

Methodik zur Ermittlung der Hochwasserscheiteldurchflüsse mit Jährlichkeit HQ_T sowie der vieljährigen mittleren Hochwasserscheiteldurchflüsse MHQ für sächsischer Fließgewässer



Elbe in Kötzschbroda
August 2016
Foto: Petra Walther



Gliederung

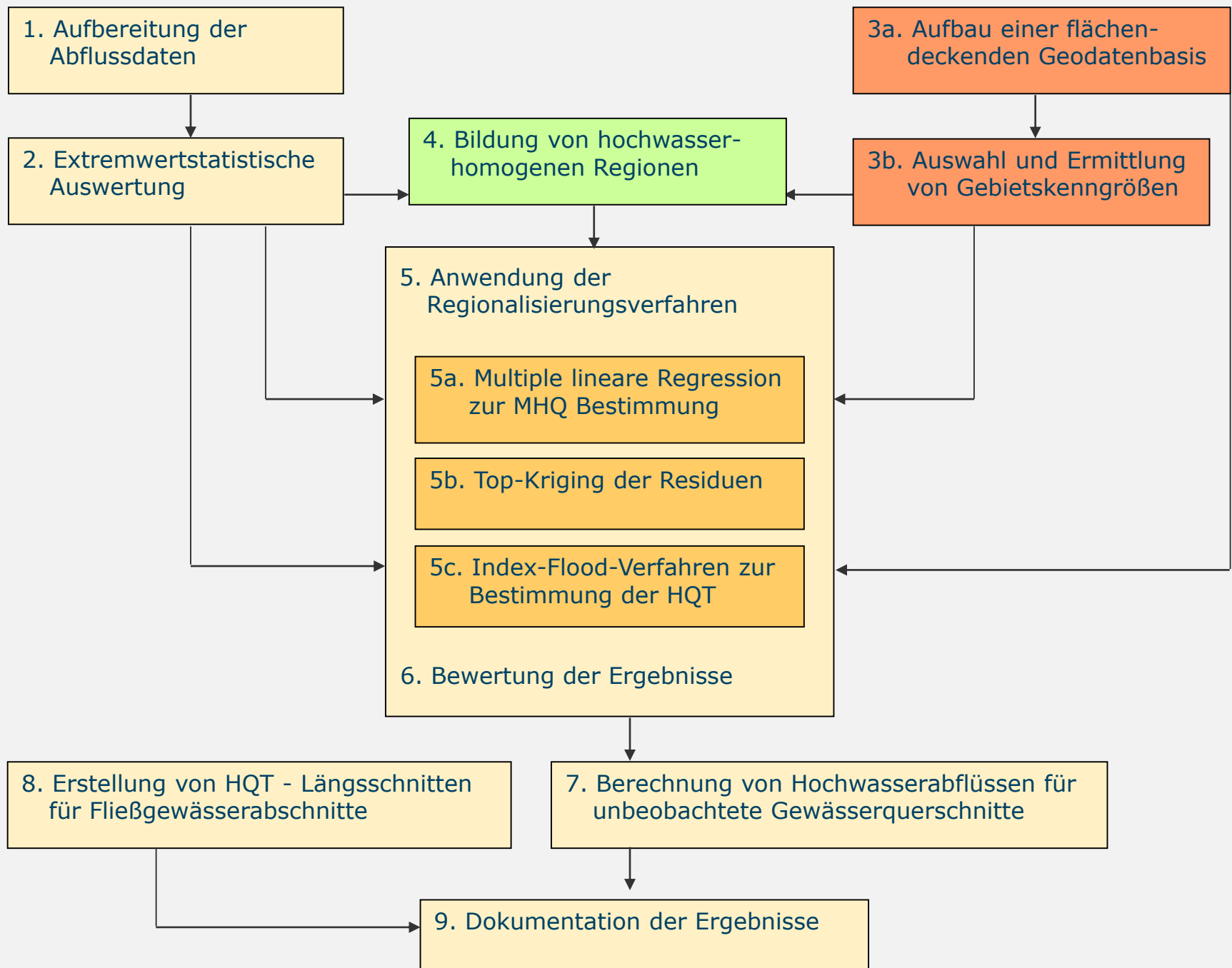
1. Zeitlicher Ablauf
2. Hochwasserregionalisierung
3. WEB-Anwendung

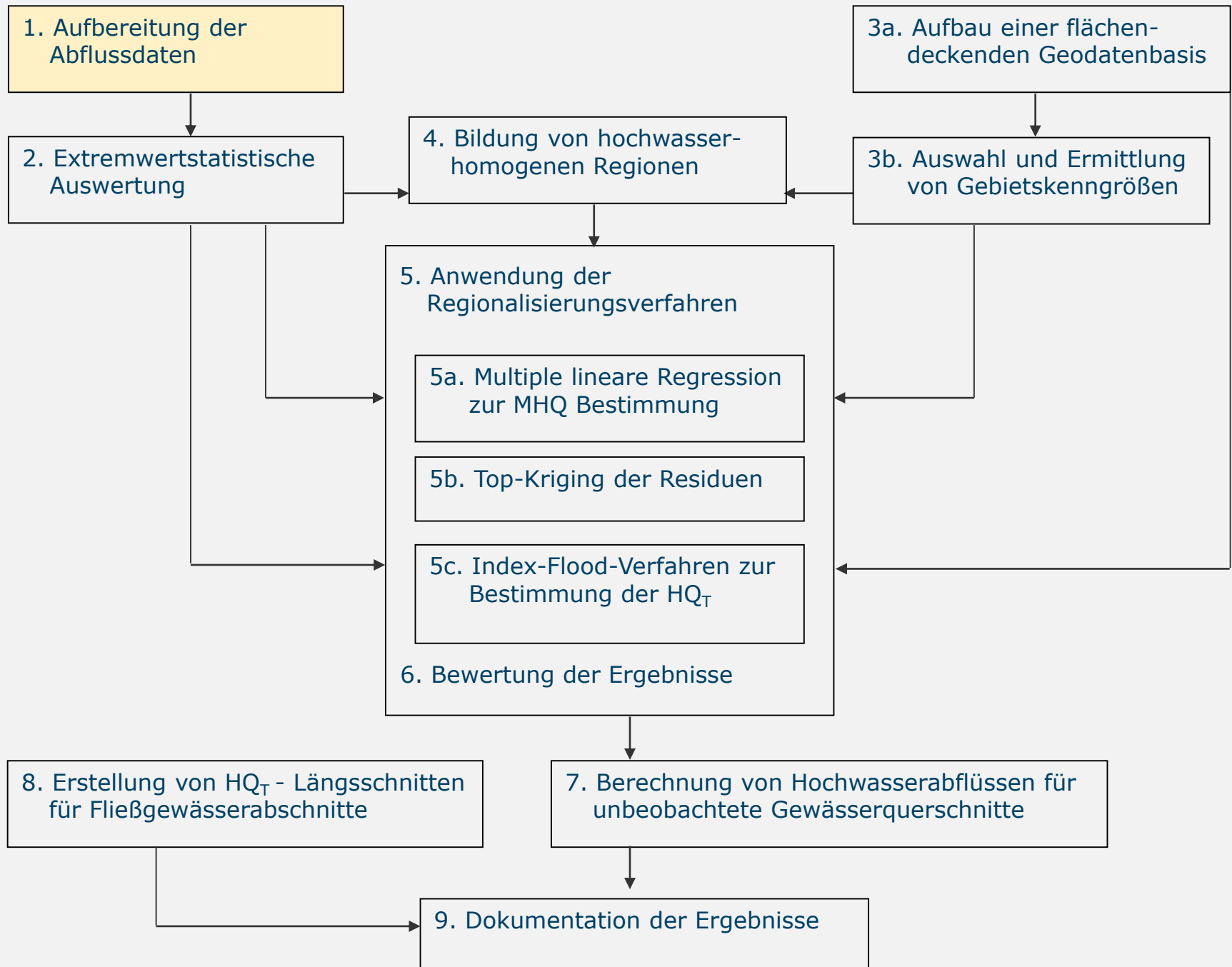
1. Zeitlicher Ablauf

- 2009-2010: Bestimmung der Methodik
- 2012-2013: Neubestimmung der Hochwasserwahrscheinlichkeiten nach dem Hochwasser im Jahr 2010
- 2014-2015: Neubestimmung der Hochwasserwahrscheinlichkeiten nach dem Hochwasser im Jahr 2013
- 2015: Neubestimmung der Gebietskenngrößen
- 2015: Webbasierte Darstellung der Hochwasserkennwerte
- 2016-2017: Diskussion
- 2017: Beginn der schrittweisen Veröffentlichung



2. Hochwasserregionalisierung





Punkt 1 - Aufbereitung der Durchflussdaten

Bestimmung der HQ_T mit $T = 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100$ und 200 Jahren sowie des MHQ mit HQ-EX 4.0 (DHI-WASY 2015b)

Notwendige Vorarbeiten:

- Verlängerung der Reihen mehrerer Pegel mit den Reihen nicht mehr beobachteter benachbarter Pegel,
- Berücksichtigung von historischen Hochwasserereignissen,
- Datenkorrekturen,
- Prüfung der Plausibilität von extremen Hochwasserereignissen,
- Homogenitätsanalyse und die abschließende Festlegung der extremwertstatistisch auszuwertenden Pegel.

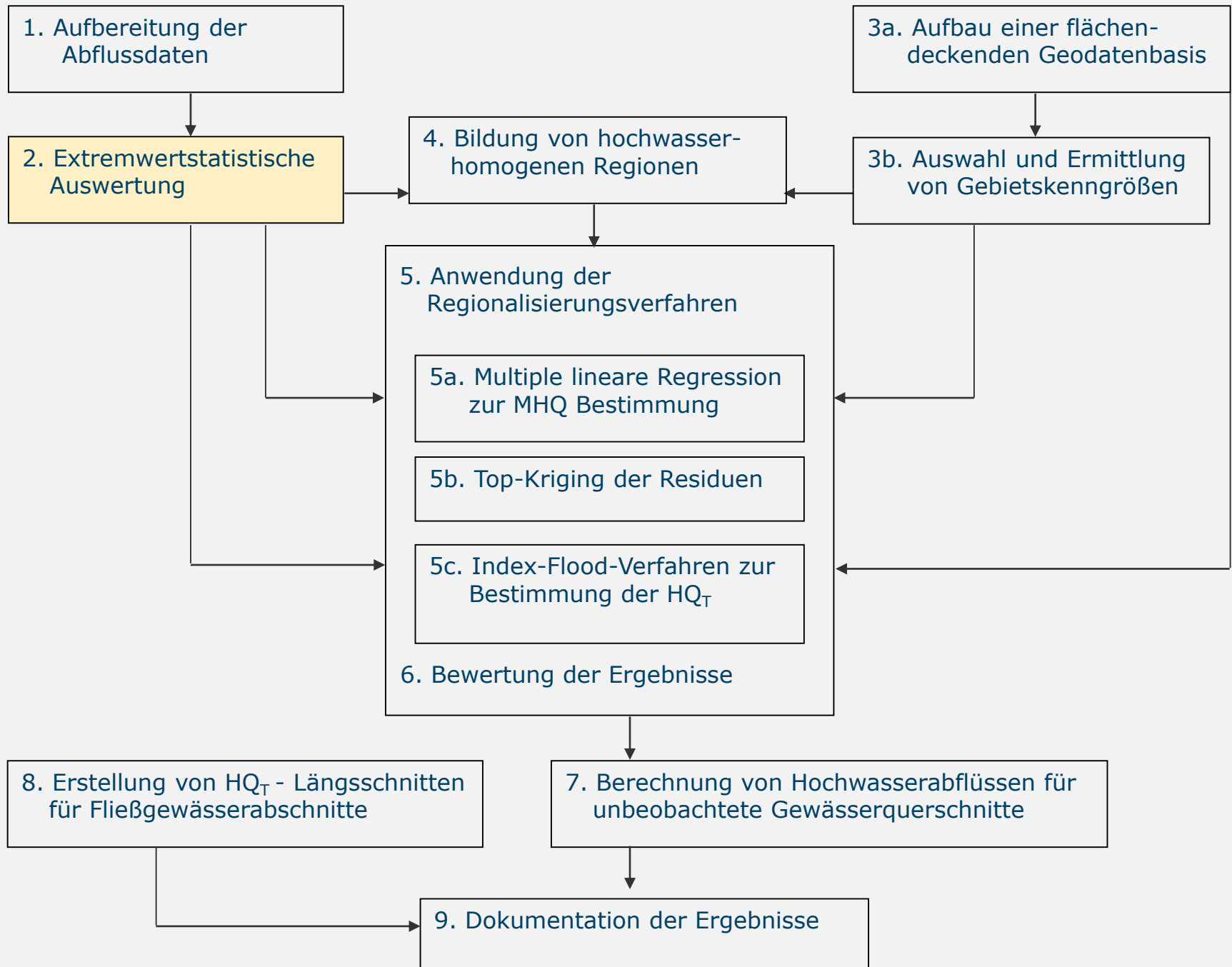
Mindestreihenlänge für die extremwertstatistische Auswertung mit HQ-EX 26 Jahre.

Pegel mit mindestens 10 Beobachtungsjahre nur für MHQ

Pegel mit Reihenlängen < 10 Jahre wurden bei der Regionalisierung nicht berücksichtigt

Punkt 1 - Aufbereitung der Durchflussdaten

- Basispegel: 5 Pegel aus Thüringen
1 Pegel aus Sachsen-Anhalt
8 Pegel von MHQ-Pegel zu Basispegel
→ 127 Basispegel
 - MHQ-Pegel: 58 Pegel
- Verlängerung der Jahres-HQ-Reihen bei 120 Basispegeln
→ MHQ bei insgesamt 143 Pegeln aktualisiert



Punkt 2 - Extremwertstatistische Auswertung mit HQ-EX

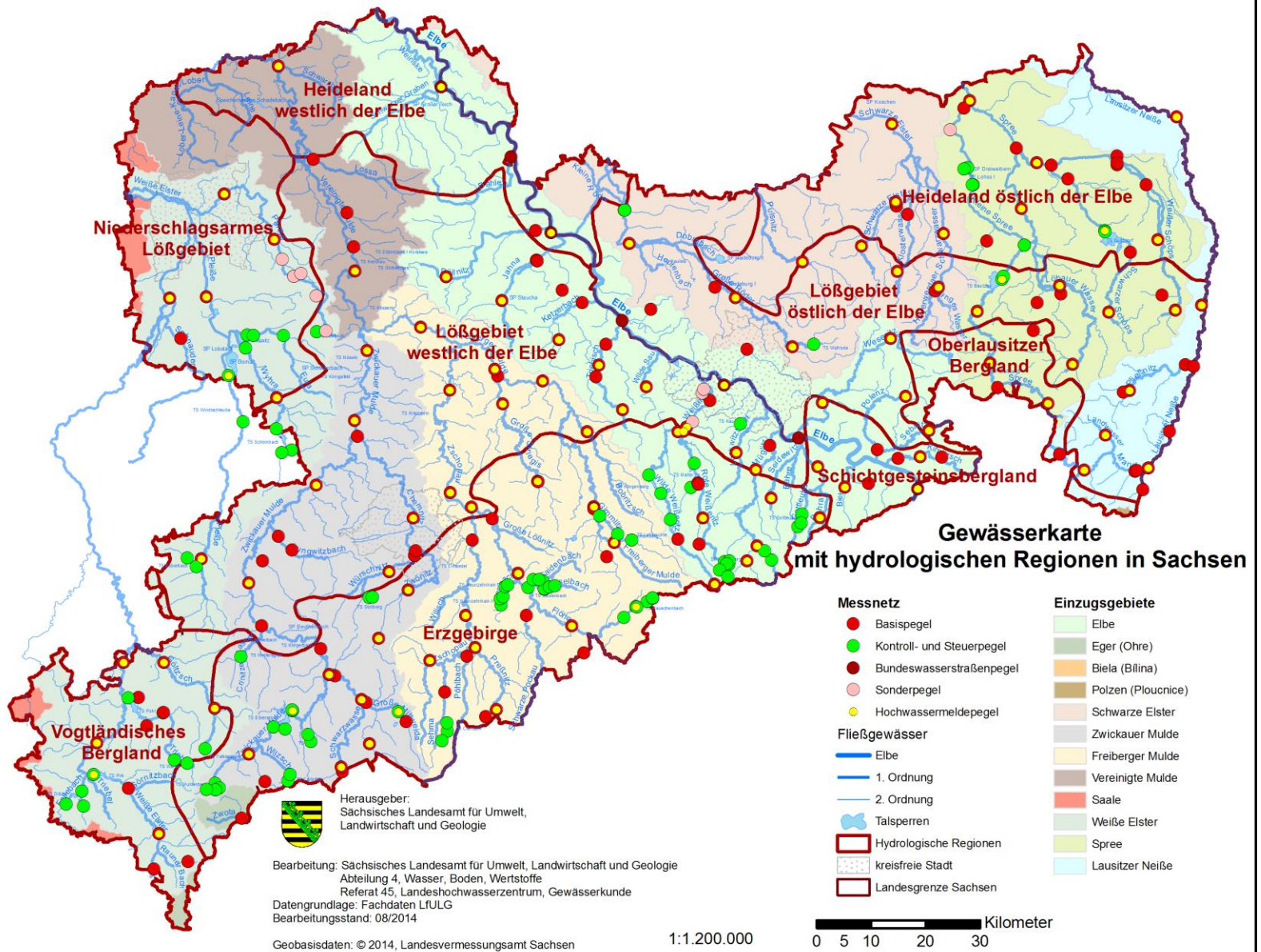
Extremwertstatistische Auswertung

- Die extremwertstatistische Auswertung für 125 Basispegel:
 - Jahres-HQ-Reihen
 - saisonale HQ-Reihen für Sommer- und Winterhalbjahr getrennt
 - Mischverteilung
 - aus Mischverteilung eine AE/WGM approximiert
- Verteilungsfunktion: Allgemeine Extremwertverteilung
- Schätzmethode: Wahrscheinlichkeitsgewichtete Momentenmethode

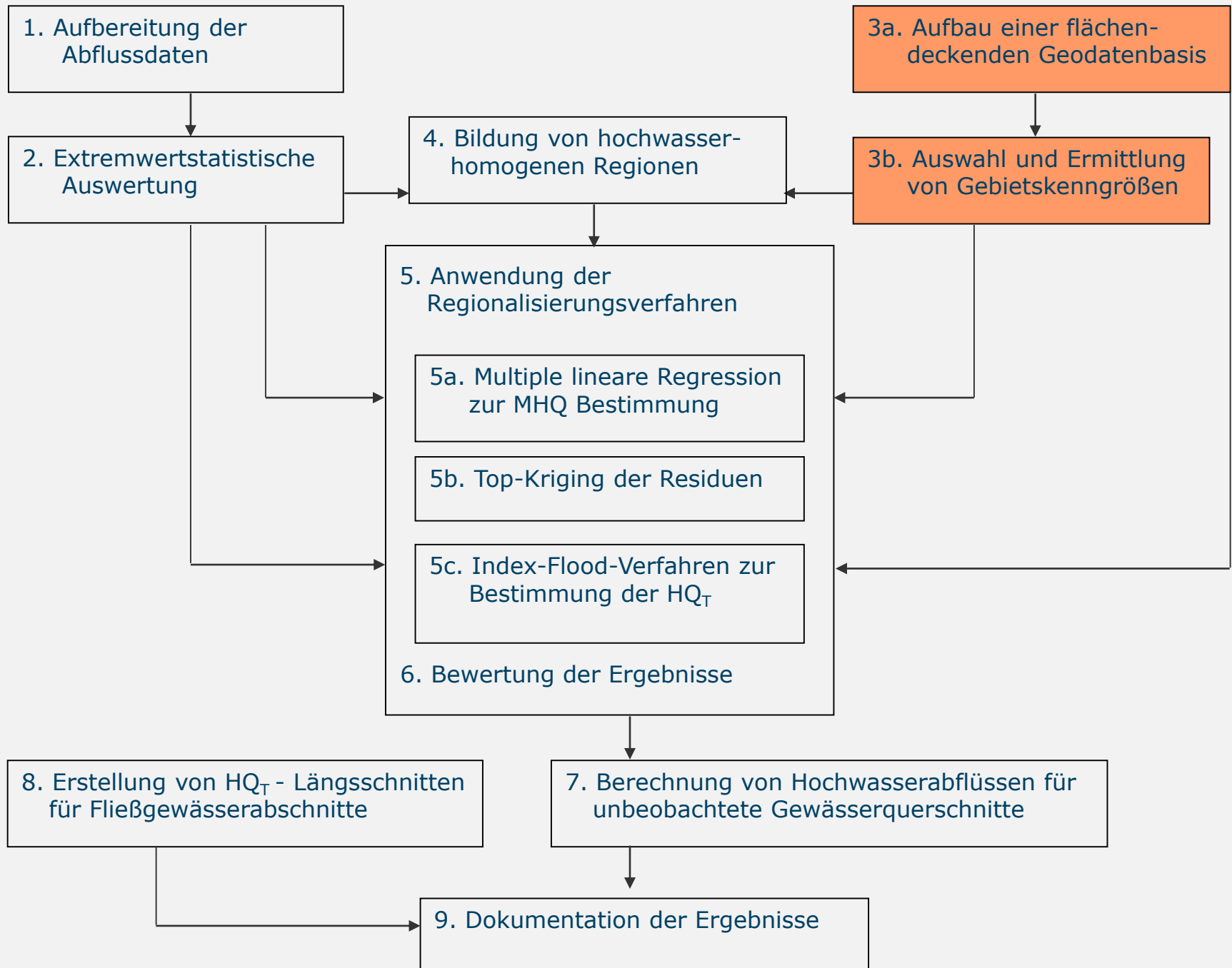
Punkt 2 - Extremwertstatistische Auswertung mit HQ-EX

Ergebnis

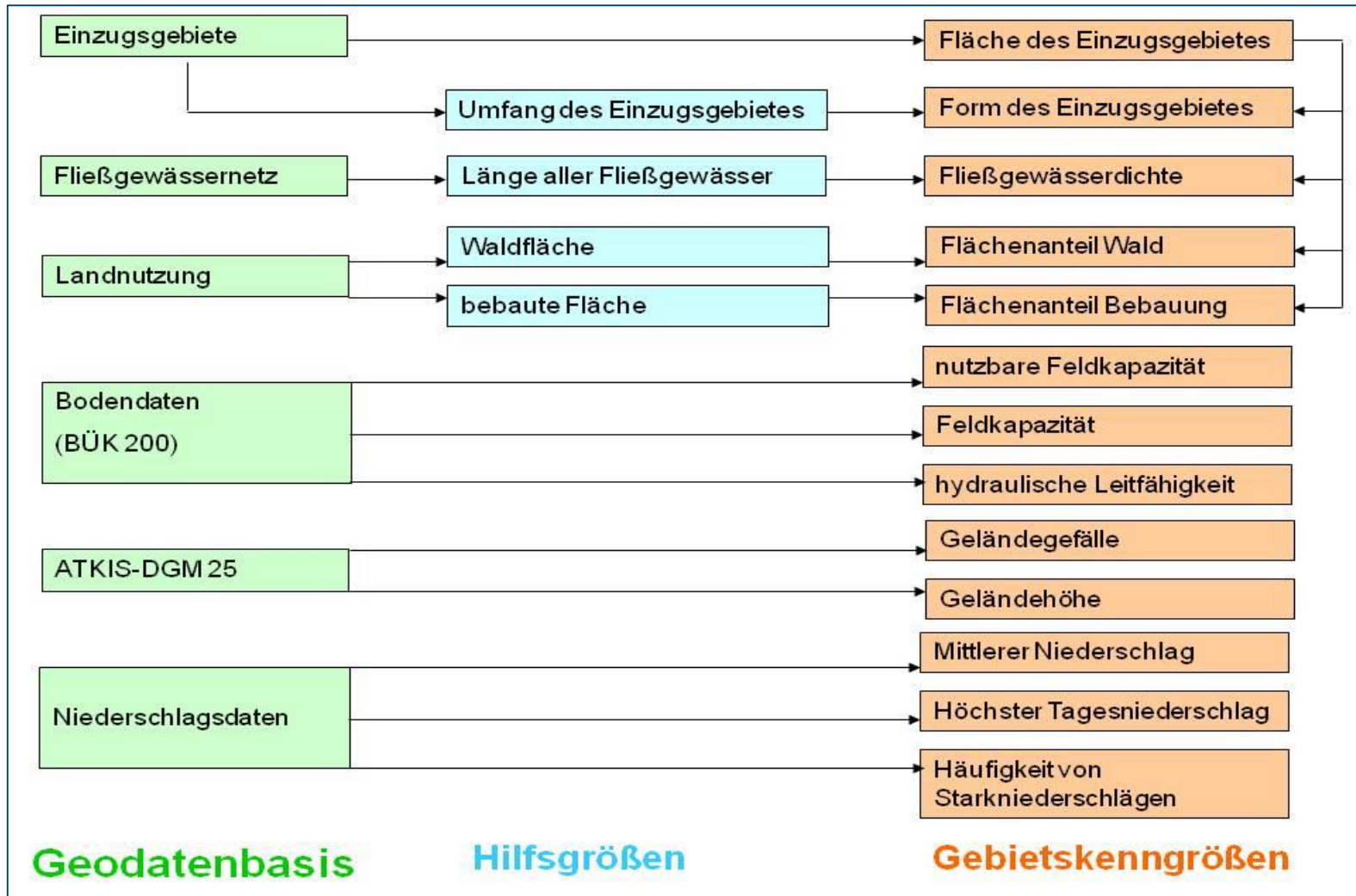
- Für jeden Basispegel HQ_T mit $T = 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200, 500$ a
- Jahres-HQ-Reihen (G)
- Sommer-HQ-Reihen (S)
- Winter-HQ-Reihen (W)
- Mischverteilung (M)
- aus der Mischverteilung AE/WGM approximiert ($Z(A)$)
- Historische Hochwasser berücksichtigt (*)

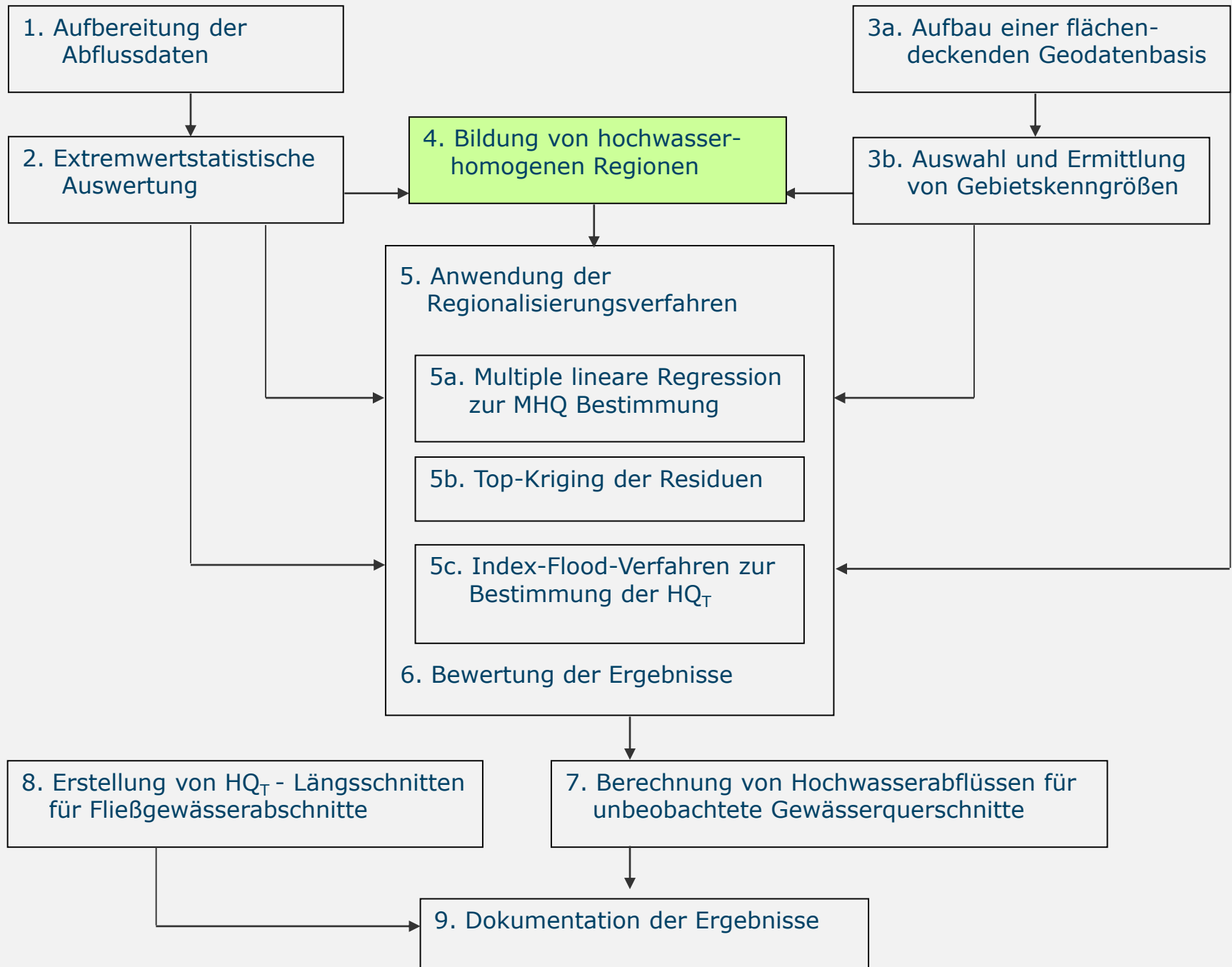


Im Ergebnis standen für die 127 Basispegel die HQ_T mit $T = 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100$ und 200 a und für 185 Pegel das MHQ zur Verfügung.

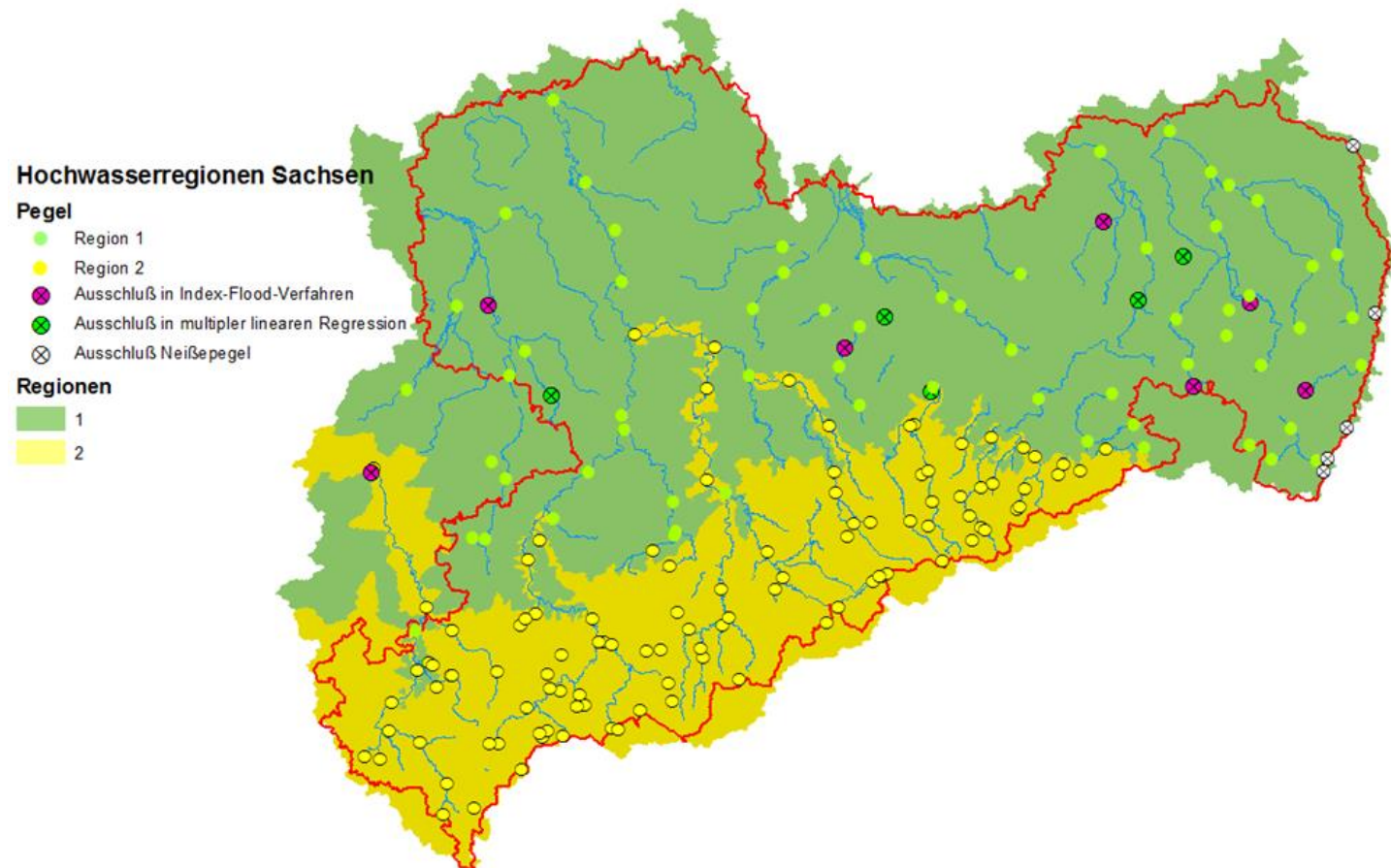


Punkt 3 - Geodaten und Gebietskenngrößen

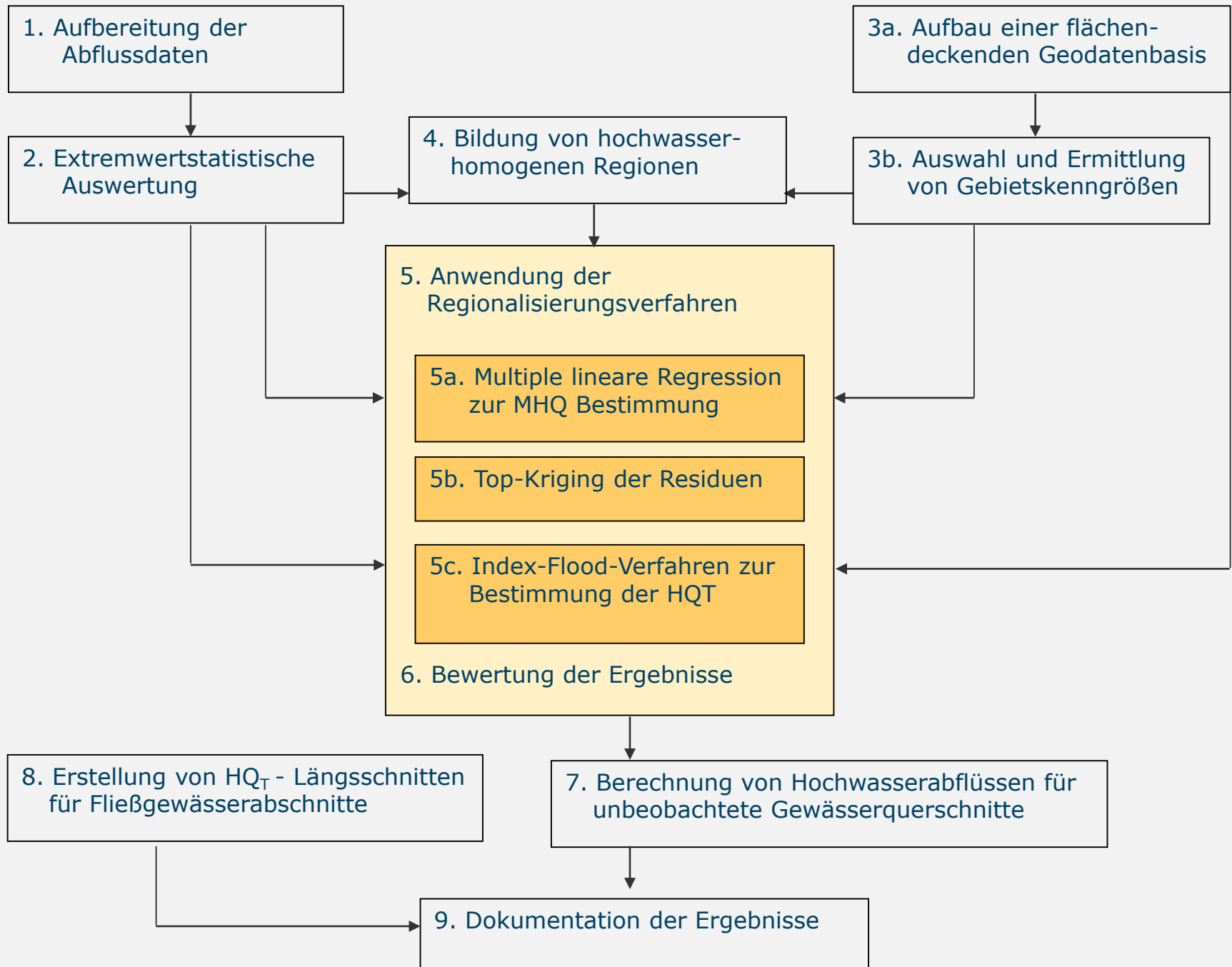




Punkt 4 – Bildung von hochwasserhomogenen Regionen



Unterteilung Sachsens in zwei hochwasserhomogene Regionen
-> Nordregion 1 und Südregion 2



Punkt 5 - Regionalisierungsverfahren

Verfahrenskombination als Vorzugsverfahren zur Ermittlung von regionalisierten HQ_T in Sachsen:

- Multiple lineare Regression zwischen MHQ und Einzugsgebietskenngößen,
- Regionale Analyse und Ausgleich der Residuen der multiplen linearen Regression mit Top-Kriging,
- Bestimmung der höheren Momente (Varianz und Schiefe) der regionalen Verteilungsfunktion mit dem Index-Flood-Verfahren.

Verfahren wurde auf Grundlage der HQ_T (Reihe bis 2015) von 122 Basispegeln (ohne die Pegel im Längsschnitt der Lausitzer Neiße) und der MHQ von 180 Pegeln sowie auf Grundlage der Geodatenbasis und daraus abgeleiteter Gebietskenngößen angewendet.

5a - Multiple lineare Regression zur MHQ - Bestimmung

Methodik

- Die multiple lineare Regression beruht auf einer linearen Verknüpfung zwischen MHq auf der einen Seite und hydrologisch relevanten Gebietskenngößen auf der anderen Seite

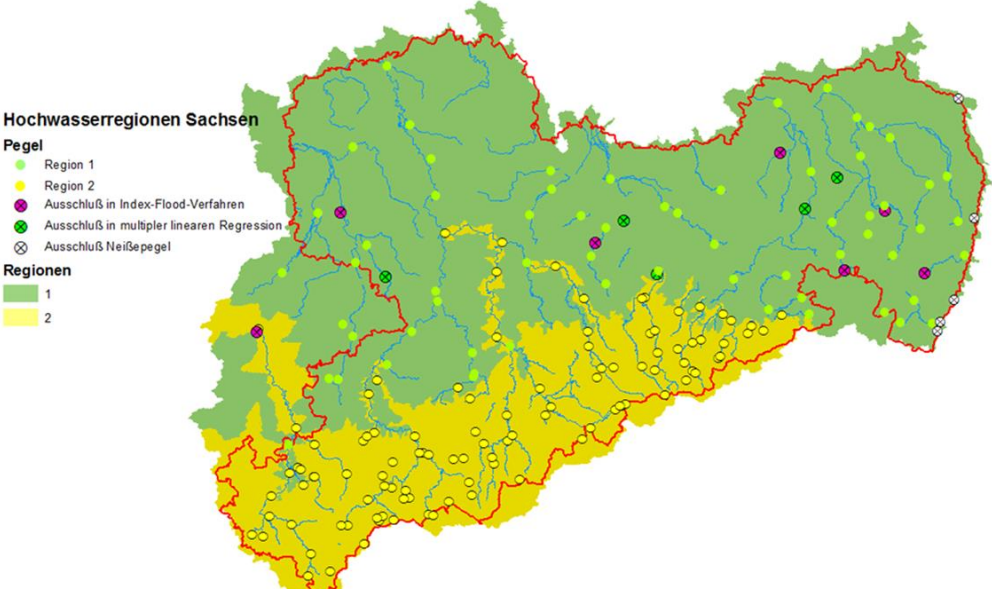
$$Y = a_0 + a_1 * X_1 + a_2 * X_2 + \dots + a_n * X_n$$

Y	Regressand (MHq)
$X_1 \dots X_n$	Regressoren (Gebietskenngößen)
$a_1 \dots a_n$	Regressionskoeffizienten
a_0	Regressionskonstante

Ergebnis

Region 1:

$$\begin{aligned} \text{LN}(\text{MHq}) = & - 0,29518 * \text{LN}(\text{A}_E) \\ & + 1,74300 * \text{SQRT}(\text{mittlere Gebietshöhe})/10 \\ & + 0,15816 * \text{SQRT}(\text{bebaute Anteil}) \\ & + 0,16500 * \text{SQR}(\text{nFK})/10000 \\ & + 2,23417 \end{aligned}$$



Region 2:

$$\begin{aligned} \text{LN}(\text{MHq}) = & - 0,15289 * \text{LN}(\text{A}_E) \\ & + 1,11548 * \text{SQRT}(\text{P}_{\text{Jahr}}) \\ & + 0,41664 * \text{SQRT}(\text{Flussdichte}) \\ & - 0,43067 * \text{LN}(\text{KF10}) \\ & - 1,09818 \end{aligned}$$

Punkt 5 - Regionalisierungsverfahren

5b - Top-Kriging der Residuen

Methodik

- Top-Kriging ist eine Weiterentwicklung der klassischen geostatistischen Interpolationsverfahren, z. B. Ordinary Kriging, das die Topologie der Einzugsgebiete berücksichtigt.
- Im Gegensatz zum Ordinary Kriging werden im Top-Kriging die Lage der Punkte im Gewässernetz und die daraus resultierenden Relationen zwischen Ober- und Unterliegern topologisch korrekt berücksichtigt.
- Punkte am gleichen Flusslauf werden als ähnlicher angesehen als Punkte, die nicht am gleichen Flusslauf liegen, auch wenn sie die gleiche Distanz aufweisen.

Ergebnis

- Ermittlung der Residuen (Differenz) zwischen den beobachteten Werten (Pegelstatistik und en berechneten MHq (Ergebnisse der mutiplen linearen Regression)
- Übertragung Residuen mittels Top-Krigings auf das Untersuchungsgebiet

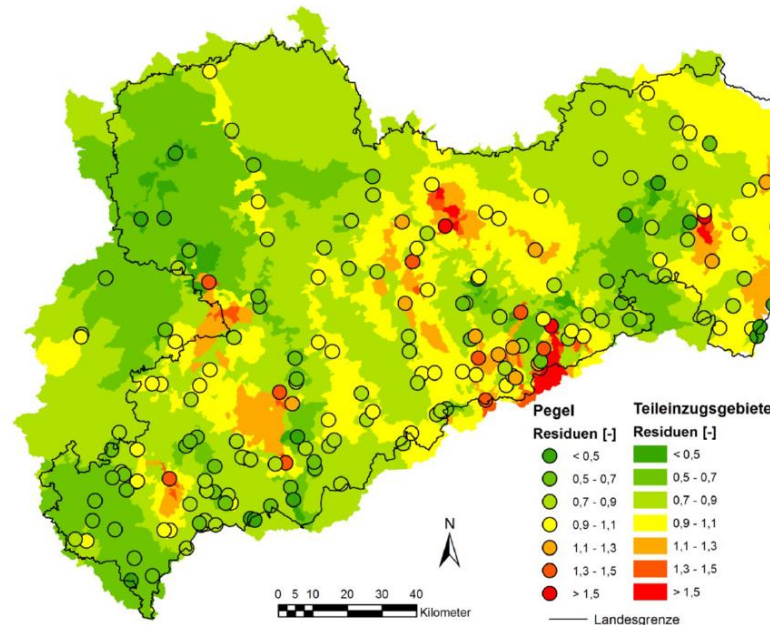


Abbildung 3: Residuen aller Teileinzugsgebiete des Untersuchungsgebietes

Punkt 5 - Regionalisierungsverfahren

5c- Index-Flood-Verfahren zur Bestimmung der HQ_T

Methodik

- Einführung in die hydrologische Praxis von DALRYMPLE (1960)
- Umfassendste Erweiterung durch HOSKING und WALLIS (1997)
- Deren Methodik wurde in den letzten Jahren quasi Standard bei der Anwendung des Index-Flood-Verfahrens

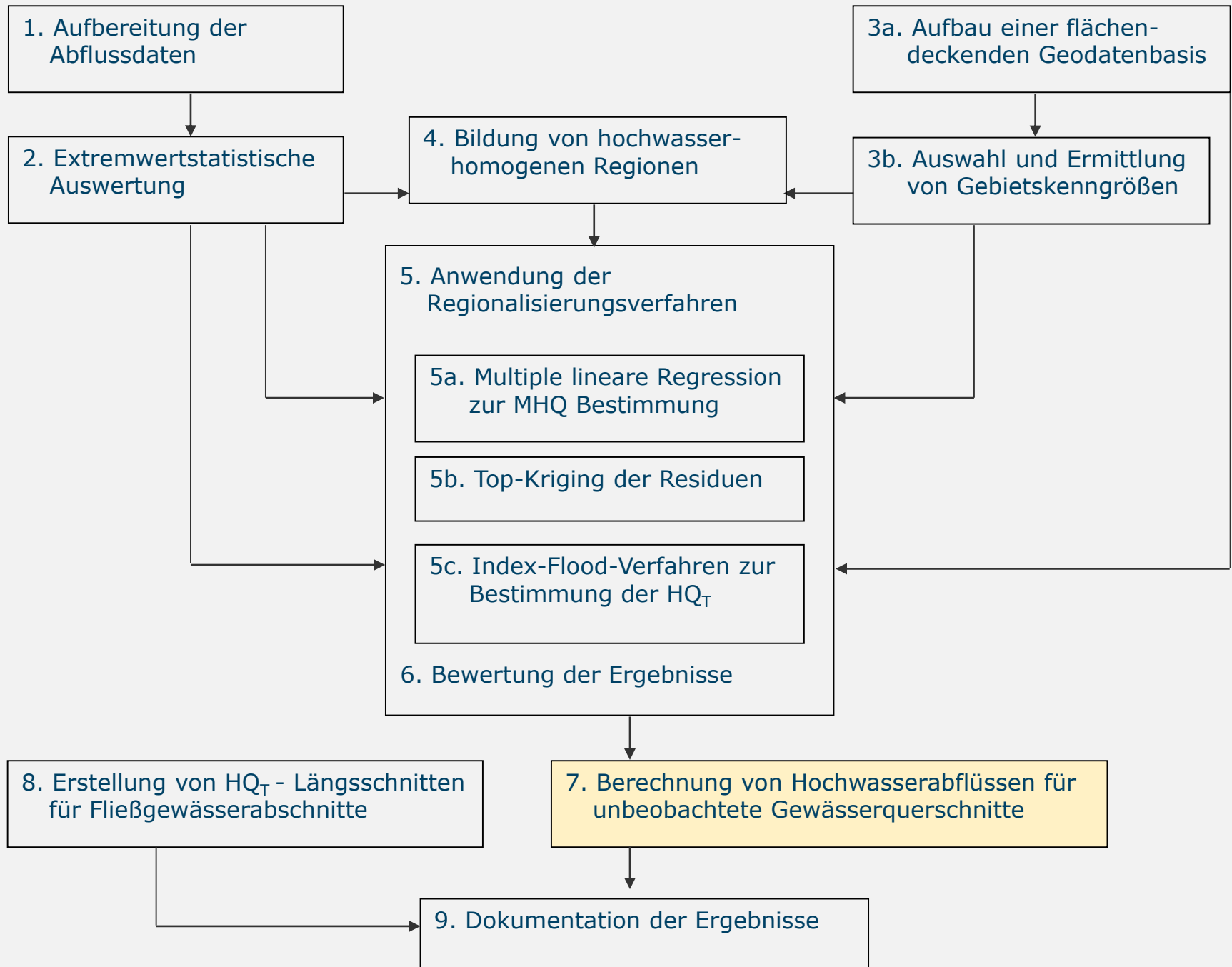
5c- Index-Flood-Verfahren zur Bestimmung der HQ_T

- Berechnung der Parameter der regionalen Verteilungsfunktion
- Normierte Quantile der Hochwasserwahrscheinlichkeitsfunktion x_T

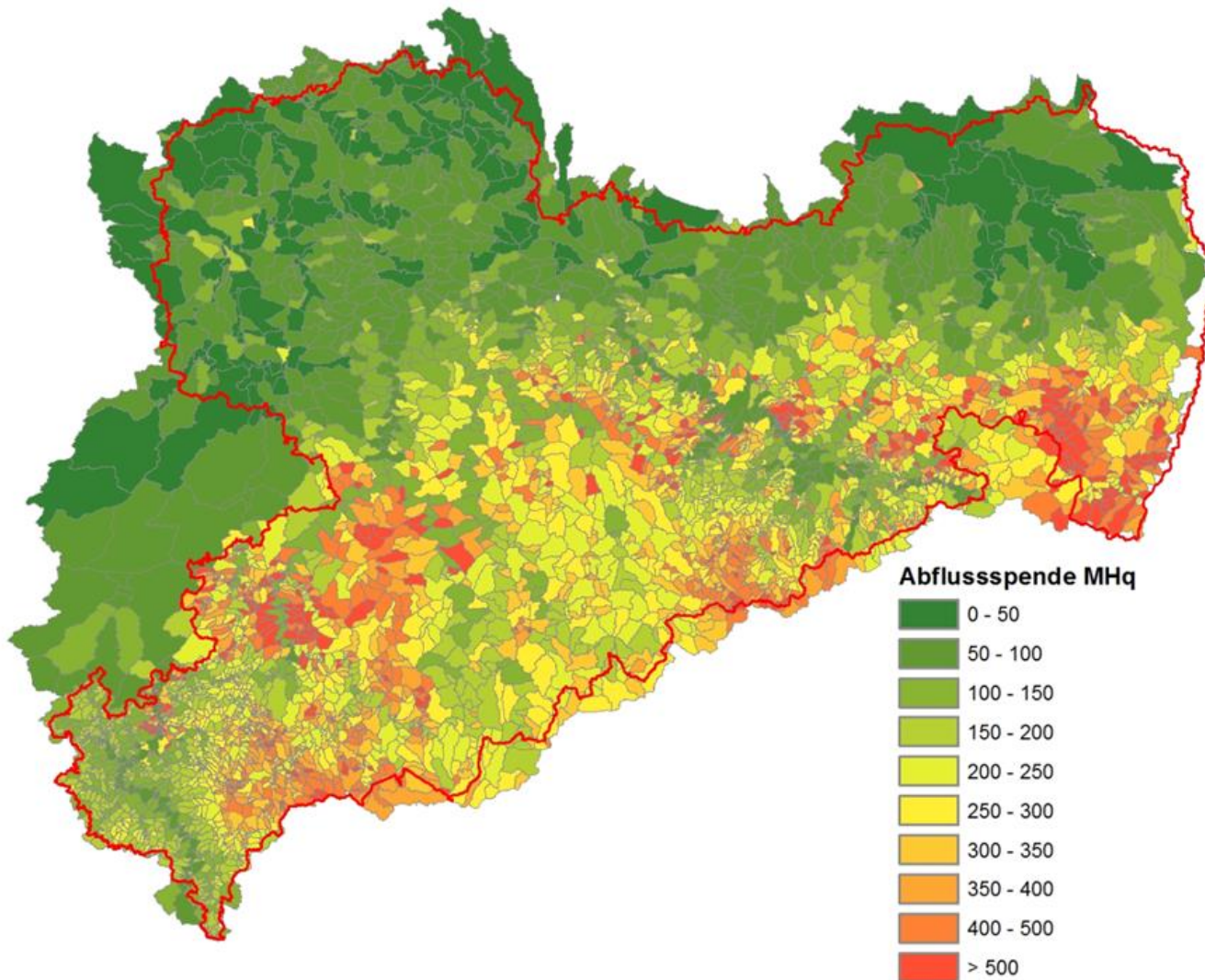
$T [a] =$	2*	5*	10	20	25	50	100	200	500
P_u	0,606*	0,818*	0,900	0,950	0,960	0,980	0,990	0,995	0,998
Region 1	0,930	1,335	1,699	2,193	2,374	3,014	3,797	4,757	6,370
Region 2	0,866	1,276	1,683	2,287	2,520	3,400	4,576	6,152	9,088

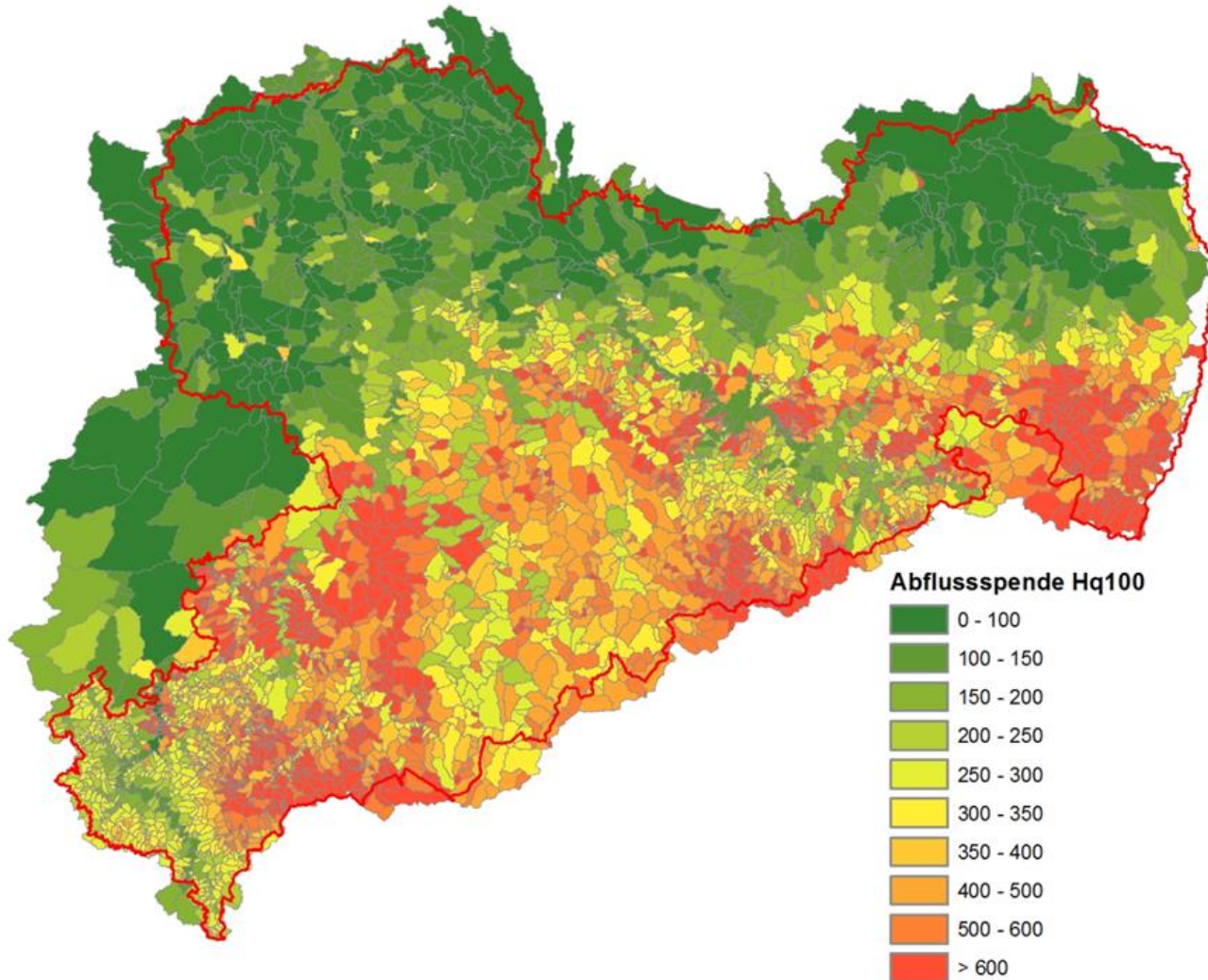
*Korrektur der Unterschreitungswahrscheinlichkeiten für kleine T (DVWK, 1999)

- Berechnung der HQ_T nach folgender Formel: $HQ_i = MHQ_i \cdot x_T$
 - HQ_i Hochwasserwahrscheinlichkeitskurve im Gebiet i
 - MHQ_i im Gebiet i
 - x_T Hochwasserwahrscheinlichkeitsfunktion

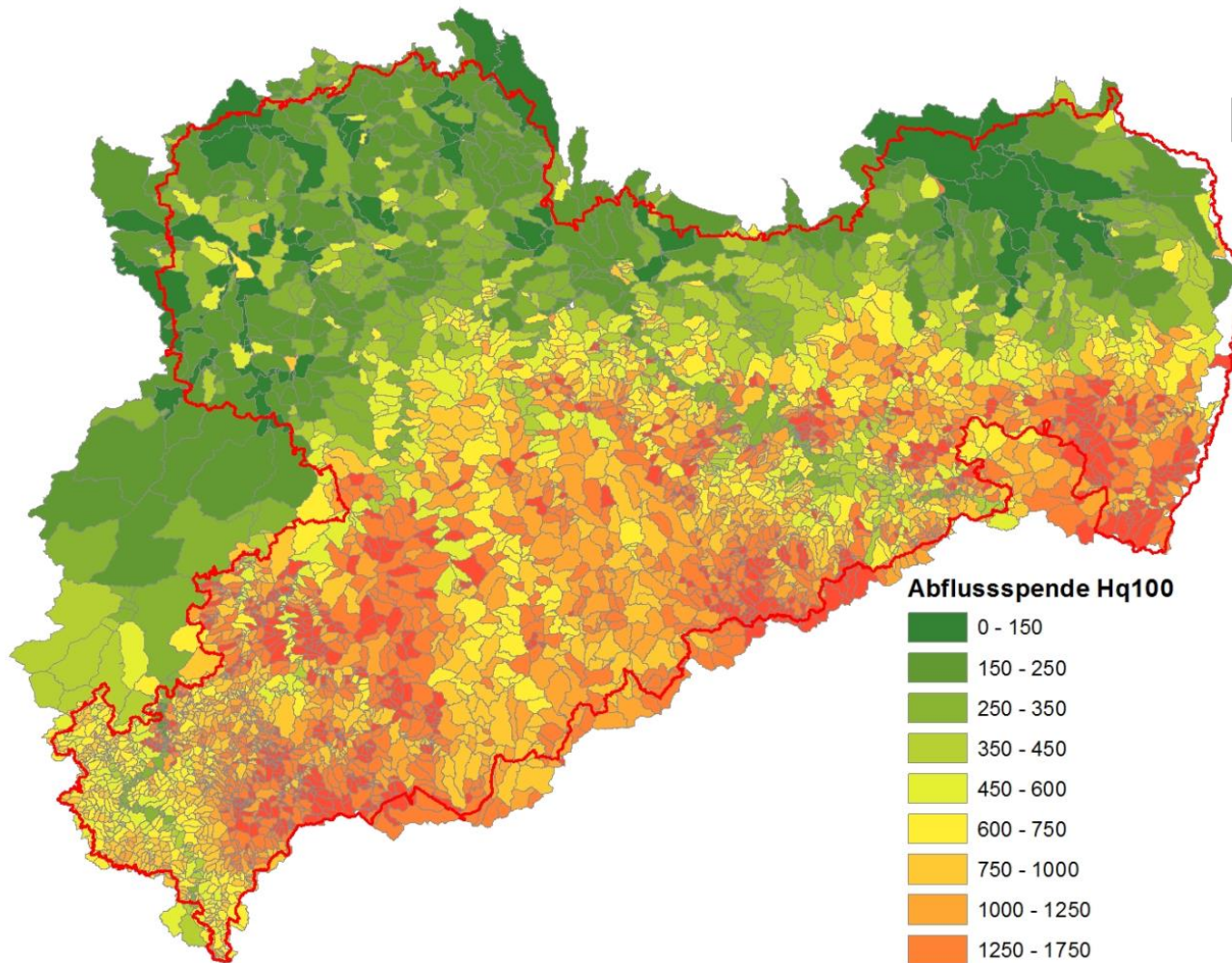


MHq [l/(s*km²)]



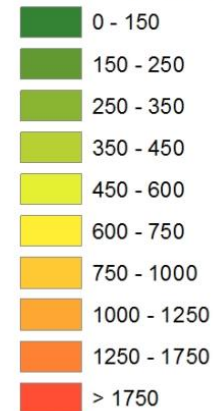


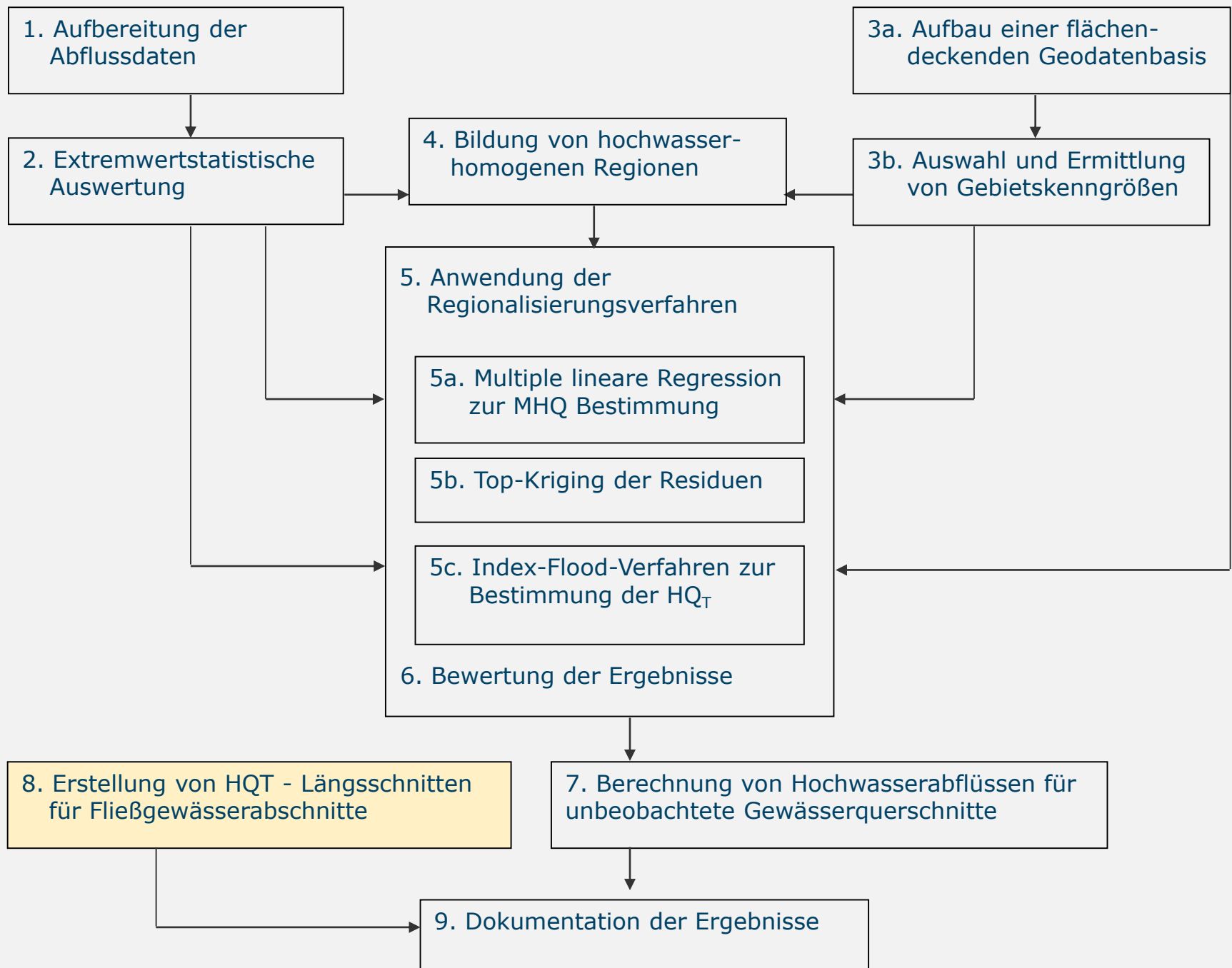
$Hq_{100} [l/(s \cdot km^2)]$



$Hq_{100} [l/(s \cdot km^2)]$

Abflussspende Hq100





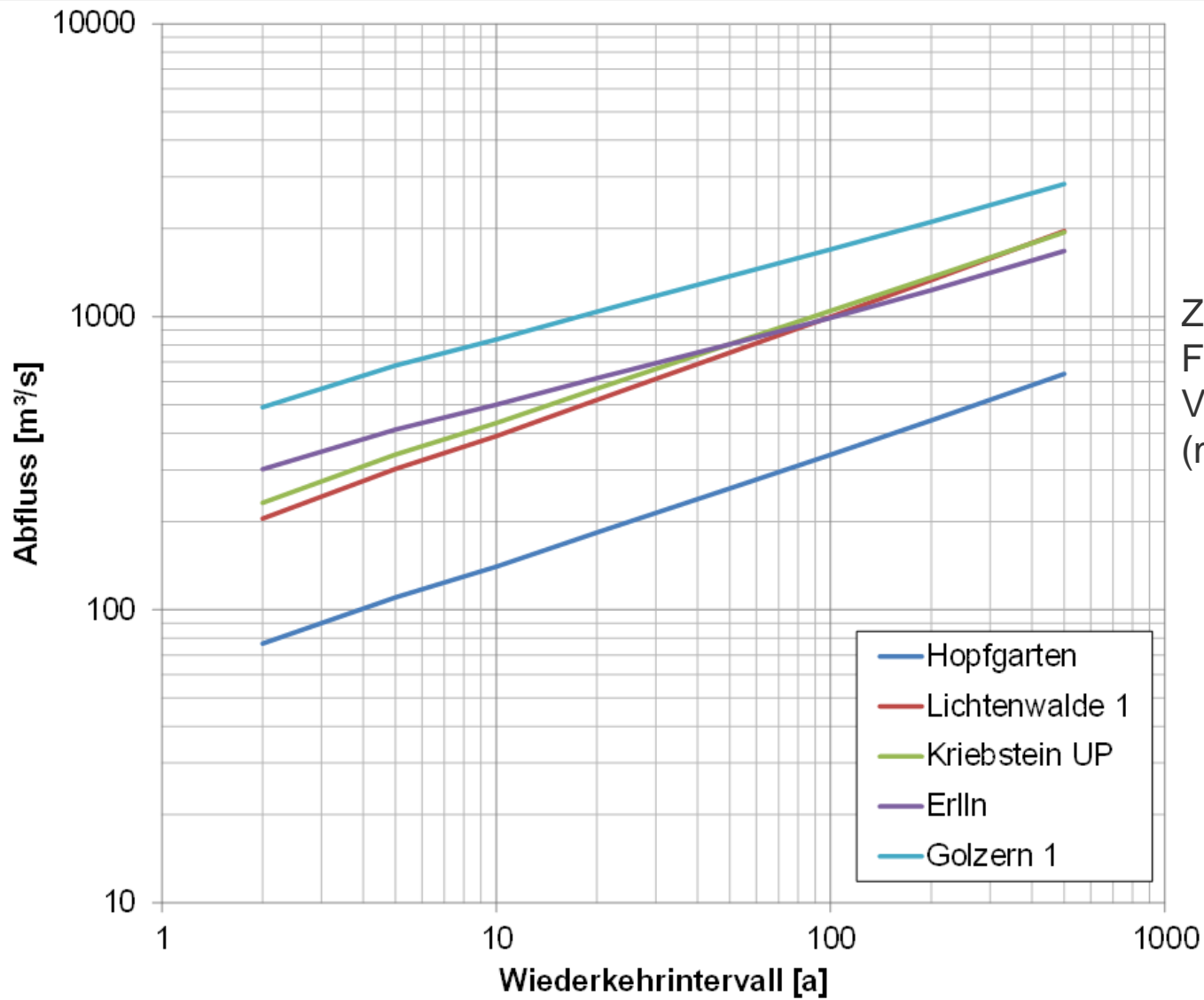
Punkt 8 – Erstellung von HQ_T - Längsschnitte

- Erstellung von zusätzlichen 10 Abflusslängsschnitten

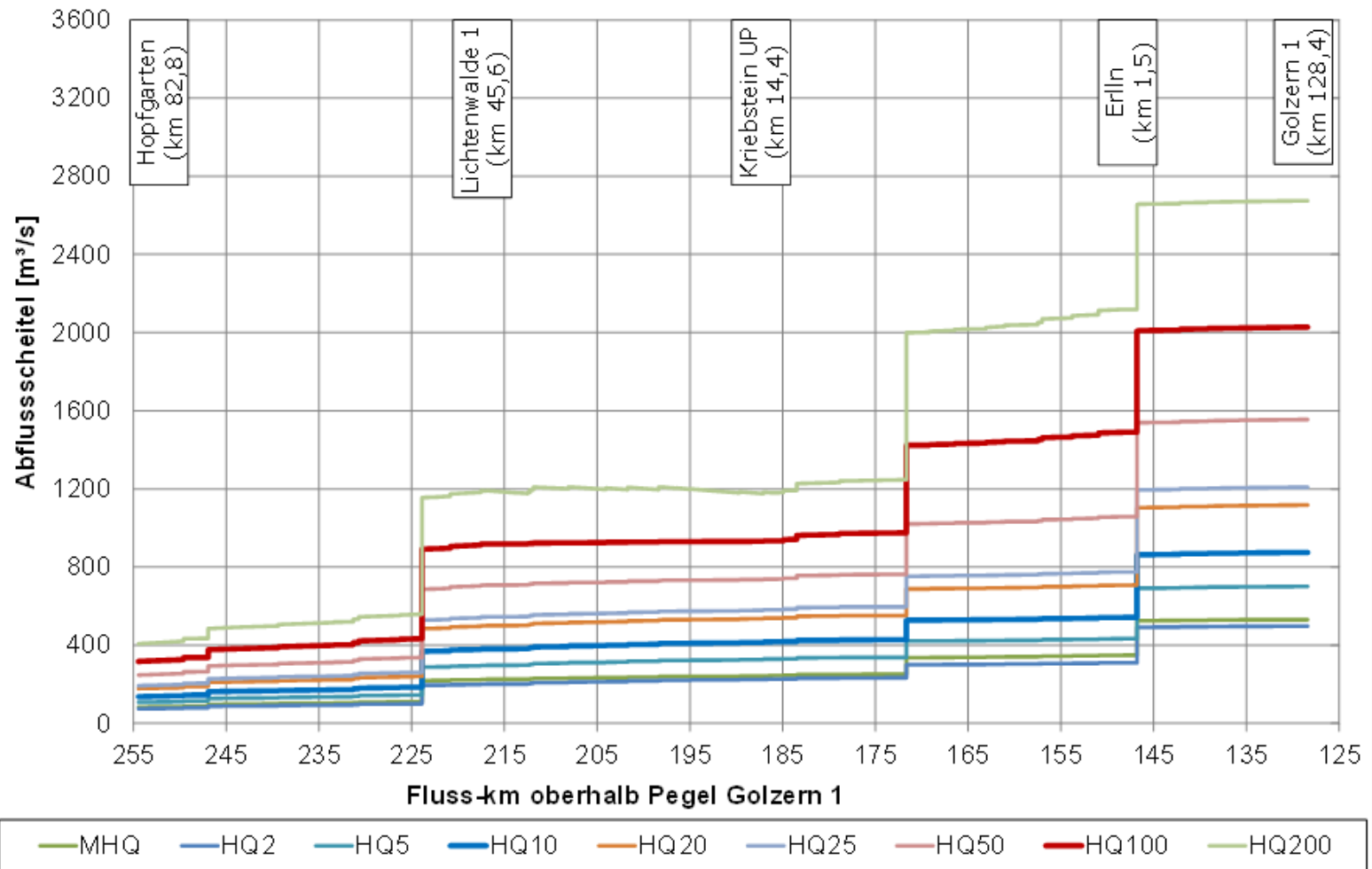
$$\ln(Hq_T) = \ln(b) - c(T) * \ln(A_E)$$

- Hq_T - Abflussspende
- A_E - Einzugsgebietsfläche
- b und $c(T)$ - Parameter

- Im Falle einer Verringerung der Abflüsse (HQ) im Längsschnitt sollte in der Gleichung die Fließlänge L anstelle der Einzugsgebietsfläche A_E verwendet werden.



Zschopau
Freiberger Mulde
Vereinigte Mulde
(mit hist. Hochwassern)



Anwendungsgrenzen der Hochwasserregionalisierung

- Aufgrund der angewendeten Methodik und der vorgenommenen Pegelauswahl: quasinatürliche Abflüsse bzw. Abflussspenden
- keine anthropogenen Beeinflussungen berücksichtigt
- keine Retentionseffekte berücksichtigt (zurückgehenden Hochwasserabflüsse)
- Gebieten mit hohem Seenanteil (z. B. Lausitzer Seenkette) nur eingeschränkt anwendbar
- Im Lausitzer Braunkohlenrevier nicht anwendbar

Anwendungsgrenzen der Hochwasserregionalisierung

Talsperren

- Beeinflussungen abhängig vom zur Verfügung stehenden Hochwasserrückhalteraum
- nicht direkt auf Gewässerstrecken im Unterlauf übertragbar
- In der Praxis Einzugsgebiet der Stauanlagen betrachtet.
- VISCHER und HAGER (1992) untersuchten, ab wann der Einfluss von Stauanlagen vernachlässigt werden kann.
- Ergebnis: ab der 4-fachen Einzugsgebietsfläche der Sperrstelle ist der Einfluss der Talsperren vernachlässigbar

Erstellung von HQ_T-Längsschnitten für anthropogen beeinflusste Gewässerabschnitte (Talsperreneinfluss)

- Anthropogene Beeinflussung durch Talsperren, die durch ihre Bewirtschaftung das Abflussverhalten von Hoch- und Niedrigwasser im Unterlauf beeinflussen.
- Wie weit die Beeinflussungen im Unterlauf von Talsperren reichen, ist sehr unterschiedlich und hängt vor allem vom zur Verfügung stehenden Hochwasserrückhalteraum und der Einzugsgebietsgliederung ab.
- Für Talsperren und jedes Hochwasserrückhaltebecken mit signifikanten Einfluss auf das Hochwasserverhalten wurde ermittelt, ab welcher Entfernung der Einfluss von Stauanlagen vernachlässigt werden kann.
- Der durch eine oder ggf. mehrere Stauanlagen beeinflusste Fließgewässerbereich im Stauanlagenunterlauf wird dabei durch gesonderte Gutachten belegt.

Spezielles Vorgehen im ostsächsischen Flachlandbereich zur Erstellung der HQ_T -Längsschnitte

Fließgewässer im Tiefland mit relativ viele Umfluten und häufig breite Auen (EZG der Schwarzen Elster und Spree sowie teilweise der Mandau)



HQ_T -Werte werden hier stark durch Translations- und Retentionseffekte beeinflusst.

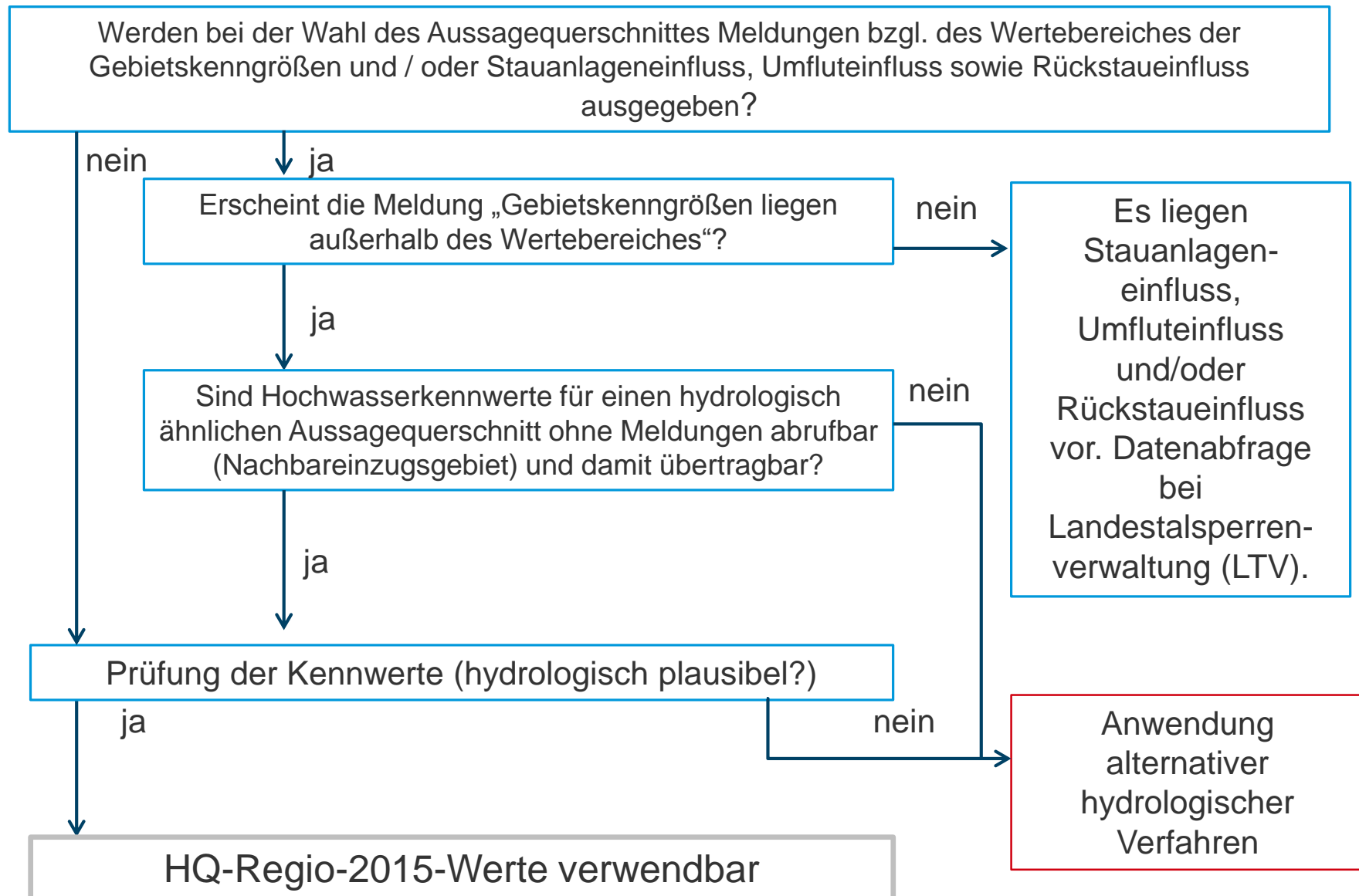
Vorgehensweise:

- Wasserspiegellagen-Berechnungen mittels 2D-HN-Modellen (Modell HydroAS-2D)
- Die dafür benötigten Ganglinien wurden mittels N-A-Modellen (Modelle NASIM und ArcEGMO) berechnet
- Nach Abschluss der Kalibrierung bzw. Validierung der N-A-Modelle werden mit Bemessungsniederschlägen HQ_T - Ganglinien berechnet.

3. Web-Anwendung

- Die Anwendung greift auf die Datenbank (File Geodatabase) HQ-Regio.gdb zu, welche die Projektergebnisse beinhaltet.
- Es kann jeder beliebige Gewässerquerschnitt ausgewählt werden. Die berechneten Hochwasserkennwerte werden längengewichtet zwischen dem Teilgebietszufluss und -ausfluss interpoliert.
- Stammdaten zum gewählten Aussagequerschnitt
- HQ_T in m^3/s und Hq_T in $l/(s \cdot km^2)$ für $T = 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200$ zum gewählten Aussagequerschnitt,
- Geofaktoren Einzugsgebietsfläche in km^2 und mittlere Geländehöhe in m ü. HN für die Einzugsgebiete der Zu- und Ausflussquerschnitte des Teilgebiets, in dem der ausgewählte Gewässerquerschnitt liegt

Workflow zur Verwendung abgerufener Hochwasserkennwerte

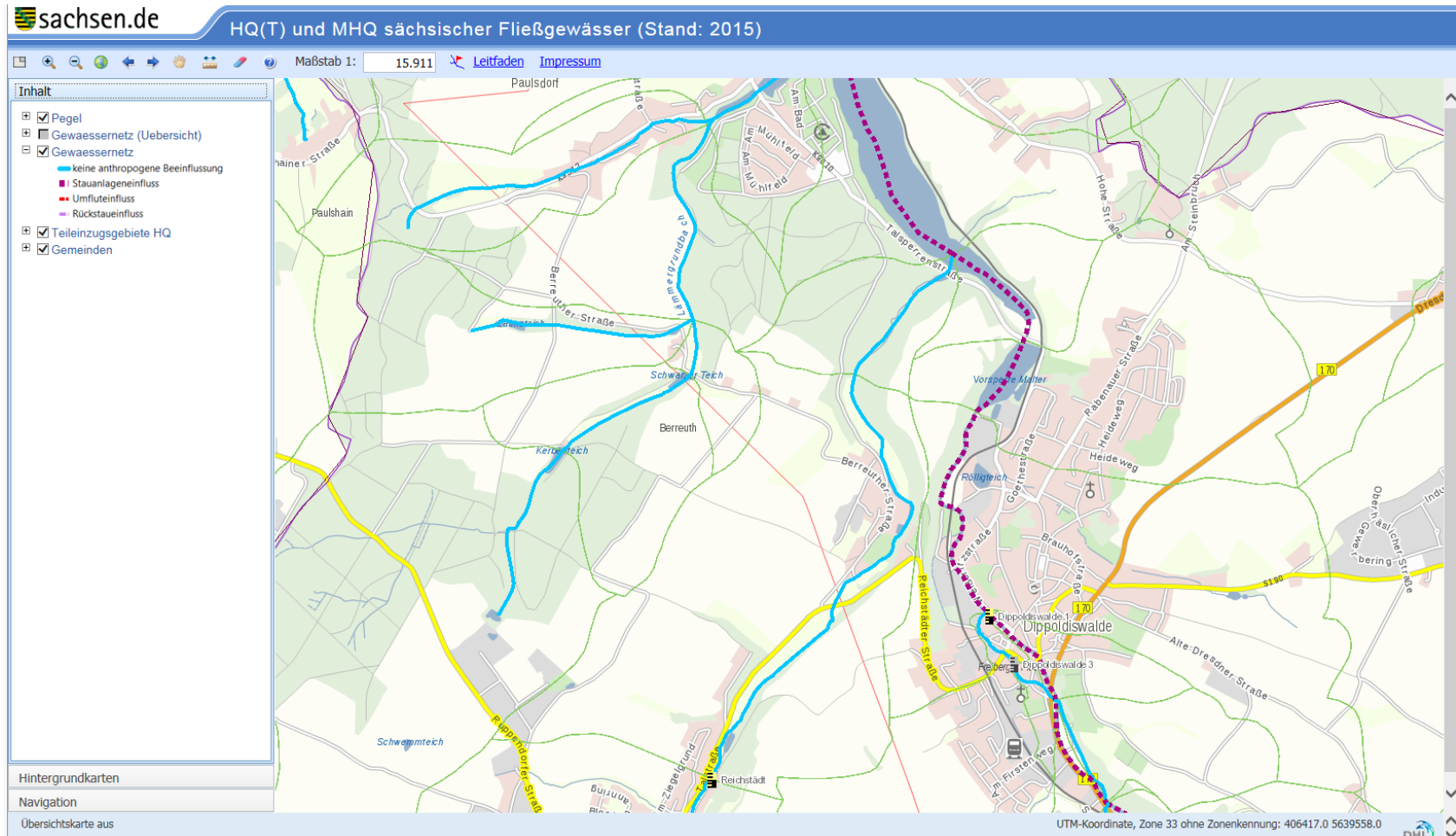


3. Web-Anwendung

LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/hq-regio/website/>



Inhalt

- ☒ Pegel
- ☒ Gewässernetz (Übersicht)
- ☒ Gewässernetz
 - keine anthropogene Beeinflussung
 - I Stauanlageneinfluss
 - Umlaufeinfluss
 - Rückstaueneinfluss
- ☒ Teileinzugsgebiete HQ
- ☒ Gemeinden

HQ-Regio 2015 Sachsen

Stammdaten

Rechtswert: UTM Koordinate Streifen 33	405815
Hochwert: UTM Koordinate	5639486
Gewässername von Mündung bis Quelle	Rote Weißeritz
Gewässerkennzahl	53722
Gebietskennzahl	5372251991
Flussgebiet	Elbezuflüsse

Scheiteldurchfluss m³/s

	Auswahlquerschnitt	Zuflussquerschnitt	Ausflussquerschnitt
MHQ	25,7	25,6	25,7
HQ 2	20,9	20,8	20,9
HQ 5	35,6	35,3	35,8
HQ 10	50,8	50,3	51
HQ 20	66,8	66,2	67,2
HQ 25	72,2	71,5	72,7
HQ 50	93,5	92,6	94,1
HQ 100	132	131	133
HQ 200	178	176	179

Scheiteldurchflussspende l/(s·km²)

Geofaktoren

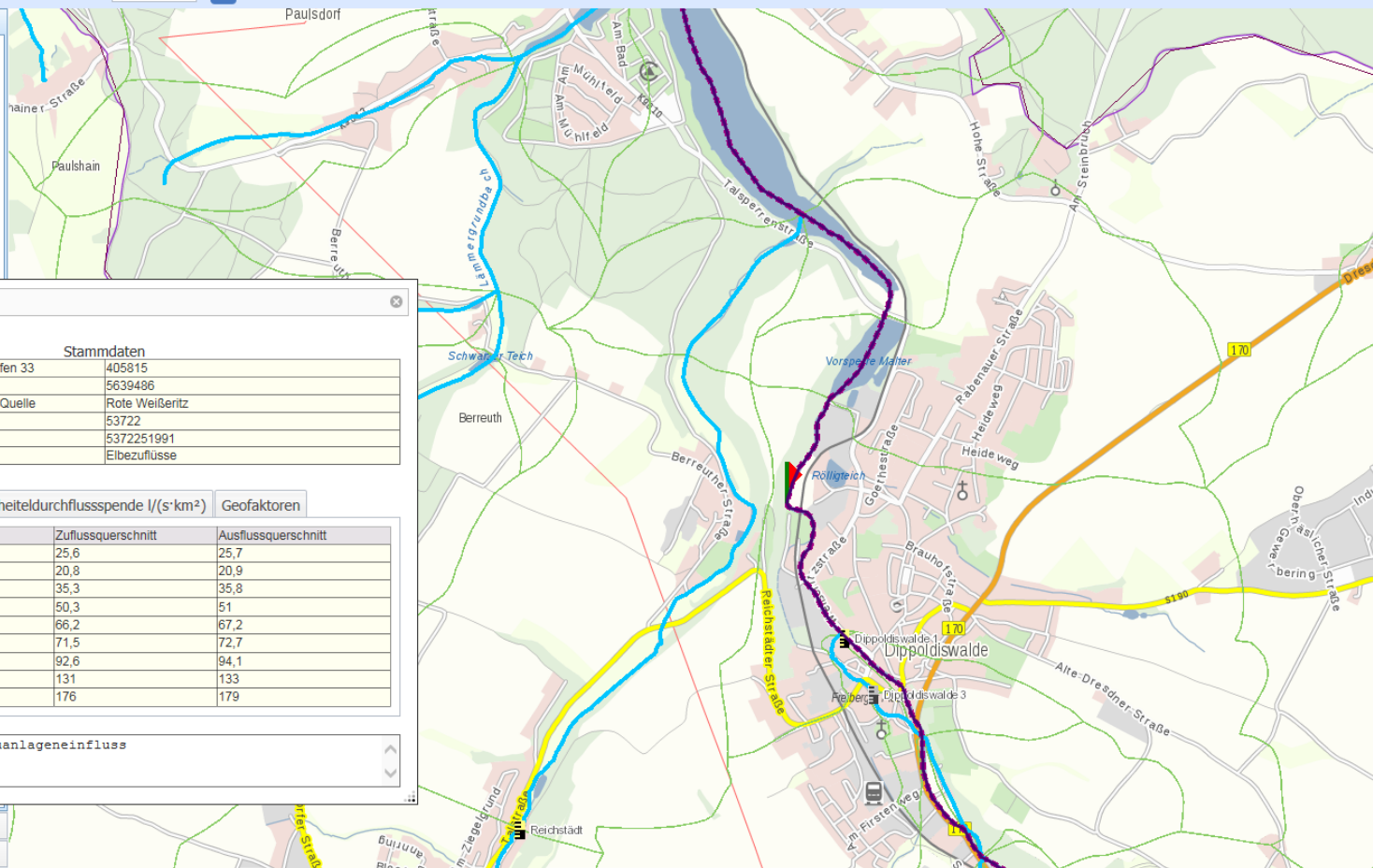
Drucken

Achtung, Stauanlageneinfluss

Hintergrundkarten

Navigation

Aussagequerschnitt in der Karte durch Klick auf einen Gewässer



UTM-Koordinate, Zone 33 ohne Zonenkennung: 405217.2 5641439.9

Stammdaten

Rechtswert: UTM Koordinate Streifen 33	405815
Hochwert: UTM Koordinate	5639486
Gewässername von Mündung bis Quelle	Rote Weißeritz
Gewässerkennzahl	53722
Gebietskennzahl	5372251991
Flussgebiet	Elbezuflüsse

Geofaktoren

	Zuflussquerschnitt	Ausflussquerschnitt
Einzugsgebietsfläche in km²	72,6	74,8
mittlere Geländehöhe in m ü. HN	590	584



*Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!*