

Gewässerkundlicher Landesdienst Thüringen

Anforderungen an Hydrologische Gutachten

- Fassung: November 2014 -



HRB Straußfurt mit aktiver Hochwasserentlastung (Photo: TLUG, Juni 2013)

Impressum:

Gewässerkundlicher Landesdienst Thüringen:

„Anforderungen an Hydrologische Gutachten“ (Fassung: November 2014; 13 Seiten, 3 Anlagen)

Bearbeitung: Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG)

Abteilung 5 Wasserwirtschaft

Referat 51 Gewässerkundlicher Landesdienst, Hochwassernachrichtenzentrale

Inhalt

	Seite
1 Zweck und Veranlassung	4
2 Untersuchungen zu Hochwasserscheitelabflüssen HQ(T)	4
2.1 Hochwasserstatistik auf der Grundlage von Messreihen	4
2.2 Andere Verfahren zur Bestimmung von Hochwasserscheitelwerten HQ(T)	4
3 Untersuchungen mit Niederschlag-Abfluss-Modellen	5
3.1 Grundsätze	5
3.2 Hinweise zum Einsatz von N-A-Modellen	5
3.3 Ermittlung der Bemessungsniederschläge.	7
3.3.1 Niederschläge bis zum Wiederkehrintervall $T = 100$ Jahre	7
3.3.2 Niederschläge mit einem Wiederkehrintervall $T \gg 100$ Jahre	7
3.3.3 Flächenabhängige Abminderung der statistischen Regenwerte nach KOSTRA	8
3.3.4 Maßgebende Niederschlagsdauer	8
4 Hydrologische Gutachten für die Hochwassernachweise von Talsperren (TS) und Hochwasserrückhaltebecken (HRB)	9
Quellenverweise	11

Anlagen

- Anlage 1: Hochwasserstatistik auf der Grundlage von Messreihen
- Anlage 2: Hilfsdiagramme für das einfache Extrapolationsverfahren und FLAMINKO
- Anlage 3: Zuordnung der Bodeneinheiten Thüringens in die SCS-Bodentypen-Klassifikation

1 Zweck und Veranlassung

Folgende Hinweise wurden mit dem Ziel zusammengestellt, bei der Erarbeitung von hydrologischen Gutachten und der Ermittlung von Hochwasserscheitelabflüssen mit Wahrscheinlichkeitsaussage, den sog. HQ(T)-Werten (T ... Jährlichkeit bzw. Wiederkehrintervall), eine durch die fachtechnischen Behörden anerkannte Vorgehensweise zu erreichen. Als grundsätzliche Anforderung ist in den hydrologischen Gutachten die Nachvollziehbarkeit der Berechnungen zu gewährleisten.

Das Kapitel 2 behandelt verschiedene Verfahren zur Bestimmung von Hochwasserscheitelabflüssen. In aufwändigeren Fällen und zur Berechnung von Hochwasserganglinien sowie bei der Betrachtung von Einzugsgebieten ohne auswertbare Messreihen oder Bezugswerte wird auf die Anwendung von Niederschlag-Abfluss-Modellen (N-A-Modelle) zurückzugreifen sein. Ausführungen dazu enthält das Kapitel 3.

Des Weiteren werden insbesondere im Kapitel 4 im Hinblick auf die Anwendung der geltenden Normen und Richtlinien für den Betrieb von Stauanlagen wichtige Hinweise für die Ermittlung der erforderlichen hydrologischen Bemessungswerte und Hochwassernachweise gegeben.

2 Untersuchungen zu Hochwasserscheitelabflüssen HQ(T)

2.1 Hochwasserstatistik auf der Grundlage von Messreihen

- Die hochwasserstatistische Auswertung von Messreihen umfasst die Aufbereitung und Prüfung von vorliegenden Datenkollektiven [7, 9, 12, 15] sowie die Anpassung von analytischen Verteilungsfunktionen (VF) an diese aufbereiteten Datenkollektive [7, 9]. Die dabei zu beachtenden Arbeitsschritte und Beispiele geeigneter Softwarelösungen für die Datenaufbereitung und Hochwasserstatistik sind in der Anlage 1 enthalten.
- Der Gewässerkundliche Landesdienst Thüringen hat für die zur Extremwertstatistik geeigneten Thüringer Pegel HQ(T)-Werte mittels HQ-Ex (Verfahren nach [7]) ermittelt (Auswertung für $T \leq 1.000$ a). Auf Anforderung werden diese Daten von der TLUG bereitgestellt.
- Beim Erfordernis der Einbeziehung von Pegeln benachbarter Bundesländer ist die Extremwertstatistik bei den jeweils zuständigen Fachbehörden einzuholen und den Gutachten in nachvollziehbarer Form beizufügen.

2.2 Andere Verfahren zur Bestimmung von Hochwasserscheitelwerten HQ(T)

- Insbesondere zur Bestimmung von HQ-Werten mit $T \gg 100$ a sind mehrere Verfahren parallel anzuwenden, beispielsweise:
 - Extrapolation der Hochwasserstatistik (s. Kapitel 2.1),
 - Verfahren nach KLEEBERG/SCHUMANN [13, 14],
 - Schweizerisches Sicherheitskonzept [20],
 - nachfolgend genannte Regionalverfahren für HQ(T),
 - N-A-Modelle (s. Kapitel 3).
- Nach der Gegenüberstellung und Bewertung der HQ(T) der verschiedenen Verfahren sind vom Gutachter die plausibelsten Werte für die weitere Bearbeitung vorzuschlagen und deren Plausibilität zu begründen.

- Das Thüringenweit einheitliche Regionalverfahren „HQ-Regional“ stellt für ca. 10.000 unbeobachtete Querschnitte HQ(T)-Scheitelwerte bis $T = 1.000$ a bereit. Es handelt sich um quasinatürliche Abflüsse. Der Einfluss von künstlichen Speicher- und Steuerungseffekten ist nicht enthalten. Für Flussabschnitte, bei denen Speicher- und Steuerungseffekte zu beachten sind, kann HQ-Regional nicht verwendet werden. Die HQ(T)-Werte für die zur Gutachtenbearbeitung in Frage kommenden Querschnitte und weitere Hinweise zu den Anwendungsbereichen können [23] entnommen werden.
- Bezugs-HQ-Verfahren können für geeignete Anwendungsfälle aufgestellt werden, z. B. für ein größeres Gebiet mit einer repräsentativen Anzahl von Pegeln, für das an zahlreichen Querschnitten Bemessungskennwerte benötigt werden.
- Für die Bestimmung von HQ(T) bis $T = 100$ a kann durch Zuordnung zu einer geographischen Region ein einfaches Extrapolationsverfahren nach DYCK [12] (S. 296 - 298) eingesetzt werden. Es wurde für das Gebiet der ehemaligen DDR entwickelt. Anlage 2 zeigt das zugehörige Nomogramm und die Extrapolationsformel. Es kommt insbesondere für Bemessungsfälle in Frage, bei denen kein geeigneter Bezugspegel zur Verfügung steht.
- Für zahlreiche Flussläufe wurden durch den Gewässerkundlichen Landesdienst Thüringen HQ(T)-Längsschnitte für $T \leq 100$ a erarbeitet [23]. Hier sind Speicher- und Steuerungseffekte einberechnet. Die Längsschnitte sind auf den Internetseiten der TLUG veröffentlicht^(*) und verbindlich.

3 Untersuchungen mit Niederschlag-Abfluss-Modellen [1, 2, 4, 5, 8]

3.1 Grundsätze

- In Fällen, bei denen wegen fehlender Ausgangsdaten die unter Kapitel 2 genannten Methoden nicht angewendet werden können oder wenn Hochwasserganglinien benötigt werden, kommen aufwändigere Untersuchungen mit N-A-Modellen in Frage (z. B. für die Hochwasserbemessungsfälle HWBF 1 bis 3 für Speicherstandorte; s. Kapitel 4).
- Generell ist zu beachten, dass die Extrapolation von Niederschlägen über den 100-jährlichen Niederschlag hinaus (s. Kapitel 3.3) und ihre anschließende Transformation in Abflüsse (Abflussbeiwerte) mit Hilfe von N-A-Modellen zahlreiche, nur schwer abschätzbare Unsicherheiten aufweist. Es gibt derzeit keine Möglichkeit, die Vielzahl der Randbedingungen, die den Abflussbildungsprozess steuern, bei extremen Bedingungen physikalisch basiert abzubilden [8].

3.2 Hinweise zum Einsatz von N-A-Modellen

- Auswahl geeigneter Modellansätze mit Nachweis:
 - ihrer regionalen Anwendbarkeit,
 - der Anwendbarkeit für das zu modellierende Gebiet (Gebietsgröße/-charakteristik),
 - der Anwendbarkeit für das gewünschte Modellergebnis (z. B. Ganglinienbestimmung oder Berechnung großer T).
- Der Modellierungsaufwand ist in Abhängigkeit vom Gefährdungspotential des untersuchten Vorhabens zu betreiben (Kosten-Nutzen-Überlegung).

* http://www.thueringen.de/th8/tlug/umweltthemen/wasserwirtschaft/fluesse_baeche/gewaessleraengsschnitte/

[Link am 13.11.2014]

- Geeignete Modellansätze für die Abflussbildung können sein (Auswahl):
 - Ansatz nach LUTZ [18],
 - Bei Eignung: SCS-Verfahren [5, 8], vor allem für Oberflächenabfluss.
Die Anlage 3 enthält eine Zuordnung der Bodeneinheiten (bzw. Leitbodenformen) Thüringens in die Bodentypen-Klassifikation des SCS-Verfahrens.
- Geeignete Modellansätze für die Abflusskonzentration können sein (Auswahl):
 - Isochronen-Methode [8],
 - Lineare Doppelspeicherkaskade nach WACKERMANN (DVWK-Empfehlung [4, 5, 8]),
 - Standardeinheitganglinie nach VERWORN, HARMS [8],
 - Normierte Einheitganglinie bzw. lineare Speicherkaskade nach LUTZ [8, 18].
- Mögliche Vorgehensweise bei der Ermittlung von Bemessungsereignissen mit N-A-Modell:
 - Grundannahme: Ein Niederschlag mit einer Jährlichkeit T verursacht einen Abfluss der gleichen Jährlichkeit T.
 - Festlegung der T-jährlichen Niederschläge verschiedener Dauerstufen bis $T = 100$ a (z. B. Nutzung von KOSTRA und REWANUS, s. auch Kapitel 3.3),
 - Auswahl eines zeitlichen Niederschlagsverlaufs (z. B. mitten- oder endbetont bzw. DVWK-Empfehlung [5]; hiervon abweichende Niederschlagsverteilungen wie z. B. die Wahl eines Blockregens sind zu begründen),
 - Abflussbildung:
 - a) Ermittlung des Abflussbeiwertes in Abhängigkeit von der Jährlichkeit T (z. B. Koaxialdiagramm oder Regionalisierungsverfahren, s. o.),
 - b) Auswahl eines zeitlichen Verlaufs für die Niederschlagsverluste (z. B. Φ -Index, konstanter Prozentsatz mit/ohne Anfangsverlust, exponentieller Prozentsatz).
 - Abflusskonzentration: Berechnung des Direktabflusses mit Einheitganglinie aus Datenanalyse oder Regionalisierungsverfahren (s. o.),
 - maßgebende Niederschlagsdauer D bestimmen (s. Kapitel 3.3.4),
 - Wahl (Abschätzung) des Basisabflusses (z. B. im Bereich des $MQ_{\text{März}}$ für Winterereignisse und MQ_{August} für Sommerereignisse),
 - Ermittlung des Gesamtabflusses,
 - Festlegung der maßgebenden Abflussganglinie(n).
- Wenn möglich, Eichung des N-A-Modells an regional geeigneten Pegeln, um die Modelleingangsgrößen abzusichern.
- Wenn möglich, Prüfung der Annahme, dass ein T-jährlicher Niederschlag einen T-jährlichen Abfluss erzeugt (z. B. anhand einer Pegelstatistik).
- Regionalverfahren für Ganglinien/Typganglinien können neben der N-A-Modellierung vergleichend herangezogen werden.

Das hydrologische Modell J2000g (FSU JENA, TLUG) als raumbezogenes Informationssystem zur Wasserhaushaltsbilanzierung kann zur Bestimmung z. B. von mittleren Niederschlägen, potentieller und aktueller Verdunstung sowie der Abflussbildung verwendet werden. Die Modellergebnisse sind an der TLUG verfü- und abfragbar.

3.3 Ermittlung der Bemessungsniederschläge

3.3.1 Niederschläge bis zum Wiederkehrintervall $T = 100$ Jahre

- Als Datengrundlage können folgende regionalisiert vorliegenden Niederschlagsauswertungen des DWD genutzt werden:
 - Starkniederschlagshöhen für Deutschland (KOSTRA: Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen) [11],
 - Regionalisierte Extremwerte des Niederschlagsdargebots aus Regen und Schneeschmelze (REWANUS) [10].
- Für KOSTRA liegen Daten als Niederschlagshöhe hN in [mm] sowie als Niederschlagsspende rN in [l/(s·ha)] für die Wiederkehrintervalle $T = 0,5$ bis 100 a und Niederschlagsdauern von $D = 5$ min bis 72 h vor.
- Für REWANUS liegen die Daten als Summe des Niederschlagsdargebotes aus Regen und Schneeschmelze in analoger Form wie bei KOSTRA vor, jedoch für die Niederschlagsdauern von $D = 12$ bis 240 h.
- Bei Verwendung von KOSTRA-Daten ist zu beachten, dass die Auswertungen im KOSTRA-Atlas [11] auf dem Zeitraum 1951-2000 basieren. Sollten gebietsabhängig maßgebliche Starkregenereignisse nach dem Jahr 2000 aufgetreten sein, ist für dieses Gebiet eine aktualisierte Auswertung als gutachterliche Einzeluntersuchung für den Standort beim DWD einzuholen. Für 2015 ist seitens des DWD eine generelle Fortschreibung von KOSTRA auf einer Datenbasis bis 2010 in Aussicht gestellt.

3.3.2 Niederschläge mit einem Wiederkehrintervall $T \gg 100$ Jahre

- Sommerereignisse:

Die Niederschlagshöhen für Wiederkehrintervalle bis $T = 10.000$ a sind nach dem Verfahren PEN-LAWA 2010 [16] zu ermitteln. Die von der LAWa autorisierte Software liefert mit der Tabelle 2 (über Dauerstufen und Wiederkehrintervalle ausgeglichene Werte) für die Wiederkehrintervalle $T = 100 / 200 / 500 / 1.000 / 2.000 / 5.000 / 10.000$ a und Dauerstufen von $D = 0,25 \dots 72$ h Niederschlagshöhen hN [mm]. Damit wird das gesamte Spektrum von T und D für die nach DIN 19700 zu führenden Hochwassernachweise für Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken abgedeckt. Das Raster für die Niederschlagswerte ist identisch mit dem KOSTRA-Raster.

Problematisch ist zzt. noch die Nahtstelle $T = 100$ a zwischen KOSTRA-DWD 2000 und PEN-LAWA 2010. Die hN -Werte beider Ansätze weisen über den gesamten D -Bereich mehr oder weniger große Differenzen nach beiden Richtungen auf. Gegenwärtig wird an einer Aktualisierung von KOSTRA-DWD gearbeitet (s. o.). Für das zukünftige KOSTRA-DWD 2010 wird auch die zugehörige Software modernisiert. In der Folge müssen dann auch die PEN-Werte angepasst werden (keine Verringerungen, nur gleichbleibend oder Zunahmen).

Für die Zwischenzeit bis zu den jeweiligen Aktualisierungen von KOSTRA und PEN-LAWA wird Folgendes empfohlen:

- Für Objekte der Infrastruktur (z. B. Brücken, Deiche, Ufermauern) Verwendung der Werte aus KOSTRA-DWD 2000.
- Für den Nachweis des HWBF 3 von Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken sind ebenfalls die KOSTRA-Werte anzusetzen.
- Für Speicher der Talsperrenklasse 3 und 4 entsprechend [24] sollte der Nachweis des HWBF 1 und 2 mit den Werten von PEN-LAWA 2010 erfolgen. Dabei ist sicher zu stellen, dass der Wert $HQ(200)$ aus PEN-LAWA 2010 über dem Wert $HQ(100)$ nach

KOSTRA-DWD 2000 liegt. Andernfalls ist eine Angleichung / Anpassung auf den höheren Wert vorzunehmen.

- Für die Nachweise zu den HWBF 1 und 2 für Stauanlagen der Talsperrenklassen 1 und 2 sind ausschließlich die Werte von PEN-LAWA 2010 zu verwenden.

Nach Vorliegen der aktualisierten KOSTRA- und PEN-LAWA-Versionen sind diese in den Hydrologischen Gutachten anzuwenden.

- Winterereignisse:

Für das Niederschlagsdargebot im Winter aus Flüssigniederschlag und Schneeschmelze liegt für den Bereich $T = 0,5 \dots 100$ a und $D = 12 \dots 240$ h das REWANUS-System des DWD vor (s. o.). Das Raster ist identisch mit dem KOSTRA-Raster.

Die Extrapolation für $T = 200 \dots 10.000$ a erfolgt entsprechend einer Empfehlung des DWD durch lineare Verlängerung der Charakteristik $T = 2 \dots 100$ a im halblogarithmischen Koordinatensystem ($\log T$).

3.3.3 Flächenabhängige Abminderung der statistischen Regenwerte nach KOSTRA

Die KOSTRA-Tabellenwerte sind eigentlich Punktniederschläge. Sie können nur bis zu einer Fläche von ca. 25 km² auch als Gebietsniederschläge angesetzt werden. Für Flächen über 25 km² ergibt sich die Notwendigkeit einer Abminderung der Tabellenwerte. Mit dem Projekt FLAMINKO [25, 26] wurden Grundlagen für Abminderungsfaktoren für Niederschlagsgebiete bis 1.000 km² bereitgestellt. Ausgangswert ist jeweils der Mittelwert für das KOSTRA-Raster.

Die Umsetzung kann nach zwei Varianten erfolgen:

- Abhängigkeit nur von der Gebietsgröße

$$AMF = 1 - 0,04 \cdot \log A_E$$

AMF: Abminderungsfaktor

A_E : Einzugs (= Niederschlags-) gebietsgröße

Für die Obergrenze der Untersuchungen von 1.000 km² beträgt der AMF somit 0,88.

- Abhängigkeit zusätzlich von der Dauerstufe

Die Ermittlung des Abminderungsfaktors erfolgt grafisch aus einem Nomogramm (Anlage 2, nach Abb. 6.16 aus [25]). Das Nomogramm ermöglicht sowohl die vereinfachte Ermittlung (linker Teil) als auch die zusätzliche Berücksichtigung der Dauerstufe (linker und rechter Teil) einschließlich eines Ablesebeispiels. Die Einbeziehung von Dauerstufen wird empfohlen, wenn für die anstehende Aufgabe Aussagen über einen breiteren Bereich von Dauerstufen relevant sind. Innerhalb der Dauerstufe wird der abgelesene Abminderungsfaktor unabhängig vom Wiederkehrintervall für alle Werte angewandt, da die Unterschiede zwischen den Wiederkehrintervallen als nicht signifikant angesehen werden [25].

Die Anwendung des Verfahrens beschränkt sich auf den Geltungsbereich von KOSTRA, d.h. für Wiederkehrintervalle bis $T = 100$ a. Für Niederschläge im Extrapolationsbereich ($T > 100$ a) liegen keine Angaben vor. In Anbetracht des nicht signifikanten Einflusses des Wiederkehrintervalls auf den Abminderungsfaktor wird die Verwendung der o. g. Ansätze auch für $T > 100$ a als tragbar eingeschätzt.

3.3.4 Maßgebende Niederschlagsdauer

- Bei der Bearbeitung von Niederschlag-Abfluss-Modellen sind generell mehrere Niederschlagsdauern D zu untersuchen, da die Maxima der Abflussscheitelwerte und Abflussfüllen jeweils bei anderen Niederschlagsdauern auftreten können.

- Für hydrologische Gutachten zur Bemessung von Kreuzungsbauwerken (z. B. Brücken), Querbauwerken (z. B. Wehre), Hochwasserschutzanlagen (Deiche, Ufermauern), Ein- und Auslaufbauwerken ist diejenige Niederschlagsdauer maßgebend, die den maximalen Scheitelwert in der Abflussganglinie produziert.

Die Plausibilität der ermittelten maßgebenden Niederschlagsdauer sollte durch den Vergleich mit einer Fließzeitabschätzung im Hauptgewässer überprüft werden.

- Für Gutachten zum Nachweis der Hochwassersicherheit und Hochwasserschutzwirkung von Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken wird die Ermittlung der maßgebenden Niederschlagsdauer(n) im Kapitel 4 behandelt.

4 Hydrologische Gutachten für die Hochwassernachweise von Talsperren (TS) und Hochwasserrückhaltebecken (HRB)

- Bei der Bestimmung der notwendigen Bemessungszuflüsse sind die Festlegungen der DIN 19700 (2004) [3] und ThürTA-Stau (2005) [24] zu beachten.
- Nach DIN 19700 [3] sind für insgesamt drei Hochwasserbemessungsfälle (HWBF) die entsprechenden Nachweise zum Hochwasserregime zu führen:

Hochwassersicherheit:

- HWBF1 DIN 19700 Teil 10, Abschnitt 6.3.2,
- HWBF2 DIN 19700 Teil 11, Abschnitt 4.3.1.

Hochwasserschutz:

- HWBF3 DIN 19700 Teil 10, Abschnitt 6.3.3 und
DIN 19700 Teil 11, Abschnitt 4.3.2.

- Die anzusetzenden Bemessungshochwasserwerte in Form der jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeiten bzw. des Wiederkehrintervalls T für die HWBF 1 und 2 sind für die Talsperrenklassen 1 und 2 in DIN 19700 Teil 11, Abschnitt 4.3.1 genannt [3]. Für Hochwasserrückhaltebecken werden in der DIN 19700 Teil 12, Tabelle 1 drei Kategorien (große, mittlere/kleine und sehr kleine HRB) ausgewiesen [3].

In der für Thüringen zusätzlich zu beachtenden Vorschrift ThürTA-Stau [24] erfolgt eine weitergehende Differenzierung in die Klassen 1 bis 4 sowohl für Talsperren als auch für Hochwasserrückhaltebecken (s. [24] Abschnitte 1.1.4, 1.1.5 und 2.2.1).

- Wenn plausible Ergebnisse zu den Scheitelwertermittlungen HQ(T) aus den Verfahren nach Kapitel 2.1 und 2.2 vorliegen und wegen geringer Effekte bei der Wirkung des gewöhnlichen und außergewöhnlichen Hochwasserrückhaltereaumes auf eine Retentionsberechnung (Ganglinien) verzichtet werden kann, ist die zusätzliche Erstellung eines N-A-Modells nicht erforderlich.

In diesem Fall können die Nachweise für die HWBF 1 und 2 lediglich mit den Scheitelwerten geführt werden (Abgabescheitel = Zuflussscheitel) (s. [3] Teil 10, Abschnitt 5.3 vierter Absatz i. V. m. Teil 11, Abschnitt 4.3.1 erster Absatz). Ein Nachweis für den HWBF 3 entfällt (s. [3] Teil 10, Abschnitt 6.3.3 i. V. m. Teil 11, Abschnitt 4.3.2).

- Sind mit den Verfahren nach Kapitel 2.1 und 2.2 keine plausiblen Ergebnisse zu erzielen (z. B. beim Fehlen geeigneter Bezugspegel oder regionalisierter Ansätze), ist zusätzlich ein N-A-Modell für das Einzugsgebiet der Talsperre bzw. des Hochwasserrückhaltebeckens zu erstellen. Diese Notwendigkeit ist gleichermaßen gegeben, wenn Retentionsnachweise für die HWBF 1, 2 und/oder 3 erforderlich sind.

Durch Retentionsberechnungen mit unterschiedlichen Niederschlagsdauern ist diejenige Kombination von Hochwasserscheitel und Hochwasserfülle zu ermitteln, die im Speicher unter Berücksichtigung der für den jeweiligen HWBF zulässigen Abgaben den höchsten Beckenwasserstand ZH ergibt (für HWBF 1 und 2 s. [3] Teil 11, Tabelle 1; für HWBF 3 s. [3] Teil 10, Abschnitt 6.3.3 und Teil 11, Abschnitt 4.3.2). Beim HWBF 3 ist zusätzlich die Untersuchung mehrerer Wiederkehrintervalle notwendig.

- Zu beachten:

Gutachten, für die lediglich Scheitelwerte/Füllen in Auftrag gegeben wurden, können somit nur bedingt zu definierten Werten führen. Bei Notwendigkeit von Retentionsberechnungen zur Ermittlung der Hochwasserstauziele ZH können diese Gutachten (als erster Teil eines Gesamtgutachtens) nur mit einer Gruppe von Scheitelwerten und Füllen abschließen.

- Weitere Hinweise:

- Zur Abschätzung des Restrisikos sind HQ-Werte, erforderlichenfalls bis zur PMF (Probable Maximum Flood), zu ermitteln. Hierzu kann auch der maximierte Gebietsniederschlag (MGN) herangezogen werden [6].
- Bei Speicherberechnungen sollte die maßgebende Abflussganglinie nach verschiedenen Wellenformen modifiziert werden. Die mögliche Variabilität von Zufluss, Abfluss, Speichereinhalt sowie die Leistungsfähigkeit von Grundablässen, Betriebsauslässen und Überlauf sind zu berücksichtigen.
- Ein (Sicherheits-)Zuschlag auf Grund möglicher zukünftiger Klimaverschiebungen mit erhöhten Abflüssen soll in den hydrologischen Gutachten nicht berücksichtigt werden. Entsprechende Zuschläge erfolgen nach [24] erst bei der technischen Planung der vorgesehenen Maßnahmen (z. B. Zuschläge auf die Größe des Hochwasserrückhalteraumes bei Speicherbauwerken).

Quellenverweise

- [1] BfG [Hrsg.: BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE] (2002): Mathematisch-numerische Modelle in der Wasserwirtschaft - Handlungsempfehlungen für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten., Mitteilung der BfG Nr. 24, Koblenz
- [2] BMU [Hrsg.: BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT] (1997): Stand und Einsatz mathematisch-numerischer Modelle in der Wasserwirtschaft., Bonn
- [3] DIN [Hrsg.: DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e. V.] (2004): DIN 19700 Stauanlagen - Teile 10 bis 15., Berlin
- [4] DVWK [Hrsg.: DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e. V.] (1982): Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlag-Abfluss-Modellen in kleinen Einzugsgebieten - Teil I Analyse., DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, Heft 112/1982, Bonn
- [5] DVWK [Hrsg.: DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e. V.] (1984): Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlag-Abfluss-Modellen in kleinen Einzugsgebieten - Teil II Synthese., DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, Heft 113/1984, Bonn
- [6] DVWK [Hrsg.: DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e. V.] (1997): Maximierte Gebietsniederschlagshöhen für Deutschland., DVWK-Mitteilungen, Heft 29, Bonn
- [7] DVWK [Hrsg.: DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e. V.] (1999): Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen., DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 251/1999, Bonn
- [8] DVWK [Hrsg.: DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e. V.] (1999): Hochwasserabflüsse., DVWK-Schriften, Heft 124, Bonn
- [9] DWA [Hrsg.: DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT; ABWASSER UND ABFALL E.V.] (2012): Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten., Merkblatt DWA-M 552, Hennef
- [10] DWD [Hrsg.: DEUTSCHER WETTERDIENST] (2000): Regionalisierte Extremwerte des Niederschlagsdargebots aus Regen und Schneeschmelze für Deutschland - REWANUS-Atlas 2000 (Regionalisierung der Extremwerte der Wasserabgabe aus Niederschlag und Schneedecke)., DWD, Berlin
- [11] DWD [Hrsg.: DEUTSCHER WETTERDIENST] (2005): KOSTRA-DWD 2000 (Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen)., Software/Vertrieb: itwh, Hannover; darin enthalten:
BARTELS, H. u. a.: Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951-2000) - Grundlagenbericht und Fortschreibungsbericht., DWD, Offenbach am Main

- [12] DYCK, S. [Hrsg.] (1980, 2. Aufl.): Angewandte Hydrologie - Teil 1: Berechnung und Regelung des Durchflusses der Flüsse., VEB Verlag für Bauwesen, Berlin
- [13] KLEEBERG, H.-B. & A. H. SCHUMANN (2001): Ableitung von Bemessungsabflüssen kleiner Überschreitungswahrscheinlichkeiten., Die Wasserwirtschaft, 91 (2), 90 - 95, Stuttgart
- [14] KLEEBERG, H.-B. & A. H. SCHUMANN (2001): Zur Ableitung von Hochwasserabflüssen geringer Überschreitungswahrscheinlichkeiten - Berichtigung., Die Wasserwirtschaft 91 (12), 608, Stuttgart
- [15] LAWÄ [Hrsg.: LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER] (1997): Pegelvorschrift. Berlin, Bonn; zukünftig: Handbuch der Länder und des Bundes, Entwurf vom Mai 2013
- [16] LAWÄ [Hrsg.: LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER] (2010): PEN-LAWÄ 2010 - Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags in Deutschland., Software/Vertrieb: itwh, Hannover; darin enthalten:
VERWORN, H.-R. & U. KUMMER (2003/2006): Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags (PEN);
VERWORN, H.-R. & DRASCHOFF, R. (2010): PEN-Erweiterung - Untersuchungen und Datenanalysen für ein Verfahren zur Ermittlung von extremen Starkniederschlagshöhen kurzer Dauerstufen auf der Grundlage von KOSTRA-DWD 2000 und PEN-LAWÄ 2005
- [17] LUBW [Hrsg.: LANDESANSTALT FÜR UMWELT; MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG] (2007/2008): Arbeitshilfe zur DIN 19700 für Hochwasserrückhaltebecken., Reihe Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie, 106, Karlsruhe
- [18] LUTZ, W. (1984): Berechnung von Hochwasserabflüssen unter Anwendung von Gebietskenngrößen., Dissertation, Mitteilungen Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft Heft 24, Universität Karlsruhe
- [19] MUNLV [Hrsg.: MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ; LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN UND LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN] (2004): Ermittlung von Bemessungsabflüssen nach DIN 19700 in Nordrhein-Westfalen., Merkblätter, Band 46, Düsseldorf
- [20] MUTH, W. u. a. (1996, 2. Aufl.): Hochwasserrückhaltebecken - Planung, Bau und Betrieb; darin enthalten:
BIEDERMANN, R.: Sicherheit von Hochwasserrückhaltebecken - schweizerisches Sicherheitskonzept., Kontakt & Studium Bd. 341, expert-Verlag, Renningen-Malmsheim
- [21] STALMANN, V. u. a. (2004): Das Niederschlagsregelwerk für die Deutsche Wasserwirtschaft., Die Wasserwirtschaft, 94 (10), 8-27, Stuttgart
- [22] TLU [Hrsg.: THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR GEOLOGIE] (2000): Die Leitbodenformen Thüringens., Geowissenschaftliche Mitteilungen von Thüringen, Beiheft 3, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Weimar

- [23] TLUG [Hrsg.: THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE] (2014): Hochwasserabflüsse in Thüringen., Schriftenreihe der TLUG, Nr. 128, Jena
- [24] TMLNU [Hrsg.: THÜRINGER MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, NATURSCHUTZ UND UMWELT] (2005): Thüringer Technische Anleitung Stauanlagen Thür-TA-Stau: 2005-06 (berichtigte und ergänzte Fassung 2007-05, zzt. in Überarbeitung)., Erfurt
- [25] VERWORN, H.-R. & SCHMIDTKE, S. (2006): FLAMINKO - Flächenabhängige Abminderung der statistischen Regenwerte nach KOSTRA - Abschlussbericht., Inst. f. Wasserwirt., Hydrol. u. landwirt. Wasserbau der Leibnitz-Univ. Hannover
- [26] VERWORN, H.-R. (2008): Flächenabhängige Abminderung statistischer Regenwerte., Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2008 (1), 9, 493-498, Hennef

Hochwasserstatistik auf der Grundlage von Messreihen

1 Aufbereitung und Prüfung der Datenkollektive [7, 9, 12,15]:

- Aufstellung von jährlichen Serien HQ(a) aus den Jahreshöchstwerten einer Datenreihe oder partiellen Serien HQ(p) (Schwellenwertstatistik; vor allem, wenn es um die Ermittlung kleinerer HQ(T) geht),
- Literaturrecherchen (Jahrbücher, Hochwasserauswertungen, Hochwassermarken),
- Prüfung der aufgestellten Serien auf:
 - a) Konsistenz: keine Messfehler, Stationsverlegung, Ausreißer,
 - b) Homogenität: keine Naturkatastrophen, allmähliche Veränderungen (Trend), anthropogene Eingriffe (z. B. Talsperren),
 - c) Repräsentanz: *räumlich* (genügend, gut verteilte Stationen bzw. Übertragung zwischen Messstation und Begutachtungsquerschnitt möglich?),
zeitlich (Messreihe lang genug?, Einbeziehung historischer Hochwasser gemäß [7, 9] prüfen),
 - d) Unabhängigkeit der einzelnen Daten voneinander (v. a. bei mehrgipfeligen Hochwasserwellen, die über den hydrologischen Jahreswechsel hinaus andauern sowie bei Schwellenwertstatistik),
- ggf. Datenergänzung und Lückenfüllung (z. B. durch Regression mit geeigneten Nachbarpegeln oder Verwendung eines angeeichten N-A-Modells), Ausreißerentfernung nicht allein aus statistischen Gründen (nur bei begründeten Fehlwerten),
- Möglichkeiten zur Informationserweiterung (zeitlich, kausal, räumlich) werden ausführlich in [9], S. 26 - 48 beschrieben. Ihre Umsetzung obliegt aber i. d. R. den Fachbehörden.

2 Anpassung von analytischen Verteilungsfunktionen (VF) an aufbereitete Datenkollektive [7, 9]:

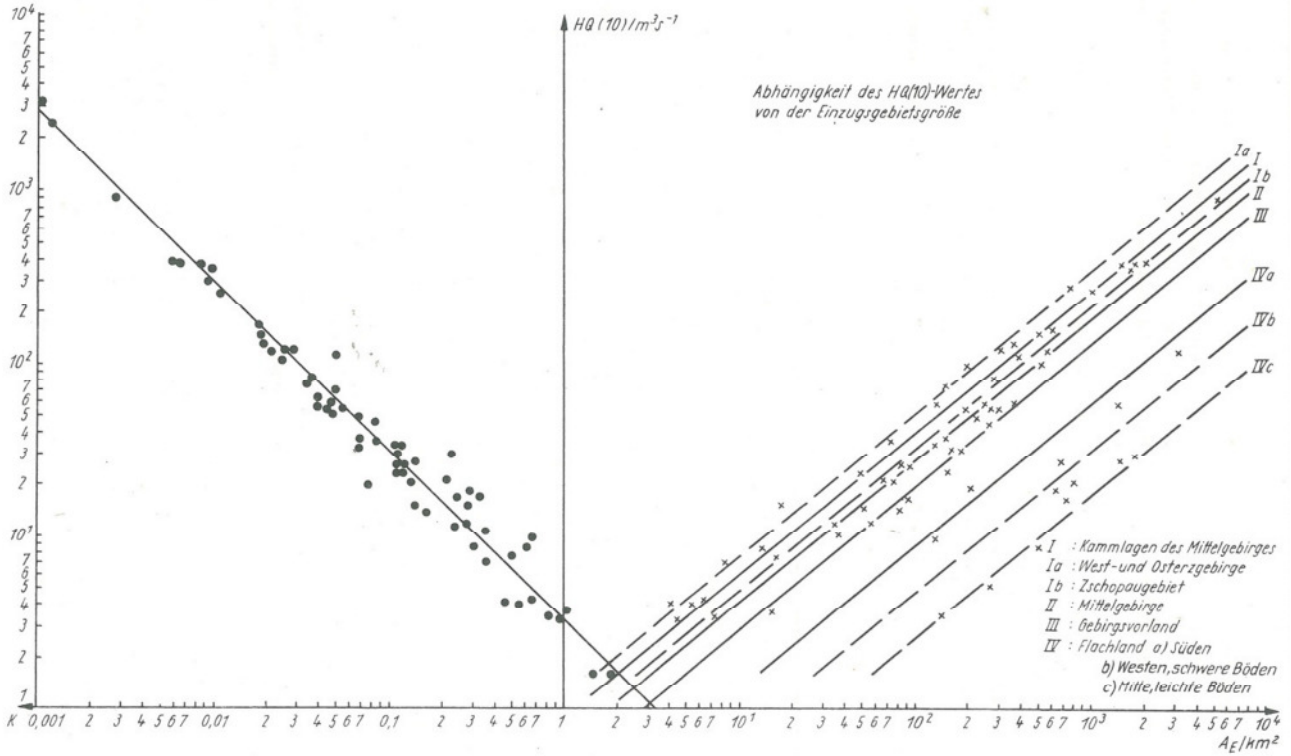
- Eintragung der Daten in ein Wahrscheinlichkeitsnetz (mehrere empirische VF = „plotting position“ möglich),
- Anpassung mehrerer analytischer VF in Kombination mit mehreren Parameterschätzmethoden (SM) gemäß [7, 9],
- Bewertung der Anpassungen über Gütekriterien (insbesondere $n\omega^2$ -Anpassungstest und/oder Quantilkorrelation r_p) [7] und eine visuelle Einschätzung (v. a. für den Bereich größerer T) bzw. auf Basis von Informationserweiterungen [9],
- Auswahl der geeignetsten Kombination VF/SM und Ableitung der gesuchten HQ(T),

3 Beispiele geeigneter Softwarelösungen für Datenaufbereitung und Hochwasserstatistik:

- HQ-Ex (Firma WASY, Dresden):
 - Programm zur Umsetzung von [7],
 - Trendanalyse,
 - Anpassung von sieben VF in Kombination mit drei SM,
 - Bewertung der Anpassung über drei Prüfgrößen.
- Programm „Extrem“, Softwarepaket „Hochwasseranalyse“ (INSTITUT FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURTECHNIK, UNIVERSITÄT KARLSRUHE):
 - Anpassung von 16 VF in Kombination mit zwei SM,
 - Bewertung der Anpassung über zwei Prüfgrößen.
- Programm „Linreg“, Softwarepaket „Hochwasseranalyse“ (INSTITUT FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURTECHNIK, UNIVERSITÄT KARLSRUHE):
 - Berechnung von linearen/linearisierten Regressionen und Trends.
- Programm IsHoT/IsHoW (INSTITUT FÜR ANGEWANDTE WASSERWIRTSCHAFT, München):
 - Homogenitätsanalyse, Trendanalyse, Sprunganalyse,
 - Anpassung von 23 VF in Kombination mit drei SM,
 - Bewertung der Anpassung über drei Prüfgrößen.

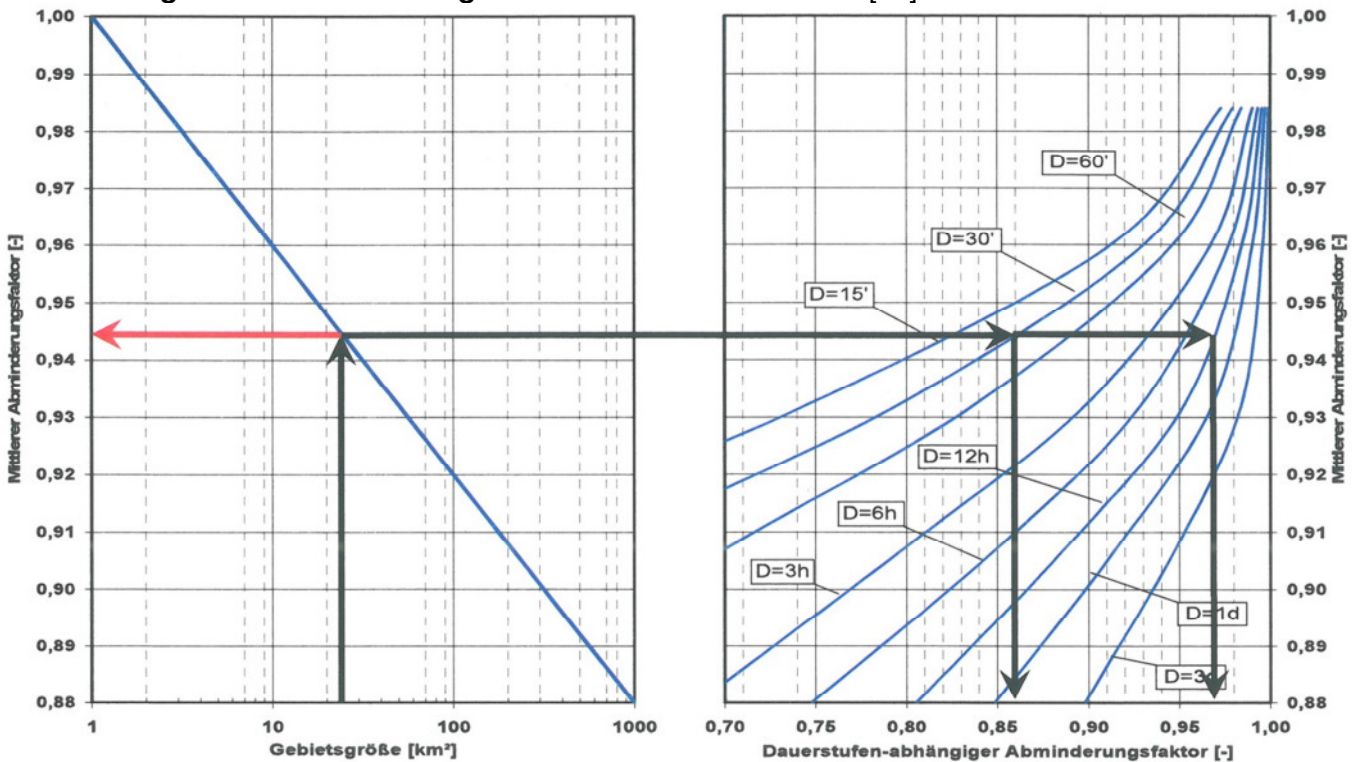
Hilfsdiagramme für das einfache Extrapolationsverfahren und FLAMINKO

1. Diagramm zur Umsetzung des einfachen Extrapolationsverfahrens nach DYCK [12]:



Ableitung des HQ(10) im Nomogramm und Bestimmung der HQ(T) \leftrightarrow HQ(10) über $HQ(T) = HQ(10) + [\ln(0,1 \cdot T)] / k$

2. Diagramm zur Umsetzung des FLAMINKO-Verfahrens [25]:



Zuordnung der Bodeneinheiten Thüringens in die SCS-Bodentypen-Klassifikation

- Im SCS-Verfahren (in: DVWK-Regeln 113/1984, [5]) werden ausgehend von den Bodenarten folgende vier Bodentypen hinsichtlich ihres Versickerungsvermögens bzw. der Abflussbereitschaft unterschieden:
 - Bodentyp A: Böden mit großem Versickerungsvermögen, auch nach starker Vorbefeuchtung; z. B. tiefe Sand- und Kiesböden.
 - Bodentyp B: Böden mit mittlerem Versickerungsvermögen, tiefe bis mäßig tiefe Böden mit mäßig feiner bis mäßig grober Textur; z. B. mitteltiefe Sandböden, Löss, (schwach) lehmiger Sand.
 - Bodentyp C: Böden mit geringem Versickerungsvermögen, Böden mit feiner bis mäßig feiner Textur oder mit wasserstauer Schicht; z. B. flache Sandböden, sandiger Lehm.
 - Bodentyp D: Böden mit sehr geringem Versickerungsvermögen, Tonböden, sehr flache Böden über nahezu undurchlässigem Material, Böden mit dauernd sehr hohem Grundwasserspiegel.

- Zuordnung der Thüringer Bodeneinheiten/Leitbodenformen (Grundlage: Bodengeologische Übersichtskarte im Maßstab 1: 100.000, [22]^(*)) in die Bodentypen-Klassifikation des SCS-Verfahrens:

Bodeneinheit/Leitbodenform		Bodentyp nach SCS
Symbol	Bezeichnung	
lg1	Lehm, steinig, grusig (Schieferschutt)	B
lg2	Sandiger Lehm, steinig (Schiefer-Quarzit-Schutt)	B
lg3	Lehm, steinig, grusig (Schiefer-Diabas-Schutt)	B
lg4	Skelettboden, lehmig (Schieferschutt der Steilhänge)	B
g1	Sandiger Lehm, grusig, steinig (saure kristalline Gesteine)	B
g2	Skelettboden, lehmig, grusig (saure kristalline Gesteine)	B
m	Sandiger Lehm, steinig (basische Eruptiva)	B
p1	Sandiger Lehm, steinig, grusig (saure Eruptiva)	B
r2	Skelettboden, lehmig, sandig (Rotliegendensedimente)	B
k1	Lehm - Schwarzerde (vorwiegend Sedimente des Unteren Keupers)	B
k3	Lehm, steinig (Zechsteinsedimente)	B
k3g	Lehm, stark steinig (Zechsteinsedimente)	B
k4	Lehm, tonig, steinig (Sedimente des Mittleren Muschelkalkes)	B
k5	Lehm, stark steinig (Sedimente des Unteren Muschelkalkes)	B
s1	Sandiger Lehm (vorw. Sedimente des Unteren Buntsandsteins)	B
s2	Lehmiger Sand (vorw. Sedimente des Mittleren Buntsandsteins)	B
s4	Sandiger Lehm bis Lehm (sandige Sedimente des Keupers)	B
b1	Lehm, steinig, grusig (Basalt)	B
b2	Skelettboden, lehmig, grusig, blockhaltig (Basalt)	B
ds1	Lehm - Schwarzerde (über Sand oder Kies)	B
ds2	Sandig-lehmiger Kies	B
ds31	Sandiger Lehm - Braunerde (über Kies)	B
ds4	Sandig-lehmiger Kies (Tertiär)	B
...		
Bodeneinheit/Leitbodenform		Bodentyp nach SCS
Symbol	Bezeichnung	

* Die Bodengeologische Übersichtskarte Thüringens liegt digital im Maßstab 1:100 000 vor.

Die Leitbodenformen stellen eine Aufzählung von Bodentypen und Bodenarten dar, die innerhalb der Flächeneinheiten auftreten können. Flächengenaue Ableitungen für das Versickerungsvermögen (bodenkundlich ist darunter die Wasserleitfähigkeit von wassergesättigten Böden - der kf- Wert - zu verstehen) sind nur mit Hilfe örtlich zutreffender Bodendaten möglich. Das gilt insbesondere für nicht land- oder forstwirtschaftlich genutzte Flächen, bei denen die anthropogene Nutzung über den Versiegelungsgrad die Wasserleitfähigkeit der Böden stark beeinflusst. Hier kann methodisch über die Biotop- und Nutzungstypen eine Aussage getroffen werden. Eine geteilte Zuordnung der Leitbodenformen zu den Bodentypen A bis D, auch in Bezug auf die Polygone der Bodengeologischen Übersichtskarte, ist deshalb nicht empfehlenswert.

dm1	Lehm - Schwarzerde (Geschiebemergel)	B
dloe1	Sandlöss	B
loe1	Löss - Schwarzerde	B
loe2	Löss - Schlämm-schwarzerde	B
loe3	Löss - Schlämm-schwarzerde (über Muschelkalk, tonig)	B
loe4	Löss - Fahlerde	B
loe4k	Löss - Fahlerde (- Staugley) (vorwiegend über Muschelkalk)	B
loe5	Löss - Staugley	B
loe6	Löss, sandig - Braunerde/ - Parabraunerde	B
loe6s	Löss, sandig - Braunerde/ - Parabraunerde (über Buntsandstein)	B
loe7	Löss - Feuchtschwarzerde (über Sand, Kies)	B
loe8	Löss-Griserde und Löss-Parabraunerde	B
loe	Handlehm, lössartig	B
lg5	Lehm, tonig-Staugley (Schieferzersatz)	C
g3	Lehm, steinig, tonig - Staugley (Zersatz saurer kristalliner Gesteine)	C
p2	Skelettboden bis steiniger, sandiger Lehm (saure Eruptiva)	C
r1	Sandiger Lehm, steinig (Rotliegendensedimente)	C
r3	Lehm, steinig, tonig - Staugley (zersetzte Rotliegendensedimente)	C
k2	Lehm, steinig (vorwiegend Sedimente des Unteren Keupers)	C
s3	Sand, lehmig - Staugley (Sedimente des Unt. u. Mittl. Buntsandst.)	C
ds32	Kiesiger Lehm - Staugley (über Altpleistozän)	C
ds5	Lehm - Feuchtschwarzerde (über Sand, Kies, Mergel)	C
ds6	Lehm, tonig - Feuchtschwarzerde (über Sand, Kies, Mergel)	C
dm2	Sandiger Lehm, kiesig (Geschiebemergel)	C
dm3	Lehm - Staugley (Geschiebelehm)	C
dloe2	Sandlöss-Staugley	C
loe1h	Löss - Feuchtschwarzerde (Kolluvium)	C
loe9	Löss-Braunstaugley	C
lgloe	Lehm, lössartig - Staugley (Braunerde) (über Schiefergestein)	C
h2l	Lehm - Vega (Auelehm über Sand, Kies)	C
h2s	Sandiger Lehm - Vega (Auelehm über Sand, Kies)	C
h2t	Lehm, tonig - Vega (Auelehm über Sand, Kies)	C
h3l	Lehm - Vega (Nebentäler)	C
h3s	Sand bis sandiger Lehm - Vega (Nebentäler)	C
h3t	Lehm, tonig - Vega (Nebentäler)	C
h4	Lehm, tonig - Anmoorgley (Schieferzersatz)	C
hk	Kalktuff - Rendzina	C
Kp	Lehmige bis tonige Kippsubstrate	C
t1	Ton - Schwarzerde (vorwiegend Sedimente des Mittleren Keupers)	D
t1h	Ton - Feuchtschwarzerde (vorw. Sedimente des Mittl. Keupers)	D
t2	Ton, lehmiger Ton (vorwiegend Sedimente des Mittleren Keupers)	D
t3	Ton, lehmiger Ton (Sedimente des Oberen Buntsandsteins)	D
t3g	Ton, lehmiger Ton, steinig (Sedimente des Oberen Buntsandsteins)	D
t4	Ton, lehmiger Ton (tonige Sedimente des höheren Zechsteins)	D
tk	Ton, lehmig, steinig (Sedimente des Oberen Muschelkalkes)	D
tkg	Ton, lehmig, stark steinig (Sedimente des Oberen Muschelkalkes)	D
b3	Lehm, tonig, steinig - Staugley (Basaltzersatz)	D
h1a	Lehm, tonig - Schwarzgley (über Mergel, Ton, Torf, mäßig vernässt)	D
h1g	Lehm, tonig - Schwarzgley (über Mergel, Ton, Torf, stark vernässt)	D
h1t	Ton, lehmig - Schwarzgley/ - Staugley (über Oberem Muschelkalk)	D
h4s	Sand, lehmig - Anmoorgley (Zersatz Unt. u. Mittl. Buntsandstein)	D
h4t	Ton, lehmig - Anmoorgley (Zersatz toniger Triassedimente)	D
hm1	Torf - Moorgley (über Ton, Schluff, Mergel)	D
hm2	Torf - Gleyanmoor (über Buntsandstein- bzw. Schieferzersatz)	D
hm3	Torf - Gleyanmoor (über Schutt bzw. Zersatz paläozoischer Gesteine)	D