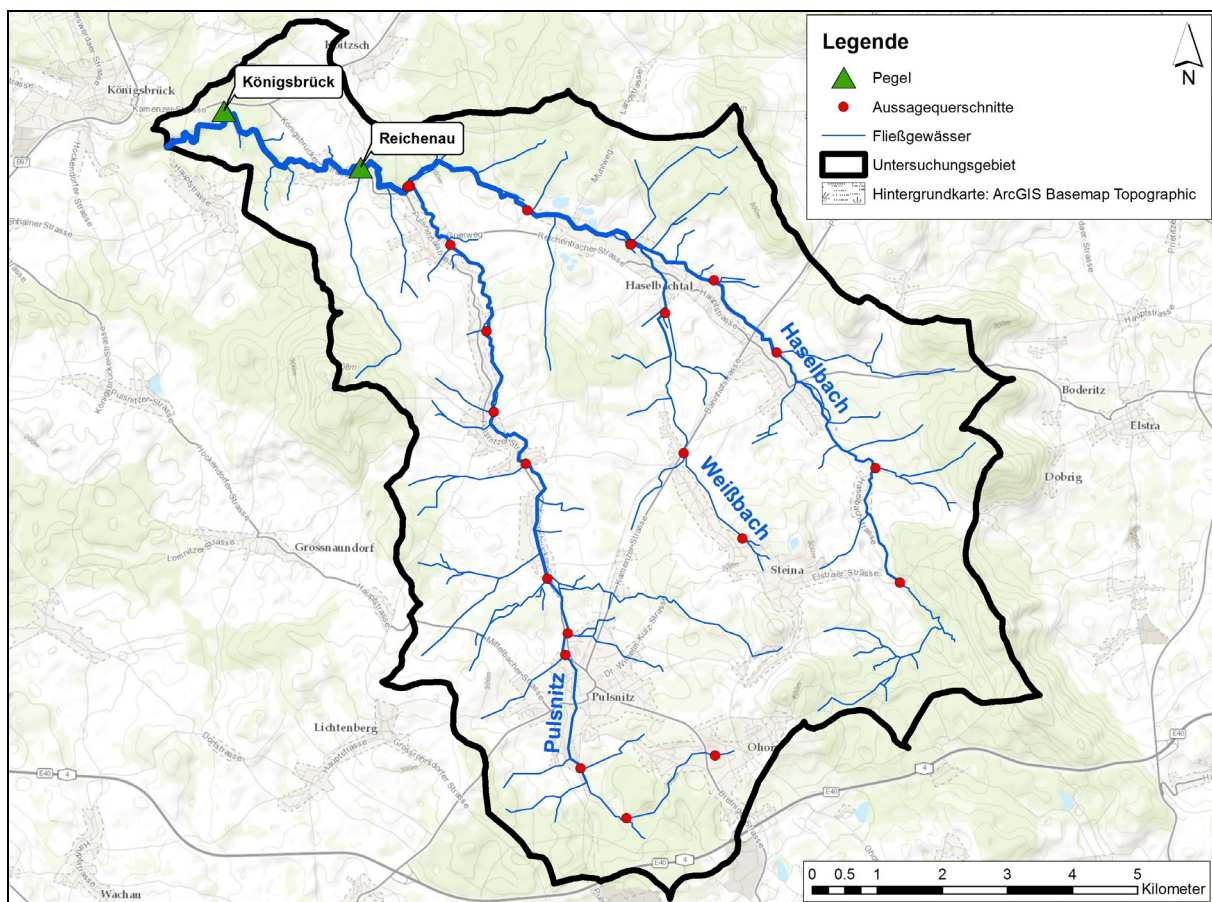
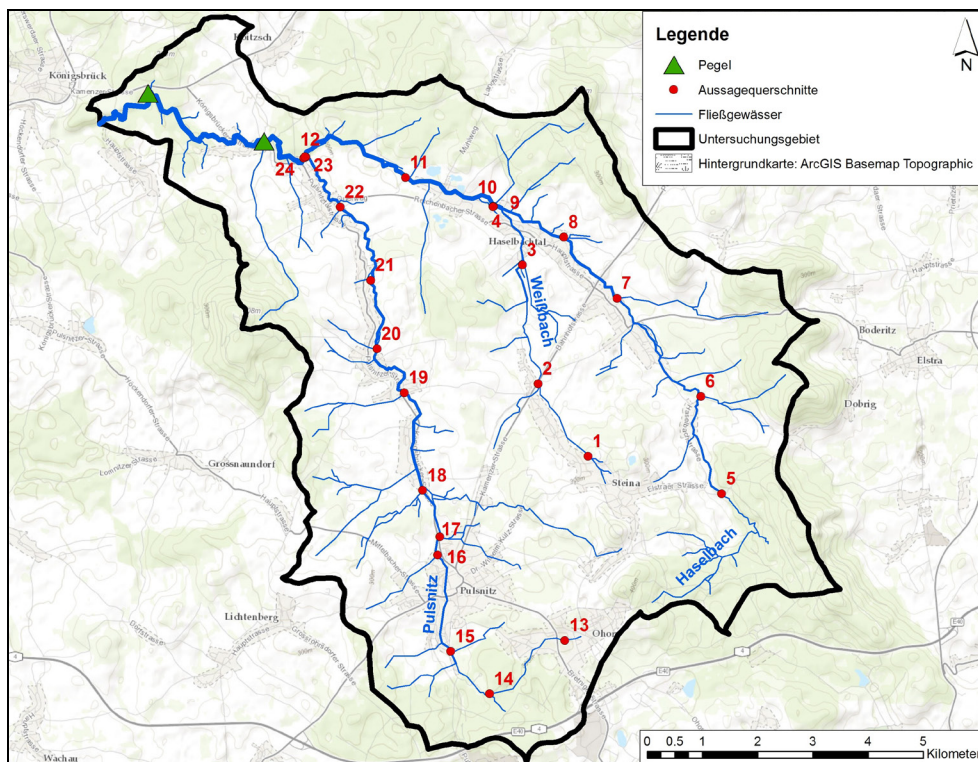


Abbildung 1-1: Übersichtskarte

Tabelle 1-1: Aussagequerschnitte

ID	Gewässer	EZG [km ²]	Bezeichnung Querschnitt
24	Pulsnitz	82.1	unterhalb Mündung Haselbach
23	Pulsnitz	35.0	oberhalb Mündung Haselbach
22	Pulsnitz	34.0	Brücke in Reichenau unterhalb Bach von links
21	Pulsnitz	32.0	Brücke an der Knochenmühle in Unterlichtenau
20	Pulsnitz	31.0	unterhalb Mündung Forellenbach
19	Pulsnitz	28.1	unterhalb Zufluss von links
18	Pulsnitz	20.5	unterhalb Mündung Hahneflüsschen
17	Pulsnitz	14.8	unterhalb Mündung Siegbach (von rechts)
16	Pulsnitz	13.0	unterhalb Zufluss von links an Mittelmühle
15	Pulsnitz	8.6	oberhalb Ortslage Pulsnitz
14	Pulsnitz	4.7	unterhalb Zufluss Goldborn von links
13	Pulsnitz	1.2	Straßenbrücke Ohorn-Pulsnitz
12	Haselbach	47.1	Mündung in die Pulsnitz
11	Haselbach	44.0	Brücke unterhalb Zulauf von rechts
10	Haselbach	35.9	unterhalb Mündung Weißbach
9	Haselbach	25.9	oberhalb Mündung Weißbach
8	Haselbach	23.3	unterhalb Zulauf Dorfteich
7	Haselbach	20.6	unterhalb Mündung Klinge
6	Haselbach	11.6	unterhalb Mündung Bach von rechts
5	Haselbach	6.4	Beginn Bearbeitungsstrecke
4	Weißbach	10.0	oberhalb Mündung in den Haselbach
3	Weißbach	8.9	unterhalb Zufluss von rechts
2	Weißbach	4.6	Bahnlinie in Untersteina
1	Weißbach	0.8	K9250 in Steina


Abbildung 1-2: Aussagequerschnitte

2 Methodik

Für diese Untersuchungen kommt das auch in der 2004er Bearbeitung genutzte hydrologische Modellierungssystem ArcEGMO® (Pfützner 2001¹, Becker et al. 2002²) zum Einsatz, das auf Basis meteorologischer Eingangsgrößen und unter Berücksichtigung der Gebietseigenschaften den Gebietswasserhaushalt, Abflusskomponenten und den Gewässerabfluss simuliert.

ArcEGMO© ist eine hydrologische Toolbox, mit der alle wesentlichen Komponenten des Gebietswasserhaushaltes von den Wechselbeziehungen zwischen Atmosphäre-Vegetation-Boden bis hin zu den ober- und unterirdischen Abflusskonzentrationsprozessen bei Berücksichtigung von anthropogenen Steuerungen und natürlichen Störungen räumlich und zeitlich hoch aufgelöst beschrieben werden können (siehe Abbildung 2-1).

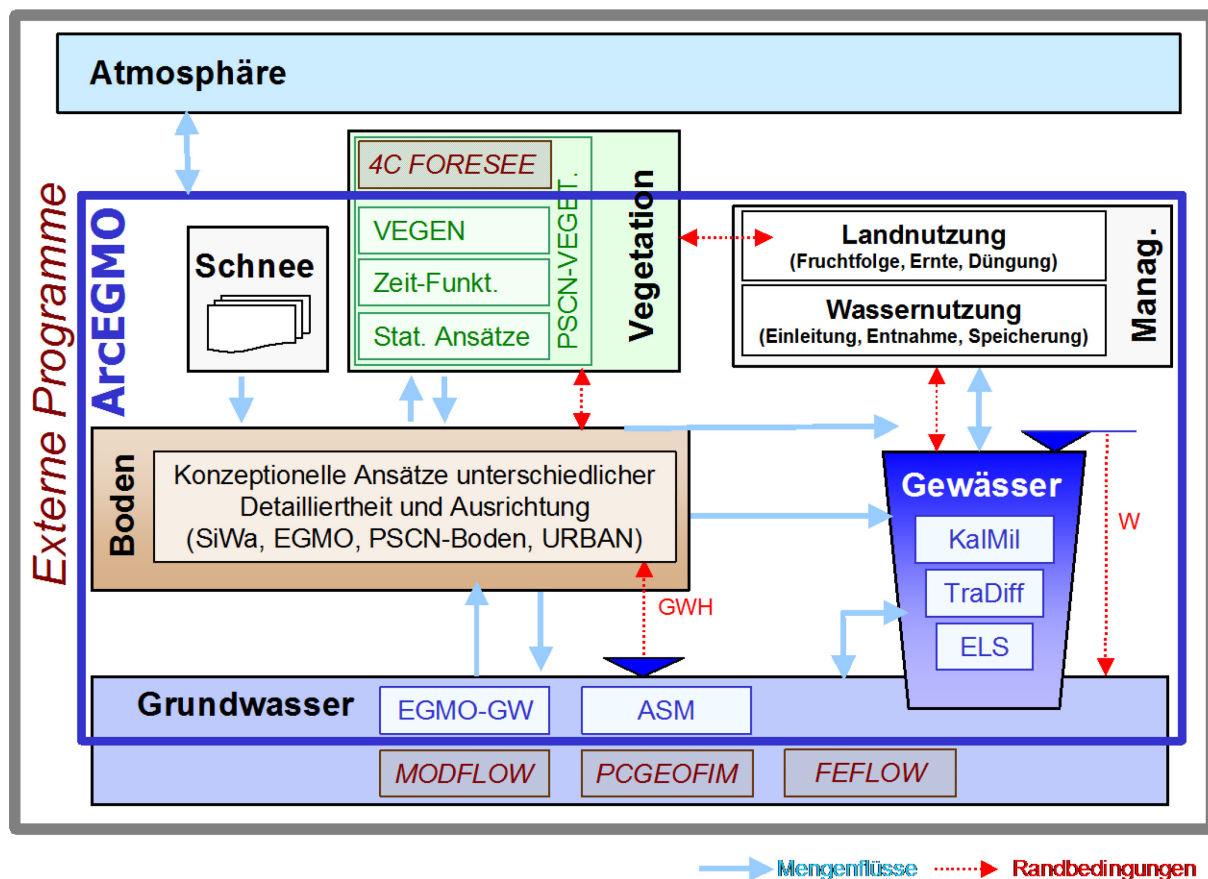


Abbildung 2-1: Komponenten des hydrologischen Modellierungssystems ArcEGMO

¹ Pfützner, B. (2001): Kap. 4.8.5 ArcEGMO in: Übersicht über Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen, Bericht Nr. I-19 der KHR, ISBN 90-36954-11-8

² Becker, A., Klöcking, B., Lahmer, W., Pfützner, B. (2002): The Hydrological Modelling System ArcEGMO. In: Mathematical Models of Large Watershed Hydrology (Eds.: Singh, V.P. and Frevert, D.K.). Water Resources Publications, Littleton/Colorado, 321-384. ISBN 1-887201-34.

Je nach Datenverfügbarkeit, Anwendungsmaßstab und Fragestellung können adäquate Teilprozessmodelle zu einem Gebietsmodell verknüpft werden. Eine ausführliche Modellbeschreibung inklusive diverser Anwendungsbeispiele findet sich unter www.arcegmo.de.

Zur physikalisch fundierten Berücksichtigung der flächenhaften Heterogenität hydrologisch relevanter Gebietseigenschaften (Landnutzung, Boden, Gefälle) wird das Untersuchungsgebiet in weitgehend homogene Flächen untergliedert. In urban geprägten Gebieten erfolgt die weitere Untergliederung nach siedlungswasserwirtschaftlichen Gesichtspunkten (Oberfläche versiegelt oder vegetationsbestanden, Anschlussgrad, Anschlussart etc.).

Für die Beschreibung der Abflussbildung, die entscheidend den Gebietswasserhaushalt prägt und den Abfluss in eine oberflächlich oder oberflächennah abfließende Komponente und eine Grundwasserkomponente (Direkt- und Basisabfluss) aufteilt, sind die hydrologischen Teilprozesse Interzeption, Infiltration und Bodenwasserhaushalt zu simulieren. Entscheidend hierbei ist es, die Infiltration richtig zu erfassen, da der nicht infiltrierende Niederschlagsanteil, der sogenannte Effektivniederschlag, in Abhängigkeit von den Gefälleverhältnissen zum Abfluss kommen kann. Zur Beschreibung der Infiltration wird ein modifizierter HOLTON-Ansatz angewendet, bei dem die Ermittlung des Effektivniederschlages in Abhängigkeit von der hydraulischen Leitfähigkeit des anstehenden Bodens und der aktuellen Bodenfeuchte erfolgt.

Bei der Konzentration des Landoberflächenabflusses zum Vorfluter wird die kinematische Welle angewendet. Dieser Ansatz beschreibt die Fließgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der aktuellen Effektivniederschlagshöhe, dem Geländegefälle und der Oberflächenrauigkeit (abhängig von der Flächennutzung).

Die Abflusskonzentration im Vorfluter selbst erfolgt über hydrologische Ansätze (Speicheraskaden, Kalinin-Miljukov), die je nach Datenverfügbarkeit angewendet und unterschiedlich parametrisiert werden können.

Für reine Abflussbetrachtungen insbesondere in größeren Gebieten mit der Möglichkeit, über Pegelmessreihen eine Modellkalibrierung vorzunehmen, haben sich Speicheransätze bewährt. Diese werden u.a. über die Länge und das Gefälle des Vorfluters als maßgebende und leicht aus GIS-Daten ableitbare Eigenschaften für die sich ausbildende Abflussdynamik parametrisiert.

Eine detailliertere Beschreibungen des Abflussgeschehens im Vorfluter, z.B. über hydraulische Ansätze, ist möglich, sofern Gewässervermessungen vorliegen (Querprofile alle 50 bis 100 m, Längsschnitt). Diese Informationen können in ArcEGMO direkt zur Parametrisierung des Kalinin-Miljukov-Verfahrens genutzt werden, mit dem eine gute Abbildung der Gewässerretention in Abhängigkeit vom Durchfluss möglich ist. Außerdem besitzt ArcEGMO eine Datenschnittstelle zu WSPWIN (WSP-ASS), über die direkt auf die Berechnungsergebnisse einer Wasserspiegellagenermittlung (Ktau-Tabellen) zugegriffen werden kann, sofern diese vorliegen.

Zur Ermittlung der Hochwasserkennwerte sind prinzipiell zwei unterschiedliche Verfahren anwendbar - zum einen deren Ableitung aus langen Abflussreihen unter Nutzung extremwertstatistischer Verfahren, zum anderen die direkte Simulation unter Nutzung von Bemessungsniederschlägen.

Das zweite Verfahren beruht auf einer Einzelereignisbetrachtung und besitzt deshalb den Nachteil einer unzureichenden Berücksichtigung der meteorologischen Vorgeschichte. Unzulässiger Weise wird für das ausgelöste Hochwasser die gleiche Wahrscheinlichkeit wie für den auslösenden Niederschlag angenommen.

Einen Vergleich beider Verfahren zeigt die folgende Gegenüberstellung.

Einzelereignisbetrachtung	Langzeitbetrachtung
<ul style="list-style-type: none"> • geringer Datenbedarf an meteorologischen Daten (Bemessungsniederschläge) • geringer Simulationsaufwand • geringer Analyseaufwand, da z.B. das HQ_{100} direkt ermittelt wird • liefert zeitlichen Verlauf der Welle und damit Scheitel und Volumen • unzureichende Berücksichtigung der Vorfeuchte bzw. meteorologischen Vorgeschichte 	<ul style="list-style-type: none"> • hoher Datenbedarf an meteorologischen Daten (lange Zeitreihen, z.T. in hoher zeitl. Auflösung) • hoher Simulationsaufwand • hoher Analyseaufwand im Rahmen der Extremwertstatistik • liefert nur den Scheitelwert • gute Berücksichtigung der Vorfeuchte bzw. meteorologischen Vorgeschichte

In Übereinstimmung mit der Aufgabenstellung des Auftraggebers wurden die Hochwasserkennwerte auf der Grundlage der STRASA-Niederschläge und damit auf der Basis von Einzelereignissimulationen ermittelt.

Die Simulationsrechnungen wurden für die zu betrachtenden Wiederkehrintervalle 5, 10, 20, 50, 100 Jahre und HQ-Extrem und die Dauerstufen von 15, 20, 30, 45, 60 bis 90 min und 2, 3, 4, 6, 9, 12, 18, 24, 48 bis 72 Stunden durchgeführt. Für die zeitliche Diskretisierung der Niederschläge wurden 15-Minutenintervalle gebildet.

Die zeitliche Verteilung innerhalb eines Ereignisses erfolgte für die Niederschläge bis $T=100a$ nach DVWK-Empfehlung (DVWK 1984), deren Aufteilungsschema in Abbildung 2-2 dargestellt ist, während für HQextrem ein Blockregen angesetzt wurde. Im Zuge der Simulationsrechnungen werden von allen

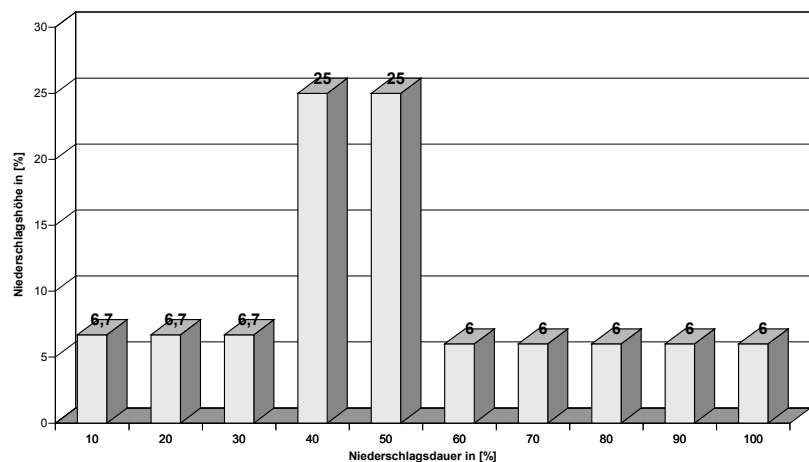


Abbildung 2-2: Zeitliche Verteilung des Niederschlages beim DVWK-Modellregen

Ereignissen eines Wiederkehrintervalls für jeden Aussagequerschnitt die jeweils höchsten Scheitelwerte und die Füllen registriert, welche die gesuchten Bemessungswerte (Hochwasserscheitel und Abflussvolumen) darstellen. Die prinzipielle Verfahrensweise ist in Abbildung 2-3 dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass durch das Zusammenspiel zeitlich unterschiedlich reagierender Abflusskomponenten die sich ergebenden Ganglinien sich in der Scheitelhöhe und ihrer Fülle beträchtlich unterscheiden können und für Bemessungszwecke das gesamte Spektrum der Abflussganglinien betrachtet werden muss.

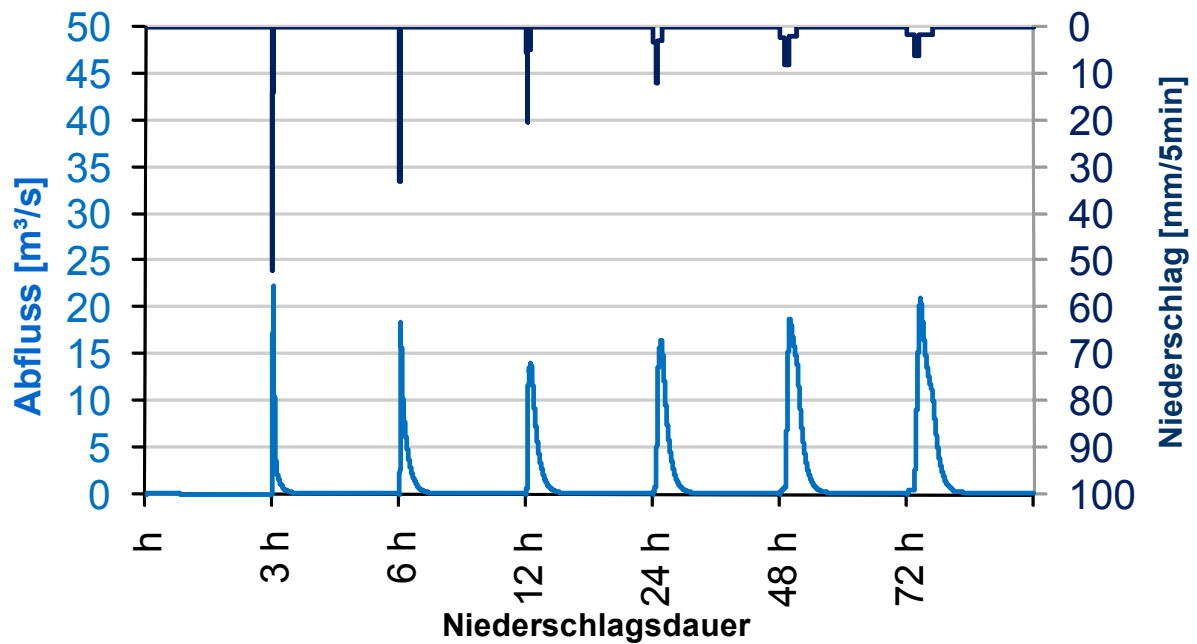


Abbildung 2-3: Verfahrensweise bei der Einzelereignissimulation

Im Rahmen der Modellkalibrierung wurden die aus den Einzelereignissimulationen ableiteten Bemessungshochwasserwerte am Pegel Königsbrück mit der dortigen Pegelstatistik verglichen, die durch das LHWZ erstellt wurde.

Das Modell wurde zusätzlich an einem einzelnen Hochwasserereignis im Zeitraum 01.08.2010 bis 31.10.2010 kalibriert, für welches Niederschlagsdaten in stündlicher Auflösung und Messwertaufzeichnungen des Durchflusses vorliegen (siehe Kapitel 3.4).

3 Modell

3.1 Nutzbare Modellgrundlagen

Als Grundlage für die Modelluntersuchungen wird das 2003 für die Gewässer I. Ordnung im sächsischen Einzugsgebiet der Schwarze Elster erstellte NA-Modell³ genutzt, das in Auszügen in folgender Abbildung dargestellt ist.

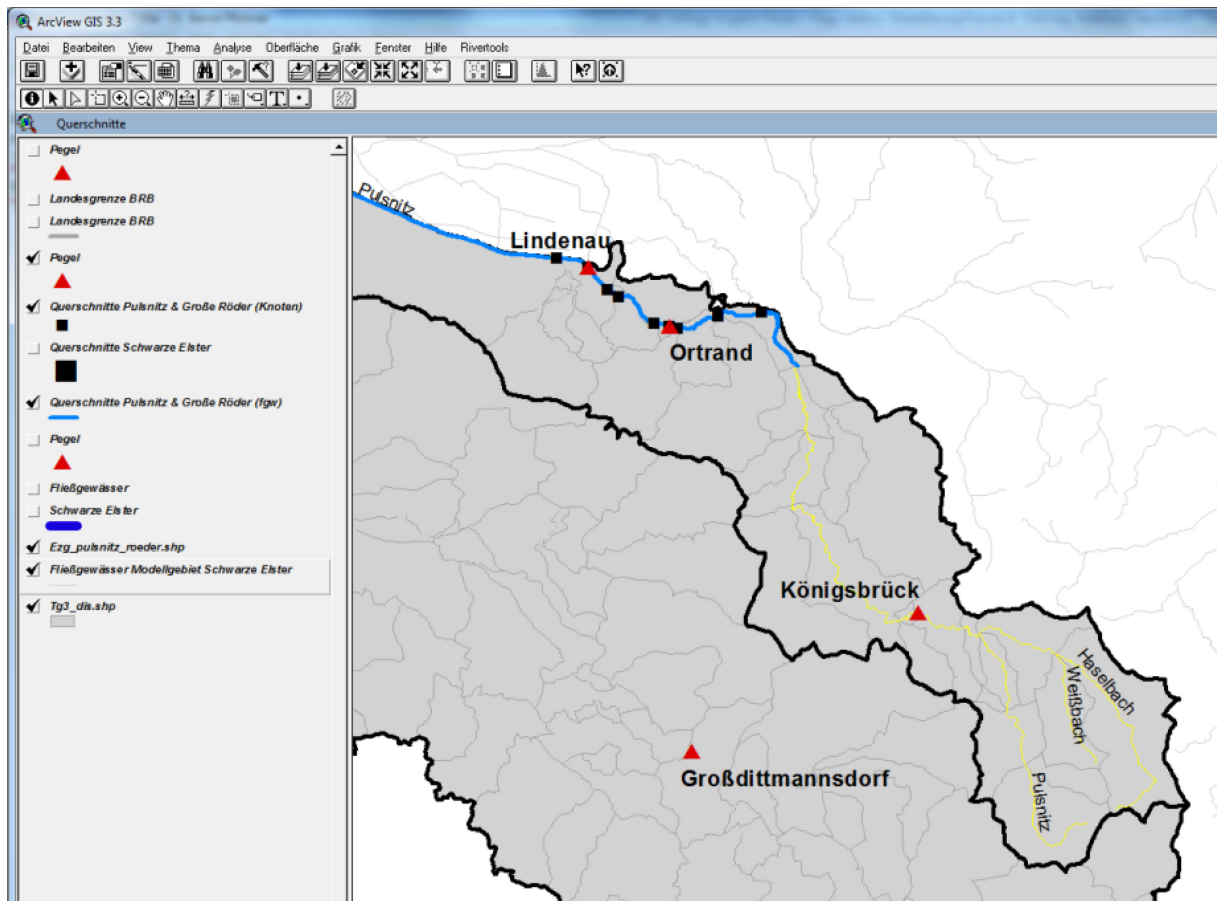


Abbildung 3-1: NA-Modell Schwarze Elster

Dieses 10 Jahre alte Modell wurde reaktiviert und die für die obere Pulsnitz relevanten Modellbestandteile als eigenständiges Modell herausgezogen. Dieses Pulsnitz-Modell wurde dann hinsichtlich seiner räumlichen Auflösung an die jetzt zu betrachtenden Gewässer II. Ordnung angepasst. Dazu war z. B. eine Untersetzung der Gebietsgliederung entsprechend der jetzt zu bearbeitenden Aussagequerschnitte notwendig.

Dieses Modell beschreibt somit den IST-Zustand (derzeitigen Gebietszustand ohne Hochwasserschutzmaßnahmen) in der oberen Pulsnitz auf Grundlage des Datenstandes 2004.

³ Erstellung von Niederschlags-Abfluss-Modellen für das Einzugsgebiet Schwarze Elster: AG: StUfa Bautzen 2003

Eine Aktualisierung des Modells hinsichtlich der Boden- und Landnutzungskennwerte ist gemäß Auftrag nicht vorgesehen.

Hinsichtlich der Landnutzung, insbesondere Flächenversiegelung und Kanalisationsanschlussgrade wird es im Gebiet Veränderungen gegenüber dem Modellstand 2004 gegeben haben. Diese wirken sich vor allem auf die Hochwasser geringer Jährlichkeit ($T=5$ bis $25a$) aus, so dass für diese Bemessungswerte mit Unsicherheiten zu rechnen. Mit zunehmenden Wiederkehrintervall ($T=50a$ bis HQ_{extrem}) spielen diese Unsicherheiten eine geringere Rolle, weil durch die massive Aufweitung dann auch natürliche Flächen quasi wie versiegelt reagieren.

Eine weitere Modellunsicherheit betrifft die im Modell nicht berücksichtigten Kanalisationseinflüsse. Diese wirken sich ebenfalls vor allem auf die kleinen Wiederkehrintervalle aus. Bei höheren Wiederkehrintervallen (ab ca. $T=10a$) kann von einer hydraulischen Überlastung der Kanalisation ausgegangen werden, weil diese i.d.R. für $T=2a$ bis max. $T=5a$ bemessen wird, so dass dann auch in kanalisierten Gebieten der Abfluss gemäß der gegebenen Oberflächenmorphologie zum Vorfluter konzentriert wird.

Abbildung 3-2 zeigt die Flächennutzung im Untersuchungsgebiet. Für die drei Flussgebiete Weißbach, Haselbach und Pulsnitz sind die Flächenverteilungen in dem jeweiligen Gebiet dargestellt. Im Gebiet der Pulsnitz liegt mit 16 % der höchste Siedlungsanteil vor. Den größten Forstanteil hat mit 40 % das Einzugsgebiet des Haselbachs.

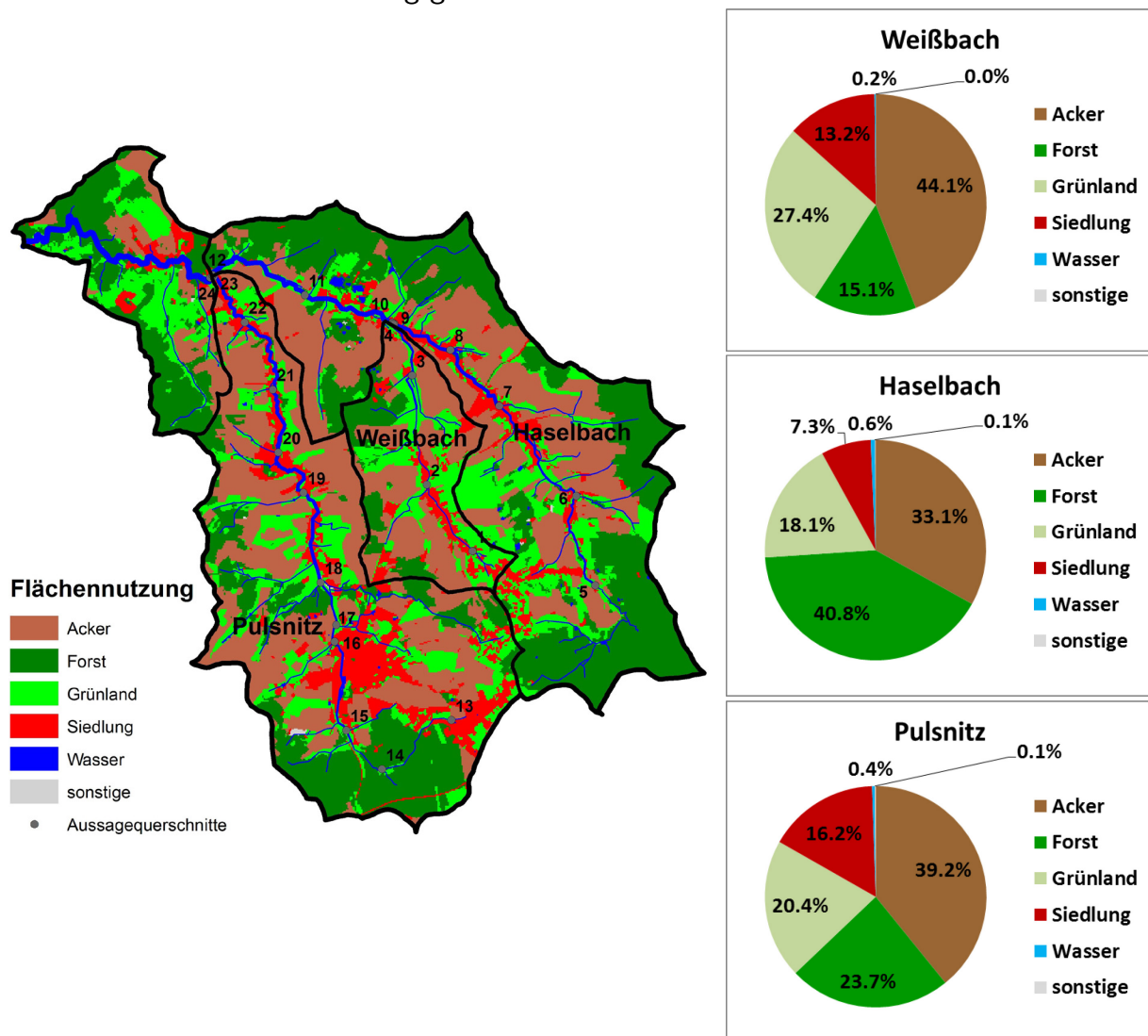


Abbildung 3-2: Flächennutzung

3.2 Modellpräzisierungen

Das Modell wurde hinsichtlich seiner räumlichen Auflösung an die jetzt zu betrachtenden Gewässer II. Ordnung angepasst.

Dazu wurde vom Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) das aktuelle Gewässernetz (Fließgewässernetz LfULG) genutzt, welches über einen download vom LfULG bereitgestellt wurde.

Abbildung 3-3 stellt das grob aufgelöste Fließgewässernetz (grün) aus dem 2004er Modell und das aktuelle Fließgewässernetz (blau) gegenüber.

Das aktuelle Fließgewässernetz wurde aufbereitet, in dem eine Hierarchisierung vorgenommen, das Gefälle ermittelt und das entsprechende Teileinzugsgebiet zugewiesen wurden. An den 24 Aussagequerschnitten wurde das Gewässernetz gegebenenfalls aufgetrennt.

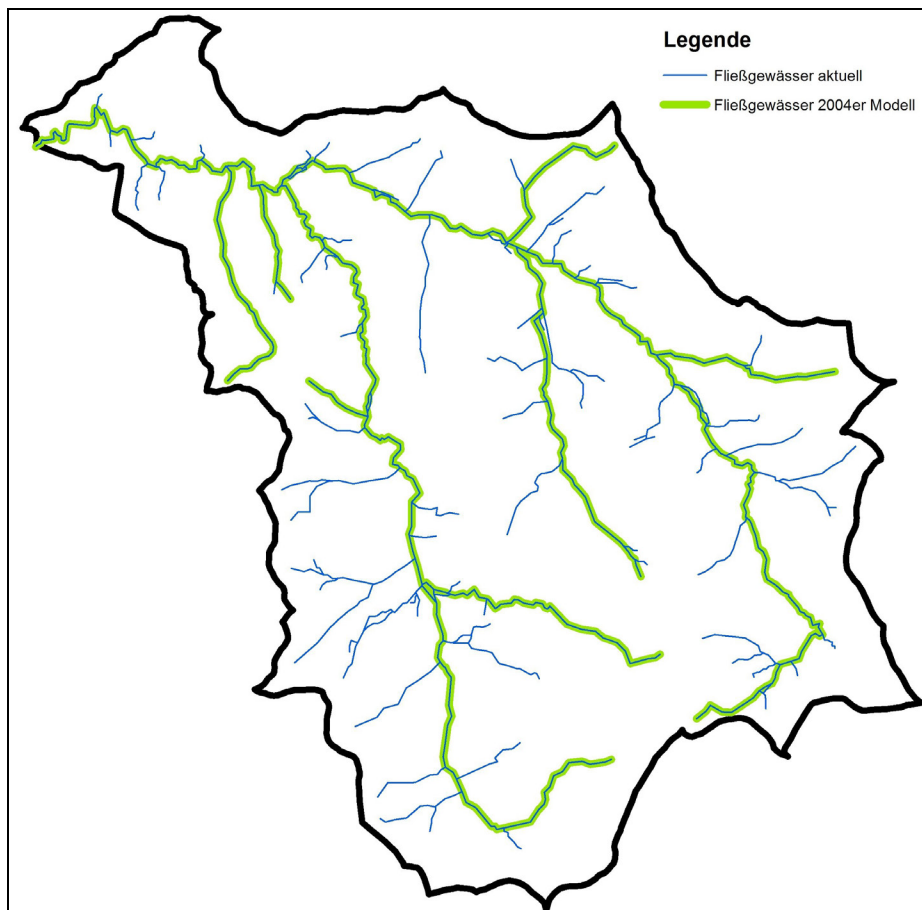


Abbildung 3-3: Aktualisierung Fließgewässernetz

Die Teileinzugsgebiete mussten ebenfalls verfeinert werden, so dass in etwa für jeden Aussagequerschnitt ein eigenes Teileinzugsgebiet ausgegrenzt werden kann. Die aktuellen Teileinzugsgebiete (Teileinzugsgebiete LfULG) konnten ebenfalls vom LfULG per download bereitgestellt werden. Diese entsprachen aber in ihrer räumlichen Auflösung den im 2004er Modell

verwendeten Teilgebieten. Somit musste die Verfeinerung der Teileinzugsgebiete anhand des DHMs (DHM, Rasterweite 25 m für das Modell Schwarze Elster 2004) vorgenommen werden. Die Ausweisung erfolgte mit dem ArcViewTool „Hydrologic Modeling“. Zusätzliche manuelle Anpassungen erfolgten an einigen Stellen anhand der Oberflächenmorphologie. Auf eine Glättung der Teilgebietsgrenzen, in denen die zugrunde liegende Rasterweite erkennbar ist, wurde verzichtet, weil dies keine Auswirkungen auf die Modellgenauigkeit haben dürfte. Abbildung 3-4 zeigt in rot die neu ausgewiesenen Teileinzugsgebiete (Teileinzugsgebiete aktuell). Die Teileinzugsgebiete wurden in das bestehende Modell integriert, d. h. mit den Elementarflächen verschnitten und dem Fließgewässernetz zugewiesen.

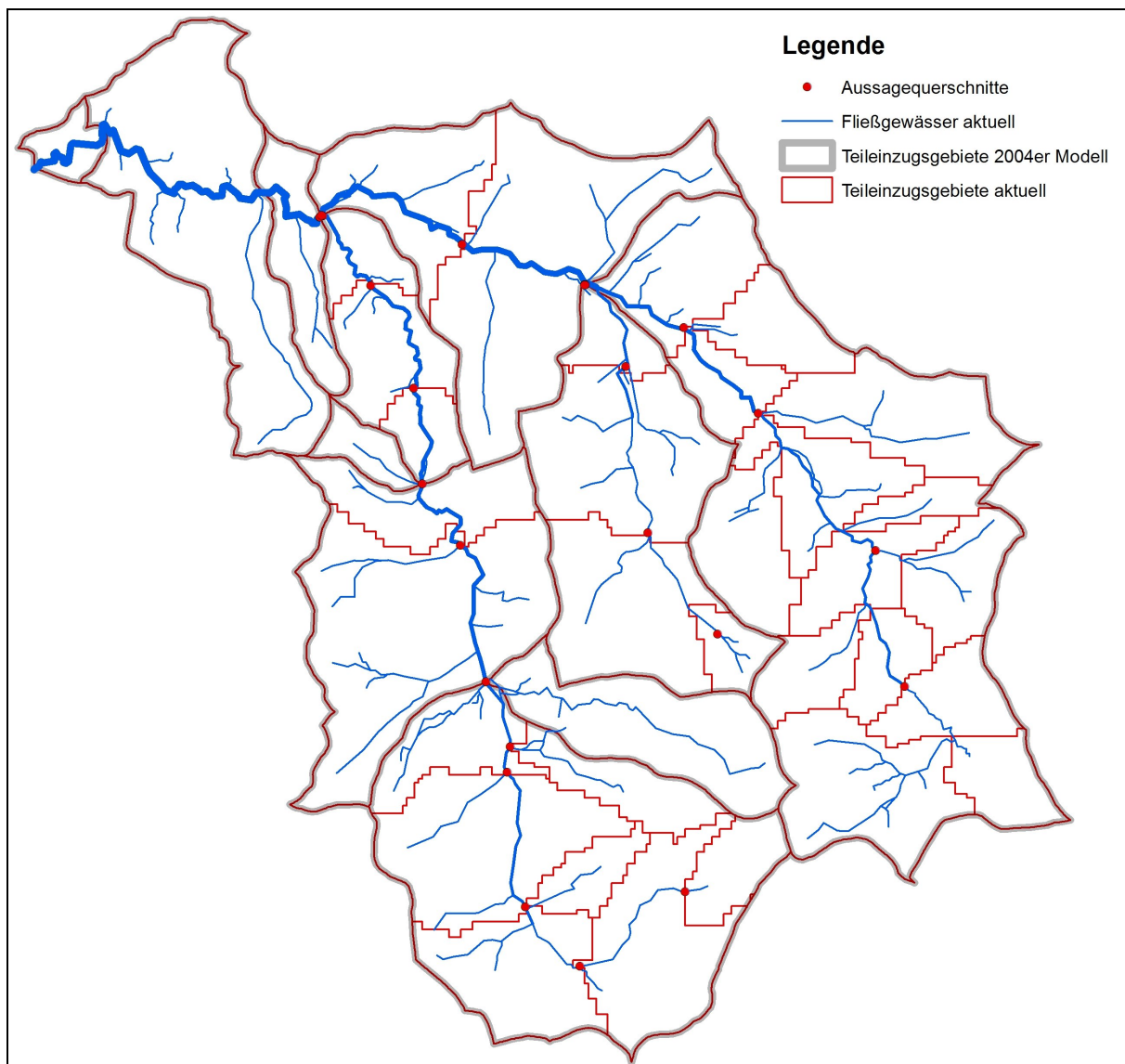


Abbildung 3-4: Ausweisung von detaillierteren Teileinzugsgebieten

3.3 Meteorologische Daten

3.3.1 STRASA-Niederschläge

Von der der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (LTV) wurden für das Untersuchungsgebiet Bemessungsniederschläge aus dem sog. STRASA (*Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertung für Sachsen*) - Atlas bereitgestellt, der eine Weiterentwicklung des KOSTRA - Atlas für Sachsen ist (Datenquelle: STRASA-Niederschläge). Tabelle 3-1 enthält die Niederschlagssummen für die jeweilige Dauerstufe und Jährlichkeit. Die Niederschlagssummen wurden als Gebietsniederschlag angesetzt. Die zeitliche Verteilung der Niederschläge wurde wie schon in Kapitel 2 erwähnt bis zum N100 gemäß DVWK-Regel, ab N200 gleich verteilt als Blockregen angesetzt. Für das zu ermittelnde seltene Hochwasserereignis (HQ extrem) werden die Niederschläge der Jährlichkeit 200 angesetzt.

Die Niederschlagssummen der in der Bearbeitung 2004 angesetzten KOSTRA-Niederschläge sind für Jährlichkeit 100 ähnlich den STRASA-Werten, wie anhand Tabelle 3-2 der KOSTRA – Rasterzelle 3995 für vier verschiedene Dauerstufen erkennbar ist.

Tabelle 3-1: STRASA-Niederschläge

Jährlichkeit	Dauerstufe Niederschlag in min																	
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	240	360	540	720	1080	1440	2880	4320
5	10	15	18	20	23	27	29	32	34	38	41	45	50	54	64	75	87	100
10	12	18	21	24	27	31	34	38	41	45	48	53	59	65	76	90	100	110
20	14	20	24	27	32	36	40	44	47	52	56	61	68	73	87	100	123	140
50	17	24	28	32	37	42	47	51	55	61	65	72	80	86	101	117	147	165
100	19	27	32	35	41	47	52	57	62	68	73	80	89	95	113	130	165	185
200	24	33	38	42	49	55	61	67	72	80	85	94	105	112	130	148	190	215
500	30	40	45	50	57	65	71	78	84	93	100	110	122	130	150	169	220	250

Tabellenwerte Niederschlag in mm

Tabelle 3-2: KOSTRA-Niederschläge für die Rasterzelle 3995

Jährlichkeit	Dauerstufe Niederschlag in min			
	15	60	720	4320
100 (untere Grenze)	32	50	100	170
100 (obere Grenze)	34	54	120	200

Tabellenwerte Niederschlag in mm

3.3.2 RASTER-Niederschläge

In die Modellkalibrierung wurde ein historisches Hochwasser einbezogen. Hier bot sich an, den Zeitraum 01.08.2010 bis 31.10.2010 für die Modellkalibrierung zu nutzen, in dem mehrere Hochwässer für die Pulsnitz auftraten und am 28.9. mit $23.9 \text{ m}^3/\text{s}$ ein sehr großes Hochwasser (T ca. 100a) am Pegel Königsbrück registriert wurde. Für diesen Zeitraum stehen stündliche Niederschläge für ein 1-km^2 -Raster zu Verfügung, die aus gemessenen Stundenwerten und Wetterradar Daten mittels geostatistischen Mergingverfahren abgeleitet wurden (Rasterniederschläge Haberlandt).

Abbildung 3-5 zeigt das, aus dem 1-km^2 Raster für die Schwarze Elster ausgeschnittene, Raster für das Untersuchungsgebiet. Für die 198 Rasterpunkte liegen Niederschlagsdaten in stündlicher Auflösung für den Zeitraum 01.08.2010 00:00 bis 31.10.2010 21:00 vor.

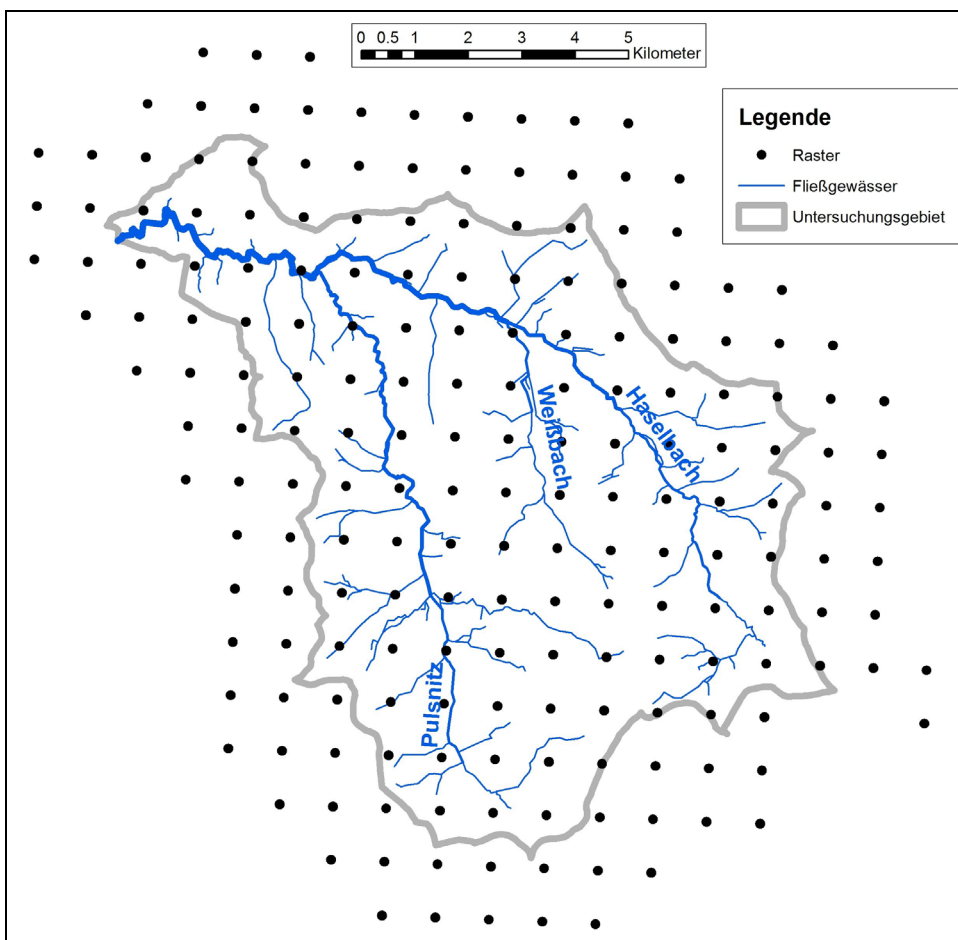


Abbildung 3-5: 1-km^2 Raster für das Untersuchungsgebiet

3.4 Hydrologische Daten

Im Untersuchungsgebiet liegen zwei Pegel (Königsbrück (92 km²) und Reichenau (84 km²)). Der Pegel Reichenau wurde im November 2010 eingerichtet und ersetzt den Pegel Königsbrück. Für den Pegel Königsbrück liegen Durchflussmesswerte vom 23.09.2010 00:00 bis 01.11.2010 00:00 in einer Auflösung von 15 Minuten vor (Q-Daten Königsbrück). Diese Messdaten wurden analog der meteorologischen Eingangsdaten zu Stundenwerten aggregiert. Die Durchflussganglinie zeigt Abbildung 3-7.

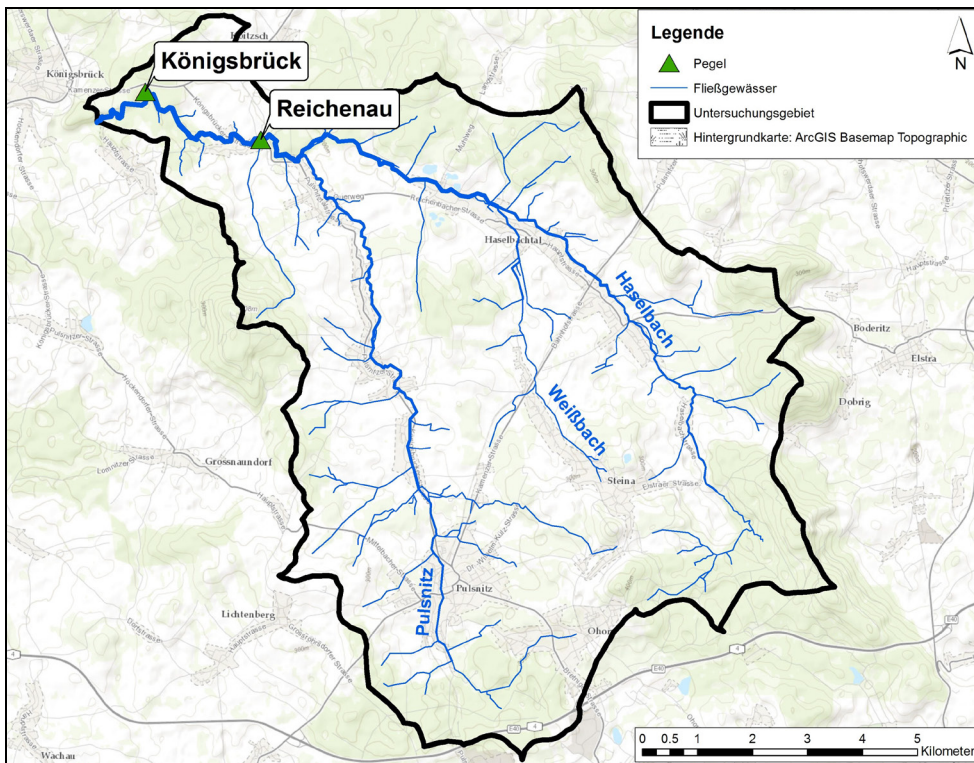


Abbildung 3-6: Pegel

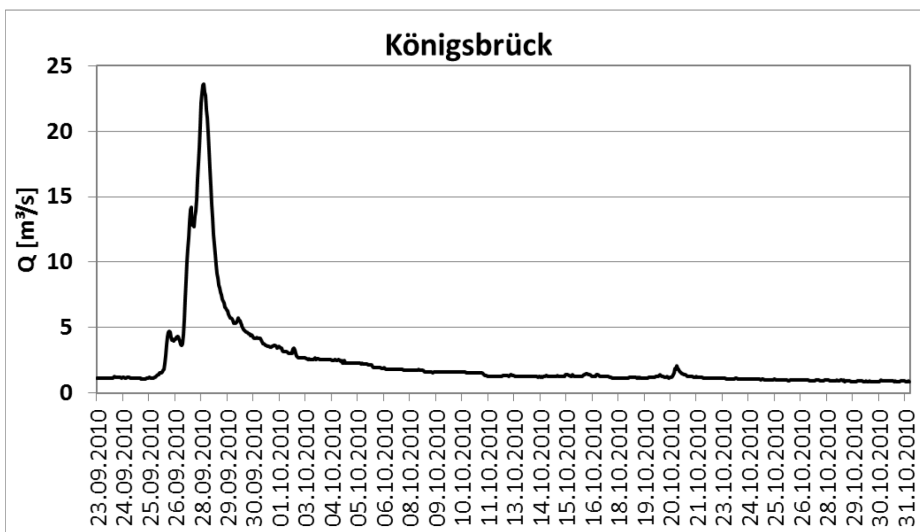


Abbildung 3-7: Durchflussganglinie Pegel Königsbrück

Für den Zeitraum vom 01.08.2010 bis zum 22.09.2010 stehen aufgrund eines Hochwasserschadens leider keine hoch aufgelösten Durchflussaufzeichnungen zur Verfügung. Genutzt werden konnte lediglich die Information, dass der dokumentierte Scheitel am 28.09.2010 höher war als der nicht erfasste Scheitel am 07.08.2010.

Für den Pegel Königsbrück wurden vom LHWZ - LfULG die in der Tabelle angegebenen HQT übergeben (Q-Daten Königsbrück). Grundlage bildet jeweils die Allgemeine Extremwertverteilung mit wahrscheinlichkeitsgewichteter Momentenmethode:

Tabelle 3-3: HQT - Königsbrück

T [a]	Verteilung der Jahres-HQ Reihe 1927/2010	Zusammengesetzte Verteilung der Sommer- und Winter-HQ gemäß DWA-M 552 Reihe 1927/2008
	HQ [m ³ /s]	HQ [m ³ /s]
2	10.4	10.9
5	14.9	14.6
10	17.4	17.3
20	19.6	20.4
25	20.2	21.4
50	21.9	24.5
100	23.5	27.8
200	24.9	31.2

Vom LHWZ – LfULG wird pro T die Verwendung des jeweils höheren Wertes empfohlen.

3.5 Gewässerretention

Eine fundierte Ermittlung von Bemessungshochwasserwerten an unbeobachteten Gewässerquerschnitten ist nur möglich, wenn die lokale Gewässerretention angemessen berücksichtigt wird. Dazu ist es notwendig, die Gewässergeometrien und die auf die Retention wirkenden lokalen Gegebenheiten (Rauheiten im Flussbett und den Vorländern, Energieverluste infolge von Querbauwerken) im hydrologische Modell zu berücksichtigen. Dies konnte in der 2004er Bearbeitung nicht erfolgen.

Eine Alternative zu dieser sehr aufwendigen Verfahrensweise würde in der Ermittlung von Retentionskennwerten ($KTau = dV/dQ$) einem parallel zu dieser Bearbeitung (NA-Modell) aufzubauenden hydraulischen Modell (Wasserspiegellagenprogramm) bestehen.

Dazu wäre für die Integration der Gewässerretention iterativ wie folgt vorzugehen:

1. NA-Modell liefert Erstschtzung des zu betrachtenden Abflussbereiches MQ bis HQ_{100} ,
2. Hydraulik liefert für die interessierenden Gewässerbereiche für 6 bis 10 Q -Werte im Bereich MQ bis HQ_{100} die gespeicherten Wasservolumen pro Gewässerabschnitt,
3. Integration der Q -Werte und zugehörigen Volumina V ins NA-Modell und finale Ermittlung der BHQ .

Diese Möglichkeit, die Gewässerretention aus einem hydraulischen Modell zu nutzen konnte nicht umgesetzt werden.

Deshalb wird die Gewässerretention nur über einen einfachen Speicheransatz, in dem das Gefälle und die Länge des Fließgewässerabschnittes einget berücksichtigt.

Abbildung 3-8 zeigt die Höhenverhältnisse im Untersuchungsgebiet und das Gefälle der Fließgewässerabschnitte. Hohe Gefällewerte führen aufgrund von geringer Gewässerretention zu hohen Scheitelabflüssen, gefällearme Gebiete bringen geringere Scheitelabflüsse.

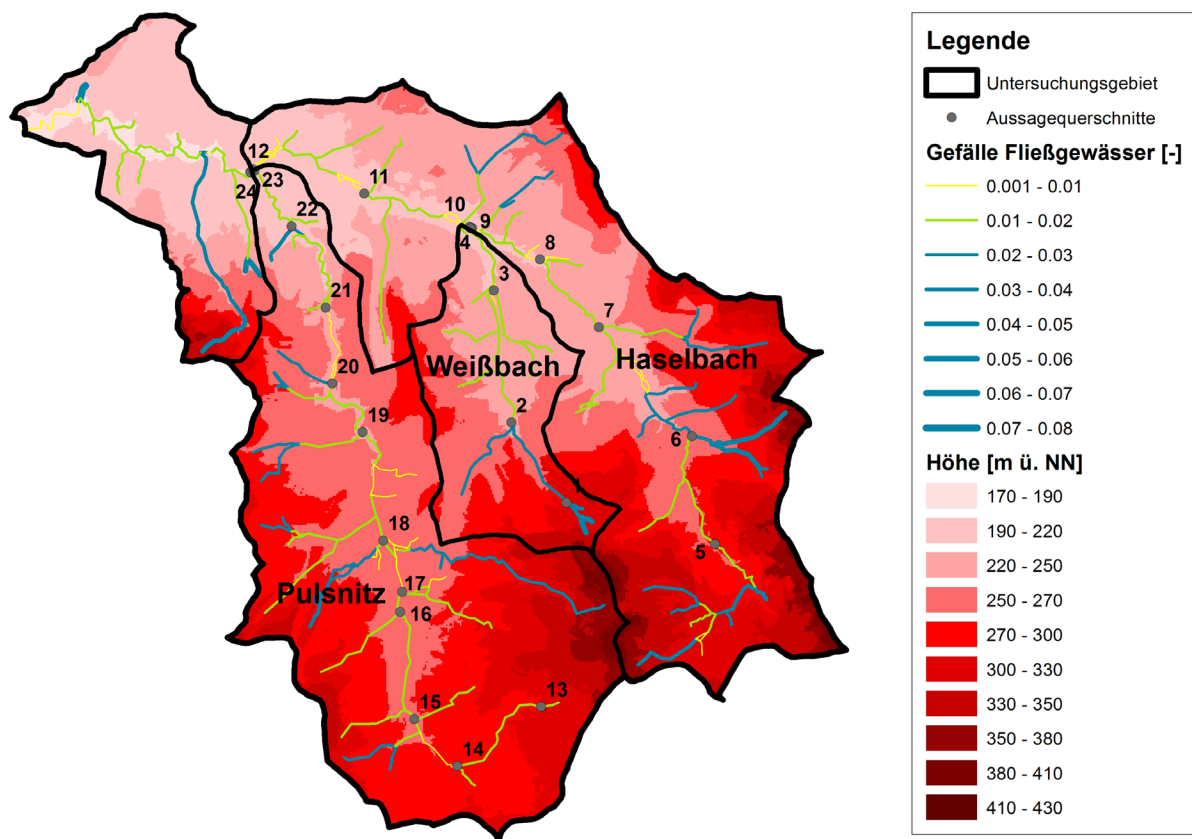


Abbildung 3-8: Höhenverhältnisse im Gebiet und Gefälle im Fließgewässer

4 Modellkalibrierung

Die Kalibrierung des Modells erfolgte anhand der Extremwertstatistik am Pegel Königsbrück, die über Simulationen mit statistischen Starkniederschlägen (KOSTRA- bzw. STRASA) nachgebildet werden sollte. Zur Plausibilisierung der Modellergebnisse, insbesondere im Längsschnitt und damit an unbeobachteten Querschnitten wurden hydrologische und hydraulische Analysen für die obere Pulsnitz der letzten Jahre (hier liegt nur „Bericht Haselbach“ vor) und die Scheitelstatistik benachbarter Pegel einbezogen.

Zusätzlich wurde ein historisches Hochwasser in die Modellkalibrierung einbezogen. Es wurde der Zeitraum 01.08.2010 bis 31.10.2010 für die Modellkalibrierung genutzt, in dem mehrere Hochwässer für die Pulsnitz auftraten und am 28.9. mit 23.9 m³/s ein sehr großes Hochwasser (T je nach statistischer Auswertung zwischen 50a und 100a) registriert wurde. Für diesen Zeitraum standen stündliche Niederschläge für ein 1-km²-Raster zu Verfügung (Rasterniederschläge Haberlandt, siehe Kapitel 3.3.2).

Die Basiskalibrierung erfolgte an diesem 2010 abgelaufenen Hochwasser. Die Parameter wurden in die Kalibrierung anhand der Extremwertstatistik übernommen.

4.1 Kalibrierung Historisches Hochwasser

Das Modell wurde anhand der Hochwasserperiode im Zeitraum (23.09. bis 31.10.2010), an dem für den Pegel Königsbrück Durchflussmesswerte (vgl. Kapitel 3.4) und auch meteorologische Daten vorliegen, (vgl. Kapitel 3.3.2) kalibriert. Der Simulationszeitraum wurde auf den maximalen Zeitraum der meteorologischen Daten (ab 01.08.2010) erweitert, so dass mit einer anderthalbmonatigen meteorologischen Vorgeschichte gerechnet werden konnte.

Für die Modellkalibrierung wurden drei verschiedene Optimierungsverfahren eingesetzt. Tabelle 4-1 erläutert kurz diese drei Verfahren. Es wurden 12 Parameter (Speicherkapazitäten des Bodenkapillarspeichers, Infiltrationskapazitäten des Bodens, die Grundwasserkomponenten (Auslaufkonstanten und Grenzwerte der Speicherfüllungen) und Parameter für die Retention des Landoberflächenabflusses und des Gewässerabflusses optimiert.

Abbildung 4-1 stellt die Ergebnisse der verschiedenen Optimierer gegenüber. Die beste Anpassung der Höhe des Scheitels erreichen die Optimierer Annealing und PEST. Der Optimierer CMAES erreicht mit dem finalen Parametersatz nicht ganz die Höhe des Scheitels, dafür wird der Anstieg sehr gut nachgebildet. Mit dem Parametersatz von CMAES wird die beste Effizienz mit 0.99 erreicht. Annealing erreicht eine Güte von 0.93 und PEST 0.96.

Als Grundlage für die weiteren Modelluntersuchungen wurde der mit dem Optimierer PEST gefundene Parametersatz auf Grund der guten Scheitelanpassung verwendet.

Abbildung 4-2 zeigt die simulierte Ganglinie vor dem Hochwasserereignis September 2010, für welches Durchflussmesswerte vorliegen. Vom LfULG wurde angegeben, dass der dokumentierte Scheitel am 28.09.2010 höher war als der nicht erfasste Scheitel am 07.08.2010 (siehe Kapitel 3.4). Dieses wird auch in der simulierten Ganglinie abgebildet. Allerdings zeigt sich in der simulierten Ganglinie am 12.08.2010 mit $15.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ein höherer Scheitel als am 07.08.2010. Aber auch dieser Scheitel liegt unter dem gemessenen Scheitel vom 28.09.2010.

Tabelle 4-1: Optimierungsverfahren

	Annealing	CMAES	PEST
Optimierungsverfahren	Simulated Annealing (simulierte Abkühlung)	C ovariance M atrix A daptation E volution S trategy (CMAES)	P arameter E STimation (PEST)
Erläuterung	Verfahren, welches anhand von zufällig gewählten Parameterkombinationen Rückschlüsse auf einen globalen Bestwert des Gütekriteriums macht; Rückschlüsse auf Basis geometrischer Überlegungen; Bereich der Zufallssuche wird nach und nach verkleinert	Verfahren, welches anhand von mehrdimensionalen Normalverteilungsfunktionen mögliche Parameterkombinationen generiert; Verteilungsfunktion wird sukzessive Richtung globalem Bestwert der Güte verschoben, die Streuung je Generierung schrittweise verringert; Suche geleitet von statistischen Überlegungen	Verfahren, welches den Differential-quotienten des Gütekriteriums je Parameter berechnet und die somit berechneten Sensitivitäten als Basis für den Suchfortschritt nimmt
angewandtes Gütekriterium	Maximierung der Nash-Sutcliffe-Effizienz	Maximierung der Nash-Sutcliffe-Effizienz	Minimierung der Summe der gewichteten quadratischen Abweichung

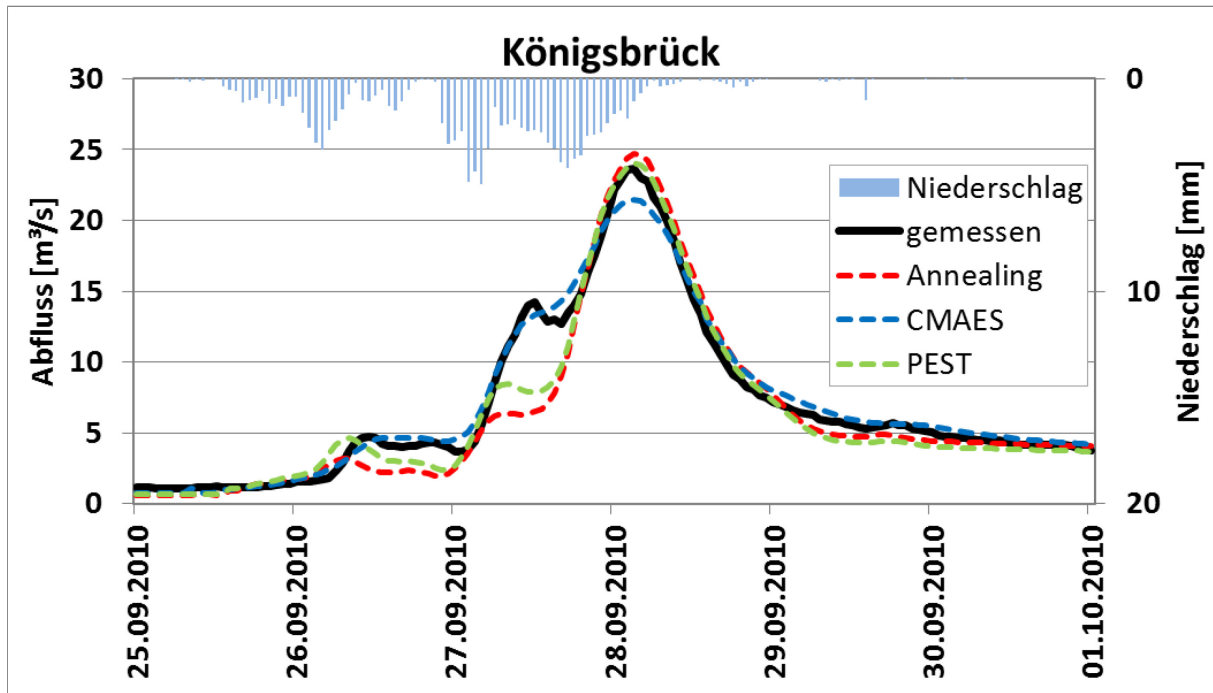


Abbildung 4-1: Simulationsergebnis der verschiedenen Optimierer für Königsbrück

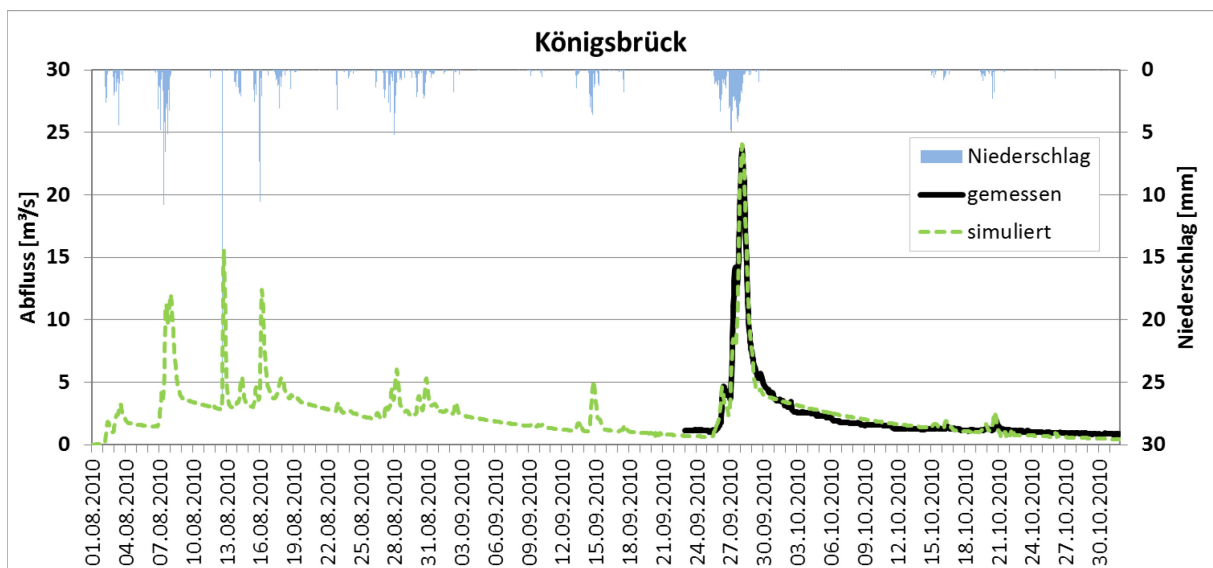


Abbildung 4-2: Simulierte Ganglinie für Königsbrück mit Vorgeschichte

4.2 Kalibrierung anhand Extremwertstatistik

Mit dem Parametersatz, der für das historische Hochwasserereignis gefunden wurde, wurden Modellsimulationen mit statistischen Starkniederschlägen (KOSTRA- bzw. STRASA) durchgeführt und die ermittelten HQT mit denen der Extremwertstatistik am Pegel Königsbrück verglichen. Es wurde hier zusätzlich mit dem Parameter „meteorologische Vorgeschichte“ kalibriert, wobei für HQT hoher Jährlichkeiten eine geringe Gebietsfeuchte (meteorologische Vorgeschichte: trocken) und für die häufigen HQT ein hohe Gebietsfeuchte (Vorgeschichte: feucht) angesetzt wurde.

Tabelle 4-2 stellt die Werte der Extremwertstatistik (drei verschiedenen Verfahren/Zeitreihenlänge der Ermittlung, siehe Erläuterung unter Tabelle) den simulierten HQT gegenüber. Die simulierten HQT entsprechen weitgehend denen der Reihe (Reihe 1927/2010).

Tabelle 4-2: Gegenüberstellung simulierte HQT mit Extremwertstatistik HQ [m³/s]

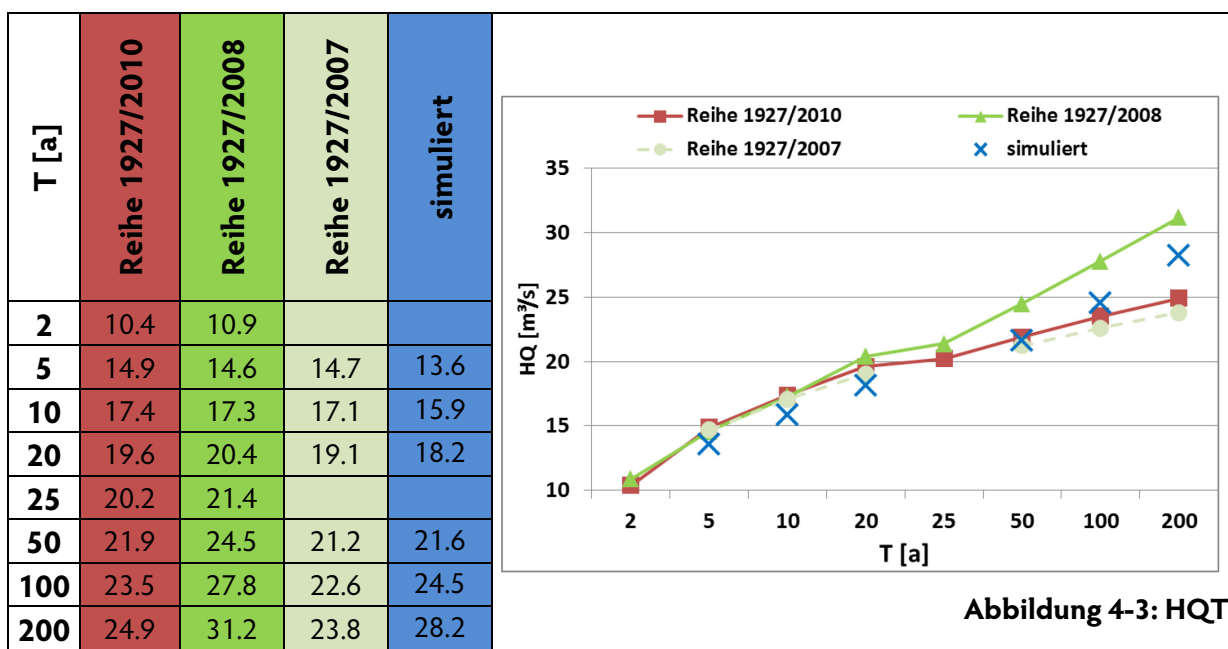


Abbildung 4-3: HQT

Reihe 1927/2010	Verteilung der Jahres-HQ Reihe 1927/2010	Aktuelle HQT LHWZ – LfULG. Grundlage bildet jeweils die Allgemeine Extremwertverteilung mit wahrscheinlichkeitsgewichteter Momentenmethode. Es wird pro T die Verwendung des jeweils höheren Wertes empfohlen.
Reihe 1927/2008	Zusammengesetzte Verteilung der Sommer- und Winter-HQ gemäß DWA-M 552 Reihe 1927/2008	
Reihe 1927/2007	Verteilung der Jahres-HQ Reihe 1927/2007	
		HQT aus Projekt Pulsnitz/Große Röder

4.3 Kalibrierung über Abflusspendenbetrachtung

Anhand der Kalibrierung „Historisches Hochwasser“ und „Extremwertstatistik“ konnte das Modell anhand von Pegelmesswerten am Gebietsauslass „Pegel Königsbrück“ kalibriert werden. Unsicher sind die unbeobachteten Querschnitte im Gewässer oberhalb des Pegels, für die Aussagen getroffen werden sollen. Für die Kontrolle dieser Querschnitte eignet sich die Abflusspendenbetrachtung. Abbildung 4-4 stellt die Abflusspende h_{qs} 100 für die Querschnitte der jeweiligen Einzugsgebietsgröße gegenüber. Die einzelnen Flussgebiete sind farblich unterschieden und die jeweiligen Aussagequerschnitte angegeben. Bezieht man die Scheitelspenden benachbarter Pegel (siehe Tabelle 4-3) in die Betrachtung ein, so liegen die ermittelten Bemessungswerte im plausiblen Bereich. In Abbildung 4-4 sind als Zusatzinformation die vorliegenden, 2003 ermittelten Werte für den Haselbach eingetragen (Bericht Haselbach).

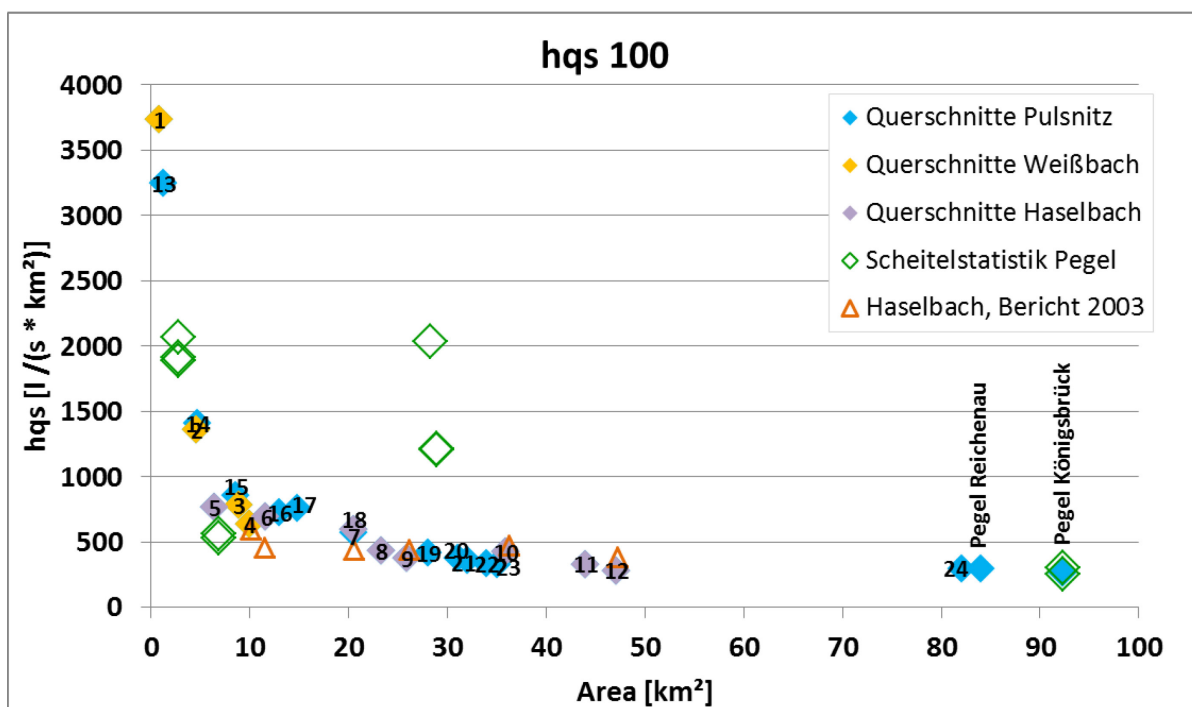


Abbildung 4-4: Abflusspenden h_{qs} 100 der Querschnitte

Tabelle 4-3: Scheitelstatistik benachbarter Pegel

		AE [km ²]	HQ 100 [m ³ /s]	Hqs 100 [l/(s * km ²)]
Pegel Wuischke	Pegel Wuischke	2.8	5.29	1889
	Pegel Wuischke saisonal	2.8	5.79	2068
	Pegel Wuischke Jahres HQ	2.8	5.36	1914
Pegel Niederorderwitz	Pegel Niederorderwitz	28.3	57.50	2032
Pegel Kotitz	Pegel Kotitz saisonal	28.9	34.80	1204
	Pegel Kotitz Jahres HQ	28.9	35.00	1211
Pegel Drehsa	Pegel Drehsa saisonal	6.9	3.90	565
	Pegel Drehsa Jahres HQ	6.9	3.67	532
Marienberg	Marienberg (Erzgebirge)			10000

(Quelle: Scheitelstatistik benachbarter Pegel)

4.4 Kontrolle über Längsschnittbetrachtungen

Abbildung 4-5 zeigt für Weißbach, Haselbach und Pulsnitz jeweils einen Längsschnitt von Quelle zur Mündung. Auf der unteren Achsen ist die Lage der Querschnitte aufgetragen. Auf der oberen Achse wird durch einen Punkt ein zufließender Gewässerabschnitt gekennzeichnet. Der Längsschnitt stellt jeweils den unteren Knoten jedes Gewässerabschnittes dar.

Das bedeutet, dass die Werte nicht in jedem Fall mit den Werten in Tabelle 5-1 übereinstimmen können. Wenn am Querschnitt Aussagen nach Zuflüssen/Zusammenflüssen getroffen werden, werden diese hier nicht analog den Werten der Tabelle 5-1 abgebildet, da in Tabelle 5-1 für diese Punkte der obere Knoten abgefragt wird. Der Längsschnitt zeigt das Ansteigen der HQT bei Zuflüssen und das Abfallen, die Retentionswirkung, auf längeren Strecken.

Abbildung 4-6 stellt noch einmal die Längsschnitte den Gebietseigenschaften direkt auf einer Seite gegenüber. Hier zeigt sich für den Haselbach im Oberlauf das Ansteigen der Abflüsse durch hohe Gefällewerte vieler kleiner Zuflüsse und im Bereich der Querschnitte 7 bis 9 ein leichtes Abfallen der Abflüsse durch geringe Gefällewerte im Fließgewässer. Durch den Zufluss des Weißbach nach dem Querschnitt 9 steigen die Abflüsse an und sinken bis zur Mündung in die Pulsnitz wieder, aufgrund des geringen Fließgewässergefälles, ab.

Gleichzeitig sind in der Abbildung links oben noch einmal die Abflussspenden für das HQ100 dargestellt.

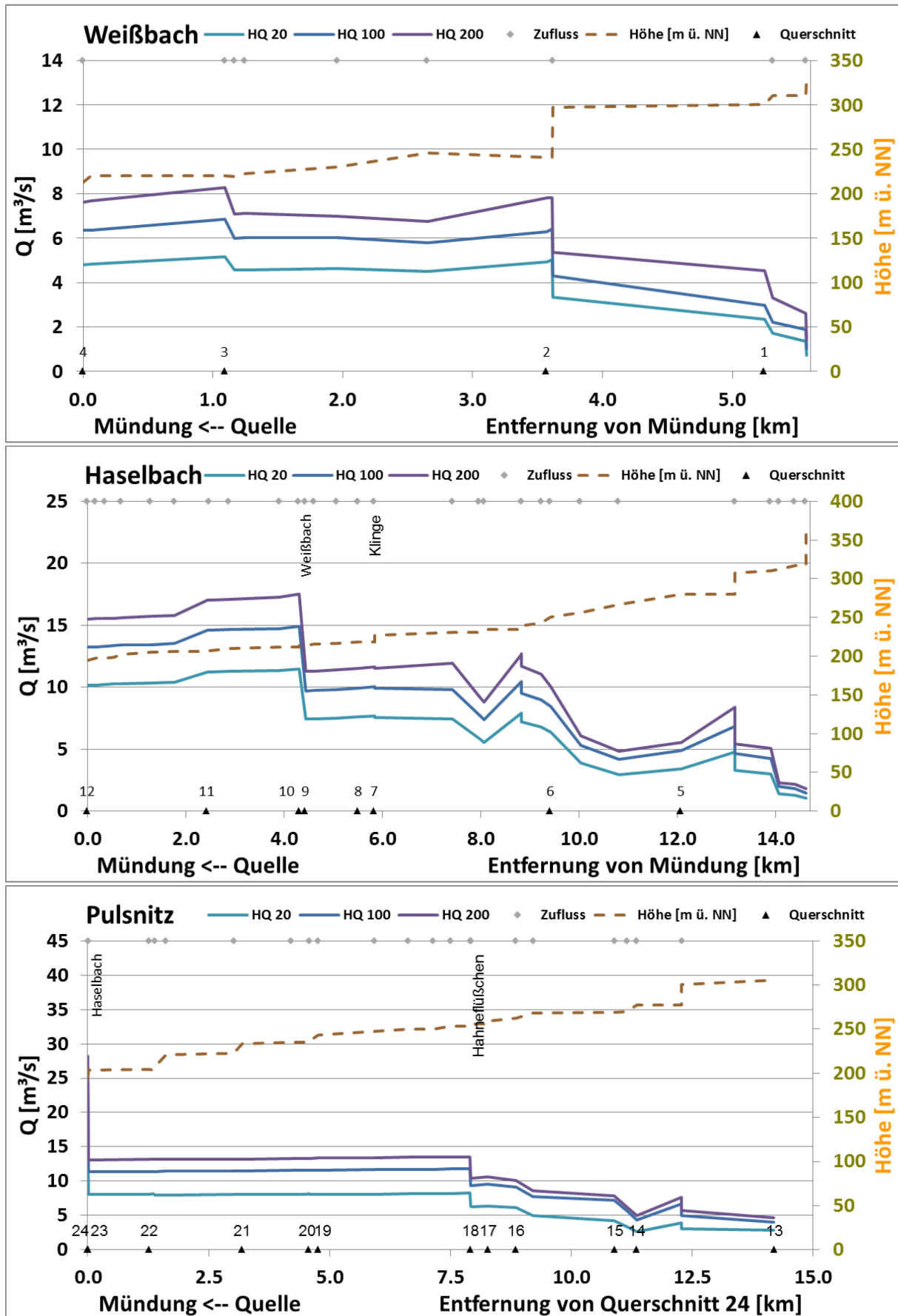


Abbildung 4-5: Längsschnitt für Weißbach, Haselbach und Pulsnitz

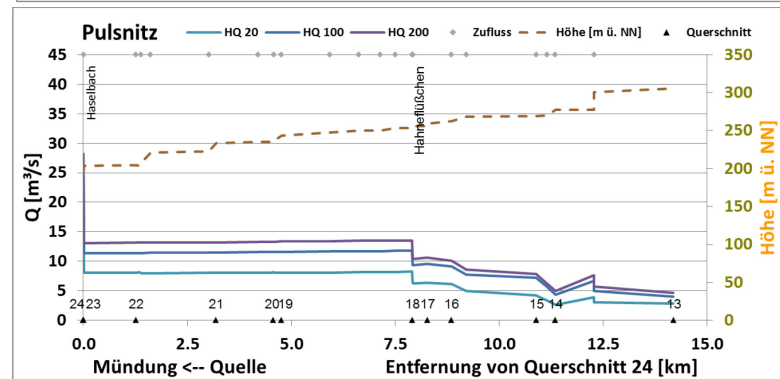
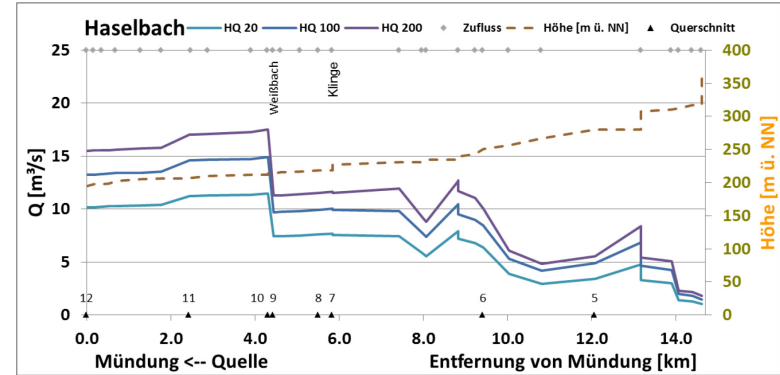
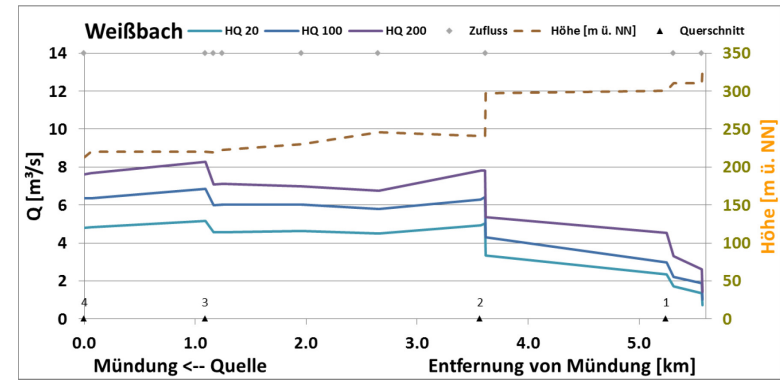
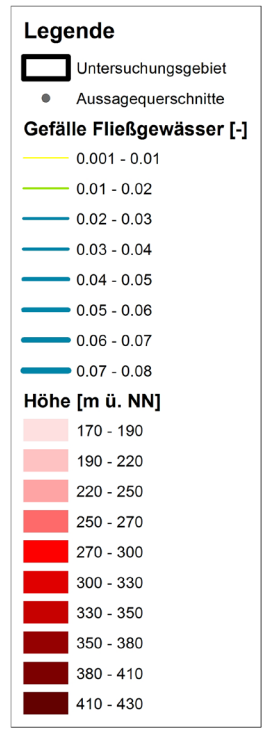
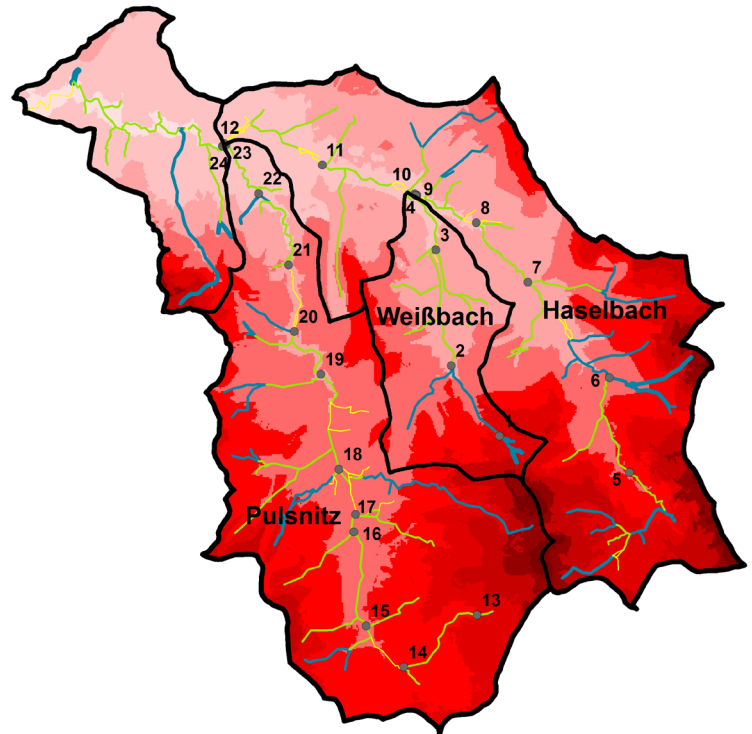
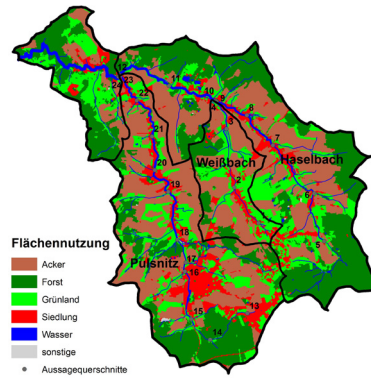
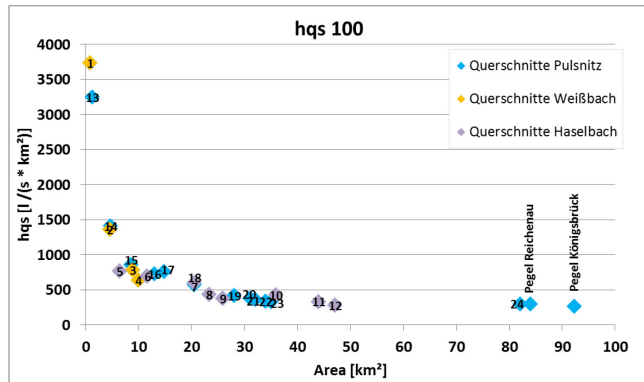


Abbildung 4-6: Gegenüberstellung Gebietseigenschaften und Ergebnisse

5 Ergebnisse IST-Zustand

Tabelle 5-1 zeigt die ermittelten Bemessungshochwasserwerte (HQT) für den IST-Zustand. Das HQ extrem bezeichnet ein seltenes Hochwasser, es wurde der Niederschlag mit der Jährlichkeit 200 angesetzt.

Tabelle 5-1: Ergebnisse – IST-Zustand

	ID	EZG [km ²]	Bezeichnung Querschnitt	HQ5	HQ10	HQ20	HQ50	HQ100	HQ extrem
Pulsnitz	24	82.1	unterhalb Mündung Haselbach	13.3	15.9	18.2	21.6	24.5	28.2
	23	35	oberhalb Mündung Haselbach	6.08	7.15	8.01	9.87	11.4	13.1
	22	34	Brücke in Reichenau unterhalb Bach von links	6.13	7.26	8.16	9.92	11.4	13.2
	21	32	Brücke an der Knochenmühle in Unterlichtenau	5.74	7.17	8.02	9.96	11.5	13.2
	20	31	unterhalb Mündung Forellenbach	5.75	7.39	8.14	10.1	11.6	13.3
	19	28.1	unterhalb Zufluss von links	5.70	7.59	8.36	10.1	11.6	13.4
	18	20.5	unterhalb Mündung Hahneflüsschen	5.54	6.80	8.23	10.2	11.8	13.5
	17	14.8	unterhalb Mündung Siegbach (von rechts)	5.11	6.23	7.68	9.68	11.2	12.6
	16	13	unterhalb Zufluss von links an Mittelmühle	4.29	5.24	6.47	8.13	9.42	10.6
	15	8.6	oberhalb Ortslage Pulsnitz	1.97	2.98	4.30	6.13	7.33	8.06
	14	4.7	unterhalb Zufluss Goldborn von links	1.89	2.79	3.94	5.58	6.67	7.66
	13	1.2	Straßenbrücke Ohorn-Pulsnitz	1.92	2.40	2.87	3.49	3.97	4.68
Haselbach	12	47.1	Mündung in die Pulsnitz	7.49	9.17	10.2	11.8	13.2	15.5
	11	44	Brücke unterhalb Zulauf von rechts	8.06	10.1	11.2	12.9	14.6	17.0
	10	35.9	unterhalb Mündung Weißbach	8.17	10.6	11.8	13.6	15.3	17.9
	9	25.9	oberhalb Mündung Weißbach	5.11	6.65	7.44	8.64	9.67	11.3
	8	23.3	unterhalb Zulauf Dorfteich	5.19	6.87	7.70	8.99	10.1	11.6
	7	20.6	unterhalb Mündung Klinge	5.97	8.30	9.29	10.9	12.2	14.1
	6	11.6	unterhalb Mündung Bach von rechts	3.77	5.35	6.04	7.17	8.05	9.95
	5	6.4	Beginn Bearbeitungsstrecke	1.72	2.74	3.41	4.34	4.90	5.55
Weißbach	4	10	oberhalb Mündung in den Haselbach	3.34	4.40	4.81	5.58	6.35	7.62
	3	8.9	unterhalb Zufluss von rechts	3.58	4.79	5.24	6.10	6.96	8.31
	2	4.6	Bahnlinie in Untersteina	3.42	4.53	4.92	5.64	6.29	7.82
	1	0.8	K9250 in Steina	1.52	2.04	2.33	2.64	2.99	4.53

6 Datenquellen und weitere Unterlagen

Tabelle 6-1: Datenquellen und weitere Unterlagen

Datenart (im Text zitiert als)	Kurzbeschreibung und Quelle
Bericht Haselbach	Ermittlung der Überschwemmungsgebiete für das Einzugsgebiet des Haselbachs, Bericht, Thiele + Büttner GbR, AG: Staatliches Umweltfachamt Bautzen, Dez. 2003
Fließgewässernetz LfULG	Download der bereitgestellten Geodaten (Fließgewässernetz) vom Geoserver des Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) am 07.01.2014
Rasterniederschläge Haberlandt	Haberlandt, U. (2011): Bereitstellung eines Niederschlagsmergingproduktes für die Monate August, September und Oktober 2010 für Sachsen und angrenzende Gebiete. Ergebnisbericht. Hannover
Scheitelstatistik benachbarter Pegel	Scheitelstatistik benachbarter Pegel (Wuischke, Niederorderwitz, Kotitz, Drehsa) telefonische Mitteilung vom LHWZ – LfULG (Hr. Büttner) am 30.01.2014
STRASA-Niederschläge	Niederschlagswerte der Jährlichkeiten T 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 für das Gebiet Pulsnitz und Umgebung, übergeben von der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen am 10.01.2014
Teileinzugsgebiete LfULG	Download der bereitgestellten Geodaten (Teileinzugsgebiete) vom Geoserver des Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) am 07.01.2014
Q-Daten Königsbrück	Messdaten Pegel Königsbrück: <ul style="list-style-type: none"> - 15-min-Mittel des Durchflusses in MEZ für den Zeitraum vom 01.08. bis 31.10.2010 - HQT Pegel Königsbrück übergeben vom LHWZ – LfULG am 06.01.2014