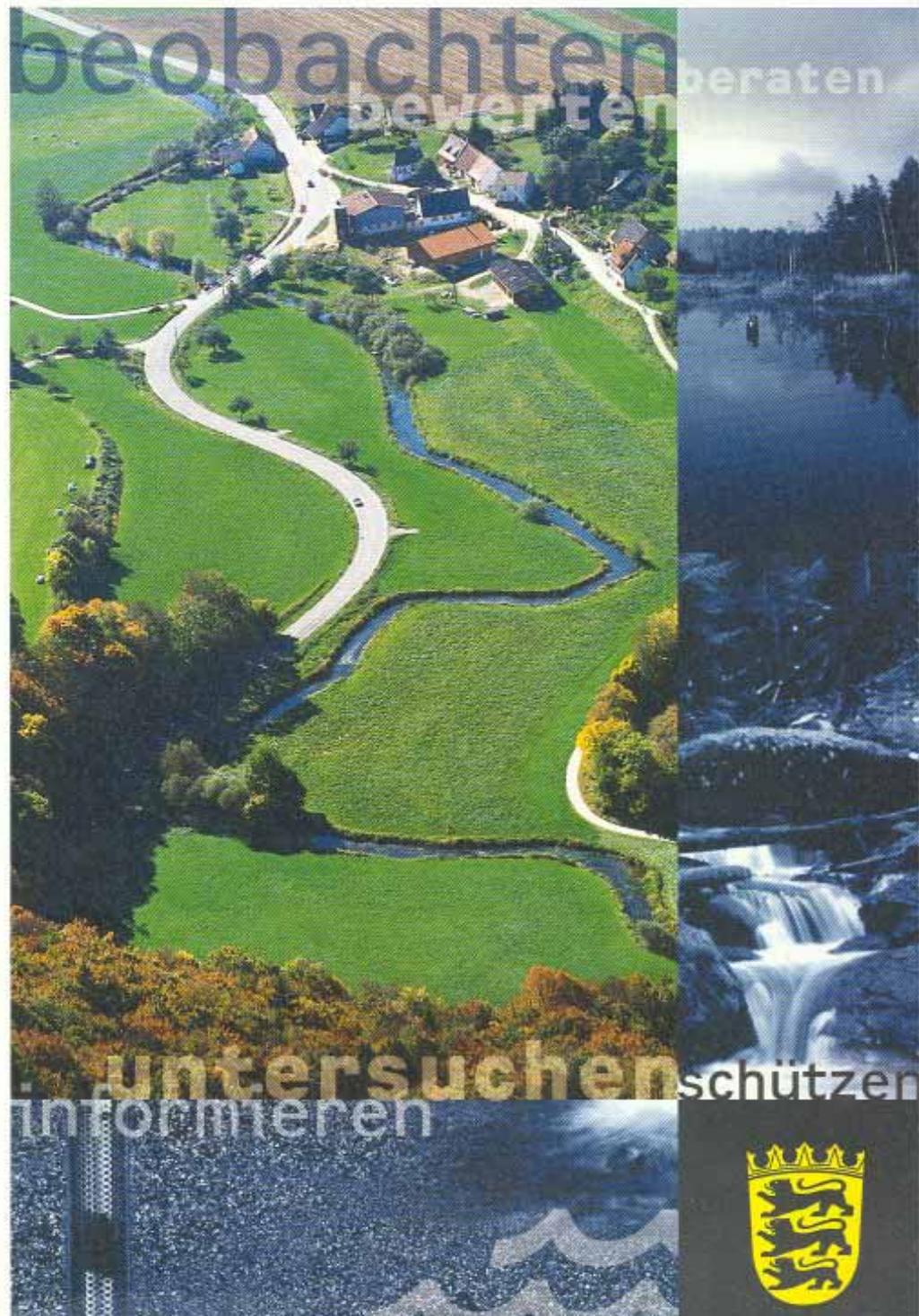
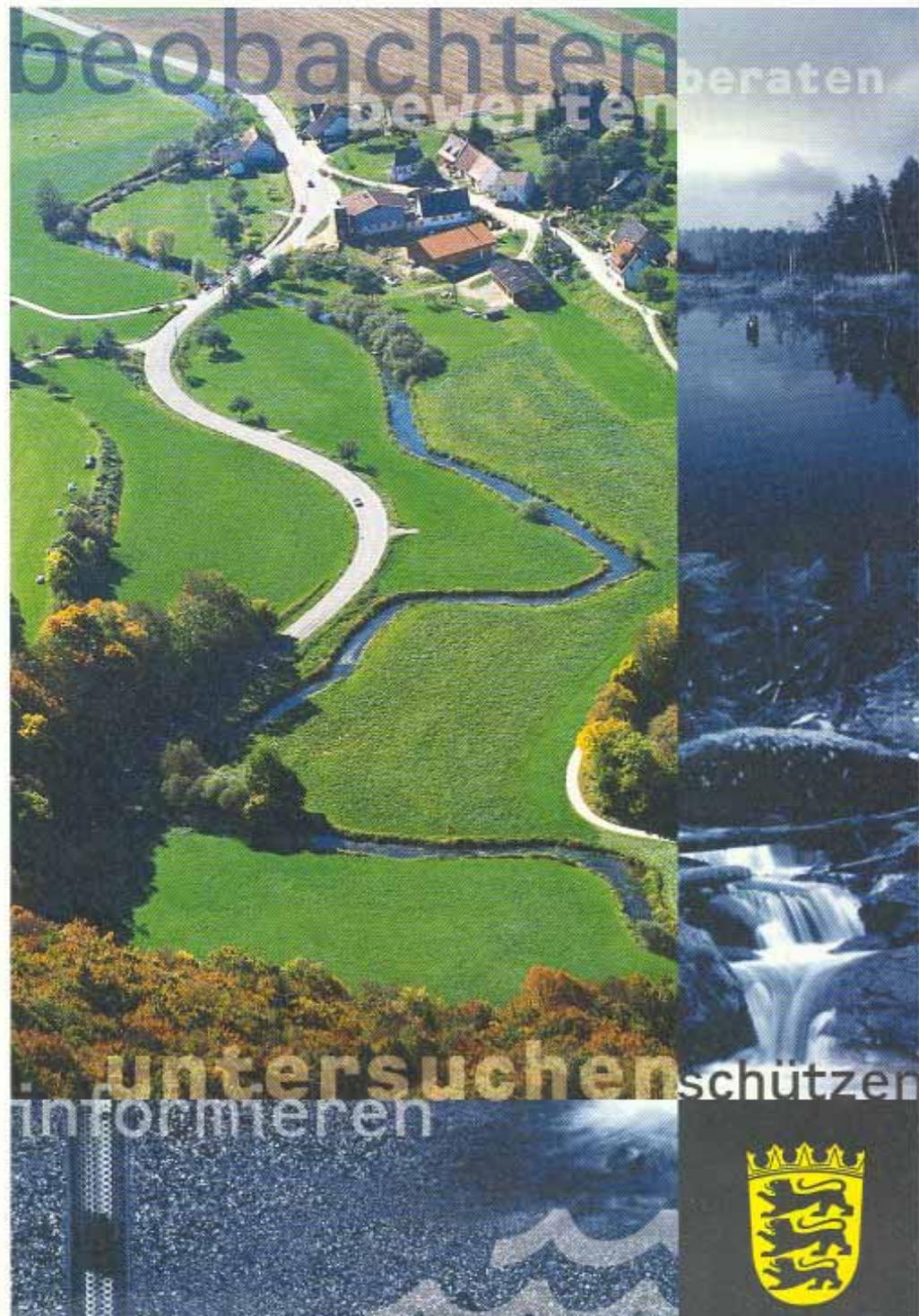


Hydraulik naturnaher Fließgewässer

Teil 3 - Rauheits- und Widerstandsbeiwerte
für Fließgewässer in Baden-Württemberg



Hydraulik naturnaher Fließgewässer

Teil 3 - Rauheits- und Widerstandsbeiwerte für Fließgewässer in Baden-Württemberg



Herausgegeben von der
Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
1. Auflage

Karlsruhe 2003

IMPRESSUM

Herausgeber	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 76157 Karlsruhe · Postfach 21 07 52, http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de
ISSN	1436-7882 (Bd.78, 2003)
Bearbeitung	Universität Karlsruhe (TH), Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik
Redaktion	Landesanstalt für Umweltschutz Referat 41
Umschlaglayout	Stefan May ♦ Grafik-Design, 76227 Karlsruhe
Titelbild	Jutta Ruloff ♦ Dipl. Designerin, 76275 Ettlingen
Druck	Kraft Druck und Verlag GmbH, 76275 Ettlingen
Umwelthinweis	gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier
Bezug über	Verlagsauslieferung der LfU bei JVA Mannheim - Druckerei, Herzogenriedstr. 111, 68169 Mannheim Telefax 0621/398-370
Preis	11 €

Nachdruck - auch auszugsweise - nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung

1 Hinweise zum Leitfaden	6
2 Fließgesetze und Beiwerte	10
3 Strickler-Beiwert k_{st}	11
3.1 Empirische Fließgesetze und Strickler-Beiwert	11
3.2 Strickler-Beiwerte aus der Literatur	12
4 Widerstandsbeiwert und Äquivalente Sandrauheit	15
4.1 Widerstandsbeiwert λ	15
4.2 Äquivalente Sandrauheit k_s	16
4.2.1 k_s – Bestimmung aus Kornverteilungskurven	16
4.2.2 Äquivalente Sandrauheiten k_s aus der Literatur	17
4.2.3 Umrechnung von k_{st} - und k_s -Werten	18
5 Dokumentation der Widerstands- und Rauheitsbeiwerte	19
5.1 Dokumentation von Strickler-Beiwerten k_{st}	19
5.2 Beschreibungen ausgewählter Gewässerstrecken mit dem k_{st} -Beiwert	21
5.3 Dokumentation von Strickler-Beiwerten k_{st} und äquivalenten Sandrauheiten k_s	44
5.4 Pilotstrecke Murr bei Steinheim	46
5.5 Pilotstrecke Enz in Pforzheim	79
6 Literaturverzeichnis	104

Hydraulik naturnaher Fließgewässer

Teil 1: Grundlagen und empirische hydraulische Berechnungsverfahren

- Hydraulische Grundlagen; allgemeines Fließgesetz
- Ansatz zur Abflussberechnung nach Gauckler-Manning-Strickler; Definition des Rauheitsbeiwertes k_{st}
- Literaturangaben für den Rauheitsbeiwert k_{st} (tabellarischer Vergleich)
- Erfassen und Bewerten von Bewuchs, Geschwemmsellinien, Hochwassermarken und Gerinnegeometrien für eine empirische hydraulische Berechnung
- Vorgehensweise bei der Berechnung; Erfassen der hydraulischen Situation; richtiges Anwenden der Verfahren
- Beispiele

Teil 2: Neue Berechnungsverfahren für naturnahe Gewässerstrukturen

- Theoretische Grundlagen; Gültigkeitsbereich der analytischen Ansätze
- Praktisches Vorgehen; Berechnungsverfahren naturnaher Fließgewässer unter Berücksichtigung von Grobstrukturen

Teil 3: Rauheits- und Widerstandsbeiwerte für Fließgewässer in Baden-Württemberg

- Bedeutung der Beiwerte für eine hydraulische Berechnung
- Dokumentation und Vergleich verschiedener Rauheits- und Widerstandsbeiwerte für ausgewählte Gewässerteilstrecken in Baden-Württemberg
- Katalogisierter Aufbau mit Fortschreibungs- und Übertragungsmöglichkeit auf DV-Systeme

Teil 4: Numerische Modelle zur Strömungssimulation

- Erläuterung der numerischen Verfahren (1-D bis 3-D), deren Grundlagen und Anwendungsbereiche sowie Anwendungsgrenzen
- Erfahrungssammlung aus Ingenieurbüros und Universitäten des Landes
- Testdatensatz für kommerzielle numerische Programme
- Sonderfall: vereinfachtes Excel-Modul „Pegelhydraulik“

Zusammenfassung

Der vorliegende Leitfadenteil „Hydraulik naturnaher Fließgewässer, Teil 3 – „Rauheits- und Widerstandsbeiwerte für Fließgewässer in Baden-Württemberg“ ist Bestandteil der Schriftenreihe „Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie“. In dieser Schriftenreihe werden Arbeitshilfen zur naturnahen Gewässerentwicklung und –unterhaltung sowie zum naturnahen Wasserbau herausgegeben.

Mit dem vorliegenden Leitfaden, der sich gleichermaßen an Behörden, Planer und Lehrinstitutionen richtet, sollen dem Anwender neue Methoden zur hydraulischen Berechnung naturnaher Fließgewässer vermittelt werden.

Die einzelnen Teile des Leitfadens (siehe Übersicht) bauen thematisch aufeinander auf, sind jedoch in sich abgeschlossen. In jedem Teil wird ein Themenbereich der „Hydraulik naturnaher Fließgewässer“ für sich verständlich dargestellt. Weitere Themen wie z.B. die „Morphodynamik der Fließgewässer“ können bei Bedarf, bei weiterentwickelten praktikablen Berechnungsverfahren und neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen aufgenommen werden.

Der vorliegende Teil 3 dient insbesondere als Ergänzung des ersten Teils.

In katalogisierter Form wird eine Dokumentation von Rauheits- und Widerstandsbeiwerten für ausgewählte naturnahe Gewässerabschnitte in Baden-Württemberg aufgezeigt. Neu hierbei ist, dass neben den empirischen Rauheits-Beiwerten auch die Widerstandsbeiwerte für Bewuchs- und Sohlstrukturen angegeben werden.

Damit wird es dem Anwender ermöglicht, einerseits ein Gefühl für die empirischen Rauheitsbeiwerte zu entwickeln und andererseits direkt einen Einstieg in die etwas komplizierten theoretisch begründeten Berechnungsverfahren, wie sie im Teil 2 beschrieben werden, zu bekommen.

Der Leitfaden ermöglicht somit dem Anwender, die für seine Aufgabenstellung optimale hydraulische Berechnungsart zu wählen und die Bestimmung der Beiwerte an Hand von Beispielen aus den Pilotstrecken des Landes Baden-Württemberg durchzuführen.

1 Hinweise zum Leitfaden

Die Wiederherstellung und Erhaltung einer intakten Umwelt stellt eine wichtige Aufgabe der Wasserwirtschaft dar. Eine Voraussetzung hierfür sind Gewässer, die möglichst viele natürliche Elemente enthalten, über eine gute Wasserqualität verfügen und somit als Lebensraum für eine artenreiche Flora und Fauna dienen.

Deshalb sind in den verschiedensten Bereichen des Wasserbaus, im Flussbau, bei der Sicherstellung der Vorflut urbaner und landwirtschaftlich genutzter Gebiete, bei Maßnahmen des Hochwasserschutzes und der Wildbachverbauung sowie beim Energie- und Verkehrswasserbau Gewässer naturnah zu erhalten oder herzustellen [4].

Mit dem vorliegenden Leitfaden sollen dem Anwender verschiedene Methoden zur hydraulischen Berechnung naturnaher Fließgewässer erläutert werden.

Der Leitfaden besteht derzeit aus vier Teilen, die schwerpunktmäßig jeweils ein bestimmtes Themengebiet bearbeiten. Die Gliederung der auf-

einander aufbauenden Teile ist der Abbildung „Hydraulik naturnaher Fließgewässer“ (Seite 4) zu entnehmen. Weitere Themen wie z.B. die „Morphodynamik der Fließgewässer“ können zukünftig aufgenommen werden.

„Schon bisher war die hydraulische Bemessung der Abflussquerschnitte von Fließgewässern schwierig und mit vagen Annahmen verbunden. [...] Keine großen Schwierigkeiten im Umgang mit Zahlen, hydraulischen Tafeln und Tabellen hat nur der Anfänger. Wer dagegen Gelegenheit hatte zu beobachten, wie sich ausgebaute Gewässer im Laufe von Jahrzehnten mannigfaltig verändern und damit ursprüngliche Berechnungsrundlagen hinfällig werden, der wird die Berechnung wohl nicht ganz in Frage stellen, ihre Bedeutung aber entsprechend gewichten. Wie in der Natur eine Normung unmöglich ist, so entzieht sich auch ein Fließgewässer aufgrund seiner natürlichen und im Voraus nicht bestimm- baren Eigendynamik allen Berechnungsregeln.“
Zitat von G. SCHADE, entnommen aus [14].



Abb. 1.1: Natürlicher Gewässerverlauf eines Baches mit Uferbewuchs

Um einen inhaltlichen Überblick zu geben, wird nachfolgend jeder Teil des Leitfadens kurz beschrieben.

Hydraulik naturnaher Fließgewässer – Teil 1 „Grundlagen und empirische hydraulische Berechnungsverfahren“

Teil 1 beschäftigt sich mit den Grundlagen und den empirischen hydraulischen Berechnungsverfahren. Ziel dieses Leitfadens ist es, dem Anwender einen Einblick in die hydraulischen Gesetzmäßigkeiten von Fließvorgängen zu geben. Dabei wird schwerpunktmäßig auf einfache und anwenderfreundliche Formeln und Verfahren eingegangen, um dem Leser die Grundlagen der angewandten Fließgewässerhydraulik verständlich zu machen.

Hydraulik naturnaher Fließgewässer – Teil 2 „Neue Berechnungsverfahren für naturnahe Gewässerstrukturen“

Im **Teil 2** wird auf Grundlage von eindimensionalen Berechnungsverfahren in übersichtlicher Form für jede Grobstrukturen jeweils ein geeignetes Berechnungsverfahren vorgestellt.

Dieser Teil des Leitfadens ermöglicht es dem Anwender, das Widerstandsverhalten lokaler naturnaher Fließgewässerstrukturen abzuschätzen. Erstmals sind die Berechnungsverfahren mit Ablaufdiagrammen und praktischen Beispielen erläutert.

Hydraulik naturnaher Fließgewässer – Teil 3 „Rauheits- und Widerstandsbeiwerte für Fließgewässer in Baden-Württemberg“

Der vorliegende **Teil 3** des Leitfadens dient als Ergänzung von Teil 1.

In katalogisierter und übersichtlicher Form wird eine Dokumentation von Rauheits- und Wider-

standsbeiwerten für ausgewählte naturnahe Gewässerteilstrecken in Baden-Württemberg aufgezeigt. Neu hierbei ist, dass neben den empirischen Rauheits-Beiwerten auch die Widerstandsbeiwerte für Bewuchs- und Sohlstruktur angegeben werden.

Damit wird es dem Anwender ermöglicht, einerseits ein Gefühl für die empirischen Rauheitsbeiwerte zu entwickeln und andererseits direkt einen Bezug zu den analytischen Berechnungsverfahren, wie sie im Teil 2 beschrieben werden, zu bekommen.

Hydraulik naturnaher Fließgewässer – Teil 4 „Numerische Modelle zur Strömungssimulation“

Teil 4 des Leitfadens beschreibt gegenwärtig angewandte, numerische Berechnungsverfahren. Grundlage hierfür ist eine von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) durchgeführte Umfrage bei Ingenieurbüros in Baden-Württemberg.

Die einzelnen Berechnungsverfahren werden dabei prinzipiell erläutert, ohne dass auf mathematisch-theoretische Details näher eingegangen wird. Es soll gezeigt werden, auf welcher numerischen Grundlage DV-gestützte Berechnungsverfahren aufbauen, wie sie prinzipiell arbeiten und wo deren Anwendungsbereiche und -grenzen liegen. Dabei werden eindimensionale, zweidimensionale und dreidimensionale Verfahren erläutert und typische Einsatzmöglichkeiten genannt.

Zusätzlich wird ein Datensatz zum Testen kommerzieller EDV-Programme beigefügt. Die Daten stammen von einer Pilot-Gewässerstrecke der LfU. Zur Durchführung hydraulischer Berechnungen an Pegeln für Planung und Plausibilisierung wird ein Excel-Modul mit Benutzeranleitung beigefügt.



Abb. 1.2: Jungweiden an der Pilotstrecke Murr im Bereich Steinheim, die sich infolge eines Hochwassers umgelegt haben.

Wie die Bewuchscharakteristik vor Ort aufgenommen werden sollte, damit der abflussreduzierende Bewuchseinfluss in einer Berechnung simuliert werden kann, wird im Teil 1 und 2 des Hydraulik-Leitfadens beschrieben.

Abb. 1.3: Mäandrierende Mittelwasserläufe stellen bei einer hydraulischen Berechnung einen schwierigen Fall dar.

Welche Reibungsverluste treten infolge der Krümmungen auf? Wie wirkt sich der Uferbewuchs auf die Abflussleistung aus?

Besonders aufwändig wird eine Berechnung ab Wasserständen, bei denen das Wasser aus dem Mittelwasserbett austritt und zusätzlich über die Vorländer strömt.

In solchen Fällen muss die hydraulische Situation sehr sorgfältig abgeschätzt und durch entsprechende Berechnungsannahmen umgesetzt werden.

Arbeitshilfen dazu werden in den Teilen 1, 2 und 4 gegeben.



Abb. 1.4: Im Strömungsschatten eines Brückenpfeilers hat sich durch Sedimentation eine Insel gebildet.

Mit Hilfe von Teil 1 kann abgeschätzt werden, wie sich die Ablagerung auf die Abflussleistung des Gerinnes auswirkt.





Abb.1.5: Extrem dichter Uferbewuchs hat meistens starke Auswirkungen auf den Wasserstand und Abfluss bei Hochwasserereignissen.

Gerade bei Weichhölzern kommt es ab einem bestimmten Wasserstand infolge der Strömungskraft zu einem plötzlichen „Umlegen“ des Bewuchses. Damit verringert sich dann das Widerstandsverhalten der Ufergehölze schlagartig.

All diese Einwirkungen müssen bei einer hydraulischen Berechnung berücksichtigt werden. Wie das durch vereinfachte Annahmen möglich ist, wird im Teil 1 beschrieben. Im Teil 2 werden dazu analytische Berechnungsverfahren erläutert.



Abb. 1.6: Aufweitung des Flussschlauches durch eingebaute Inseln bei der renaturierten Gewässerstrecke in der Ortslage Pforzheim (Enz) bei Mittelwasserabfluss. Welchen Einfluss haben die Inselstrukturen bei Hochwasser und wie wird dadurch die Abflussleistung beeinträchtigt? Ansätze zur hydraulischen Berechnung werden im Leitfaden Teil 1 und Teil 2 gegeben.

2 Fließgesetze und Beiwerte

Zur Berechnung von Wasserstand bzw. Abfluss in offenen Gerinnen gibt es zahlreiche Fließgesetze und unterschiedliche Rauheits- und Widerstandsbeiwerte. Im Rahmen des Leitfadens wird speziell auf das empirische Fließgesetz nach GAUCKLER-MANNING-STRICKLER (GMS-Formel) sowie das auf turbulenz-theoretischen Ansätzen basierende Fließgesetz nach COLEBROOK-WHITE eingegangen.

In der **GMS-Formel** wird das Rauheits- und Widerstandsverhalten des zu untersuchenden Gewässerabschnittes durch den sog. STRICKLER-Beiwert k_{st} charakterisiert. Durch vielfache Anwendung und Validierung von Naturmessdaten ist die Formel in der Praxis weit verbreitet. Der k_{st} -Wert wird dabei aus fixierten Wasserspiegeln rechnerisch ermittelt (sog. Eichung eines numerischen Modells) bzw. aus der sog. äquivalenten Sandrauheit k_s bestimmt (vgl. Kap. 4.2).

Im **Teil 1** des Hydraulik-Leitfadens wird ausführlich auf die GMS-Formel eingegangen.

Eine weitere Möglichkeit der Berechnung von Abfluss bzw. Wasserstand besteht durch die Anwendung des Fließgesetzes von **COLEBROOK-WHITE**. Zur Charakterisierung des Gerinnewiderstandes verwendet man hierbei äquivalente Sandrauheiten. Im Gegensatz zum STRICKLER-Beiwert kann die äquivalente Sandrauheit unter der Annahme des logarithmischen Geschwindigkeitsverteilungsgesetzes berechnet bzw. aus Sohlenproben ermittelt werden.

Im **Teil 2** des Hydraulik-Leitfadens wird die Anwendung des Fließgesetzes ausführlich beschrieben und dokumentiert.

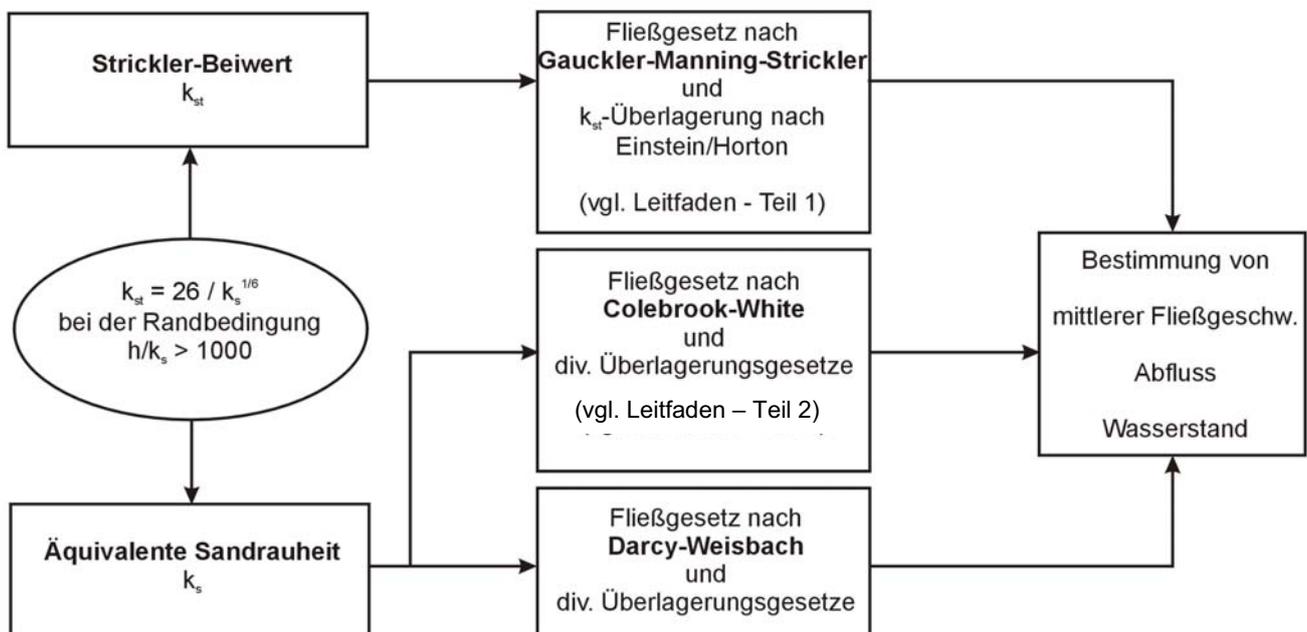


Abb. 2.1: Ablaufschema zur Bestimmung von mittlerer Fließgeschwindigkeit, Abfluss und/oder Wasserstand auf der Grundlage der vorhandenen Rauheits- und Widerstandsbeiwerte k_{st} bzw. k_s (h = Wassertiefe).

3 Strickler-Beiwert k_{st}

3.1 Empirisches Fließgesetz und STRICKLER-Beiwert

Anknüpfend an den Teil 1 der Leitfadenreihe werden im vorliegenden Teil die Rauheitsbeiwerte zur Anwendung des Fließgesetzes nach GAUCKLER-MANNING-STRICKLER (GMS-Formel) erläutert. Die Rauheiten kommen darin im sog. STRICKLER-Beiwert (k_{st}), bzw. im MANNING-Beiwert ($n = 1/k_{st}$) zum Ausdruck.

Das Fließgesetz nach GAUCKLER-MANNING-STRICKLER lautet:

$$v = k_{st} \cdot \sqrt{I_E} \cdot r_{hy}^{2/3}$$

$$Q = v \cdot A = k_{st} \cdot \sqrt{I_E} \cdot r_{hy}^{2/3} \cdot A \quad (3.1)$$

v mittlere Fließgeschwindigkeit (m/s)

k_{st} STRICKLER-Beiwert ($m^{1/3}/s$)

I_E Energieliniengefälle (-)

r_{hy} hydraulischer Radius (m)

Q Abfluss (m^3/s)

A durchflossene Querschnittsfläche (m^2)

Die GMS-Formel ist sehr einfach zu handhaben und wird in vielen praktischen Fällen zur Berechnung von Wasserspiegellagen in offenen Gerinnen angewandt.

Der STRICKLER-Beiwert (k_{st}) ist direkt proportional zur Fließgeschwindigkeit v bzw. zum Abfluss Q und beeinflusst somit das Rechenergebnis maßgeblich. Das Arbeiten mit der GMS-Formel setzt daher die möglichst exakte Kenntnis des STRICKLER-Beiwertes voraus.

Im Folgenden werden Eigenschaften und Merkmale des STRICKLER-Beiwertes aufgezeigt:

- Der k_{st} -Wert beschreibt in der praktischen Anwendung das Widerstandsverhalten kompakter und gegliederter Gerinne. Dabei ist es grundsätzlich unerheblich, welche Größe der Abflussquerschnitt hat. Somit ist beispielsweise der k_{st} -Wert bei gleichem Wasserstand

und gleicher Oberflächenstruktur am Rhein ebenso groß wie an einem kleinen Bach.

- Für sehr breite Gerinne kann der k_{st} -Wert identisch als empirisches Rauheitsmaß für die Sohle angesehen werden.
- Der k_{st} -Wert ist ein hydraulisch äquivalentes Rauheits- und Widerstandsmaß und kann nur indirekt messtechnisch erfasst werden (z.B. durch Rückrechnung von gemessenen Wasserspiegellagen bestimmter Abflussergebnisse).
- Aufgrund der linearen Abhängigkeit zwischen Fließgeschwindigkeit und k_{st} -Wert ist bei gleich bleibender Geometrie die Fließgeschwindigkeit bzw. der k_{st} -Wert umso größer, je glatter und regelmäßiger das Gewässerbett ist.
- Folgende Einflüsse auf die Abflussleistung bzw. den Wasserstand müssen durch den STRICKLER-Beiwert berücksichtigt werden:
 - Sohlen- und Wandrauheit
 - Geometrie des Querschnittes
 - Uferbewuchs
 - Mäandrieren des Gewässers
 - Geschiebeführung
 - Verkräutung
 - vereinzelte, beim geometrischen Aufmass nicht erfassbare Abflusshindernisse (z.B. einzelne große Steine, Totholzansammlungen, Wurzeln, etc...)

Aufgrund der Tatsache, dass der k_{st} -Wert über einen Analogieschluss zu hydraulisch sich ähnlich verhaltenden Gewässern abzuschätzen ist, können die in diesem Leitfaden dokumentierten Werte für eine erste Schätzung des k_{st} -Wertes herangezogen werden.

Im Leitfaden **Teil 1** „Grundlagen und empirische hydraulische Berechnungsverfahren“ sind darüber hinaus noch weitere Verfahren zur Abschätzung des k_{st} -Wertes aufgeführt.

3.2 STRICKLER-Beiwerte k_{st} aus der Literatur

Aus Erfahrungen, die auf Naturmessungen basieren, können der Literatur STRICKLER-Beiwerte, die eine Zuordnung zur Gerinnebeschaffenheit ermöglichen, entnommen werden. In der folgenden Übersicht sind einige dieser Literaturwerte zusammengestellt. Eine weitere Sammlung ist im Leitfaden Teil 1 dargestellt.

Es wird an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die in der Fachliteratur recherchierte k_{st} -Werte aus Labor- und Naturuntersuchungen zusammengetragen wurden. Besonders bei naturnahen Gerinnegeometrien mit komplexen Uferstrukturen und Bewuchsbeständen variiert der k_{st} -Wert sehr stark in Abhängigkeit von der Wassertiefe und dem Widerstandsverhalten der Strukturen. Deshalb können die in den folgenden Tabellen zitierten k_{st} -Werte nur als erste Näherung verwendet werden. Um realistische Berechnungsergebnisse zu erhalten, müssen die Werte der örtlichen Situation angepasst werden.

a) Sammlung von k_{st} -Werten aus BOLLRICH & PREIBLER (1996):

Beschaffenheit der Gerinnewand	k_{st} [$m^{1/3}/s$]
Ungehobelte Bretter; geglätteter Beton; feiner Schlamm	90
Glatter Zementputz; glatter Beton mit hohem Zementgehalt; gut gefugte Klinker; Hausteinquader	80
Alte, aus Einzelrohren bestehende Betonrohrleitungen	75
Sorgfältiges Bruchsteinmauerwerk; mäßig inkrustierte Rohre; Walzgussasphalt	70
Normales Bruchsteinmauerwerk; unverputzter, gut geschalter Beton; behauene Steine; glatte Erdkanäle in festem Material	60
Grobes Bruchsteinmauerwerk; feiner Kies und Sand; gepflasterte Böschungen; unbefestigte Erdsohle	50
Regelmäßige Erdkanäle ohne Geschiebe; mittlerer Kies (20/40/60 mm)	40
Grober Kies (50/100/150 mm); leicht verkrautete Erdkanäle; natürliche Flüsse mit mäßiger Geschiebebewegung und Kolken	35
Natürliche Flussbetten mit grobem Geröll; stark geschiebeführende Flüsse; Erdkanäle in scholligem Lehm; kopfgroße Steine; Wildbäche; Flussvorland mit Vegetation	30
Gebirgsflüsse mit grobem Geröll; stark bewachsene Erdkanäle; rohe Felswand	25
Sehr unregelmäßiger Felskanal; Gebirgsflüsse mit starker Geschiebebewegung	< 20

b) Sammlung von k_{st} -Werten aus DVWK (1990):

Gerinne		k_{st} [$m^{1/3}/s$]	k_s [m]
Erdkanäle	stärker bewachsen	32,5 - 34,5	0,19 - 0,27
	stark verkrautet	24,5 - 29	0,5 - 0,15
	kurzes Gras, etwas Kraut	30 - 45,5	
Vorländer	mitteldichtes Gestrüpp	6 - 22	
	dichte Weiden	5 - 9	
Kies und Steine	Grobkies	42,5 - 43	0,05 - 0,054
	Sand und Kies bis 60 mm	42 - 50	0,02 - 0,055
	mittlerer Kies	40	

c) Sammlung von k_{st} -Werten aus VEN-TE CHOW (1959):

Gerinne	k_{st} [$m^{1/3}/s$]
Natürliche Flüsse	
1) kleinere Flüsse mit HW-Abflußbreite < 30 m	
a) gleichmäßiger gerader Verlauf, kleine Gräben oder tiefe Mulden, bordvoll	30 - 40
b) gleichmäßig gewunden, einige Mulden und Untiefen	22 - 30
c) mit Stillwasserbereichen, verkrautet, tiefe Mulden	13 - 20
d) sehr verkrautete Bereiche, tiefe Mulden oder Vorländer mit dichtem Baumbestand und Unterholz	ca. 10
2) Gebirgsflüsse, ohne Vegetation im Flussbett, steile Böschungen, Bäume und Gebüsch entlang der Ufer bei HW überschwemmt	
a) Boden: Kies, Steinbrocken, einzelne Felsblöcke	20 - 35
b) Boden: Steinbrocken mit großen Felsbrocken	15 - 25
Vorländer	
1) Wiese, kein Gestrüpp	
a) kurzes Gras	30 - 40
b) hohes Gras	20 - 33
2) Gestrüpp	
a) verstreutes Gestrüpp, dichtes Unkraut	14 - 29
b) mittleres bis dichtes Gestrüpp, im Winter	9 - 22
c) mittleres bis dichtes Gestrüpp, im Sommer	6 - 14
3) Bäume	
a) dichte Weiden im Sommer	8 - 13
b) dichter Holzbestand, wenig Unterholz, HW-Stand unter den Zweigen	6 - 10
c) wie b) aber HW-Stand erreicht die Zweige	
Ausgekleidete oder erbaute Kanäle	
1) Kies-Boden mit Uferböschung aus	
a) Beton	40 - 60
b) Steinen in Mörtel	40 - 50
c) Bruchstein, Schotter, Steinschüttung	30 - 40
2) Mauerstein	
a) Glasurstein	65 - 90
b) in Zementmörtel	55 - 85
3) Asphalt	62 - 77
4) Mit Bewuchs befestigt	20 - 33
Künstliche Erdgerinne	
1) gerade und gleichmäßig	
a) Kies, gleichmäßiger Querschnitt	33 - 45
b) mit kurzem Gras und einigem Kraut	30 - 45
2) gewundener Lauf, träge fließend	
a) kein Bewuchs	33 - 43
b) mit Gras und einigem Kraut	29 - 40
c) Erdboden mit Schotterufer	29 - 36

d) Sammlung von k_{St} -Werten aus LANGE & LECHER (1993):

Gerinne	k_{St} [$m^{1/3}/s$]	Gerinne	k_{St} [$m^{1/3}/s$]
- <i>natürlich</i>		- <i>künstlich - Fels</i>	
mit fester Sohle, ohne Unregelmäßigkeiten	40	mittelgrober Felsausbruch	25 - 30
mäßige Geschiebeführung	33 - 35	sorgfältige Sprengung	20 - 25
verkrautet	30 - 35	grober Felsausbruch, große Unregelmäßigkeiten	15 - 20
mit Geröll und Unregelmäßigkeiten	30	- <i>künstlich - gemauert</i>	
stark geschiebeführend	28	Hausteinquader	70 - 80
Wildbäche, kopfgroße Steine, ruhendes Geschiebe	25 - 28	sorgfältiges Bruchsteinmauerwerk	70
Wildbäche, grobes Geröll, Geschiebe in Bewegung	19 - 22	normales Bruchsteinmauerwerk	60
- <i>künstlich - Erde</i>		grob behauene Steine	50
festes Material, glatt	60	gepflasterte Böschung, Sohle aus Sand und Kies	45 - 50
fester Sand, etwas Ton oder Schotter	50	- <i>künstlich - Beton</i>	
Sand und Kies, gepflasterte Böschung	45 - 50	Zementglattstrich	100
Feinkies, ca. 10 - 30 mm	45	mit Stahlschalung hergestellt	90 - 100
mittl. Kies, ca. 20 - 60 mm	40	Glattverputz	90 - 95
Grobkies, ca. 50 - 150 mm	35	Beton geglättet	90
scholliger Lehm	30	glatter, unversehrter Zementputz	80 - 90
mit groben Steinen ausgelegt	25 - 30	Holzschalung, ohne Verputz	65 - 70
Sand, Lehm oder Kies, stark bewachsen	20 - 25	Stampfbeton, glatte Oberfläche	60 - 65
		alter Beton, saubere Fläche	60
		Betonschalen	50 - 60
		grobe Betonauskleidung	55
		unregelmäßige Betonflächen	50

4 Widerstandsbeiwert und Äquivalente Sandrauheit

4.1 Widerstandsbeiwert λ

Im Gegensatz zu den empirischen Fließformeln, wie etwa der GMS-Formel, basieren die logarithmischen Fließgesetze auf turbulenztheoretischen Ansätzen. Ausgangsgleichung ist die von DARCY-WEISBACH aus der Rohrhydraulik abgeleitete Widerstandsbeziehung für λ , die nach der mittleren Fließgeschwindigkeit aufgelöst lautet:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \cdot \sqrt{8g} \cdot \sqrt{r_{hy} \cdot I_E} \tag{4.1}$$

- v mittlere Fließgeschwindigkeit (m/s)
- λ Widerstandsbeiwert (-)
- g Erdbeschleunigung (m/s)
- r_{hy} hydraulischer Radius (m)
- I_E Energieliniengefälle (-)

Der Widerstandsbeiwert λ ist dimensionsrein und hat für prismatische Gerinne eine Funktion von:

$$\lambda = f \left(\begin{array}{l} \text{Reynoldszahl } Re \\ k_s/r_{hy} \\ \text{Querschnittsform} \\ \text{Rauheitsstruktur} \\ \text{Linienführung} \end{array} \right)$$

Der Wert k_s ist dabei die äquivalente Sandrauheit (vgl. Kap. 4.2).

COLEBROOK-WHITE erweiterten die von DARCY-WEISBACH für Rohrströmungen aufgestellte Beziehung zur Anwendung auf Gerinneströmungen. Die als „universelles Fließ- bzw. Widerstandsgesetzgesetz“ in die Literatur eingegangene Gleichung auf Fließgewässer übertragen lautet:

$$\sqrt{\frac{8}{\lambda}} = \frac{v}{\sqrt{g \cdot r_{hy} \cdot I_E}} = 2,5 \cdot \ln \left[\frac{r_{hy}}{k_s} \right] + 6,74 \tag{4.2}$$

- λ Widerstandsbeiwert (-)
- r_{hy} hydraulischer Radius (m)
- k_s äquivalente Sandrauheit (m)
- v mittlere Fließgeschwindigkeit (m/s)
- g Erdbeschleunigung (m/s²)

Mit umfangreichen Versuchsdaten hat KEULEGAN einen differenzierteren Zusammenhang zwischen λ und k_s speziell für Gerinne unterschiedlicher Querschnittsform erstellt.

$$\sqrt{\frac{8}{\lambda}} = 2,5 \cdot \ln \left[\frac{r_{hy}}{k_s} \right] + Br \tag{4.3}$$

- λ Widerstandsbeiwert (-)
- r_{hy} hydraulischer Radius (m)
- k_s äquivalente Sandrauheit (m)
- Br Beiwert

$$Br = \left(\begin{array}{l} 6,50 \text{ für kreisförmiges Rohr} \\ 6,27 \text{ für Trapezgerinne} \\ 6,02 \text{ für breite Rechteckgerinne} \end{array} \right)$$

Obwohl der Ansatz von COLEBROOK-WHITE physikalisch-theoretisch fundiert und dimensionsrein ist, wird er in der praktischen Anwendung zur Berechnung von Wasserspiegellagen bzw. Abflüssen bei leicht ungleichförmigen Fließbedingungen derzeit noch selten angewandt, da er einen höheren Rechenaufwand erfordert, als der GMS-Ansatz.

4.2 Äquivalente Sandrauheit k_s

Der Begriff „Rauheit“ definiert sich durch die Oberflächenbeschaffenheit einer Wand bzw. Sohle als Erscheinungsform. Die Rauheit kann dabei natürlich entstanden, technisch gestaltet oder künstlich geformt worden sein. In der Hydraulik wird der Begriff Rauheit zur parametrischen Quantifizierung von Oberflächenbeschaffenheiten verwendet.

Die **Rauheit** dient als Maßzahl zur Erfassung der Oberflächenstruktur von Gerinnen mit geometrischen Parametern. Sie kann als „absolute Rauheit“ definiert werden oder als „relative Rauheit“ (vgl. SCHRÖDER).

Die **Sandrauheit** ist ein Rauheitsmaß, das durch gleich große kugelförmige Sandkörner entsteht, die auf eine Wand in dichtest möglicher Lagerung aufgebracht sind (vgl. DIN 4044). Derartige Rauheiten wurden z.B. von NIKURADSE in zahlreichen experimentellen Untersuchungen in Rohrströmungen auf ihr Widerstandsverhalten hin untersucht. Die Untersuchungen dienten weiterhin der Untermauerung des universellen Fließgesetzes und der Quantifizierung der in diesem Gesetz enthaltenen Integrationskonstante. Im Teil 2 der Leitfadenreihe wird ausführlich darauf eingegangen.

Die **absolute Rauheit** ist ein Maß für die Abweichung der Oberflächenkontur von einem ebenen, geradlinigen Nullniveau, senkrecht zu diesem gemessen (vgl. SCHRÖDER). Sie sagt nur wenig über die hydraulische Rauheitswirkung und damit dem Widerstandsverhalten aus.

Technische als auch natürliche Rauheiten werden häufig durch die **äquivalente Sandrauheit** k_s (mm) erfasst. Die äquivalente Sandrauheit wird auf der Grundlage des universellen Fließgesetzes erhalten und ist damit eine hydraulische Rauheit (vgl. Gleichung 4.2).

Als äquivalente Sandrauheit wird der Korndurchmesser einer NIKURADSE-Sandrauheit bezeichnet, die unter hydraulisch voll rauen Strömungsverhältnissen einen Oberflächenwiderstand hervorruft, wie die tatsächlich untersuchte Wand- bzw. Sohlenrauheit. Sie ist somit eine Vergleichsrauheit.

4.2.1 k_s -Bestimmung aus Kornverteilungskurven

Um das Widerstandsverhalten von Sohlen natürlicher Fließgewässer, die in der Regel aus Anteilen verschiedener Kornfraktionen zusammengesetzt sind, auf einfache Weise bestimmen zu können, wurden verschiedene Ansätze entwickelt, die äquivalente Sandrauheit k_s aus einer maßgebenden Kornfraktion zu bestimmen.

In der folgenden Tabelle sind einige Ansätze zusammengestellt. Im Teil 2 der Leitfadenreihe wird ausführlich darauf eingegangen.

Autor, Jahr	Ansatz
GARBRECHT, 1961	$k_s = d_{90}$
ENGELUND / HANSEN, 1966	$k_s = 2 \cdot d_{65}$
HEY, 1979	$k_s = 3,5 \cdot d_{84}$
KAMPHIUS, 1974	$k_s = 2 \cdot d_{50}$
MERTENS, 1997	$k_s = 2,5 \cdot d_{50}$
DITTRICH, 1998	$k_s = 3,5 \cdot d_m$ (Kies) $k_s = 3,5 \cdot d_{84}$ (Grobkies, Steine)
darin bedeuten k_s : äquivalente Sandrauheit (mm) d_i : Korndurchmesser der gesiebten Sohlenprobe bei i % Siebdurchgang (mm) d_m : $\Sigma(d_i \cdot \Delta p_i)$ gemittelter Korndurchmesser (mm) Δp_i : prozentualer Anteil der i -ten Kornfraktion (%)	

Tab. 4.1: Übersicht über bestehende Ansätze zwischen äquivalenter Sandrauheit und charakteristischem Korndurchmesser.

4.2.2 Äquivalente Sandrauheit k_s aus der Literatur

Aus Erfahrungen, die auf Auswertungen von Naturmessungen basieren, hat die Literatur äquivalente Sandrauheiten, die eine Zuordnung zur Gerinnebeschaffenheit ermöglichen, veröffentlicht. In der folgenden tabellarischen Übersicht sind einige dieser Literaturwerte zusammengestellt.

Gerinne- bzw. Sohlenbeschaffenheit	k_s -Wert mm	Literatur	Jahr
Einzelrauheiten (Grenzbedingung $k_s \leq 0,45 \cdot r_{hy}$)			
Hölzerner Kanal	2,3	SCHNEIDER	1994
Kanäle mit Asphaltbeton oder Gussasphalt	1,5 bis 2,2	SCHNEIDER	1994
Glatter Beton	1 bis 6	SCHNEIDER	1994
		DVWK	1991
		SCHRÖDER/PRESS	1966
Rauer Beton	6 bis 20	SCHNEIDER	1994
		DVWK	1991
		SCHRÖDER/PRESS	1966
Mauerwerk aus Bruchstein	15 bis 40	SCHNEIDER	1994
Felswände, gute Bearbeitung	7,5 bis 75	SCHNEIDER	1994
Raue Natursteinmauer	80 bis 100	SCHNEIDER	1994
		DVWK	1991
Steinschüttung	200 bis 300	SCHNEIDER	1994
		DVWK	1991
		BOLLRICH	1996
Pflasterung	30 bis 50	SCHNEIDER	1994
		DVWK	1991
Rasengittersteine	15 bis 30	SCHNEIDER DVWK	1994 1991
Stahlpundwand (je nach Profiltiefe)	20 bis 100	DVWK	1991
Sand oder Kies	d_{90} (Korn)	SCHNEIDER	1994
		DVWK	1991
Schotter, Grobkies	60 bis 200	SCHNEIDER	1994
		DVWK	1991
		SCHRÖDER/PRESS	1966
Fließgewässersohle mit Riffeln	Riffelhöhe	SCHNEIDER	1994
		DVWK	1991
Fließgewässersohle mit Dünen ($h =$ Fließtiefe)	$h/6$ bis $h/3$	SCHNEIDER	1994
		DVWK	1991
Fließgewässersohle mit mittleren Unregelmäßigkeiten	150 bis 350	SCHNEIDER	1994
Fließgewässersohle mit erheblichen Unregelmäßigkeiten	350 bis 500	SCHNEIDER	1994
Schluff	0,02 bis 0,063	BOLLRICH	1996
Feinsand	0,063 bis 0,2	BOLLRICH	1996
Mittelsand	0,2 bis 0,63	BOLLRICH	1996
Grobsand	0,63 bis 2,0	BOLLRICH	1996
Feinkies	2,0 bis 6,3	BOLLRICH	1996
Mittelkies	6,3 bis 20	BOLLRICH	1996
Grobkies	20 bis 63	BOLLRICH	1996
Flussschotter, Geröll	50 bis 100	BOLLRICH	1996

Gerinne- bzw. Sohlenbeschaffenheit	k_s -Wert mm	Literatur	Jahr
Vorländer und Böschungen			
Ackerboden	20 bis 250	SCHNEIDER DVWK	1994 1991
Acker mit Kulturen	250 bis 800	SCHNEIDER DVWK	1994 1991
Waldboden	160 bis 320	SCHNEIDER DVWK	1994 1991
Rasen	60 bis 400 60	SCHNEIDER DVWK	1994 1991
Gras	100 bis 350	DVWK	1991
Gras und Stauden	130 bis 400	DVWK	1991
Steinpackung	150 bis 200	BOLLRICH	1996
Steinschüttung 80/450 mit Gras überwachsen	300	DVWK	1991

Aus der Zusammenstellung ergibt sich, dass für natürliche und naturnahe Flüsse und Gewässer Datenlücken bestehen. Um diese Datenlücken zu schließen, wurden aus Baden-Württemberg Naturmessdaten ausgewertet und mit Fotos dokumentiert, um eine einfachere Anwendung zu gewährleisten. Zudem wurde die Beziehung zwischen Rauheits- und Widerstandsbeiwerten angewandt (siehe Gl. 4.3) und an den hierfür geeigneten Beispielen Enz und Murr dokumentiert. Eine Fortschreibung der Beispiele aus Baden-Württemberg ist vorgesehen, um die neuen Berechnungsverfahren zu vervollständigen.

4.2.3 Umrechnung von k_{st} - und k_s -Werten

Bei hydraulisch vollkommen rauen Strömungsverhältnissen und großen Wassertiefen ($h/k_s > 1000$, siehe DITTRICH) kann wahlweise mit k_s oder k_{st} gerechnet werden. In der Literatur findet sich für große Wassertiefen dafür zumeist der Ausdruck von MEYER-PETER und MÜLLER wieder:

$$k_{st} = \frac{26}{k_s^{1/6}} \quad (4.4)$$

k_{st} Strickler-Wert ($m^{1/3}/s$)

k_s äquivalente Sandrauheit (m)

Im Teil 2 der Leitfadenreihe sind Ansätze dokumentiert, die auf das Fließgesetz von COLEBROOK-WHITE aufbauen und mit dem Wider-

standswert λ bzw. der äquivalenten Sandrauheit k_s arbeiten.

Die Umrechnung von k_s - in k_{st} -Werte ist bei der praktischen Anwendung der Fließformeln nicht unbedingt sinnvoll. Die aus der Kornverteilungskurve abgeleiteten äquivalenten Sandrauheiten k_s in Abhängigkeit vom gewählten Umrechnungsansatz streuen sehr stark, was infolge einer Umrechnung zu einer ebenso starken Streuung der k_{st} -Werte führt. Des Weiteren gelten die aus der Kornverteilungskurve ermittelten k_s -Werte nur für die Gewässersohle, jedoch nicht für das gesamte Gewässerbett bzw. für die Vorländer. Bei einer hydraulischen Berechnung mit der GMS-Formel und dem k_{st} -Wert als empirischen Rauheits- und Widerstandsbeiwert müssen jedoch sämtliche Fließwiderstände im Gerinne berücksichtigt werden.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Umrechnung von k_s - zu k_{st} -Werten gemäß der oben dargestellten Beziehung nur dann Sinn macht, wenn es sich um ein sehr breites Gerinne handelt, bei dem die Strömungsbeeinflussung infolge der Uferstrukturen vernachlässigt werden kann (Fall 1 im Leitfaden Hydraulik Teil 2). Ferner muss die Wassertiefe sehr groß sein, da sich bei geringen Wassertiefen der k_{st} -Beiwert sehr stark mit der Fließtiefe ändert (vgl. Leitfaden Hydraulik Teil 1 Kapitel 5.2.3). Diese Forderung ist durch die relative Überdeckung $h/k_s > 1000$ vorgegeben (siehe Abb. 2.1).

5 Dokumentation der Widerstands- und Rauheitsbeiwerte

5.1 Dokumentation von Strickler-Beiwerten k_{st}

In diesem Kapitel werden ältere Untersuchungsergebnisse, die im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg zusammengetragen worden sind, dokumentiert. Die Daten resultieren aus Beobachtungen, Messungen und eindimensionalen Wasserspiegellagenberechnungen für verschiedene Abflussereignisse. **Sie spiegeln somit den Verlauf des Gesamtrauheitsbeiwertes bei unterschiedlichen Wasserständen wieder.**

Ein repräsentatives Foto soll Hinweise zum Widerstand durch Uferbewuchs und der hydraulischen Situation geben. Querschnitte mit eingezeichneten Wasserspiegellagen bei verschiedenen Abflüssen wurden dokumentiert. Bei allen Beispielen wird der Strickler-Beiwert k_{st} in Abhängigkeit von der Wassertiefe dokumentiert. Hierbei wurde erstmals der Verlauf des k_{st} -Wertes über den Abfluss aufgetragen.

Je nach Fragestellung z.B. bei einer hydraulischen Rückrechnung oder bei der Ermittlung

einer Wasserspiegellage bei einem gegebenen Abfluss, muss der hierfür entsprechende k_{st} -Wert gewählt werden. Die Dokumentation ermöglicht es die ermittelten k_{st} -Werte auf geometrisch ähnliche Gewässer zu übertragen.

Zusätzlich wurde bei vorhandenen Sieblinien der Sohle die äquivalente Sandrauheit k_s mit gängigen Ansätzen zum Vergleich ermittelt. Die k_s -Werte sind wesentliche Eingangsparameter für die Ermittlung der Wasserspiegellagen anhand der Berechnungsverfahren für naturnahe Gewässerstrukturen im Leitfaden Teil 2.

In Kapitel 5.2 sind folgende Gewässerstrecken dokumentiert:

Elz bei km 36+780, **Donau** bei Sigmaringen, **Enz** bei Lautenhof, **Enz** bei Bad Wildbad, **Rotach** bei Friedrichshafen, **Nagold** bei Calw, **Ohrn** in Öhringen (3 Abschnitte), **Neckar** bei Horb und **Pfinz** bei Söllingen

Zur Fortschreibung der Beispieldokumentation aus Baden-Württemberg sollen die in Teil 1 der Leitfadenreihe zur Verfügung gestellten Formblätter an die LfU gesandt werden.

Allgemeine Angaben über den Gewässerabschnitt ergänzt mit einem Foto

Bokumentation von Rauheits- und Widerstandsbeiwerten 26

Enz bei Bad Wildbad $k_{st} = 23 \text{ bis } 27 \text{ m}^{1/3} \text{ s}$

Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt

Abschnittsbeschreibung: Bereichliche Gewässerabschnitt im linken Uferlage Bad Wildbad und ist durch eine massive Uferverbauung gekennzeichnet. Die Sohle ist massig bis festgl.

Millimetre Querschnittsgröße: 1. rechtsläufig



Einzel-Querschnitte der Uferanlage in Bad Wildbad. Blick entgegen der Fließrichtung.

Tabellarische Auflistung verfügbarer Rauheitsbeiwerte

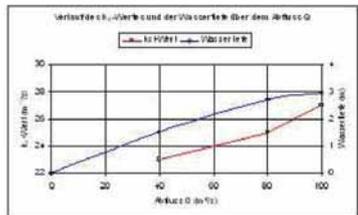
Abfluss Q [m^3/s]	Wassertiefe h [m]	max. Wassertiefe h_{max} [m]	minimale Wassertiefe h_{min} [m]	k_{st} -Wert [$\text{m}^{1/3} \text{ s}$]
40	42,0/51	1,53	—	23
100	42,1/56	2,21	—	25
100	42,1/56	2,25	—	27

Tabellarische Angabe verfügbarer Rauheitsdaten

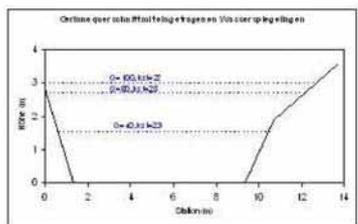
Bokumentation von Rauheits- und Widerstandsbeiwerten 27

Enz bei Bad Wildbad $k_{st} = 23 \text{ bis } 27 \text{ m}^{1/3} \text{ s}$

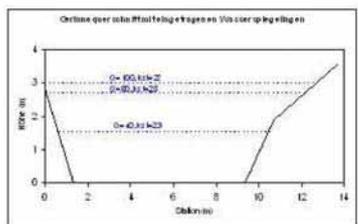
Verlauf des k_{st} -Wertes und charakteristischer Gewässerschnitt



Vertikale k_{st} -Verläufe und der Wasserspiegel über dem Abfluss Q



Querschnitt quer zum Pfad entlang des Wasserspiegels



Darstellung des Rauheitsbeiwertverlaufes und der Wassertiefe über dem Abfluss

Abb. 5.1: Beispielhafte Dokumentation bei ausreichenden Datengrundlagen auf zwei Seiten.

Ist die Datengrundlage nicht ausreichend, da die vorliegenden hydraulischen Berechnungen nur für einen Abflusszustand gemacht wurden, so kann kein Verlauf des k_{st} -Wertes angegeben werden. In diesem Fällen findet die Dokumentation auf einer Seite pro Gewässerabschnitt statt.



Dokumentation von Rauheits- und Widerstandsbeiwerten

Neckar bei Horb (Neckar-km 287+000)
 $k_{st} \approx 32,5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt

kteristik	Gewässerabschnitt befindet sich unterhalb des Pegels Horb/Neckar. Die Sohle weist einen gleichmäßigen, geraden Verlauf ohne Mulden und Untiefen auf und digem bis kiesigem Material. Die Uferböschungen sind mit Gräsern sowie Bäumen bewachsen.
mittleres Sohlprofilgefälle	I_{So} ca. 0,0018

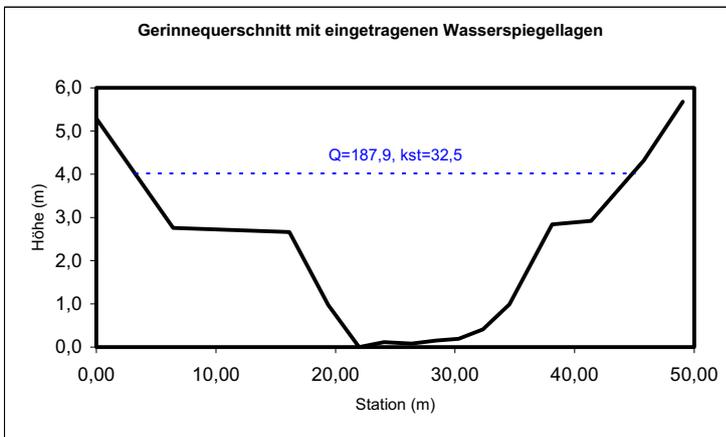


Neckar im Unterwasser des Pegels Horb/Neckar, Blick in Fließrichtung.

Tabellarische Auflistung verfügbarer Rauheitsbeiwerte

Abfluss [m ³ /s]	Wasserstand [NN+m]	max. Wassertiefe [m]	mittlere Wassertiefe [m]	k_{st} -Wert [m ^{1/3} /s]
187,9	384,18	4,02	---	32,5

Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen



Allgemeine Angaben

Foto des Abschnittes

Ergebnistabelle

Diagramm mit Darstellung der Querschnittsgeometrie, Wasserstand und Rauheitsbeiwert

Abb. 5.2: Beispielhafte Dokumentation bei nicht ausreichenden Datengrundlagen auf einer Seite.

5.2 Beschreibungen der Gewässerstrecken mit dem k_{st} -Beiwert

Elz km 36+780 bis 37+000

$k_{st} \approx 18$ bis $24 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt

Abschnittscharakteristik	Der betrachtete Gewässerabschnitt befindet sich unterhalb des Pegels Gutach/Elz (Elz-km 37+000). Die Sohle des Gewässers besteht aus kiesigem Material mit zum Teil sehr großen Steinen. Die Uferböschungen sind mit Gräsern und Bäumen bewachsen.
mittleres Sohlprofilgefälle	I_{so} ca. 0,0025



Abb. 5.3: Blick vom linken Ufer aus in Fließrichtung.

Tabellarische Auflistung verfügbarer Rauheitsbeiwerte

Abfluss [m ³ /s]	Wasserstand [NN+m]	max. Wassertiefe [m]	mittlere Wassertiefe [m]	k_{st} -Wert [m ^{1/3} /s]
24,4	283,18	1,16	--	18
34,1	283,36	1,34	--	19
60,5	283,68	1,66	--	21
82,4	283,96	1,94	--	24

Elz km 36+780 bis 37+000

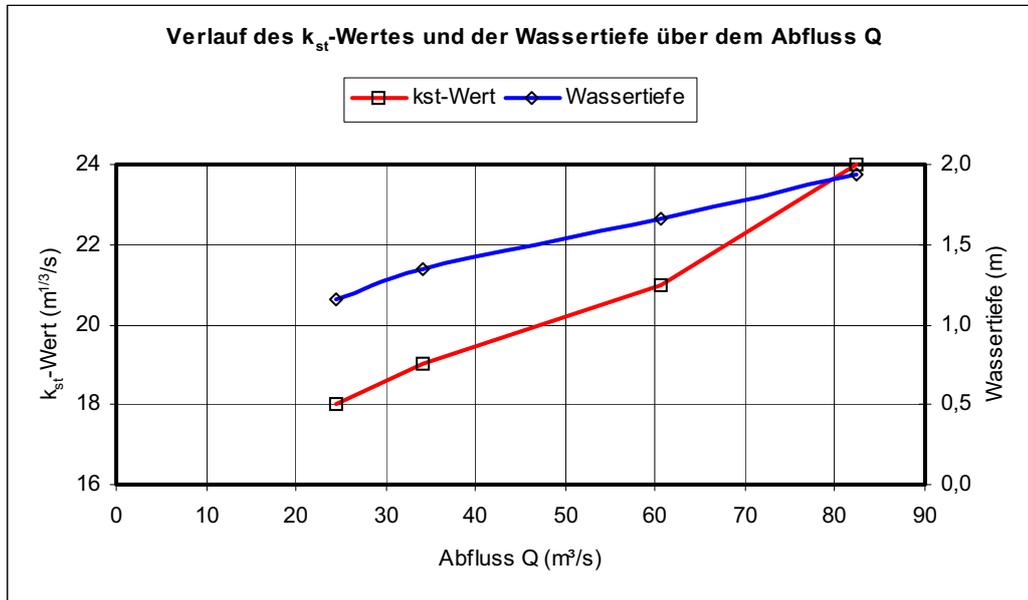
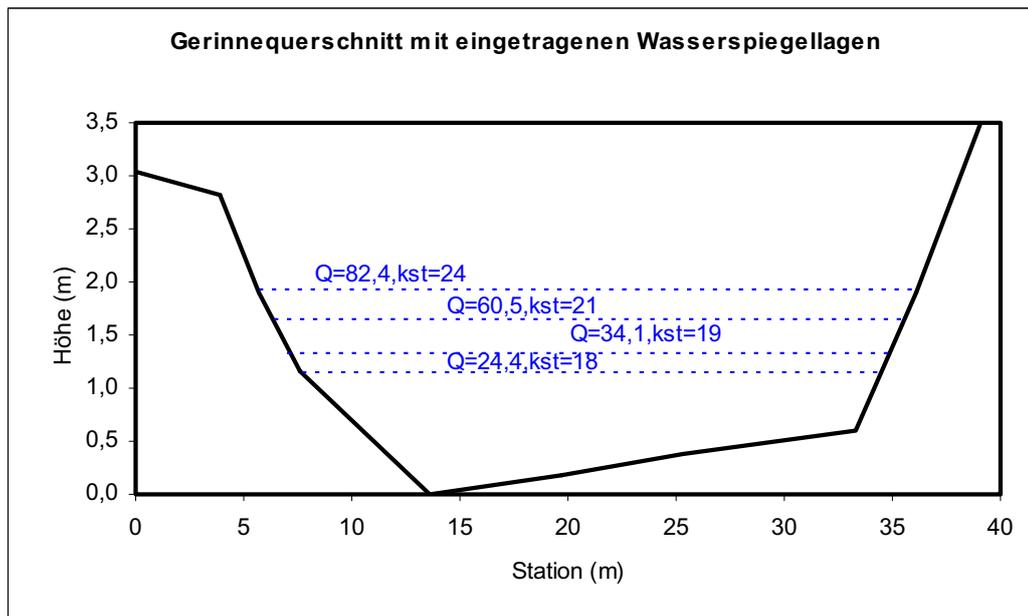
 $k_{st} \approx 18 \text{ bis } 24 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ Abb. 5.4: Verlauf des k_{st} -Wertes und der Wassertiefe über dem Abfluss Q.

Abb. 5.5: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Interpretation der dargestellten k_{st} -Werte:

Die dargestellten k_{st} -Werte stammen aus einer eindimensionalen hydraulischen Berechnung verschiedener Abflussereignisse. Das verwendete hydrodynamisch-numerische Modell wurde anhand von Naturdaten kalibriert. In Abb. 5.3 sind die Rauheits- und Widerstandseigenschaften des Gewässers gut zu erkennen. Die Sohle besteht aus Geröll mit Unregelmäßigkeiten, bei Hochwasser kann es zu einer starken Geschiebeführung kommen → $k_{st} \approx 20 \text{ bis } 30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ lt. Tab. d auf Seite 14. Die Ufer sind durch Büsche, Gestrüpp und Bäume bestanden → $k_{st} \approx 10 \text{ bis } 22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ lt. Tab. c auf Seite 13.

Aus den Abbildungen 5.4 und 5.5 ist zu entnehmen, dass für Wassertiefen $\geq 1,0$ m ein linearer Anstieg der k_{st} -Werte vorliegt. Dies ist mit der Zunahme der relativen Überdeckung (vgl. Leitfaden Teil 2, Kapitel 2.2, Seite 18) zu begründen. Bei größerer Wassertiefe wirkt sich die Rauigkeit der Sohle nicht mehr so stark auf das Fließgeschehen aus, wie dies bei kleinen Wassertiefen der Fall ist \rightarrow der k_{st} -Wert für das gesamte Gerinne wird mit zunehmender Wassertiefe größer.

Mit der Annahme, dass die Ufer und die Sohle in etwa die gleiche Rauigkeit besitzen (vgl. hierzu die o.g. aus den Tabellen ermittelten k_{st} -Werte), kann von einem sehr breiten Gerinne ausgegangen werden $\rightarrow B/y \approx 30/1,94 \approx 15,5$. Damit kann im Rahmen einer hydraulischen Berechnung der Fall 1 des Leitfadens, Teil 2 angewandt werden.

Donau bei Sigmaringen (km 2.686+200) $k_{st} \approx 20 \text{ bis } 29 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ **Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt**

Abschnittscharakteristik	Der betrachtete Gewässerabschnitt befindet sich unterhalb des Pegels Sigmaringen/Donau (Donau-km 2.686+200). Die Gewässersohle besteht aus sandigem Material. Auf der rechten Seite hat sich nach dem Hochwasser im Februar 1990 eine Sandbank gebildet, die z.T. mit Gräsern bewachsen ist. Die Uferböschungen sind mit Gräsern und Bäumen bewachsen.
mittleres Sohlliniengefälle	I_{so} ca. 0,0019



Abb. 5.6: Blick ins Unterwasser der Brücke bei Donau-km 2.686+200; Blick entgegen der Fließrichtung.

Tabellarische Auflistung verfügbarer Rauheitsbeiwerte

Abfluss [m ³ /s]	Wasserstand [NN+m]	max. Wassertiefe [m]	mittlere Wassertiefe [m]	k_{st} -Wert [m ^{1/3} /s]
88,3	568,25	2,22	---	20,6
174,7	568,92	2,89	---	23,9
415,5	570,23	4,20	---	28,8

Donau bei Sigmaringen (km 2.686+200)

$k_{st} \approx 20$ bis $29 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

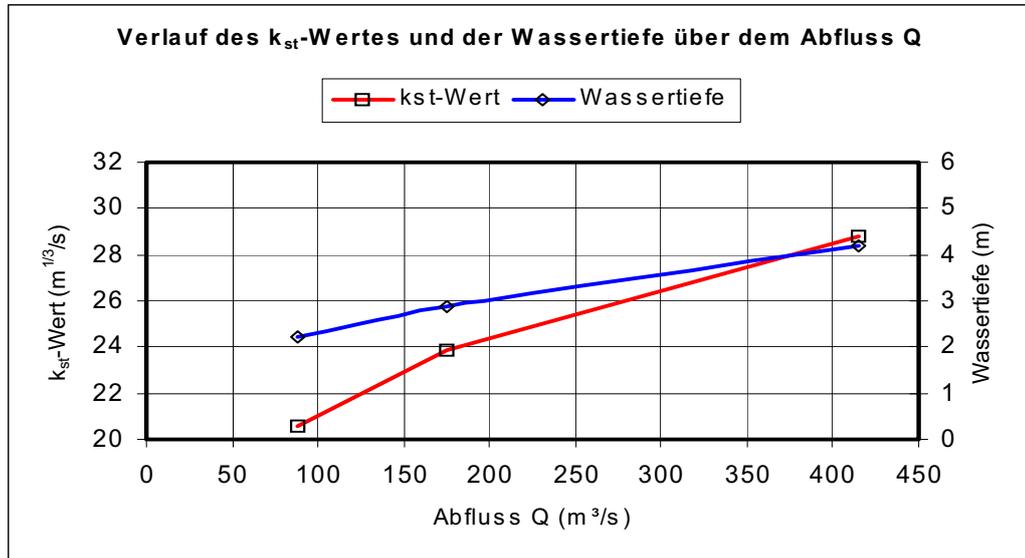


Abb. 5.7: Verlauf des k_{st} -Wertes und der Wassertiefe über dem Abfluss Q.

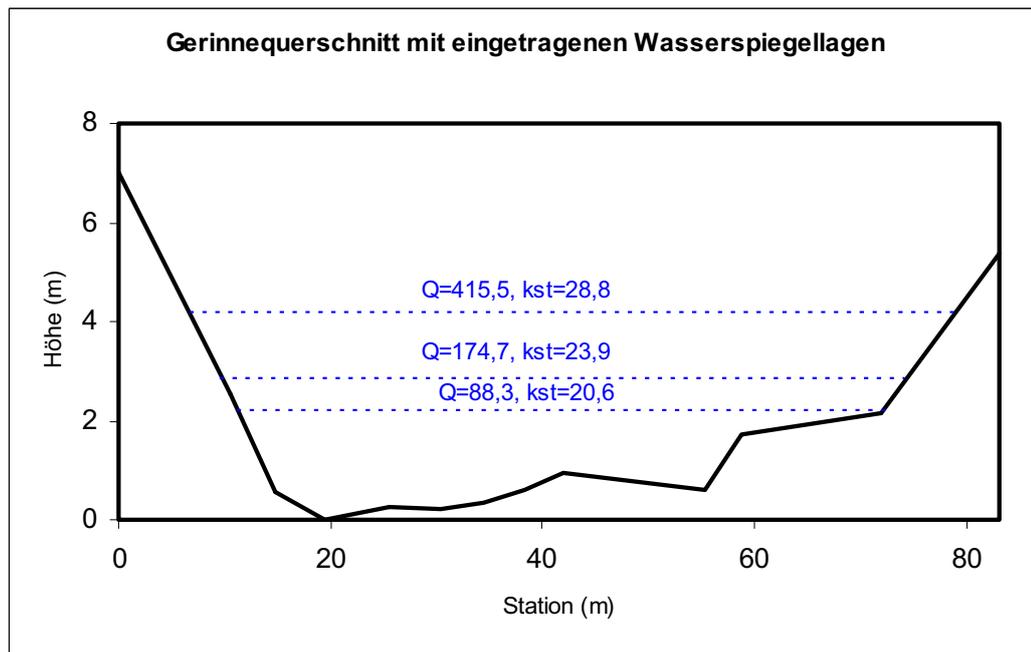


Abb. 5.8: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Interpretation der dargestellten k_{st} -Werte:

Die dargestellten k_{st} -Werte stammen aus einer eindimensionalen hydraulischen Berechnung verschiedener Abflussereignisse. Das verwendete hydrodynamisch-numerische Modell wurde anhand von Naturdaten kalibriert. In Abb. 5.6 sind die Rauheits- und Widerstandseigenschaften des Gewässers gut zu erkennen. Die Sohle besteht aus eher feinkörnigem kiesigen Material bis hin zu Sand. Bei Hochwasser ist mit Geschiebebewegung zu rechnen, so dass sich ständig Kies- und Sandbänke bilden um umlagern; die Ufer sind z.T. stark mit Sträuchern bewachsen → $k_{st} \approx 20$ bis $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ lt. Tabelle d auf Seite 14.

Ähnlich wie bei der Dokumentation der Elz ist auch hier der Abbildung 5.7 zu entnehmen, dass für Wassertiefen $\geq 2,0$ m ein nahezu linearer Anstieg der k_{st} -Werte vorliegt. Dies ist mit der Zunahme der relativen Überdeckung (vgl. Leitfaden Teil 2, Kapitel 2.2, Seite 18) zu begründen. Bei größerer Wassertiefe wirkt sich die Rauigkeit der Sohle und der Formwiderstand der Inseln und Bänke nicht mehr so stark auf das Fließgeschehen aus, wie dies bei kleinen Wassertiefen der Fall ist → der k_{st} -Wert für das gesamte Gerinne wird mit zunehmender Wassertiefe größer.

Eine hydraulische Berechnung insbesondere bei geringen Wassertiefen sollte hier mit dem Fall 9 (Gerinne mit Inseln) im Leitfaden Teil 2 durchgeführt werden. Für Fließtiefen $\geq 2,0$ m kann Fall Nr. 4 (Gerinne mit Flachwasserzonen) oder Fall Nr. 2 (Gerinne mit unterschiedlicher Querschnittsform) verwendet werden.

Enz bei Lautenhof (Enz-km 90+400)

 $k_{st} \approx 21 \text{ bis } 22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ **Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt**

Abschnittscharakteristik	Der betrachtete Gewässerabschnitt befindet sich unterhalb des Pegels Lautenhof/Enz (Enz-km 90+400). Die Sohle des Gewässers besteht aus kiesigem Material wobei sich entlang des rechten Ufers eine Kiesbank ausgebildet hat. Die Uferböschungen sind mit Gräsern bewachsen. Baumbestände reichen bis an die Gewässersohle heran.
mittleres Sohlprofilgefälle	I_{so} ca. 0,0097



Abb. 5.9: Blick entlang der Fließrichtung in den untersuchten Abschnitt der Enz bei Lautenhof.

Tabellarische Auflistung verfügbarer Rauheitsbeiwerte

Abfluss [m ³ /s]	Wasserstand [NN+m]	max. Wassertiefe [m]	mittlere Wassertiefe [m]	k_{st} -Wert [m ^{1/3} /s]
22,4	477,41	1,06	---	21,2
30,0	477,49	1,14	---	22,0

Enz bei Lautenhof (Enz-km 90+400)

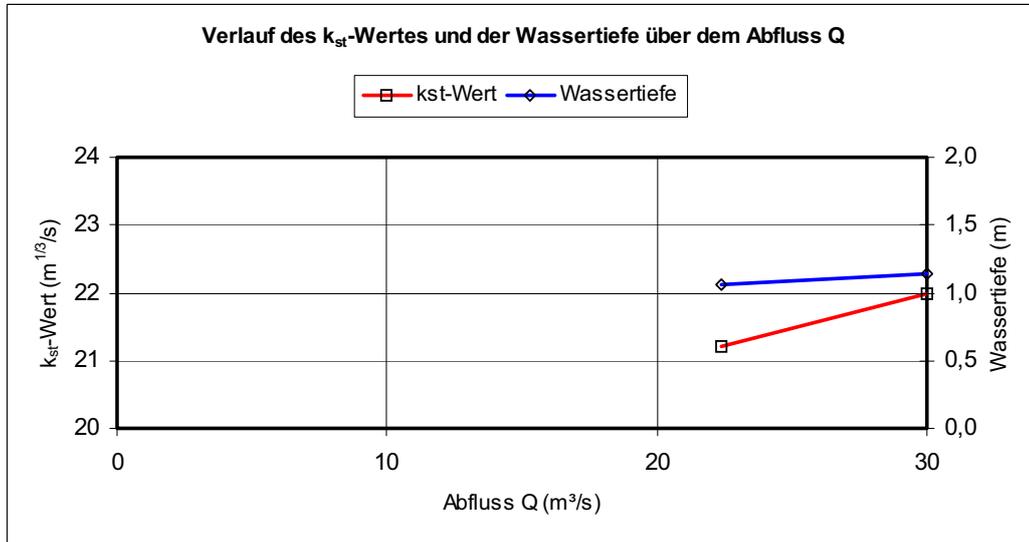
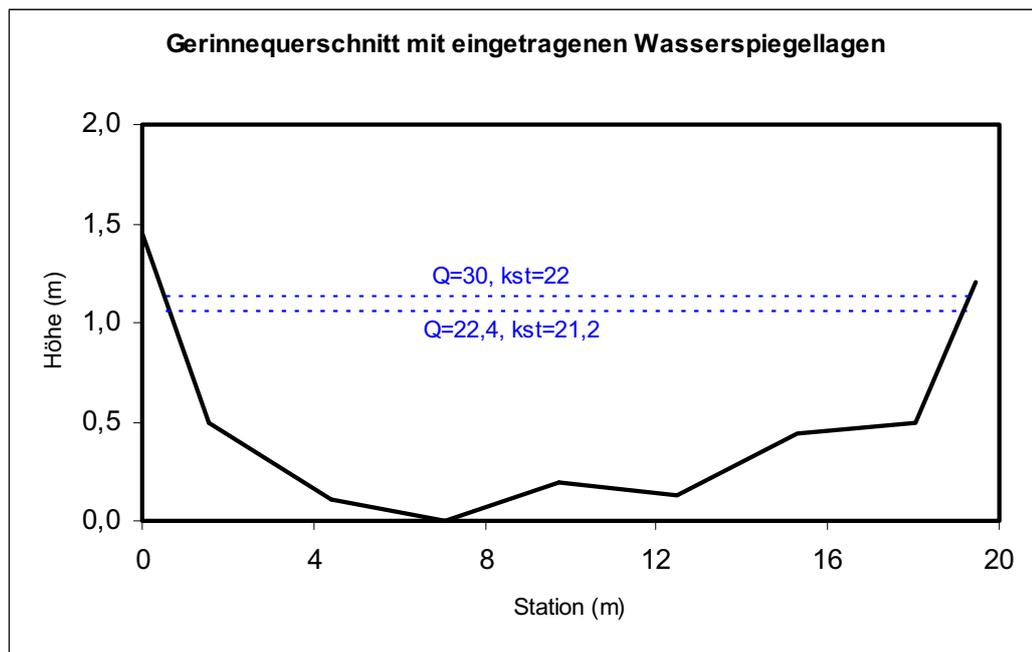
 $k_{st} \approx 21$ bis $22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ Abb. 5.10: Verlauf des k_{st} -Wertes und der Wassertiefe über dem Abfluss Q.

Abb. 5.11: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Interpretation der dargestellten k_{st} -Werte:

Die dargestellten k_{st} -Werte stammen aus einer eindimensionalen hydraulischen Berechnung mit zwei Abflussereignissen. Das verwendete hydrodynamisch-numerische Modell wurde anhand von Naturdaten kalibriert. In Abb. 5.9 ist deutlich zu erkennen, dass die Gewässersohle aus groben Kies besteht und die Ufer stark bis an die Wasserlinie bewachsen sind. Zudem handelt es sich um ein eher schmales kompaktes Gerinne, welche infolge der Pegelnähe stark ausgebaut zu sein scheint $\rightarrow k_{st} \approx 20$ bis $33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ lt. Tabelle c auf Seite 13 (Ausgebaute Kanäle mit Bewuchs befestigt). Eine hydraulische Berechnung sollte hier mit Fall 3 bzw. Fall 7 des Leitfadens Teil 2 durchgeführt werden.

Rotach bei Friedrichshafen (Rotach-km 1+150) $k_{st} \approx 26 \text{ bis } 34 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ **Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt**

Abschnittscharakteristik	Der betrachtete Gewässerabschnitt befindet sich unterhalb des Pegels Friedrichshafen/Rotach (Rotach-km 1+150). Das Mittelwasserbett ist mit Sohlenschwellen und Wasserbausteinen stabilisiert. Oberhalb des Mittelwasserbetts ist das Gewässer mit Gras und einzelnen Bäumen bewachsen.
mittleres Sohlprofilgefälle	I_{so} ca. 0,002



Abb. 5.12: Rotach im Unterwasser der Brücke bei Rotach-km 1+150. Blick in Fließrichtung.

Tabellarische Auflistung verfügbarer Rauheitsbeiwerte

Abfluss [m ³ /s]	Wasserstand [NN+m]	max. Wassertiefe [m]	mittlere Wassertiefe [m]	k_{st} -Wert [m ^{1/3} /s]
9,8	397,68	1,5	---	26,4
17,1	398,03	1,85	---	28,7
33,4	398,53	2,35	---	31,8
53,5	398,93	2,75	---	34,1

Rotach bei Friedrichshafen (Rotach-km 1+150)

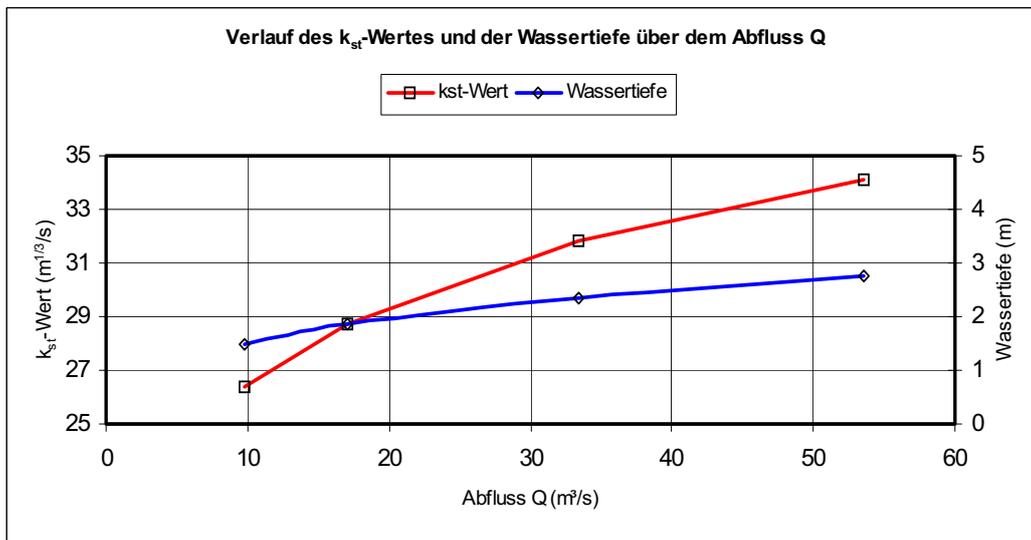
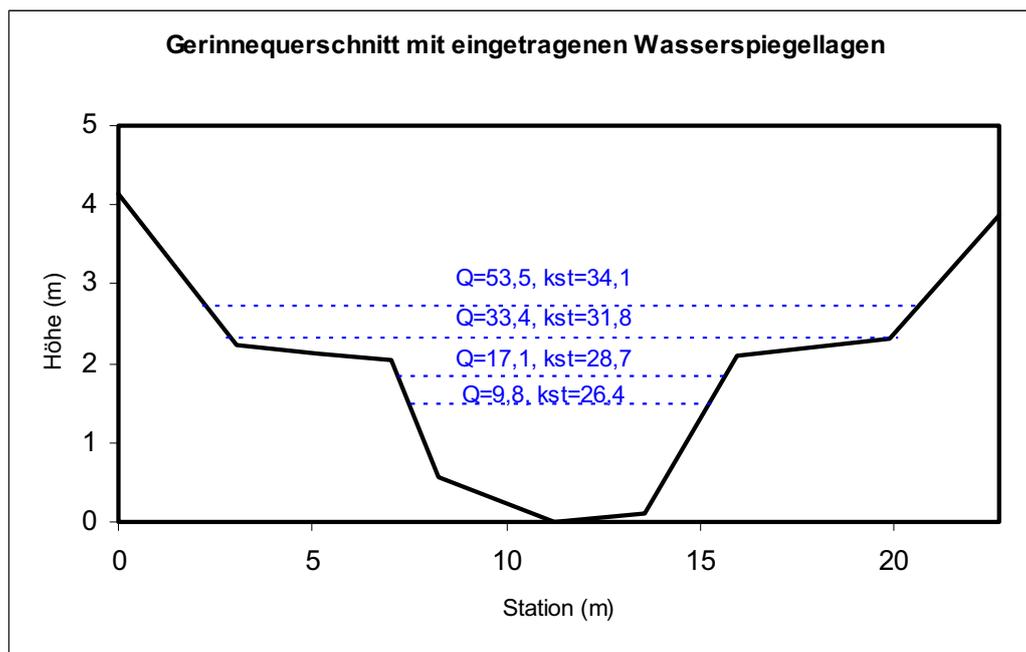
 $k_{st} \approx 26 \text{ bis } 34 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ Abb. 5.13: Verlauf des k_{st} -Wertes und der Wassertiefe über dem Abfluss Q.

Abb. 5.14: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Interpretation der dargestellten k_{st} -Werte:

Die dargestellten k_{st} -Werte stammen aus einer eindimensionalen hydraulischen Berechnung verschiedener Abflussereignisse. Das verwendete hydrodynamisch-numerische Modell wurde anhand von Naturdaten kalibriert. In Abb. 5.12 ist zu erkennen, dass es sich um ein stark ausgebautes Gewässer mit befestigten Ufern handelt $\rightarrow k_{st} \approx 30 \text{ bis } 40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ lt. Tabelle c auf Seite 13 (Ausgekleidete Kanäle mit Uferböschung aus Steinschüttung).

Eine hydraulische Berechnung sollte hier mit Fall 15 des Leitfadens Teil 2 durchgeführt werden.

Enz bei Bad Wildbad

 $k_{st} \approx 23 \text{ bis } 27 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ **Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt**

Abschnittscharakteristik	Der betrachtete Gewässerabschnitt liegt in der Ortslage Bad Wildbad und ist durch eine massive Uferverbauung gekennzeichnet. Die Sohle ist befestigt. Auf der Sohle sind stellenweise große Steine und Geröll.
mittleres Sohlprofil	I_{so} nicht bekannt



Abb.: 5.15: Enz im Unterwasser der Wehranlage in Bad Wildbad; Blick entgegen der Fließrichtung.

Tabellarische Auflistung verfügbarer Rauheitsbeiwerte

Abfluss [m ³ /s]	Wasserstand [NN+m]	max. Wassertiefe [m]	mittlere Wassertiefe [m]	k_{st} -Wert [m ^{1/3} /s]
40	420,51	1,53	---	23
80	421,69	2,71	---	25
100	421,96	2,98	---	27

Enz bei Bad Wildbad

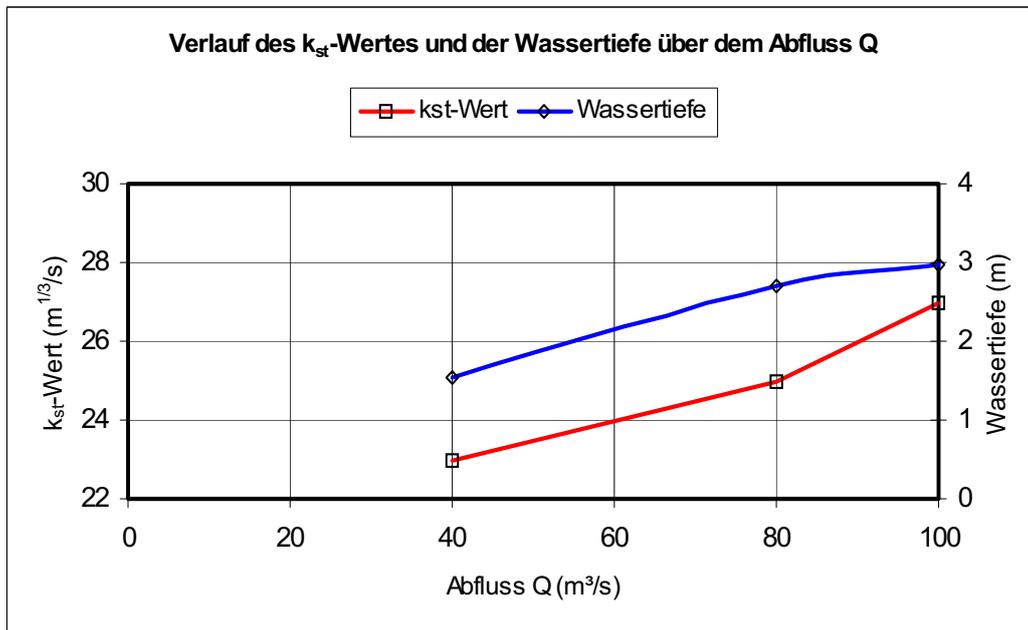
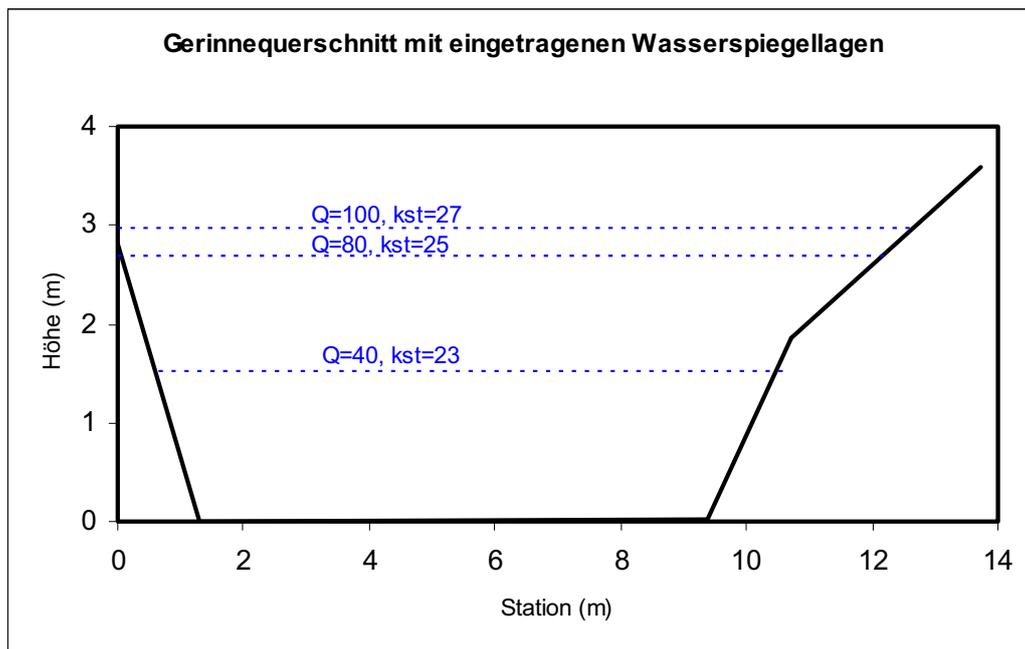
 $k_{st} \approx 23$ bis $27 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ Abb. 5.16: Verlauf des k_{st} -Wertes und der Wassertiefe über dem Abfluss Q.

Abb. 5.17: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Interpretation der dargestellten k_{st} -Werte:

Die dargestellten k_{st} -Werte stammen aus einer eindimensionalen hydraulischen Berechnung verschiedener Abflussereignisse. Das verwendete hydrodynamisch-numerische Modell wurde anhand von Naturdaten kalibriert. In Abb. 5.15 sind die Rauheits- und Widerstandseigenschaften des Gewässers gut zu erkennen. Der Querschnitt ist sehr stark ausgebaut und die Ufer sind z.T. als Betonwand ausgeführt und z.T. mit einer Schüttung aus grobe Steinen gesichert → Die Anwendung der Tabellen auf Seite 12 ff ist hier nicht empfehlenswert, da infolge der stark inhomogenen Rauheiten und Strukturen

kein entsprechender Tabelleneintrag zugeordnet werden kann. Hier sollte vielmehr mit den Berechnungsansätzen gemäß Fall 3 im Leitfaden Teil 2 ein äquivalenter Rauheitsbeiwert ermittelt werden.

Da es sich in Abb. 5.15 um einen nahezu rechteckförmigen Gerinnequerschnitt handelt, ändert sich der k_{st} -Wert in Abb. 5.16 nur sehr wenig in Abhängigkeit vom Abfluss bzw. Wasserstand. Die Auswirkungen der Sohlenrauheiten werden mit zunehmender Überdeckung geringer, wodurch der k_{st} -Wert etwas größer wird.

Nagold km 25+900 **$k_{st} \approx 19 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** **Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt**

Abschnittscharakteristik	Die Sohle des Gewässers weist je nach Jahreszeit eine starke Verkrautung auf. Die Uferböschungen sind mit Gräsern sowie Strauch- und Baumbeständen bewachsen.
mittleres Sohlprofilgefälle	I_{so} ca. 0,0027

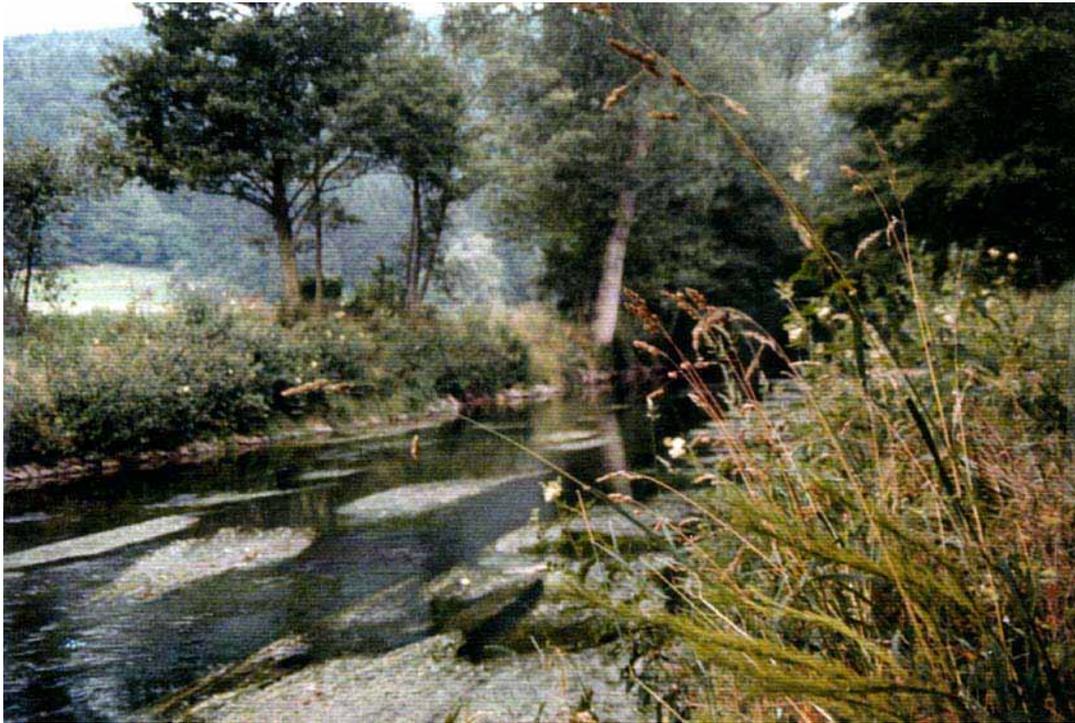


Abb.: 5.18: Nagold im Unterwasser des Pegels Calw/Nagold. Blick vom rechten Ufer in Fließrichtung.

Tabellarische Auflistung verfügbarer Rauheitsbeiwerte

Abfluss [m ³ /s]	Wasserstand [NN+m]	max. Wassertiefe [m]	mittlere Wassertiefe [m]	k_{st} -Wert [m ^{1/3} /s]
135,2	329,78	4,81	--	19

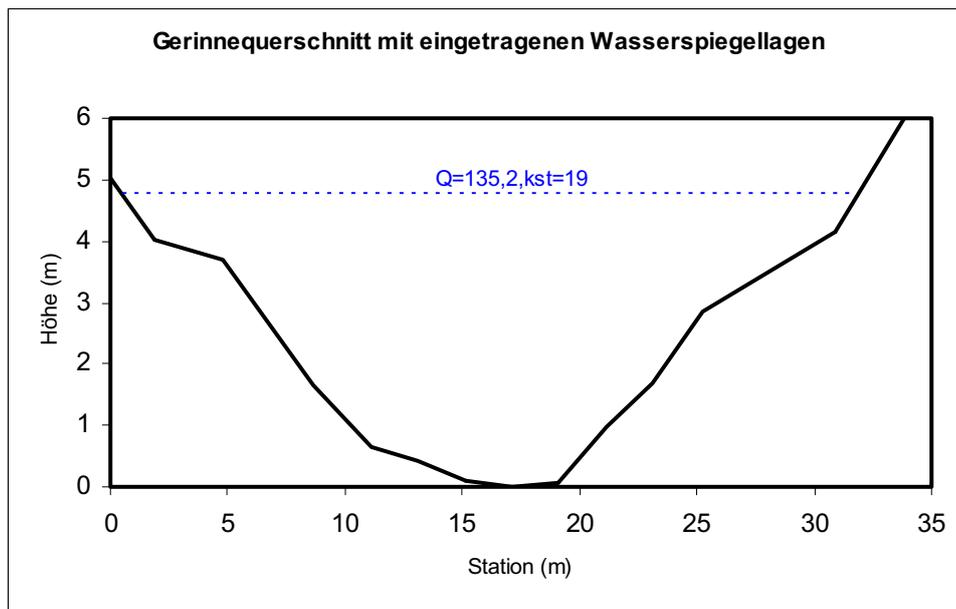


Abb. 5.19: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Interpretation der dargestellten k_{st} -Werte:

Die dargestellten k_{st} -Werte stammen aus einer hydraulischen Berechnung unter der Annahme von Normalabflussbedingungen. In Abb. 5.18 sind die Rauheits- und Widerstandseigenschaften des Gewässers gut zu erkennen. Die Sohle ist stark verkrautet, die Ufer sind mit Gräsern, Sträuchern und vereinzelt Bäumen bewachsen → $k_{st} \approx 24$ bis $29 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ lt. Tabelle b auf Seite 12 und $k_{st} \approx 10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ lt. Tabelle c auf Seite 13.

Anhand der Zahlenwerte der Tabellen wird ersichtlich, dass auch in diesem Fall eine exakte Festlegung der k_{st} -Werte nicht möglich ist. Hier sollte deshalb mit dem modifizierten Widerstandsbeiwert für verkrautete Gewässer (Fall 11 im Leitfaden Teil 2) und einem gewichteten Rauheitsbeiwert (Fall 3 im Leitfaden Teil 2) gearbeitet werden.

Ohrn in der Ortslage Öhringen

$k_{st} \approx 14 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt

Abschnittscharakteristik	Der betrachtete Gewässerabschnitt erstreckt sich innerhalb der Ortslage Öhringen von der Holzbrücke am Schwimmbad bis ca. 225 m nach oberstrom. Die Gewässersohle ist bereichsweise mit Wasserbausteinen befestigt. Die Böschungen sind stark mit Bäumen und Sträuchern teilweise bis zur Gewässersohle hin bewachsen.
mittleres Sohlprofilgefälle	I_{so} ca. 0,0038



Abb. 5.20: Ohrn oberhalb der Holzbrücke am Schwimmbad in Öhringen. Blick entgegen der Fließrichtung.

Tabellarische Auflistung verfügbarer Rauheitsbeiwerte

Abfluss [m ³ /s]	Wasserstand [NN+m]	max. Wassertiefe [m]	mittlere Wassertiefe [m]	k_{st} -Wert [m ^{1/3} /s]
47,7	225,83	4,05	---	14,0

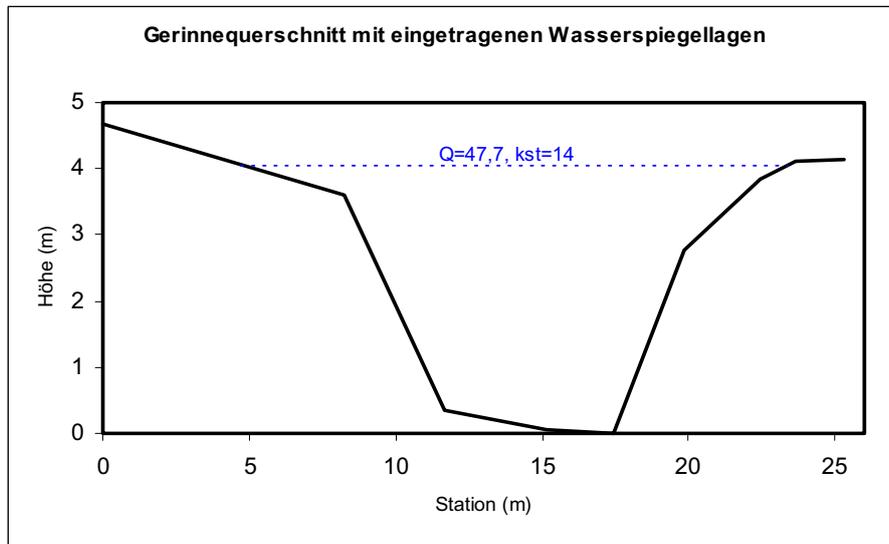


Abb. 5.21: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen

Interpretation der dargestellten k_{st} -Werte:

Die dargestellten k_{st} -Werte stammen aus einer eindimensionalen hydraulischen Berechnung eines Abflussereignisses. Das verwendete hydrodynamisch-numerische Modell wurde anhand von Naturdaten kalibriert. In Abb. 5.20 sind die Rauheits- und Widerstandseigenschaften des Gewässers gut zu erkennen: die Ufer sind mit einem teilweise verwachsenen Steinwurf gesichert, zum Teil befindet sich Baumbewuchs direkt an der Mittelwasserlinie.

Die Zuordnung eines Tabellenwertes ist auch in diesem Fall nicht empfehlenswert. Hier sollte mit einer gewichteten Rauheit gemäß Fall 3 des Leitfadens Teil 2 bzw. mit der Berücksichtigung des Bewuchses gemäß Fall 7 des Leitfadens Teil 2 gearbeitet werden.

Ohrn in der Ortslage Öhringen $k_{st} \approx 18 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ **Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt**

Abschnittscharakteristik	Der betrachtete Gewässerabschnitt erstreckt sich innerhalb der Ortslage Öhringen von der Brücke Austraße im Industriegebiet bis ca. 245 m nach oberstrom. Die Gewässersohle ist durch schlammartige Ablagerungen gekennzeichnet. Die Böschungen sind mit Gras bewachsen. Entlang der Böschungsoberkante säumen Bäume und Sträucher, die vereinzelt in die Uferböschung hineinragen, den Gewässerabschnitt.
mittleres Sohlprofilgefälle	I_{so} ca. 0,0009



Abb. 5.22: Ohrn oberhalb der Brücke Austraße im Industriegebiet Öhringen. Blick entgegen der Fließrichtung.

Tabellarische Auflistung verfügbarer Rauheitsbeiwerte

Abfluss [m ³ /s]	Wasserstand [NN+m]	max. Wassertiefe [m]	mittlere Wassertiefe [m]	k_{st} -Wert [m ^{1/3} /s]
55,3	220,29	4,54	---	18,0

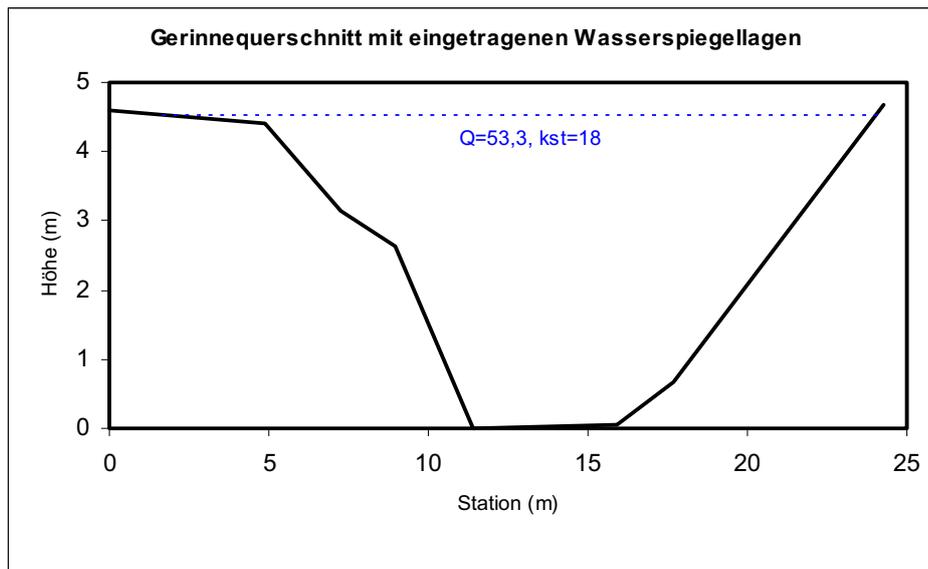


Abb. 5.23: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen

Interpretation der dargestellten k_{st} -Werte:

Die dargestellten k_{st} -Werte stammen aus einer eindimensionalen hydraulischen Berechnung eines Abflussereignisses. Das verwendete hydrodynamisch-numerische Modell wurde anhand von Naturdaten kalibriert. In Abb. 5.22 sind die Rauheits- und Widerstandseigenschaften des Gewässers gut zu erkennen. Bei der Schätzung des k_{st} -Wertes würde man hier wahrscheinlich eine eher „glatte“ Rauheit von $k_{st} \approx 45$ bis $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ annehmen → Tabelle d auf Seite 14 (künstliches Gerinne aus Erde mit Sand und Kies, gepflasterte Böschung).

Die Ergebnisse der Modellkalibrierung ergeben jedoch für den bordvollen Abfluss einen sehr rauen k_{st} -Wert von ca. $18 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Dies liegt zum einen an der sehr geringen Gerinnebreite und zum anderen an den großflächigen Uferböschungen, die mit Gras, Gestrüpp und vereinzelt mit Sträuchern und Bäumen bewachsen sind.

Schlägt man in den k_{st} -Tabellen nach, so findet man z.B. in Tabelle b auf Seite 12: Erdkanäle, stark bewachsen → $k_{st} \approx 32 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Wählt man nun für die Böschungen einen separaten k_{st} -Wert von $k_{st} \approx 6$ bis $22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ → Tabelle b auf Seite 12 (Vorland mit mitteldichten Gestrüpp) und führt gemäß Fall 3 des Leitfadens Teil 2 eine Rauheitsüberlagerung durch, so erhält man für das gesamte Gerinne tatsächlich einen k_{st} -Wert im Bereich zwischen 15 und $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Neckar bei Horb (Neckar-km 287+000) $k_{st} \approx 32,5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ **Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt**

Abschnittscharakteristik	Der betrachtete Gewässerabschnitt befindet sich unterhalb des Pegels Horb/Neckar. Die Sohle des Gewässers weist einen gleichmäßigen, geraden Verlauf ohne Mulden und Untiefen auf und besteht aus sandigem bis kiesigem Material. Die Uferböschungen sind mit Gräsern sowie Sträuchern und Bäumen bewachsen.
mittleres Sohlprofilgefälle	I_{so} ca. 0,0018



Abb. 5.24: Neckar im Unterwasser des Pegels Horb/Neckar; Blick in Fließrichtung.

Tabellarische Auflistung verfügbarer Rauheitsbeiwerte

Abfluss [m ³ /s]	Wasserstand [NN+m]	max. Wassertiefe [m]	mittlere Wassertiefe [m]	k_{st} -Wert [m ^{1/3} /s]
187,9	384,18	4,02	---	32,5

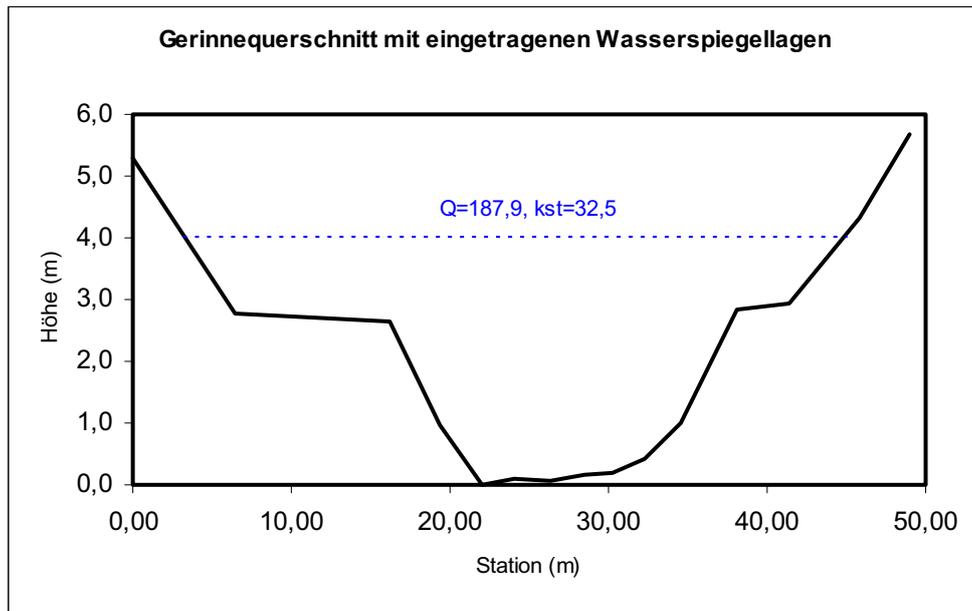


Abb. 5.25: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Interpretation der dargestellten k_{st} -Werte:

Die dargestellten k_{st} -Werte stammen aus einer eindimensionalen hydraulischen Berechnung eines Abflussereignisses. Das verwendete hydrodynamisch-numerische Modell wurde anhand von Naturdaten kalibriert. Nach Tabelle c auf Seite 13 ergibt sich für ein solches Gerinne mit einer HW-Abflussbreite < 30 m ein k_{st} -Wert von ca. 30 bis 40 $m^{1/3}/s$. Dieser Wert stimmt gut mit dem im Rahmen der Modellkalibrierung ermittelten k_{st} -Wert überein.

Pfinz bei Söllingen

$k_{st} \approx 14,5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt

Abschnittscharakteristik	Die Sohle des Gewässers ist vorwiegend schlammig/kiesig. Die Uferböschungen sind mit Gräsern, Sträuchern und Bäumen dicht bis sehr dicht bewachsen. Die teilweise bebauten Vorländer sind hauptsächlich mit Gras bewachsen.
mittleres Sohlprofil	I_{so} unbekannt



Abb. 5.26: Pfinz bei Söllingen; Blick flussaufwärts in den Bereich der alten Wehranlage.

Tabellarische Auflistung verfügbarer Rauheitsbeiwerte

Abfluss [m ³ /s]	Wasserstand [NN+m]	max. Wassertiefe [m]	mittlere Wassertiefe [m]	k_{st} -Wert [m ^{1/3} /s]
140	138,41	3,4	---	14,5

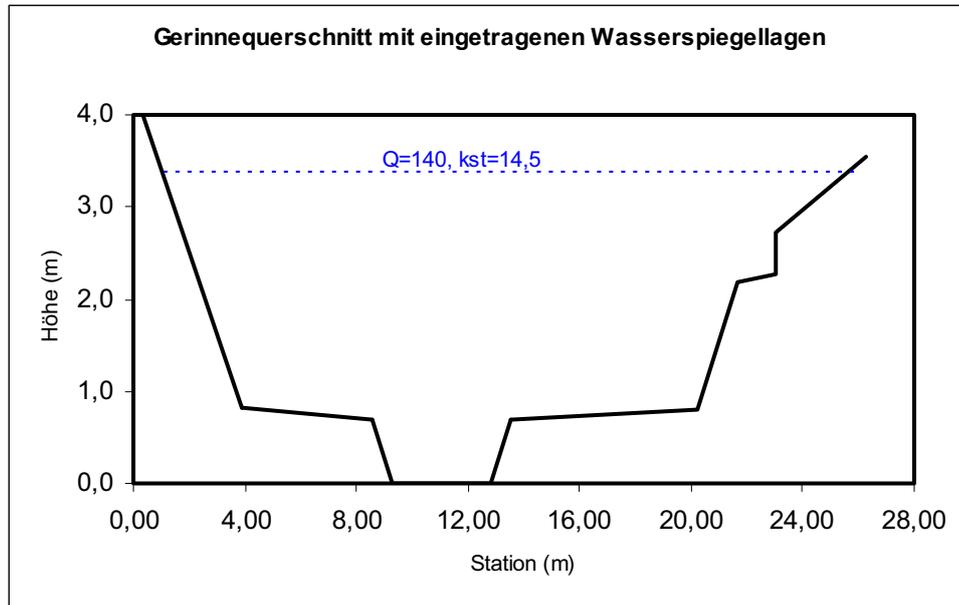


Abb. 5.27: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Interpretation der k_{st} -Werte:

Es handelt sich hierbei um ein gegliedertes Gerinne. In Abb. 5.26 ist gut zu erkennen, dass sich die Vorländer hinsichtlich der Bewuchsdichte unterscheiden. Aufgrund des sehr schmalen Hauptgerinnes kommt es bei der Überflutung der Vorländer zu einer signifikanten Störung der Hauptströmung infolge der Bewuchswiderstände. Dadurch wird die hydraulische Leistungsfähigkeit des gesamten Gerinnes derart beeinträchtigt, dass sich selbst für den in diesem Beispiel untersuchten Hochwasserfall noch ein sehr rauer k_{st} -Wert ergibt.

5.3 Dokumentation von Strickler-Beiwerten k_{st} und äquivalenten Sandrauheiten k_s

Im Rahmen der Naturmessdaten der **Landes-Pilotprojekte an Enz und Murr**, die auf einen 8 bis 10-jährigen Beobachtungszeitraum basieren, wurden die Daten nach Ereignissen ausgewertet.

Durch eindimensionale numerische Berechnungen sowie durch die Auswertung von entnommenen Sohlen- und Sedimentproben wurden die Rauheits- und Widerstandsbeiwerte rückgerechnet. Saisonaler Einflüsse wurden durch eine Filterung der Daten berücksichtigt. Die Auswirkungen des Uferbewuchses sind im dargestellten Verlauf des Gesamt-Stricklerbeiwertes enthalten.

Aufbau der Dokumentation

Die Dokumentation der Rauheits- und Widerstandsbeiwerte der Gewässerstrukturen entlang der Landespilotmessstrecken ist nach einem festen Schema aufgebaut.

Auf jeweils 4 Seiten werden für die untersuchten Gewässerabschnitte die jeweils vorhandenen Daten nach folgendem Muster dargestellt.

SEITE 1:

- Gewässername und -ort sowie ein repräsentativer **k_s -Wert der Gewässersohle** und der Wertebereich der **k_{st} -Werte**.
- Tabellarische Auflistung allgemeiner Informationen über den untersuchten Gewässerabschnitt sowie der hydrologischen Kenndaten des nächstgelegenen Pegels.

- Kornverteilungskurve der Gewässersohle und daraus abgeleitete äquivalente Sandrauheiten (k_s -Werte in Kapitel 4.2.2).

SEITE 2:

- Gewässerbezeichnung und -ort sowie der Wertebereich der k_{st} -Werte.
- Fotodokumentation des Gewässerabschnittes.

SEITE 3:

- Gewässername und -ort sowie der Wertebereich der k_{st} -Werte.
- Tabellarische Auflistung hydraulischer Daten sowie Ergebnisse aus Naturmessungen.
- Graphischer Verlauf der k_{st} -Werte im untersuchten Abflussbereich. Diese Grafik ermöglicht es dem Anwender, k_{st} -Werte für bestimmte Abflussereignisse bzw. Wassertiefen abzugreifen und auf hydraulisch ähnliche Gewässerabschnitte als Anhaltswert für eine hydraulische Berechnung zu übertragen.

SEITE 4:

- Gewässername und -ort sowie der Wertebereich der k_{st} -Werte.
- Lageplan mit Darstellung der Gewässerlaufcharakteristik und ggf. der Bewuchseigenschaften.
- Vereinfachte Darstellung repräsentativer Gerinnequerschnitte im untersuchten Gewässerabschnitt.

Seite 1

Murr Bereich B5 (km 3+200 bis 3+300) $k_{s0} \# 23 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ $k_{s1} \# 240 \text{ mm}$

Algemeine Informationen über den Gewässerabschnitt

Abschnittcharakteristik	Trapezförmiges Profil. Die Uferböschungen sind überwiegend durch eine Schilfschicht gesichert und mit Gras bewachsen. Die linke Böschung ist im bis 4m hohen Weidenbestand. Die rechte Böschung ist vereinzelt mit 10m bis 15m hohen Geläuben bewachsen.
Gewässertyp	Umwäldetes Fließgewässer, Gewässertyp 3 nach Leitfadens Teil II 4
mittleres So	
Karteigut	
Hydrologische Einzugsgebiet	
Einzugsgebiet	507 km ²
MHO	1,65 m ³ /s
MO	5,19 m ³ /s
MHO	110,40 m ³ /s

Tabelle: Auflistung allgemeiner Informationen über den Gewässerquerschnitt

Kornverteilung der Gewässersohle und resultierende k_{s0} -Werte

Kornverteilungskurve Murr

Kornverteilungskurve der Gewässersohle und daraus abgeleitete k_{s0} -Werte (Formeln auf S. 17)

Autor	k_{s0} -Wert (m)
GARBEGGHT	112
ENGELUND/H.	182
HEY	385
KAPRINO	160
MERTENS	200
DITTMANN	38,5

Seite 2

Murr Bereich B5 (km 3+200 bis 3+300) $k_{s0} \# 23 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ $k_{s1} \# 240 \text{ mm}$

Fotodokumentation des Gewässerabschnittes

Abbildung 7

Abbildung 7 © Murr bei km 3+200. © Bank: rechte Ufer; Blickrichtung: nach Oberwasser

Seite 3

Murr Bereich B5 (km 3+200 bis 3+300) $k_{s0} \# 16 \text{ bis } 27 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ $k_{s1} \# 240 \text{ mm}$

Tabellarische Auflistung der hydraulischen Daten

Abfluss [m ³ /s]	h [m]	U [m/s]	U ₀ [m/s]	k_{s0} [m ^{1/3} /s]	k_{s1} [m]
1,54	12,92	0,87	0,13	16	1,34
7,61	15,12	0,99	0,50	18	1,49
22,75	21,13	1,29	1,08	27	1,90
63,30	36,91	2,27	1,74	25	2,64
75,96	40				
173,50	75				
249,57	92				

Tabelle: Auflistung hydraulischer Daten und Messwerte

Verlauf des k_{s0} -Wertes im

Graphischer Verlauf des k_{s0} -Wertes im untersuchten Abflussspektrum.

Seite 4

Murr Bereich B5 (km 3+200 bis 3+300) $k_{s0} \# 23 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ $k_{s1} \# 240 \text{ mm}$

Lageplan mit Gewässerlaufcharakteristik und ggf. Bewuchsinformationen

Vereinfachte Darstellung repräsentativer Abflussquerschnitte im untersuchten Gewässerabschnitt

Abb. 5.28: Beispielhafte Dokumentation.

5.4 Pilotstrecke Murr bei Steinheim

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich über eine Länge von ca. 5 km von der Mündung in den Neckar stromaufwärts. Die Einzugsgebietsgröße der Murr beträgt ca. 500 km². Die Murr wird als Karbonat-Berglandfluss eingestuft und durch die geologischen Formationen des oberen Muschelkalks und Auensedimente beeinflusst. Das Sohlenprofil der Murr setzt sich überwiegend aus Grobsand, Kies, Schluff und Auelehm zusammen.

Ausführliche Informationen über die Murr im Untersuchungsgebiet und über bisher durchgeführte ökologische und biologischen Untersuchungen während des Beobachtungszeitraumes seit 1990 sind im Handbuch Wasser 2: Naturnahe Umgestaltung von Fließgewässern (LfU 1995) nachzulesen.

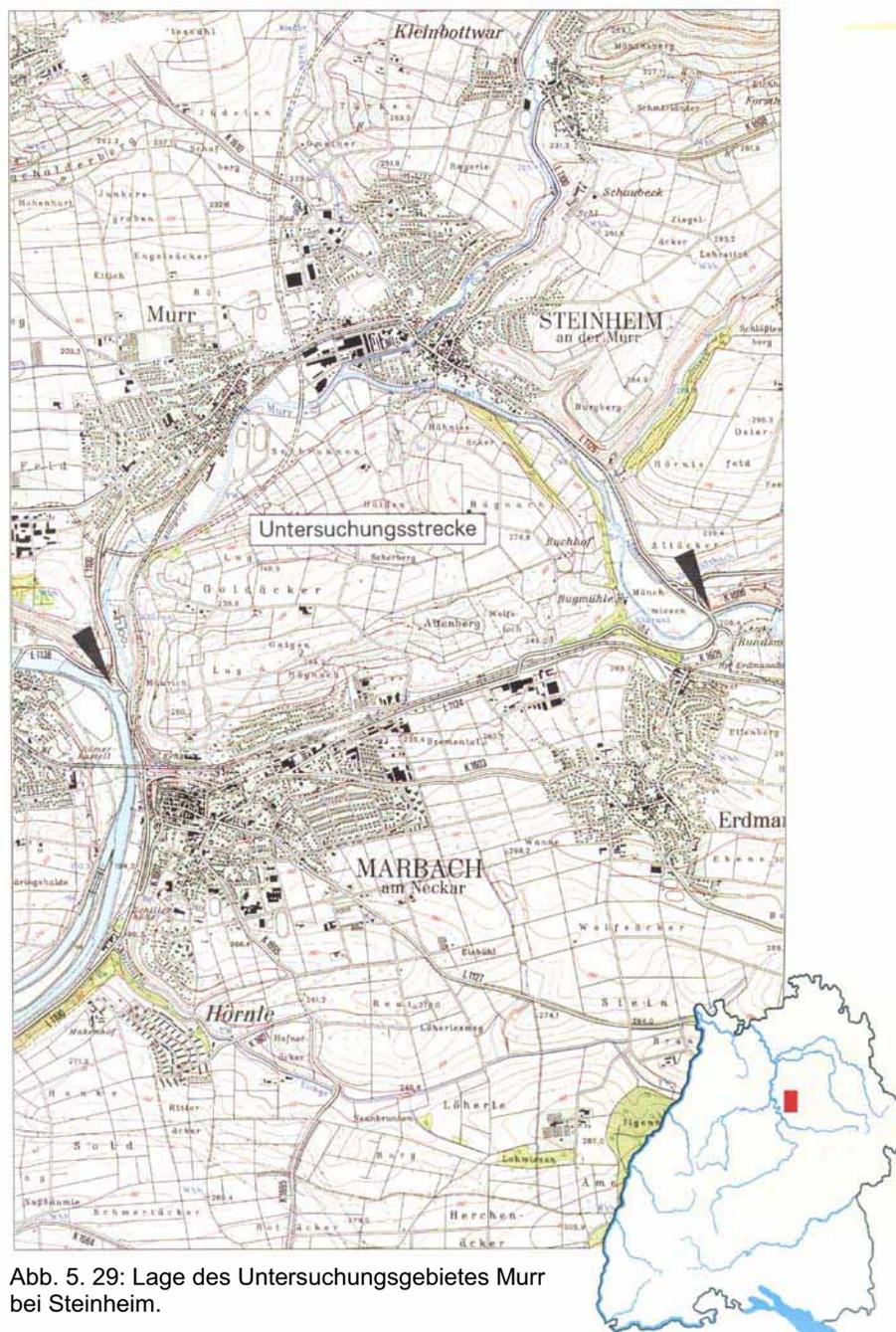
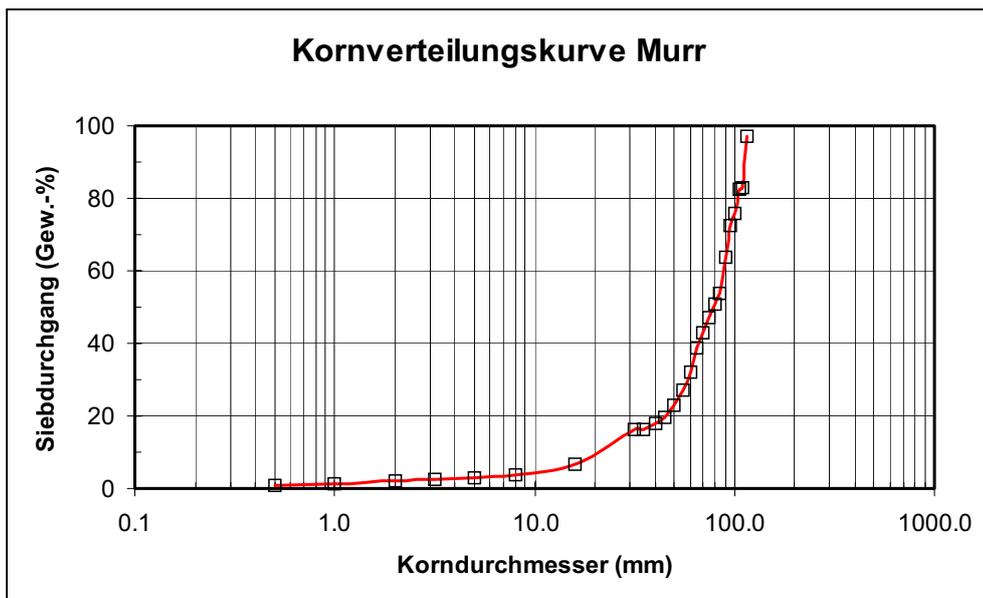


Abb. 5. 29: Lage des Untersuchungsgebietes Murr bei Steinheim.

Murr Bereich B1 (km 1+900 bis 2+400) **$k_{st} \approx 22$ bis $31 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** **Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt**

Abschnittscharakteristik	Leicht gekrümmte Linienführung in einem Doppeltrapezgerinne. Die Ufer sind durch Steinsatz und einen Weidensaum gesichert. Die Vorländer sind mit Gras bewachsen.
Gerinneklassifizierung	Gegliedertes Gerinne
mittleres Sohlprofilgefälle	I_{so} ca. 0,0005
Kartengrundlage TK 25	Blatt 7021 (Marbach)
<i>Hydrologische Kennwerte</i>	
nächstgelegener Pegel	Murr / Murr
Einzugsgebietsgröße	507 km ²
MNQ	1,65 m ³ /s
MQ	5,19 m ³ /s
MHQ	110,40 m ³ /s

Abgeleitete k_s -Werte

Autor	k_s -Wert (mm)
GARBRECHT	112
ENGELUND/H.	182
HEY	385
KAPHIUS	160
MERTENS	200
DITTRICH	385
Mittelwert	237

Abb. 5. 30: Kornverteilung der Gewässersohle und resultierende k_s -Werte.

Murr Bereich B1 (km 1+900 bis 2+400) **$k_{st} \approx 22 \text{ bis } 31 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** 

Abb. 5.31: Standort: linkes Ufer; Blickrichtung nach Oberwasser.



Abb. 5.32: Blick nach Unterwasser.

Murr Bereich B1 (km 1+900 bis 2+400)

$k_{st} \approx 22$ bis $31 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Tabellarische Auflistung der hydraulischen Daten

Abfluss [m³/s]	A [m²]	r_{hy} [m]	V_m [m/s]	k_{st} [m ^{1/3} /s]	h [m]
1,91	16,01	0,75	0,12	22	0,98
8,40	21,31	0,83	0,39	26	1,23
24,00	29,72	1,29	0,81	28	1,62
66,30	46,97	1,84	1,41	28	2,33
79,11	52,24	1,96	1,51	28	2,5
196,60	96,09	2,87	2,05	27	3,81
266,20	120,85	2,98	2,20	31	4,46

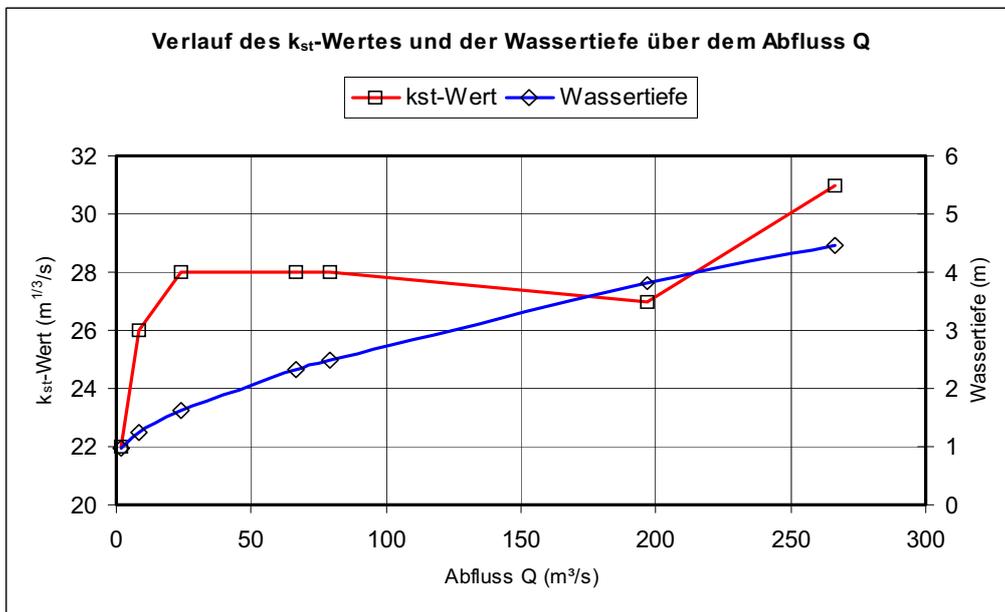


Abb. 5.33: Verlauf des k_{st} -Wertes und der Wassertiefe über dem Abfluss Q.

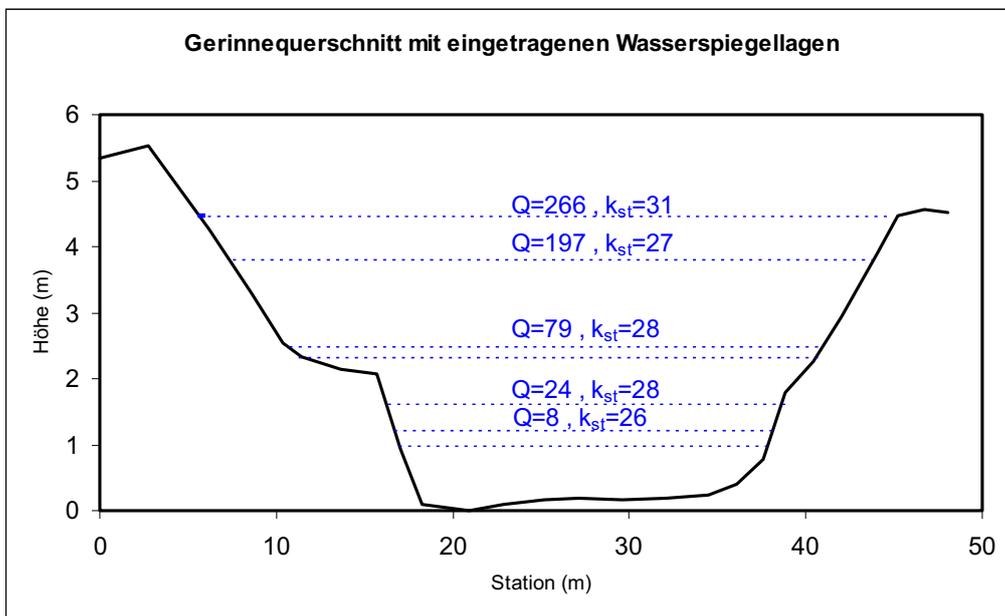


Abb. 5.34: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Murr Bereich B1 (km 1+900 bis 2+400)

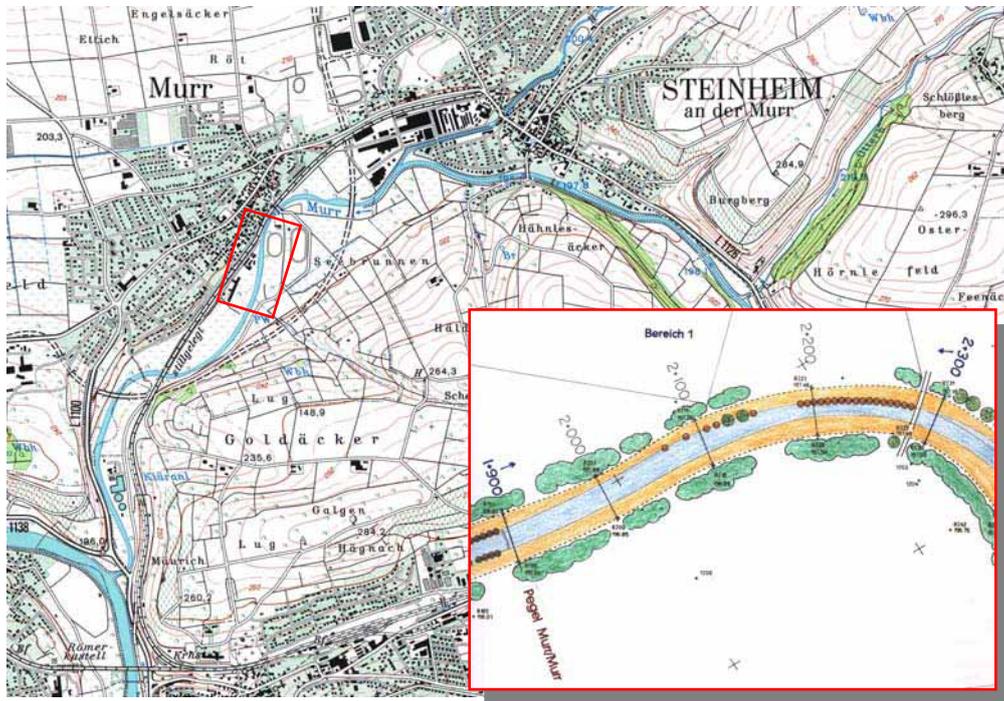
 $k_{st} \approx 22 \text{ bis } 31 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ 

Abb. 5.35 : Lageplan.

Interpretation der k_{st} -Werte:

Bei Wassertiefen kleiner als ca. 2 m findet der gesamte Abfluss im Hauptgerinne statt. Mit zunehmender Fließtiefe ist in diesem Bereich eine Zunahme der k_{st} -Werte plausibel. Infolge der stark unterschiedlichen Rauheiten der Sohle und der mit Steinsatz gesicherten Vorländer sollte für Abflussereignisse, bei denen noch keine Vorlandüberflutung stattfindet, mit der Rauheitsüberlagerung nach Einstein und Horton für kompakte Gerinne gearbeitet werden (vgl. Leitfaden Teil 2, Fall Nr. 3).

Ab einer Fließtiefe von ca. 2 m beginnt die Überströmung der grasbewachsenen Vorländer. Infolge der eher glatten Vorlandrauheit bleibt der Gesamt- k_{st} -Wert stabil und nimmt mit zunehmender Fließtiefe ebenfalls etwas zu. Eine hydraulische Berechnung sollte hier fallspezifisch für gegliederte Gerinne durchgeführt werden.

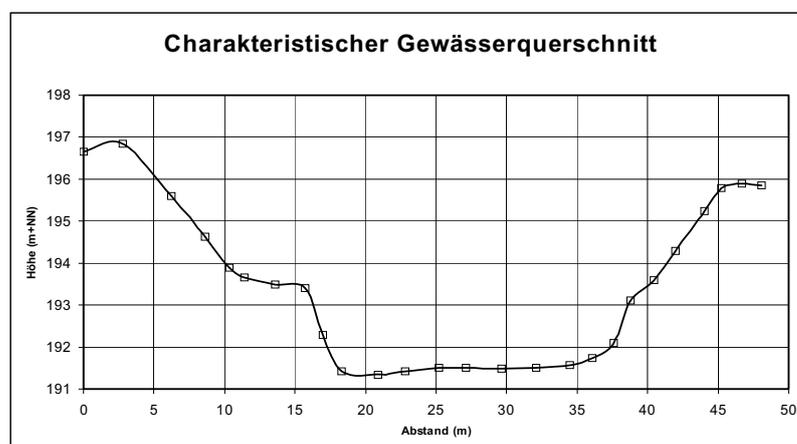
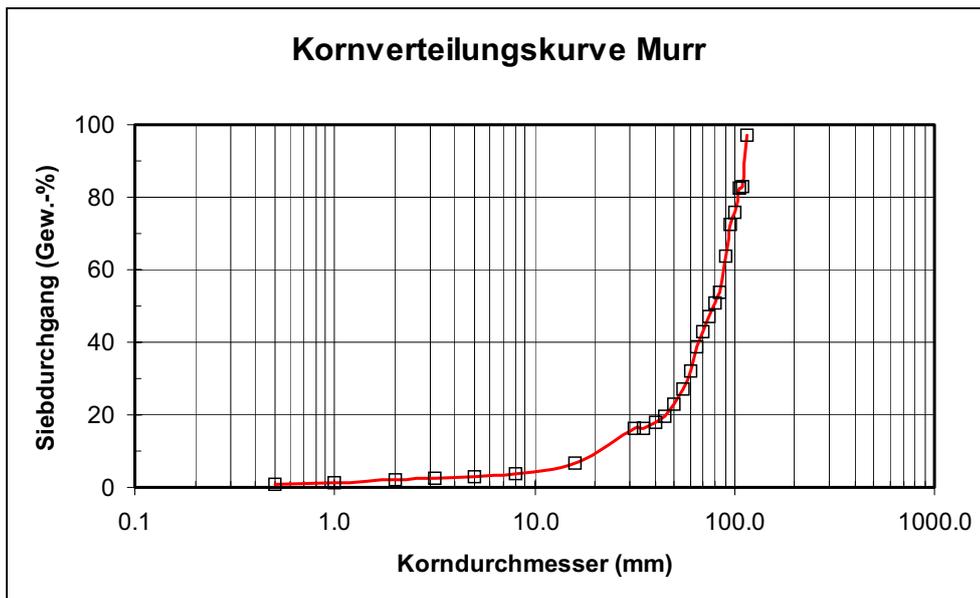


Abb. 5.36 : Charakteristischer Gewässerquerschnitt.

Murr Bereich B2 (km 2+500 bis 2+600) **$k_{st} \approx 18 \text{ bis } 28 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** **Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt**

Abschnittscharakteristik	Leicht gekrümmte Linienführung in einem Doppeltrapezgerinne. Die Uferböschungen sind durch einen Steinsatz gesichert und mit 4 bis 6m hohen Weiden bestanden. Die Vorlandbereiche sind mit Gras bewachsen.
Gerinneklassifizierung	Gegliedertes Gerinne
mittleres Sohlprofilgefälle	I_{so} ca. 0,002
Kartengrundlage TK 25	Blatt 7021 (Marbach)
<i>Hydrologische Kennwerte</i>	
nächstgelegener Pegel	Murr / Murr
Einzugsgebietsgröße	507 km ²
MNQ	1,65 m ³ /s
MQ	5,19 m ³ /s
MHQ	110,40 m ³ /s

Abgeleitete k_s -Werte

Autor	k_s -Wert (mm)
GARBRECHT	112
ENGELUND/H.	182
HEY	385
KAPHIUS	160
MERTENS	200
DITTRICH	385
Mittelwert	237

Abb. 5. 37: Kornverteilung der Gewässersohle und resultierende k_s -Werte.

Murr Bereich B2 (km 2+500 bis 2+600) **$k_{st} \approx 18$ bis $28 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** 

Abb. 5.38: Standort: linkes Ufer; Blickrichtung nach Oberwasser.

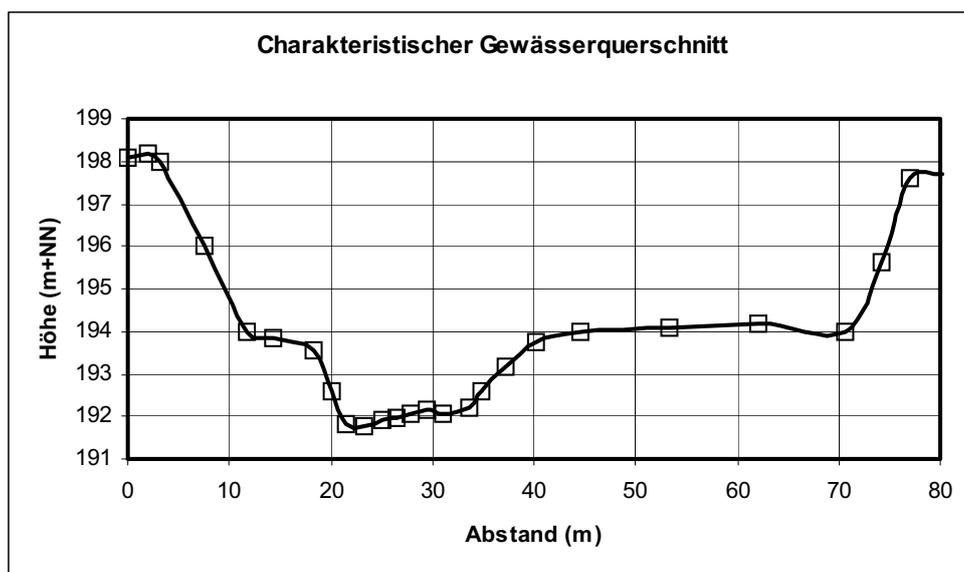


Abb. 5.39: Charakteristischer Gewässerquerschnitt.

Murr Bereich B2 (km 2+500 bis 2+600)

$k_{st} \approx 18$ bis $28 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Tabellarische Auflistung der hydraulischen Daten

Abfluss [m³/s]	A [m²]	r_{hy} [m]	V_m [m/s]	k_{st} [m ^{1/3} /s]	h [m]
1,91	6,96	0,48	0,28	18	0,82
8,40	14,31	0,83	0,59	20	1,29
24,00	24,98	1,28	0,96	24	1,87
66,30	59,73	1,20	1,06	25	2,73
79,11	71,51	1,15	1,06	26	2,92
196,60	167,90	1,59	1,15	23	4,42
266,20	204,61	1,50	1,29	28	4,95

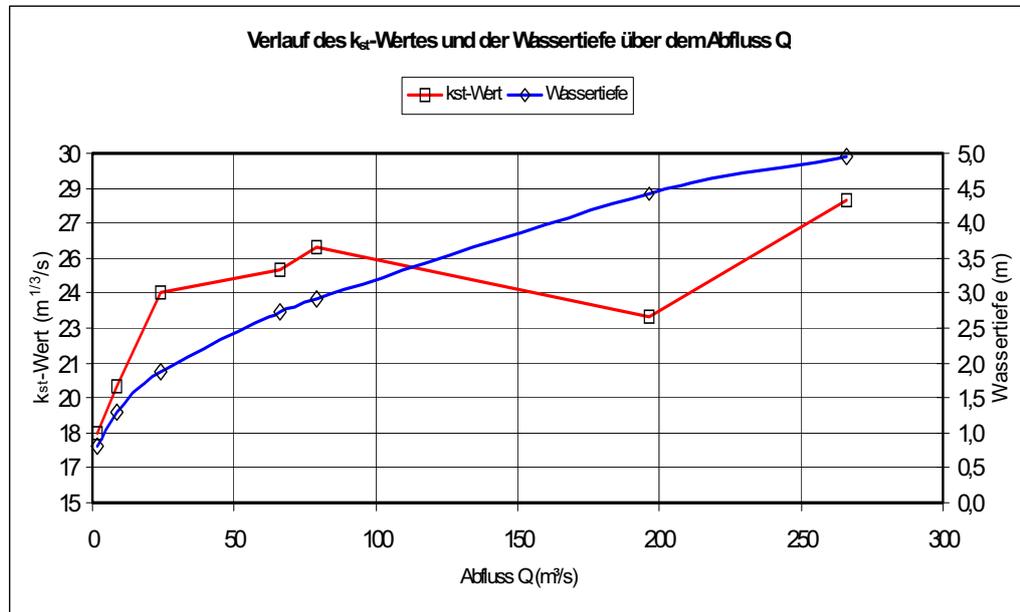


Abb. 5.40: Verlauf des k_{st} -Wertes und der Wassertiefe über dem Abfluss Q.

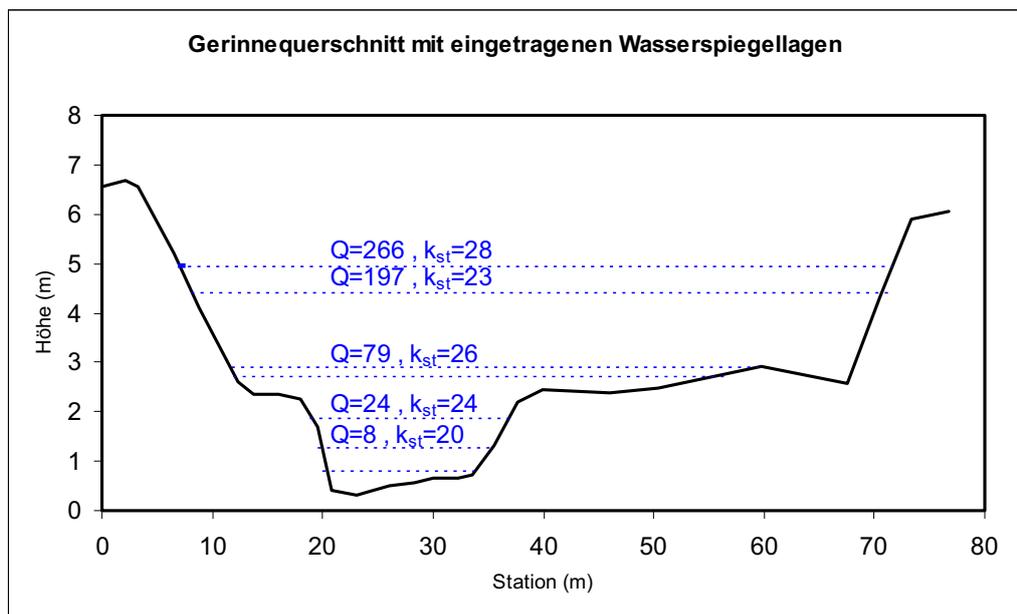


Abb. 5.41: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Murr Bereich B2 (km 2+500 bis 2+600)

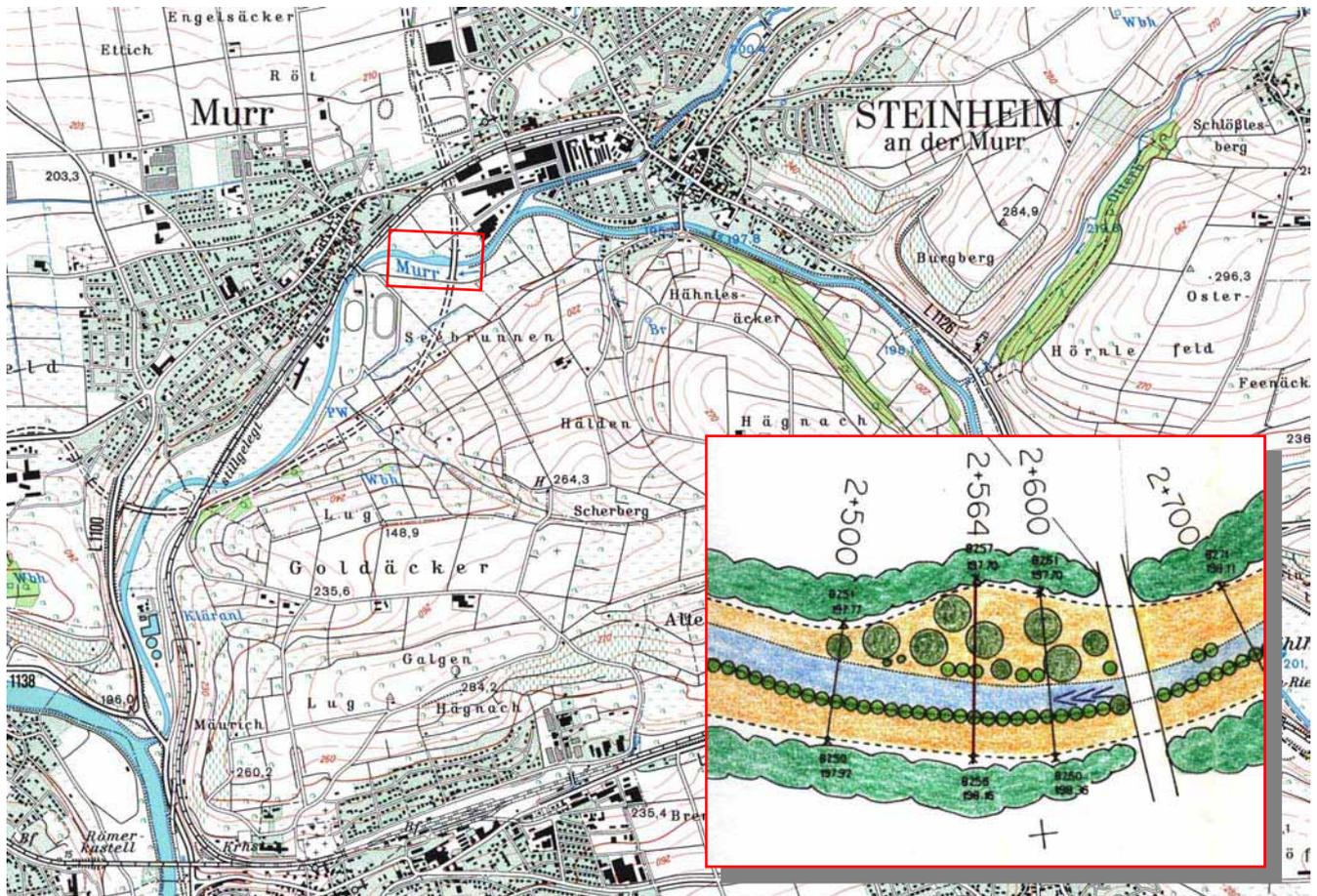
 $k_{st} \approx 18 \text{ bis } 28 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ 

Abb. 5.42: Lageplan.

Interpretation der k_{st} -Werte:

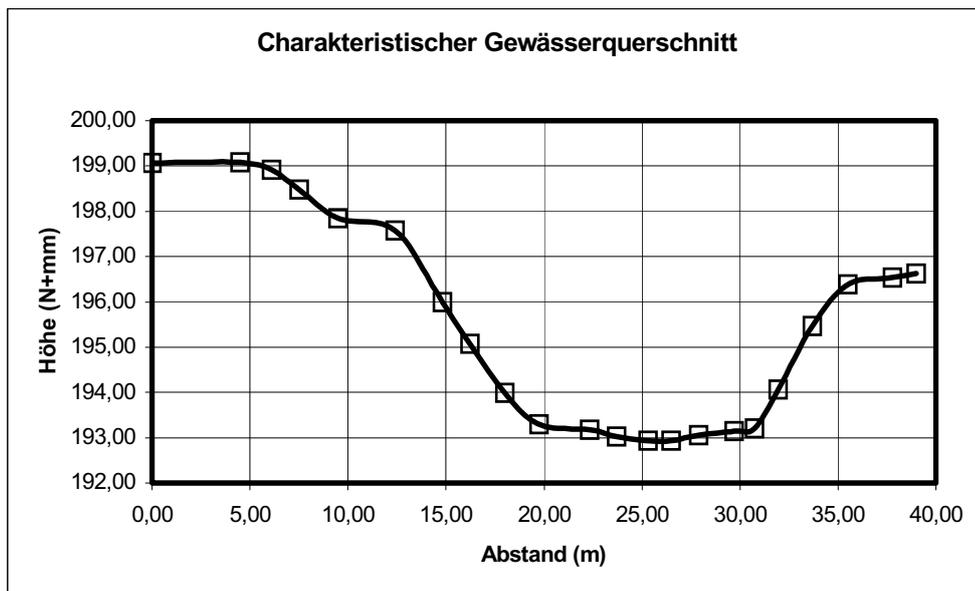
Bei Wassertiefen kleiner als ca. 2 m findet der gesamte Abfluss im Hauptgerinne statt. Mit zunehmender Fließtiefe ist in diesem Bereich eine Zunahme der k_{st} -Werte plausibel. Infolge der stark unterschiedlichen Rauheiten der Sohle und der mit Steinsatz gesicherten Vorländer sollte für Abflussereignisse, bei denen noch keine Vorlandüberflutung stattfindet, mit der Rauheitsüberlagerung nach Einstein und Horton für kompakte Gerinne gearbeitet werden (vgl. Leitfaden Teil 2, Fall Nr. 3).

In Abb. 5.42 ist eine rechtsseitige Aufweitung des Vorlandes zu erkennen. Dieser Bereich ist sehr stark mit Weiden, Bäumen und Sträuchern bewachsen. Ab einer Fließtiefe von ca. 2 m beginnt die Durchströmung der am Ufer stehenden Weiden (vg. Abb. 5.38) sowie die Überströmung der Vorländer. Der k_{st} -Wert bleibt mit zunehmender Fließtiefe nahezu konstant, da sich die Grobstrukturen entlang der Ufer nun signifikant auf das Strömungsverhalten auswirken. Bei einer Fließtiefe von ca. 4,5 m ist die in Abb. 5.42 dargestellte Vorlandaufweitung buchtartig durchströmt. Infolge von auftretenden Sekundärströmungen (Walzen) kommt es bei den sehr großen Fließtiefen dann auch zu einer Beeinträchtigung der Hauptströmung, wodurch sich der Gesamt- k_{st} -Wert nochmals leicht verkleinert.

Die Ergebnisse einer zweidimensionalen numerischen Strömungssimulation bestätigen diesen Sachverhalt; ebenfalls können enorme Verlandungen auf dem Vorland – resultierend aus der Strömungswalze, die sich in derart auch z.B. bei Hafeneinfahrten bildet – nachgewiesen werden.

Murr Bereich B5 (km 3+200 bis 3+300) **$k_{st} \approx 16$ bis $27 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** **Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt**

Abschnittscharakteristik	Trapezförmiges Profil. Die Uferböschungen sind überwiegend durch einen Steinsatz gesichert und mit Gras bewachsen. Die linke Böschung ist mit 1 m bis 4 m hohen Weiden bestanden. Die rechte Böschung ist vereinzelt mit 10 m bis 15 m hohen Gehölzen bewachsen.
Gerinneklassifizierung	Kompaktes Gerinne
mittleres Sohlprofilgefälle	I_{so} ca. 0,00083
Kartengrundlage TK 25	Blatt 7021 (Marbach)
<i>Hydrologische Kennwerte</i>	
nächstgelegener Pegel	Murr / Murr
Einzugsgebietsgröße	507 km ²
MNQ	1,65 m ³ /s
MQ	5,19 m ³ /s
MHQ	110,40 m ³ /s

**Abgeleitete k_s -Werte**

Autor	k_s -Wert (mm)
GARBRECHT	112
ENGELUND/H.	182
HEY	385
KAPHIUS	160
MERTENS	200
DITTRICH	385
Mittelwert	237

Abb. 5.43: Kornverteilung der Gewässersohle und resultierende k_s -Werte.

Murr Bereich B5 (km 3+200 bis 3+300) **$k_{st} \approx 16$ bis $27 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** 

Abb. 5.44: Murr bei km 3+200. Standort: rechtes Ufer; Blickrichtung nach Unterwasser.

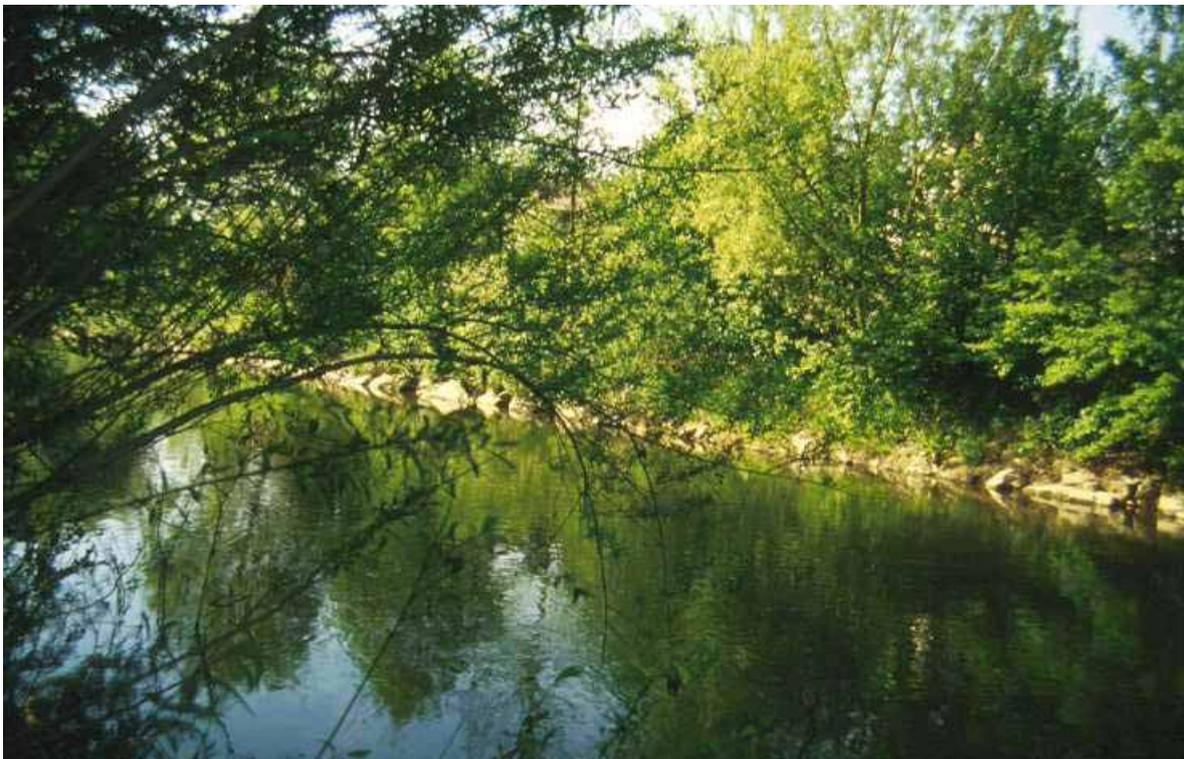


Abb. 5.45: Murr bei km 3+200. Standort: rechtes Ufer; Blickrichtung nach Oberwasser.

Murr Bereich B5 (km 3+200 bis 3+300)

$k_{st} \approx 16 \text{ bis } 27 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Tabellarische Auflistung der hydraulischen Daten

Abfluss [m³/s]	A [m²]	r_{hy} [m]	V_m [m/s]	k_{st} [m ^{1/3} /s]	h [m]
1,64	12,92	0,87	0,13	16	1,34
7,61	15,12	0,99	0,50	18	1,49
22,75	21,13	1,29	1,08	27	1,90
63,30	36,91	2,27	1,74	25	2,84
75,96	40,71	2,27	1,88	27	3,04
173,50	75,80	3,20	2,23	20	4,53
249,57	92,90	3,54	2,68	25	5,13

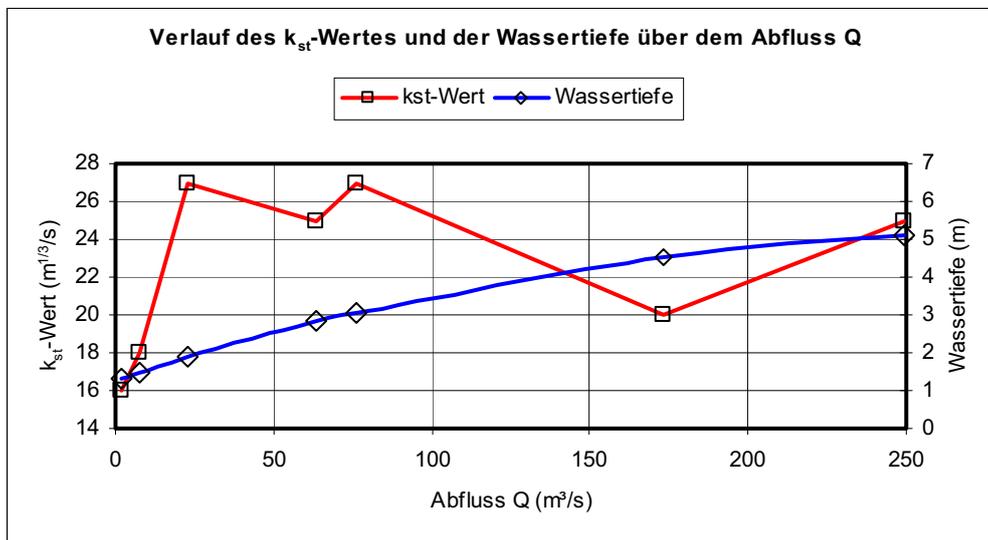


Abb. 5.46: Verlauf des k_{st} -Wertes und der Wassertiefe über den Abfluss Q.

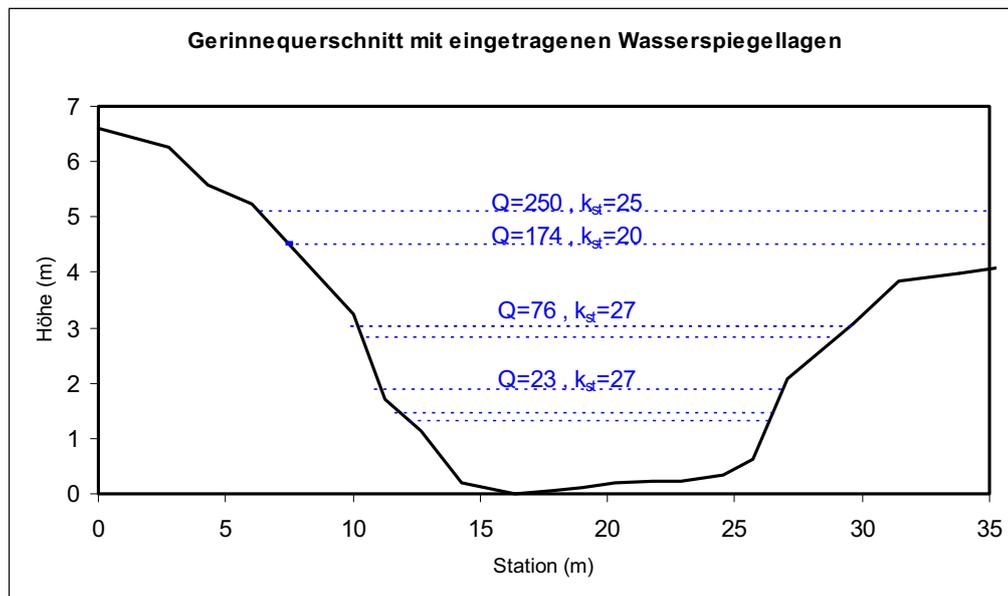


Abb. 5.47: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Murr Bereich B5 (km 3+200 bis 3+300)

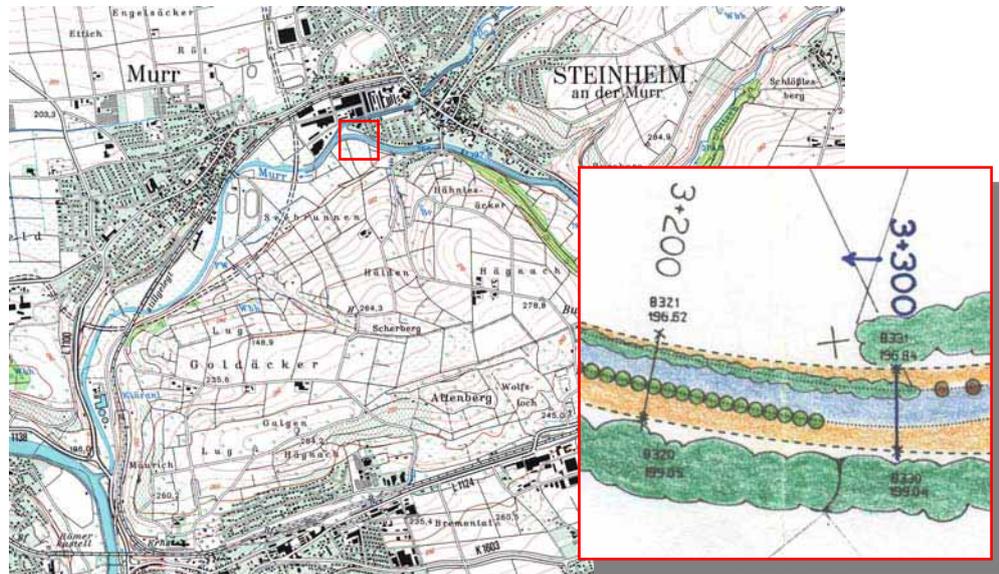
 $k_{st} \approx 16 \text{ bis } 27 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ 

Abb. 5.48: Lageplan.

Interpretation der k_{st} -Werte:

Bei Wassertiefen kleiner als ca. 2 m findet der gesamte Abfluss im Hauptgerinne statt. Mit zunehmender Fließtiefe ist in diesem Bereich eine Zunahme der k_{st} -Werte plausibel. Infolge der stark unterschiedlichen Rauheiten der Sohle und der mit Steinsatz gesicherten Vorländer sollte für Abflussereignisse, bei denen noch keine Vorlandüberflutung stattfindet, mit der Rauheitsüberlagerung nach Einstein und Horton für kompakte Gerinne gearbeitet werden (vgl. Leitfaden Teil 2, Fall Nr. 3).

Ab einer Fließtiefe von ca. 2 m beginnt die Überströmung der Vorländer. In den Abb. 5.44 und 5.45 sind sehr deutlich die ufernahen Gehölze und Weiden zu erkennen. Die Uferstrukturen wirken sich in diesem Abschnitt bedingt durch die geringe Gewässerbreite signifikant auf das Strömungsverhalten aus, wodurch es bei Fließtiefen im Bereich zwischen 2 und 3 m zu einem nahezu konstanten k_{st} -Wert kommt. Dieser resultiert aus der vorwiegenden Umströmung der Gehölze, wodurch es zu einer Trennung des Abflussgeschehens im Hauptgerinne und auf den Vorländern kommt. Erst bei den sehr großen Fließtiefen von über 4 m werden die ufernahen Sträucher infolge der Strömungskräfte umgebogen und es entstehen strömungsbeeinflussende Turbulenzen, die wiederum eine Abnahme des Gesamt- k_{st} -Wertes bewirken. Eine hydraulische Berechnung sollte hier gemäß Fall 17 im Leitfaden Hydraulik Teil 2 durchgeführt werden.

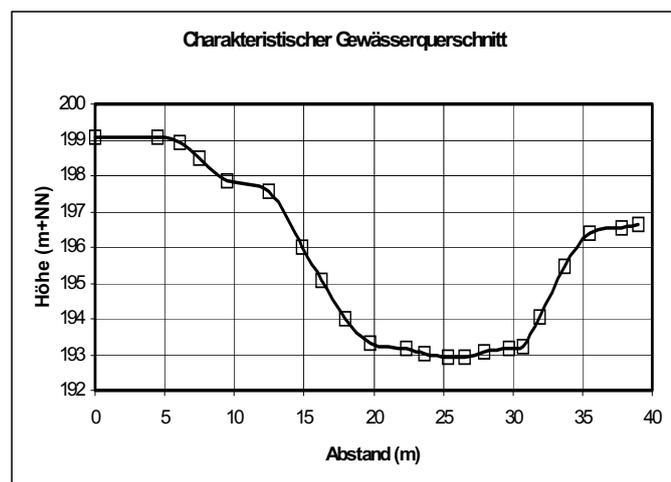
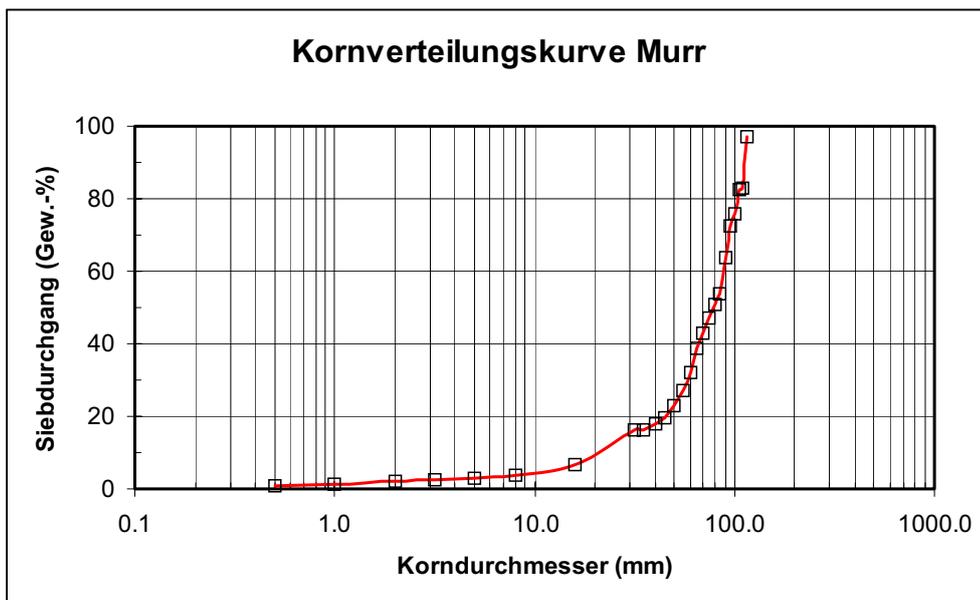


Abb. 5.49: Charakteristischer Gewässerquerschnitt.

Murr Bereich B6 (km 3+420) **$k_{st} \approx 21$ bis $28 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** **Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt**

Abschnittscharakteristik	Der Fluss verläuft in einer leichten Rechtskrümmung. Die Sohle ist unregelmäßig und mit grobem Geschiebe (Geröll) bedeckt. Entlang der Böschungen steht Weidenbewuchs mit teilweise starren umströmten Bäumen.
Gerinneklassifizierung	Kompaktes Gerinne
mittleres Sohlprofilgefälle	I_{so} ca. 0,00625
Kartengrundlage TK 25	Blatt 7021 (Marbach)
<i>Hydrologische Kennwerte</i>	
nächstgelegener Pegel	Murr / Murr
Einzugsgebietsgröße	507 km ²
MNQ	1,65 m ³ /s
MQ	5,19 m ³ /s
MHQ	110,40 m ³ /s

Abgeleitete k_s -Werte

Autor	k_s -Wert (mm)
GARBRECHT	112
ENGELUND/H.	182
HEY	385
KAPHIUS	160
MERTENS	200
DITTRICH	385
Mittelwert	237

Abb. 5.50: Kornverteilung der Gewässersohle und resultierende k_s -Werte.

Murr Bereich B6 (km 3+420) **$k_{st} \approx 21$ bis $28 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** 

Abb. 5.51: Aufnahme vom rechten Ufer aus in Richtung Oberwasser.



Abb. 5.52: Aufnahme in Richtung Unterwasser.

Murr Bereich B6 (km 3+420)

$k_{st} \approx 21$ bis $28 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Tabellarische Auflistung der hydraulischen Daten

Abfluss [m³/s]	A [m²]	r _{hy} [m]	V _m [m/s]	k _{st} [m ^{1/3} /s]	h [m]
19,44	12,78	0,67	1,52	25,2	0,721
24,56	14,10	0,73	1,74	27,3	0,791
34,85	17,94	0,89	1,94	26,5	0,991
51,53	25,53	1,19	2,02	22,7	1,371
55,56	26,98	1,25	2,06	22,5	1,441
119,97	41,02	1,72	2,92	25,8	2,091
136,26	50,48	2,00	2,70	21,5	2,501
210,96	72,17	2,23	2,92	21,7	3,331

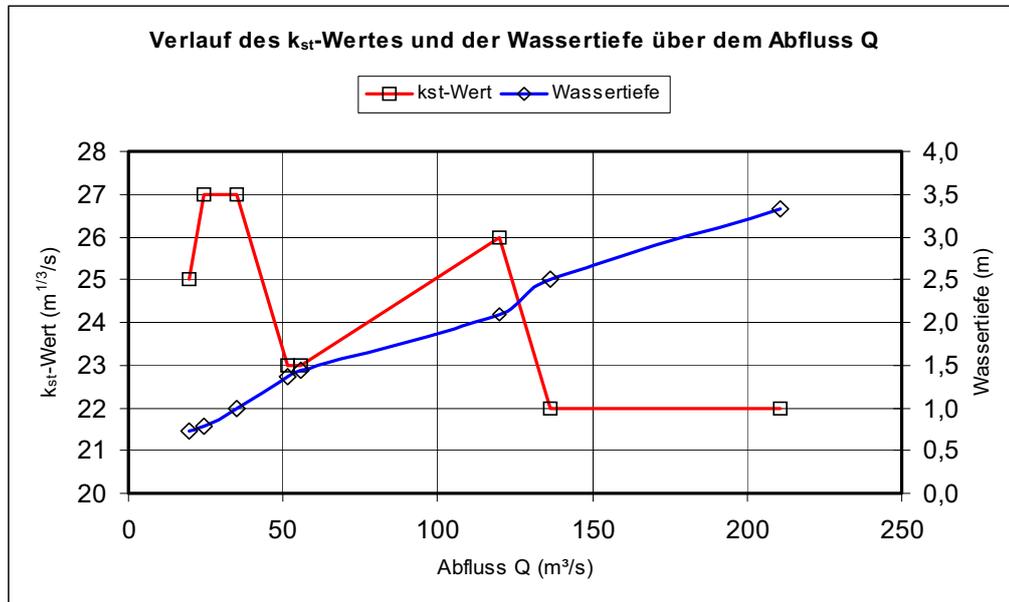


Abb. 5.53: Verlauf des k_{st} -Wertes und der Wassertiefe über dem Abfluss Q.

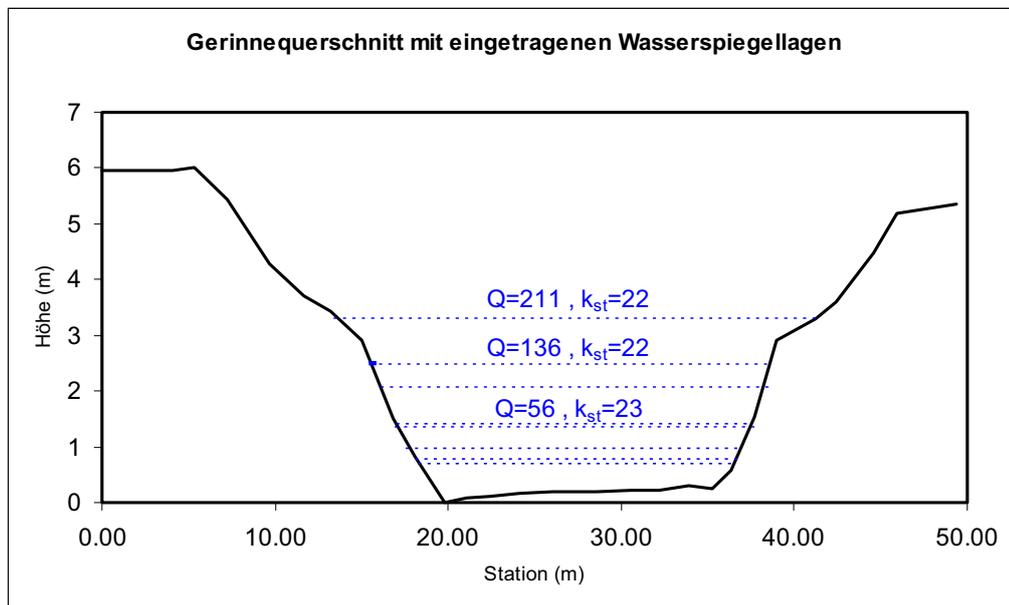


Abb. 5.54: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Murr Bereich B6 (km 3+420)

$k_{st} \approx 21$ bis $28 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

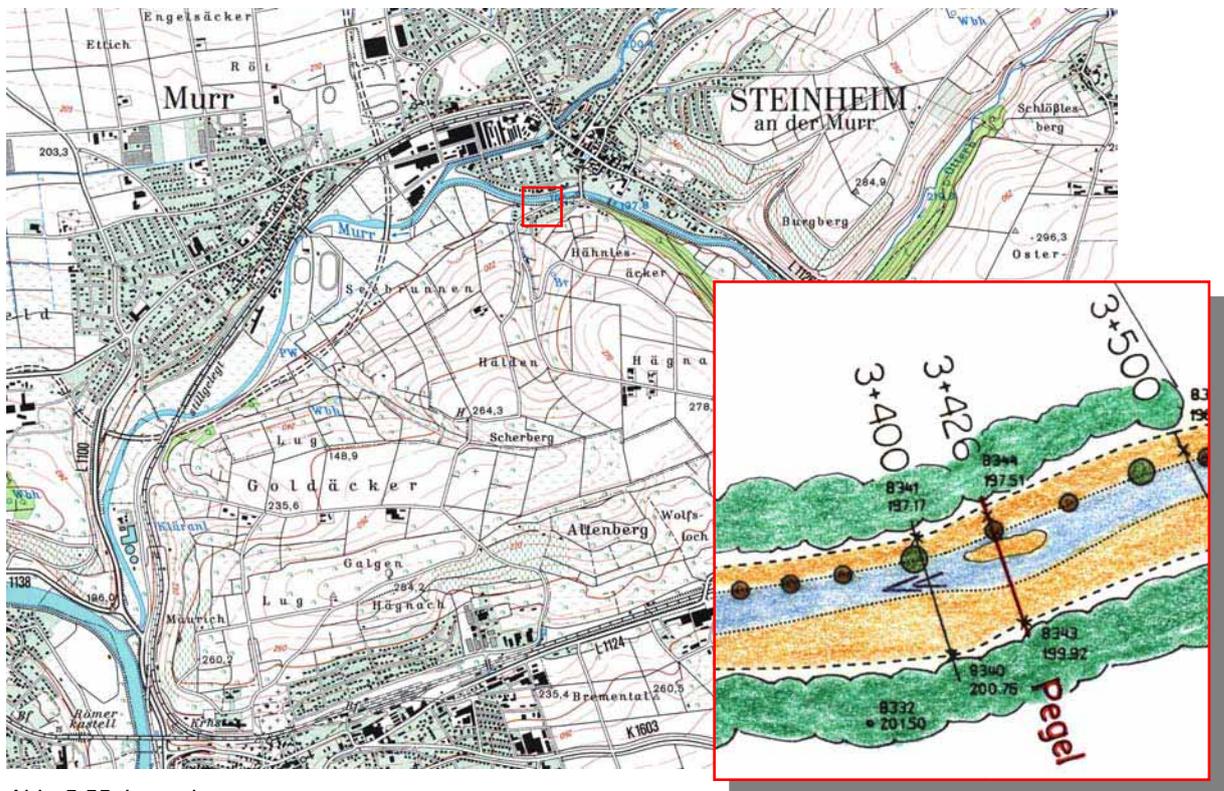


Abb. 5.55: Lageplan.

Interpretation der k_{st} -Werte:

Bei Wassertiefen im Bereich von 1,30 bis 1,50 m wird die Auflandungszone (vgl. Abb. 5.56, linke Seite sowie Foto Abb. 5.52) überströmt. Die Rauheiten der Auflandungszone bewirken bei geringer Überdeckung zunächst eine Verkleinerung des Gesamt- k_{st} -Wertes. Mit zunehmender Fließtiefe steigen dann die k_{st} -Werte ebenfalls leicht an, bis es bei Fließtiefen ab ca. 2 m zu einer Strömungsbeeinflussung infolge des Uferbewuchses kommt. Hierdurch verringert sich der k_{st} -Wert, wobei die aus der Rückrechnung resultierenden Ergebnisse etwas unplausibel erscheinen. Wahrscheinlich liegt hier ein geringer Messfehler bei den Naturdaten vor.

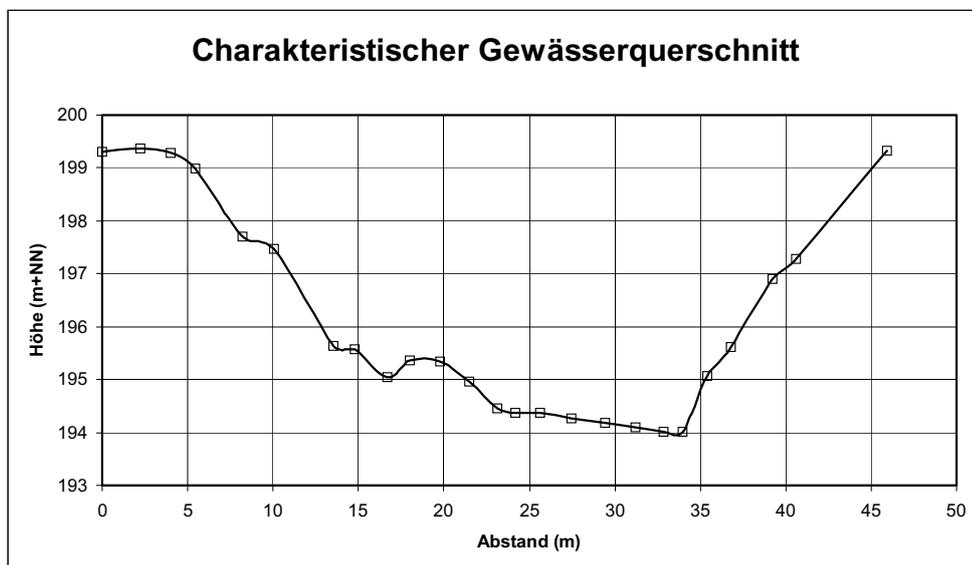
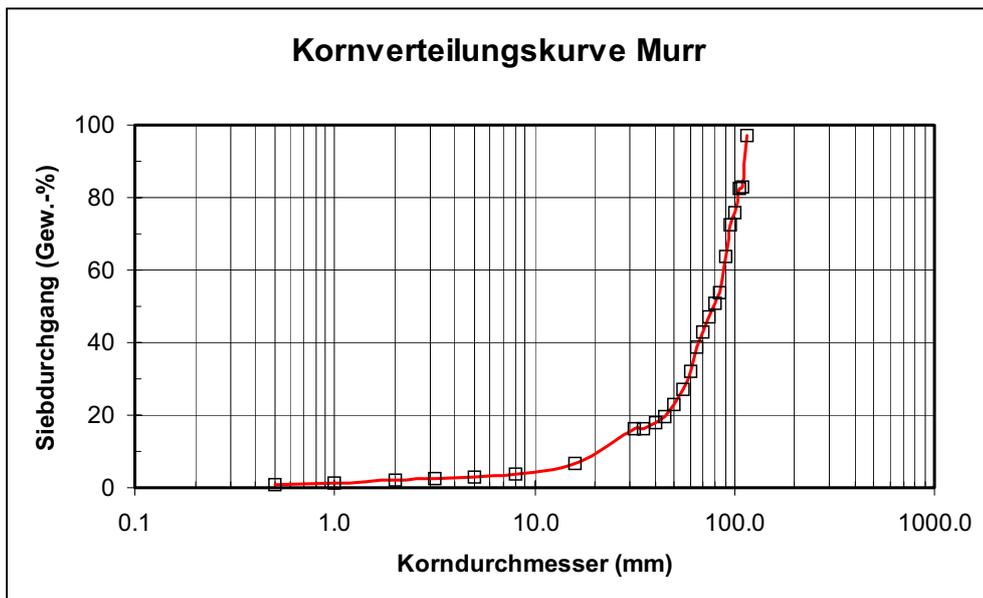


Abb. 5.56: Charakteristischer Gewässerquerschnitt.

Murr Bereich B8 (km 4+500 bis 4+700)

 $k_{st} \approx 7 \text{ bis } 22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ **Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt**

Abschnittscharakteristik	Der Fluss verläuft relativ geradlinig. Kalksteinbänke des Muschelkalks bilden lokale Stromschnellen. Beide Böschungen sind durch einen Steinsatz gesichert. Die rechte Böschung besitzt zudem einen lockeren, bis 20 m hohen Gehölzbewuchs; die linke Böschung ist mit Sträuchern und Weiden bewachsen.
Gerinneklassifizierung	Kompaktes Gerinne
mittleres Sohlprofilgefälle	I_{so} ca. 0,00313
Kartengrundlage TK 25	Blatt 7021 (Marbach)
<i>Hydrologische Kennwerte</i>	
nächstgelegener Pegel	Murr / Murr
Einzugsgebietsgröße	507 km ²
MNQ	1,65 m ³ /s
MQ	5,19 m ³ /s
MHQ	110,40 m ³ /s

Abgeleitete k_s -Werte

Autor	k_s -Wert (mm)
GARBRECHT	112
ENGELUND/H.	182
HEY	385
KAPHIUS	160
MERTENS	200
DITTRICH	385
Mittelwert	237

Abb. 5.57: Kornverteilung der Gewässersohle und resultierende k_s -Werte.

Murr Bereich B8 (km 4+500 bis 4+700) **$k_{st} \approx 7$ bis $22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** 

Abb. 5.58: Blick vom linken Ufer aus in Fließrichtung.

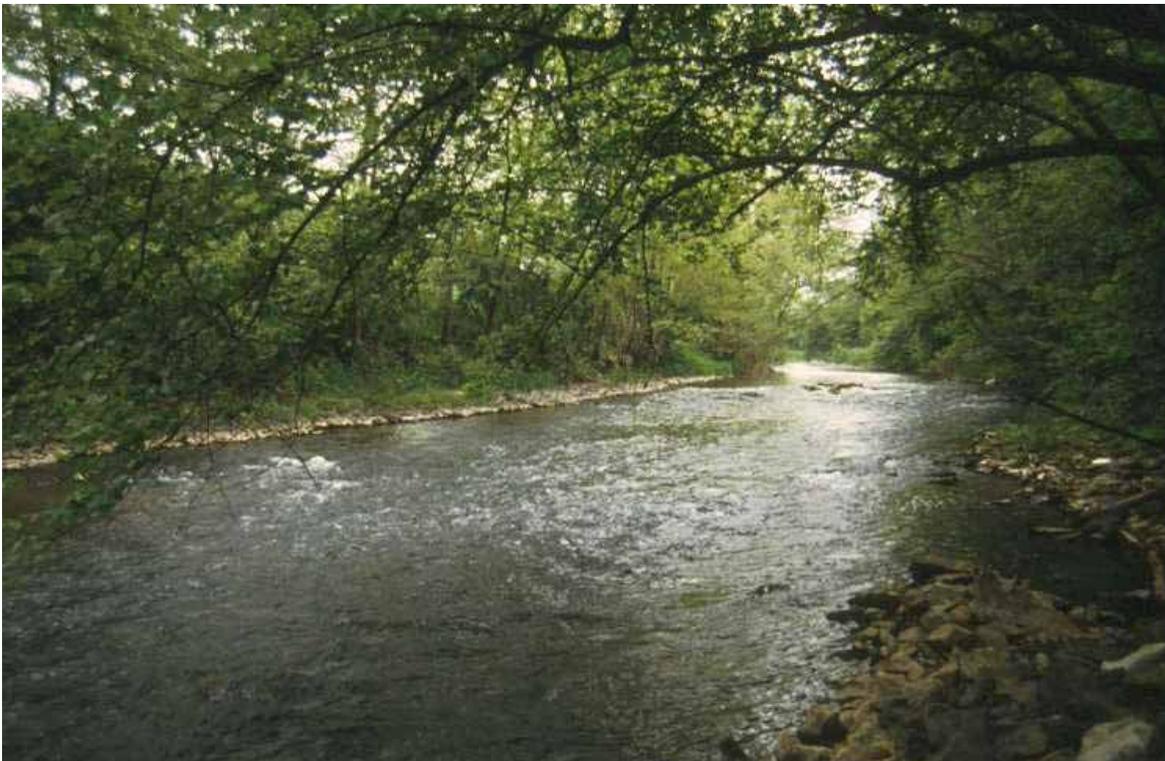


Abb. 5.59: Blick vom linken Ufer aus gegen Fließrichtung.

Murr Bereich B8 (km 4+500 bis 4+700)

$k_{st} \approx 7 \text{ bis } 22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Tabellarische Auflistung der hydraulischen Daten

Abfluss [m³/s]	A [m²]	r_{hy} [m]	V_m [m/s]	k_{st} [m ^{1/3} /s]	h [m]
1,64	7,98	0,54	0,20	7	0,9
7,61	16,44	0,91	0,46	10	1,43
22,75	25,08	1,23	0,91	17	1,89
63,30	43,30	1,93	1,45	21	2,76
75,96	48,03	2,02	1,60	22	2,97
173,50	81,75	3,25	2,09	21	4,29
249,57	100,91	3,58	2,43	22	4,92

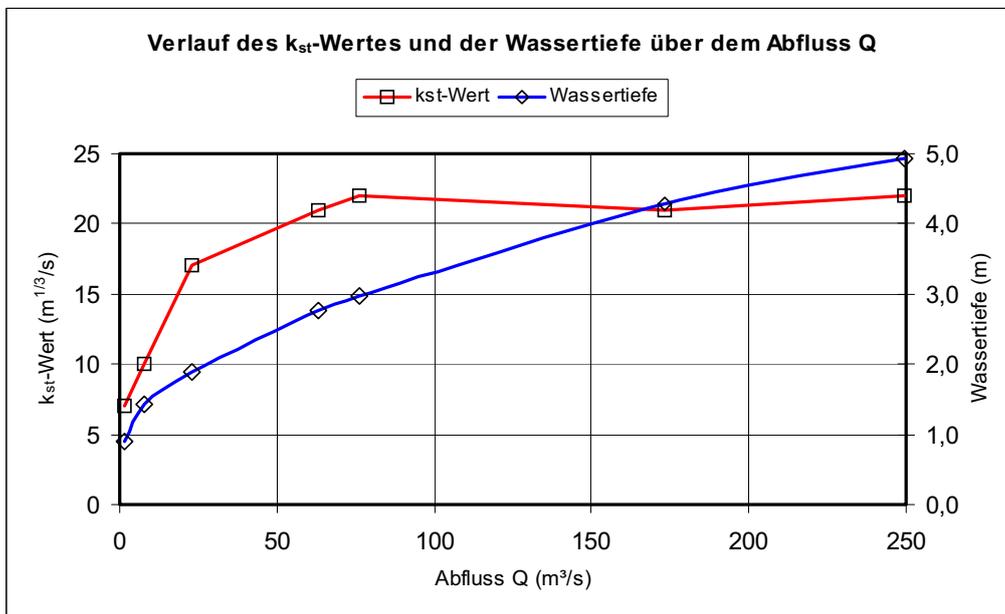


Abb. 5.60: Verlauf des k_{st} -Wertes und der Wassertiefe über dem Abfluss Q.

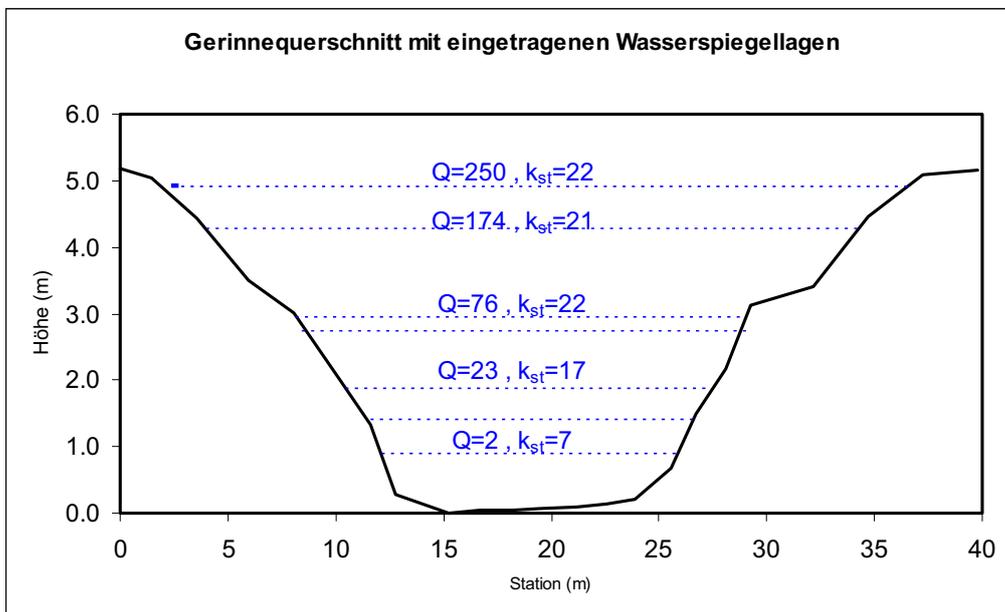


Abb. 5.61: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Murr Bereich B8 (km 4+500 bis 4+700)

$k_{st} \approx 7 \text{ bis } 22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

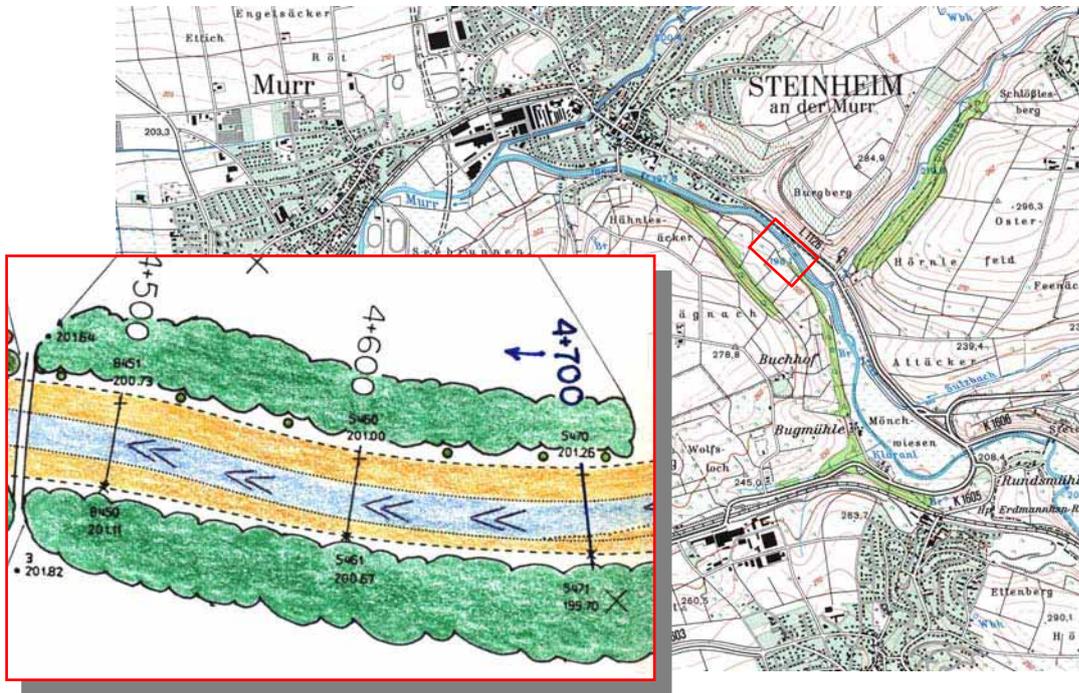


Abb. 5.62: Lageplan.

Interpretation der k_{st} -Werte:

Bei Wassertiefen kleiner als ca. 2,5 m findet der gesamte Abfluss im Hauptgerinne statt. Mit zunehmender Fließtiefe ist in diesem Bereich eine Zunahme der k_{st} -Werte plausibel. Infolge der stark unterschiedlichen Rauheiten der Sohle und der mit Steinsatz gesicherten Vorländer sollte für Abflussereignisse, bei denen noch keine Vorlandüberflutung stattfindet, mit der Rauheitsüberlagerung nach Einstein und Horton für kompakte Gerinne gearbeitet werden (vgl. Leitfaden Teil 2, Fall Nr. 3).

Ab einer Fließtiefe von ca. 2,5 m beginnt die Überströmung der Vorländer. Der Gesamt- k_{st} -Wert bleibt infolge des durchströmten Strauchbewuchses stabil und verändert sich mit zunehmender Fließtiefe nur wenig. Eine hydraulische Berechnung sollte hier fallspezifisch für gegliederte Gerinne durchgeführt werden.

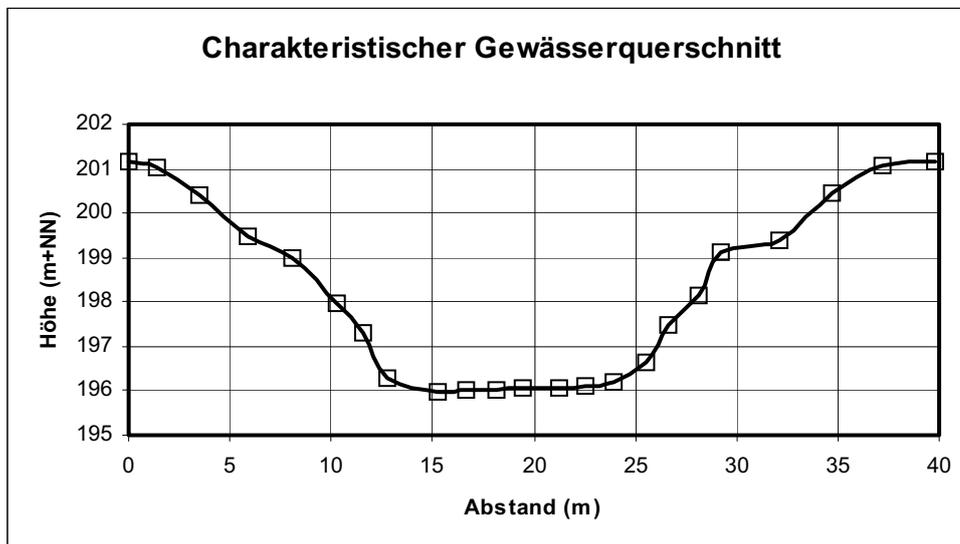
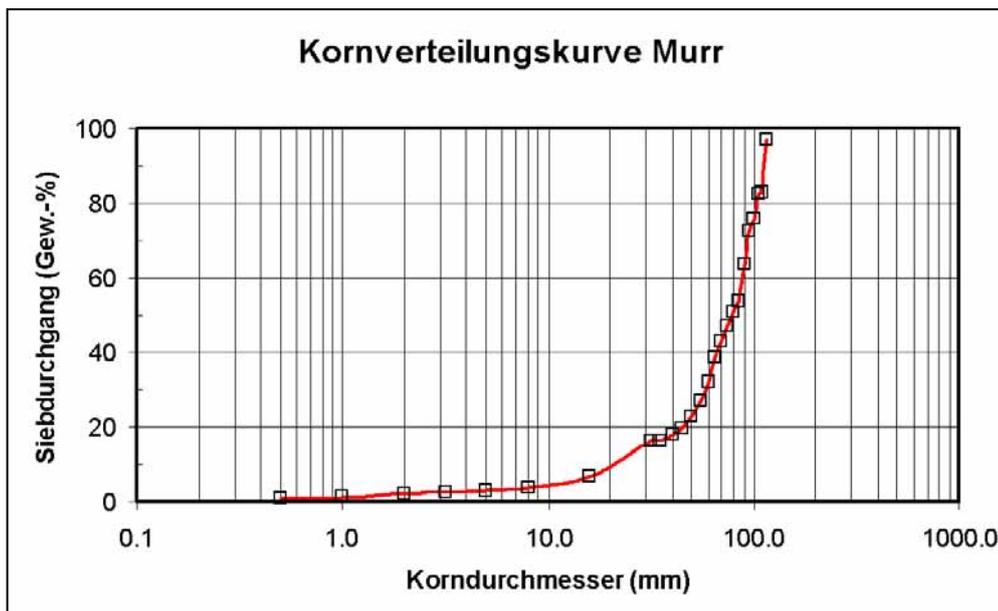


Abb. 5.63: Charakteristischer Gewässerquerschnitt.

Murr Bereich B9 (km 4+800 bis 4+950)

 $k_{st} \approx 7 \text{ bis } 27 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ **Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt**

Abschnittscharakteristik	Relativ gleichmäßiges Doppeltrapezprofil. Die Ufer sind durch einen Steinsatz gesichert. Die Vorländer sind mit Gras bewachsen. Die rechte Böschung ist mit einem lockeren Gehölzbewuchs bewachsen. Die linke Böschung besitzt einen dichten, hohen Gehölzbewuchs mit Sträuchern.
Gerinneklassifizierung	Gegliedertes Gerinne
mittleres Sohlprofilgefälle	I_{so} ca. 0,00042
Kartengrundlage TK 25	Blatt 7021 (Marbach)
<i>Hydrologische Kennwerte</i>	
nächstgelegener Pegel	Murr / Murr
Einzugsgebietsgröße	507 km ²
MNQ	1,65 m ³ /s
MQ	5,19 m ³ /s
MHQ	110,40 m ³ /s

Abgeleitete k_s -Werte

Autor	k_s -Wert (mm)
GARBRECHT	112
ENGELUND/H.	182
HEY	385
KAPHIUS	160
MERTENS	200
DITTRICH	385
Mittelwert	237

Abb. 5.64: Kornverteilung der Gewässersohle und resultierende k_s -Werte.

Murr Bereich B9 (km 4+800 bis 4+950) **$k_{st} \approx 7$ bis $27 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** 

Abb. 5.65: Standort: rechtes Ufer; Blickrichtung: nach Oberwasser.



Abb. 5.66: Standort: rechtes Ufer; Blickrichtung: nach Unterwasser.

Murr Bereich B9 (km 4+800 bis 4+950)

$k_{st} \approx 7 \text{ bis } 27 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Tabellarische Auflistung der hydraulischen Daten

Abfluss [m³/s]	A [m²]	r _{hy} [m]	V _m [m/s]	k _{st} [m ^{1/3} /s]	h [m]
1,64	20,93	1,20	0,08	7	0,98
7,61	28,62	1,53	0,27	13	1,43
22,75	36,69	1,86	0,62	21	1,89
63,30	54,80	2,22	1,18	27	2,76
75,96	60,99	2,58	1,26	25	2,99
173,50	105,10	3,20	1,64	25	4,31
249,57	133,46	3,73	1,87	27	4,96

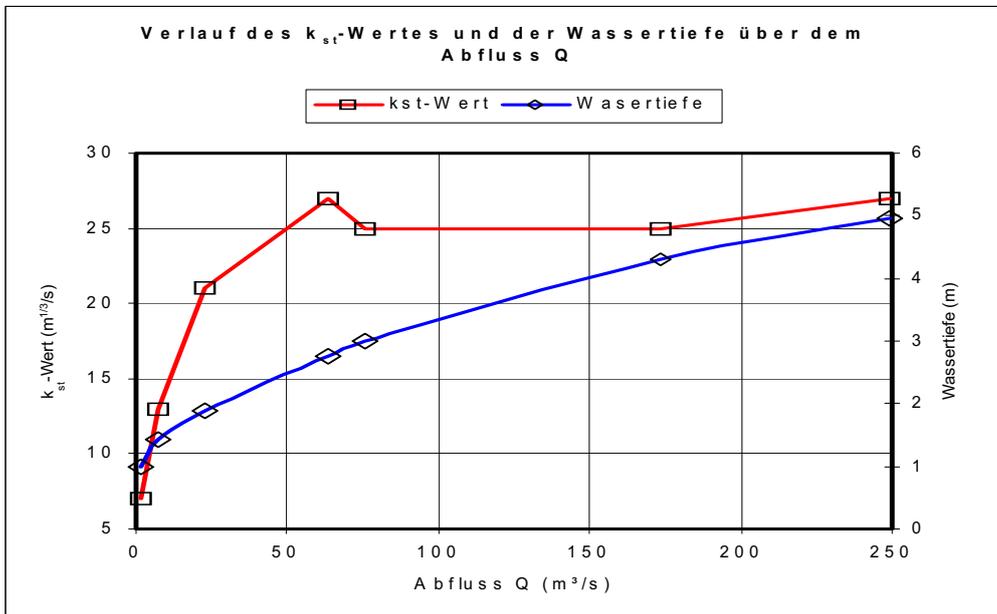


Abb. 5.67: Verlauf des k_{st} -Wertes und der Wassertiefe über dem Abfluss Q.

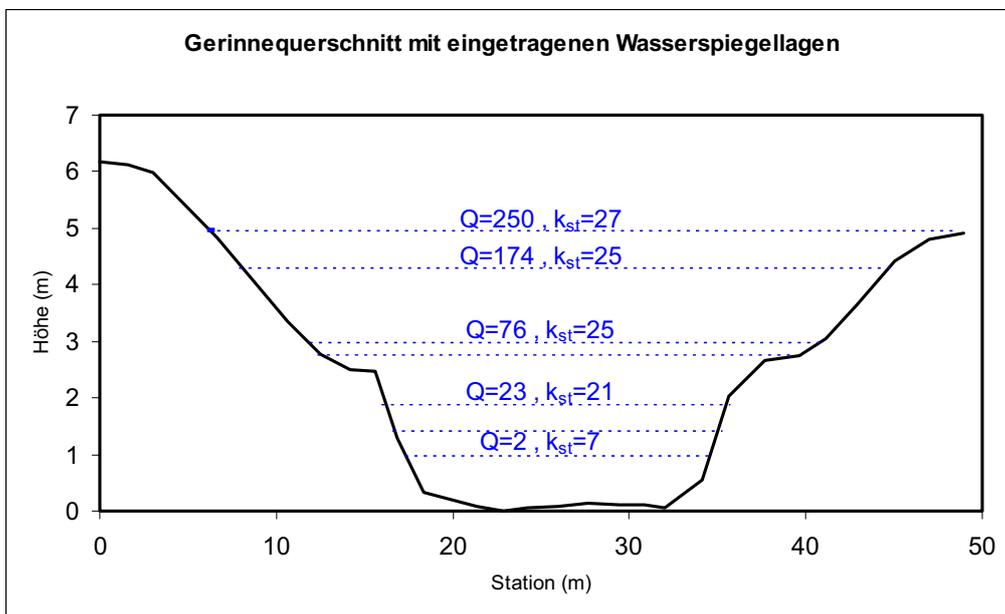


Abb. 5.68: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Murr Bereich B9 (km 4+800 bis 4+950)

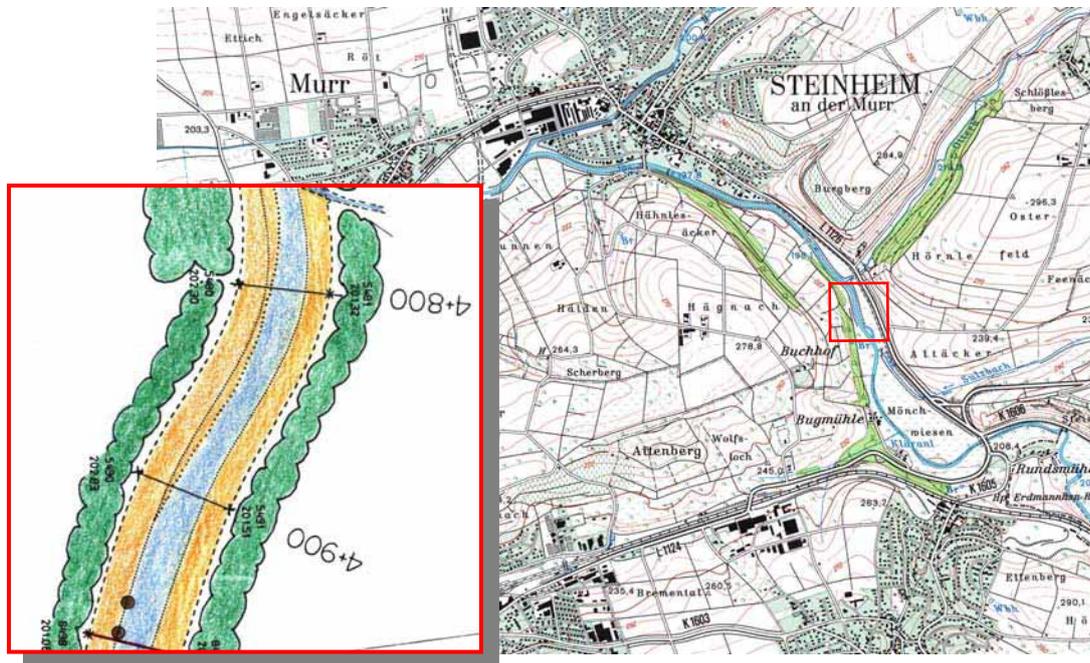
 $k_{st} \approx 7 \text{ bis } 27 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ 

Abb. 5.69: Lageplan.

Interpretation der k_{st} -Werte:

Bei Wassertiefen kleiner als ca. 2,7 m findet der gesamte Abfluss im Hauptgerinne statt. Mit zunehmender Fließtiefe ist in diesem Bereich eine Zunahme der k_{st} -Werte plausibel. Infolge der stark unterschiedlichen Rauheiten der Sohle und der mit Steinsatz gesicherten Vorländer sollte für Abflussereignisse, bei denen noch keine Vorlandüberflutung stattfindet, mit der Rauheitsüberlagerung nach Einstein und Horton für kompakte Gerinne gearbeitet werden (vgl. Leitfaden Teil 2, Fall Nr. 3).

Ab einer Fließtiefe von ca. 2,7 m beginnt die Überströmung der Vorländer. Der Gesamt- k_{st} -Wert bleibt infolge des durchströmten Strauchbewuchses stabil und verändert sich mit zunehmender Fließtiefe nur wenig. Eine hydraulische Berechnung sollte hier fallspezifisch für gegliederte Gerinne durchgeführt werden.

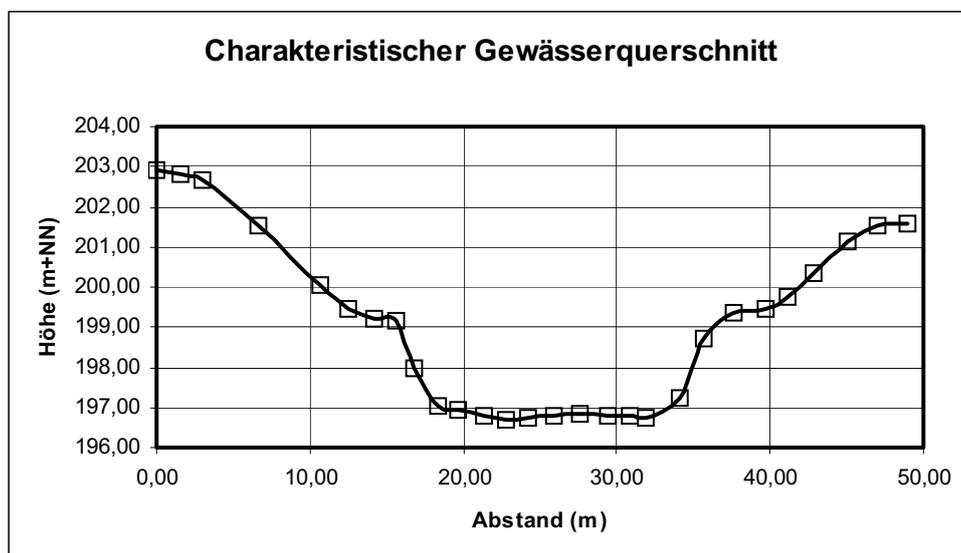
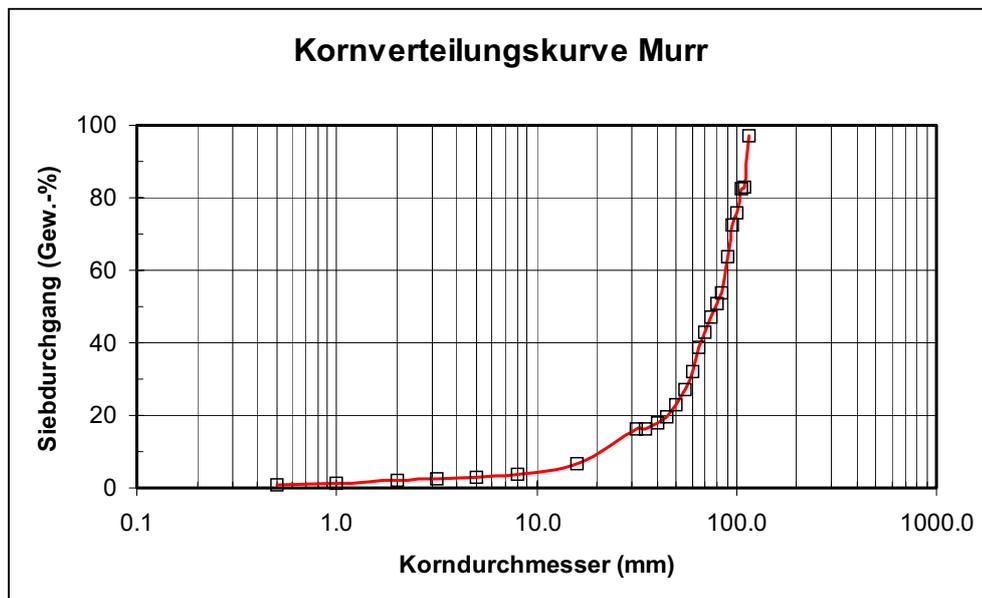


Abb. 5.70: Charakteristischer Gewässerquerschnitt.

Murr Bereich B10 (km 5+000 bis 5+200)

 $k_{st} \approx 10 \text{ bis } 18 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ **Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt**

Abschnittscharakteristik	Aufweitungsbereich mit drei Inseln in einer Linkskrümmung. Das linke Vorland ist mit Gras und die Anlandung mit hohen Weidengruppen bewachsen. Die rechte Steiluferböschung besitzt einen lockeren hohen Gehölzbewuchs mit Säulenpappeln. Die linke Böschung besitzt einen dichten hohen Gehölzbewuchs mit Sträuchern.
Gerinneklassifizierung	Gegliedertes Gerinne
mittleres Sohlprofilgefälle	I_{so} ca. 0,00042
Kartengrundlage TK 25	Blatt 7021 (Marbach)
<i>Hydrologische Kennwerte</i>	
nächstgelegener Pegel	Murr / Murr
Einzugsgebietsgröße	507 km ²
MNQ	1,65 m ³ /s
MQ	5,19 m ³ /s
MHQ	110,40 m ³ /s

Abgeleitete k_s -Werte

Autor	k_s -Wert (mm)
GARBRECHT	112
ENGELUND/H.	182
HEY	385
KAPHIUS	160
MERTENS	200
DITTRICH	385
Mittelwert	237

Abb. 5.71: Kornverteilung der Gewässersohle und resultierende k_s -Werte.

Murr Bereich B10 (km 5+000 bis 5+200) **$k_{st} \approx 10$ bis $18 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** 

Abb. 5.72: Standort: linkes Ufer; Blickrichtung nach Oberwasser.



Abb. 5.73: Standort: linkes Ufer; Blickrichtung nach Unterwasser.

Murr Bereich B10 (km 5+000 bis 5+200)

$k_{st} \approx 10 \text{ bis } 18 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Tabellarische Auflistung der hydraulischen Daten

Abfluss [m³/s]	A [m²]	r _{hy} [m]	V _m [m/s]	k _{st} [m ^{1/3} /s]	h [m]
1,64	21,34	1,16	0,08	10	1,58
7,61	26,75	1,32	0,28	12	1,88
22,75	36,33	1,66	0,63	15	2,35
63,30	59,53	2,02	1,07	17	3,12
75,96	65,38	2,05	1,16	18	3,27
173,50	120,85	2,52	1,40	16	4,58
249,57	148,30	2,64	1,62	18	5,12

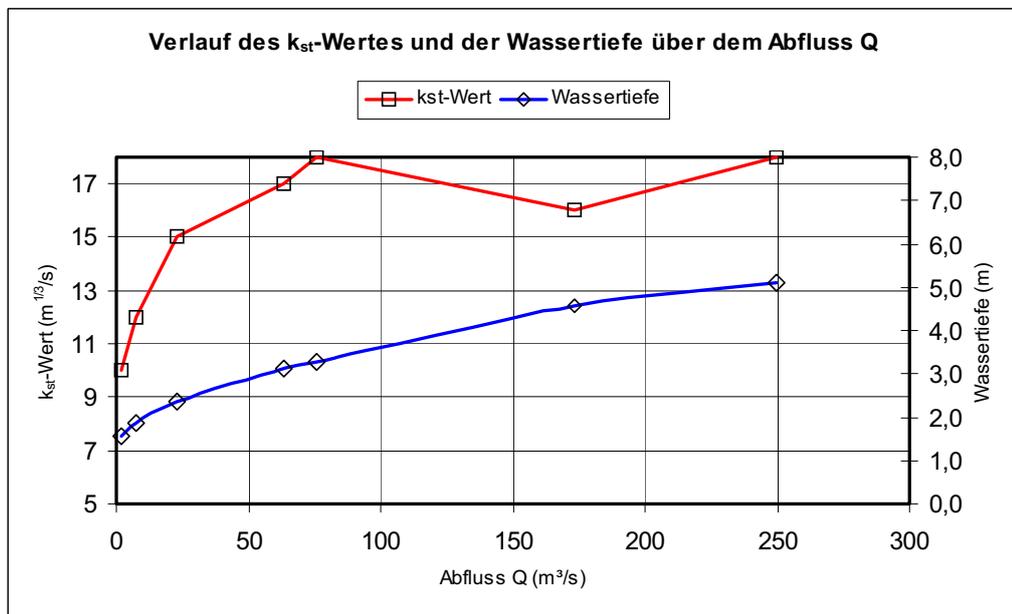


Abb. 5.74: Verlauf des k_{st} -Wertes und der Wassertiefe über dem Abfluss Q.

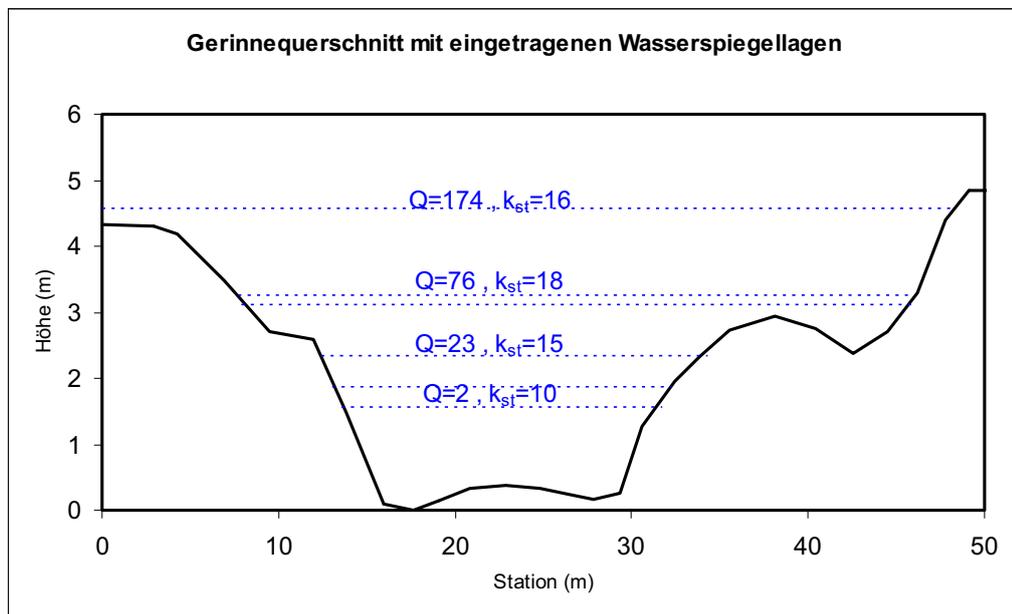


Abb. 5.75: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Murr Bereich B10 (km 5+000 bis 5+200)

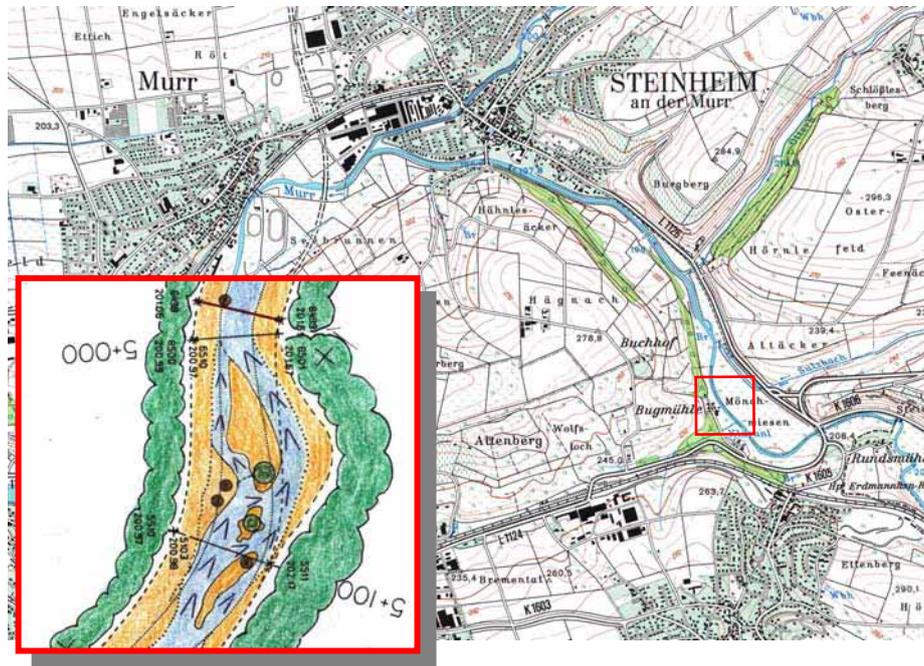
 $k_{st} \approx 10 \text{ bis } 18 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ 

Abb. 5.76: Lageplan.

Interpretation der k_{st} -Werte:

In Inselstrukturen, welche diesen Abschnitt charakterisieren, bewirken sehr komplexe Strömungsstrukturen, die sich mit ändernder Fließtiefe ebenfalls stark ändern. Aus diesem Grund macht eine eindimensionale Berechnung in diesem Abschnitt keinen Sinn und führt i.d.R. zu sehr unrealistischen Ergebnissen. Die Inseln bewirken eine ständig wechselnde Strömungsumlenkung, so dass das Strömungsverhalten in diesem Abschnitt sehr stark durch Sekundärströmungen geprägt ist. Solche Strömungen können mit 1D-Ansätzen nicht erfasst werden. Hier bietet es sich an, die Inseln als Formwiderstände in einer 1D-Strömung zu betrachten und mit Hilfe der im Fall 9 im Leitfaden Teil 2 erläuterten Vorgehensweise die Verlusthöhe zu berechnen. Mittel einer Energiebilanzierung nach Bernoulli kann dann der gesamte Abschnitt als ein Widerstandselement angesehen werden. Die Rückrechnung der k_{st} -Werte aus den Naturdaten bestätigt die obigen Aussagen und zeigt sehr deutlich, dass selbst bei Fließtiefen von ca. 8 m die k_{st} -Werte noch unplausibel klein sind.

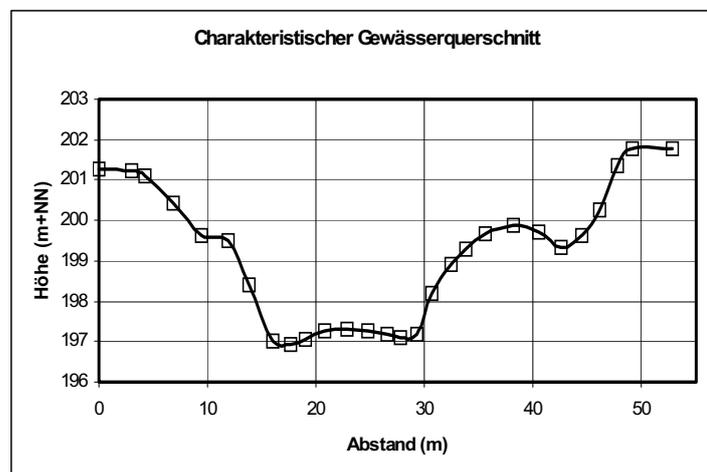
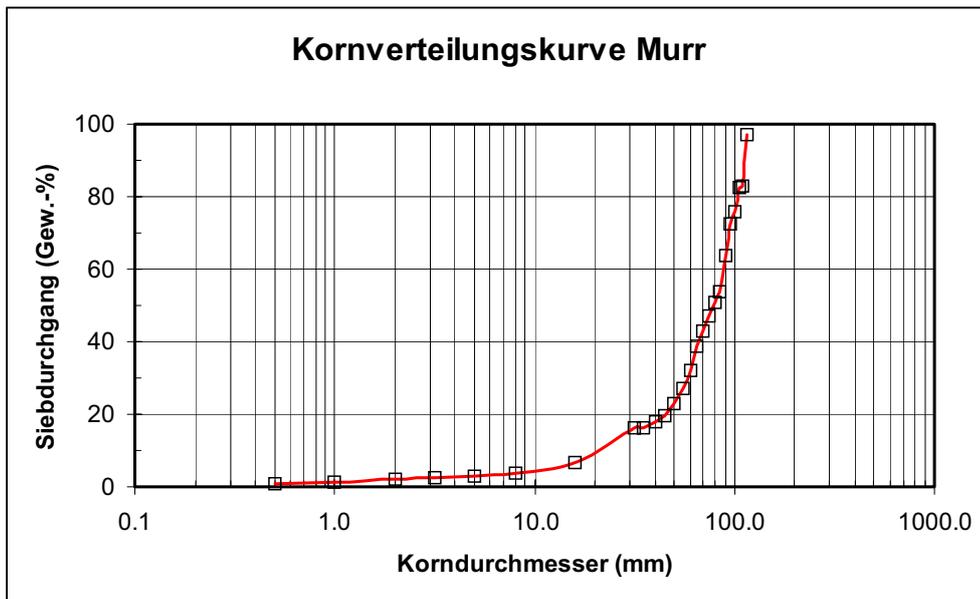


Abb. 5.77: Charakteristischer Gewässer-

Murr Bereich B12 (km 5+800 bis 6+100) **$k_{st} \approx 8 \text{ bis } 21 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** **Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt**

Abschnittscharakteristik	Doppeltrapezprofil mit leichter Rechtskrümmung. Die Ufer sind überwiegend durch Steinsatz und hohen dichten Weidensaum gesichert. Die Vorlandbereiche sind mit Gras bewachsen. Die rechte Böschung besitzt einen lockeren hohen Gehölzbewuchs. Die linke Böschung besitzt einen dichten hohen Gehölzbewuchs mit Sträuchern.
Gerinneklassifizierung	Gegliedertes Gerinne
mittleres Sohlprofilgefälle	I_{so} ca. 0,0018
Kartengrundlage TK 25	Blatt 7021 (Marbach)
<i>Hydrologische Kennwerte</i>	
nächstgelegener Pegel	Murr / Murr
Einzugsgebietsgröße	507 km ²
MNQ	1,65 m ³ /s
MQ	5,19 m ³ /s
MHQ	110,40 m ³ /s

Abb. 5.78: Kornverteilung der Gewässersohle und resultierende k_s -Werte.**Abgeleitete k_s -Werte**

Autor	k_s -Wert (mm)
GARBRECHT	112
ENGELUND/H.	182
HEY	385
KAPHIUS	160
MERTENS	200
DITTRICH	385
Mittelwert	237

Murr Bereich B12 (km 5+800 bis 6+100) **$k_{st} \approx 8$ bis $21 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** 

Abb. 5.79: Standort: rechtes Ufer; Blickrichtung nach Oberwasser.



Abb. 5.80: Standort: rechtes Ufer; Blickrichtung nach Unterwasser.

Murr Bereich B12 (km 5+800 bis 6+100)

$k_{st} \approx 8 \text{ bis } 21 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Tabellarische Auflistung der hydraulischen Daten

Abfluss [m³/s]	A [m²]	r _{hy} [m]	V _m [m/s]	k _{st} [m ^{1/3} /s]	h [m]
1,64	6,41	0,54	0,56	8*	1,02
7,61	18,20	0,80	0,42	8*	1,75
22,75	36,72	1,22	0,62	8*	2,48
63,30	50,53	1,38	1,28	18	2,84
75,96	59,76	1,53	1,28	18	3,02
173,50	135,62	2,88	1,28	17	4,39
249,57	171,32	3,04	1,48	21	4,99

* Diese Werte sind unplausibel. Wahrscheinlich liegt ein Messfehler bei den Naturdaten vor.

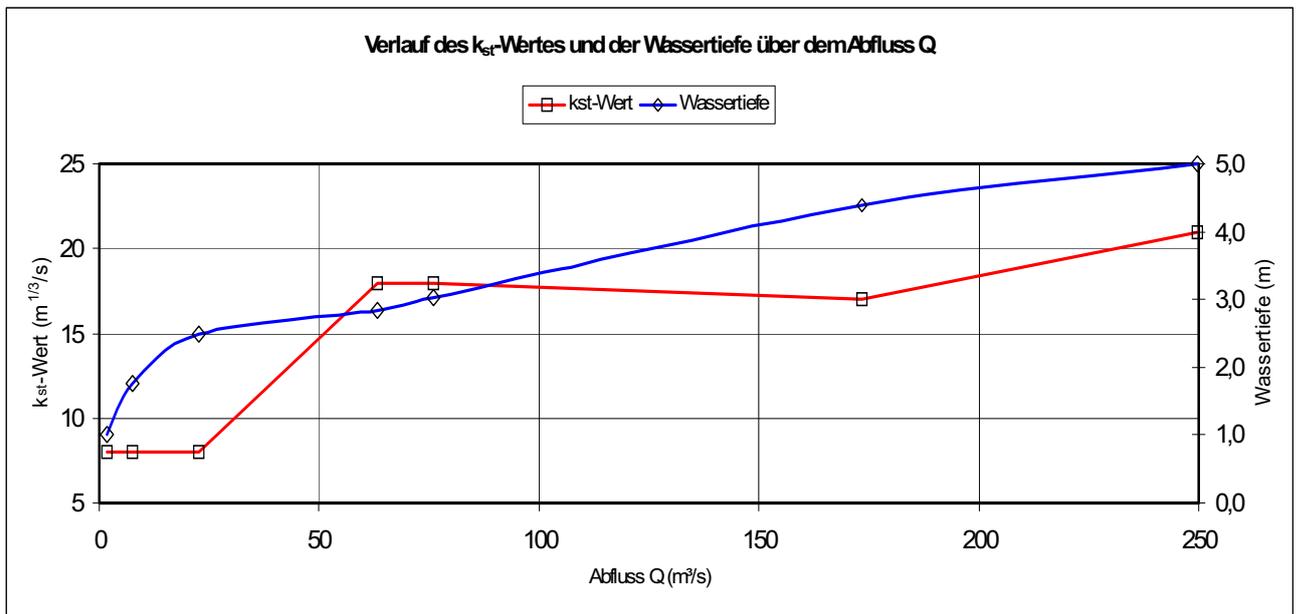


Abb. 5.81: Verlauf des k_{st}-Wertes und der Wassertiefe über dem Abfluss Q.

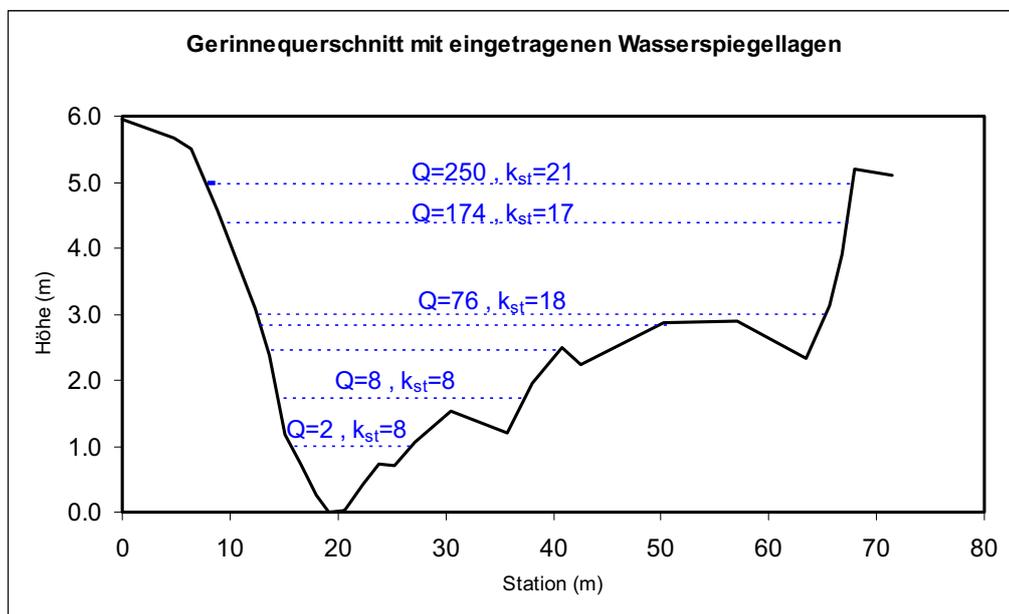


Abb. 5.82: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Murr Bereich B12 (km 5+800 bis 6+100)

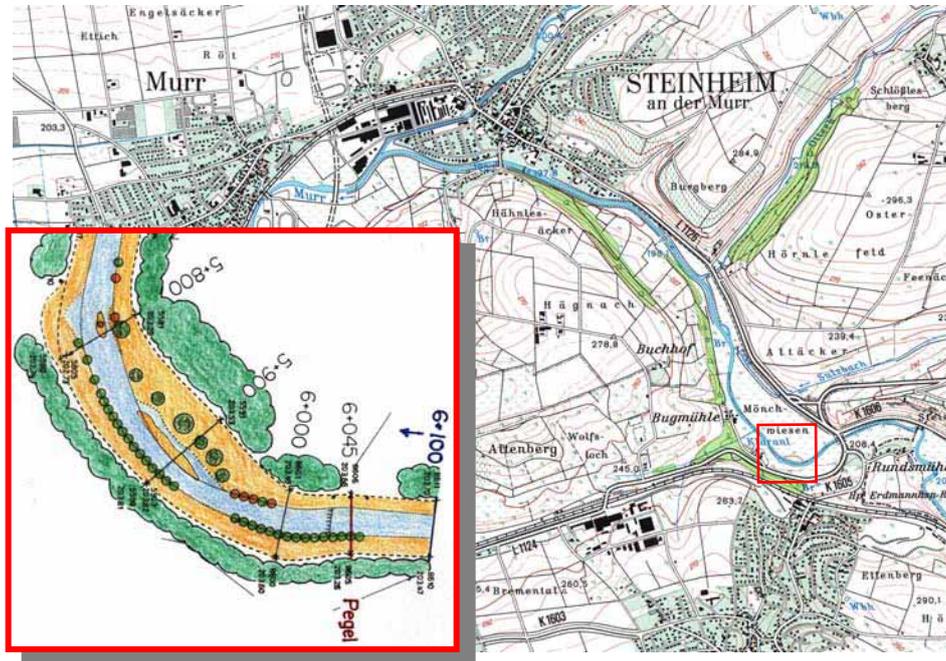
 $k_{st} \approx 8 \text{ bis } 21 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ 

Abb. 5.83: Lageplan.

Interpretation der k_{st} -Werte:

Bei Wassertiefen kleiner als ca. 2,5 m sind die berechneten k_{st} -Werte absolut unplausibel. Hier liegt mit großer Wahrscheinlichkeit ein Messfehler bei den Naturdaten vor. Ab einer Fließtiefe von ca. 2,8 m beginnt die Überströmung der Vorländer. Der Gesamt- k_{st} -Wert bleibt infolge des durchströmten Strauchbewuchses stabil und verändert sich mit zunehmender Fließtiefe nur wenig. Eine hydraulische Berechnung sollte hier fallspezifisch für gegliederte Gerinne durchgeführt werden.

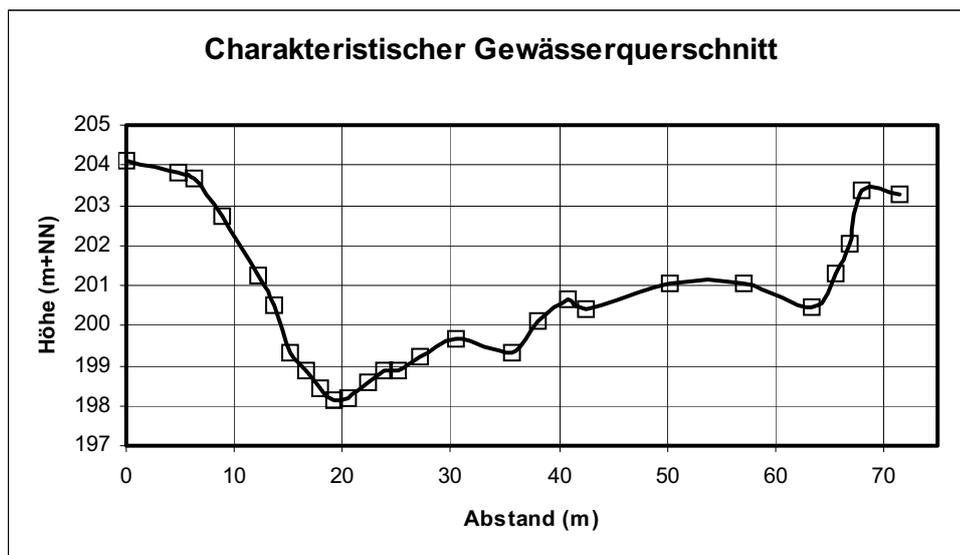


Abb. 5.84: Charakteristischer Gewässerquerschnitt.

5.5 Pilotstrecke Enz in Pforzheim

Die Länge der Messstrecke beträgt ca. 1,5 km. Sie verläuft vollständig im Stadtgebiet Pforzheim, beginnt unterhalb der Nagold-Einmündung (Enz-km 58,000) und endet beim Landespegel Pforzheim-Kläranlage (Enz-km 56,540). Die Einzugsgebietsgröße beträgt ca. 1480 km².

Vom Gewässertyp ist die Enz als Berglandfluss einzustufen. Die Geologie der Enz wird vom oberen und mittleren Bundsandstein und vom Muschelkalk geprägt. Das Sohlenprofil setzt sich

aus Flussgeröllen, Sand, Kies und Schluff zusammen.

Ausführliche Informationen über die Enz im Untersuchungsgebiet und über bisher durchgeführte ökologische und biologische Untersuchungen während des Beobachtungszeitraumes seit 1992 sind im Handbuch Wasser 2 Naturnahe Umgestaltung von Fließgewässern (LfU 1995) nachzulesen.

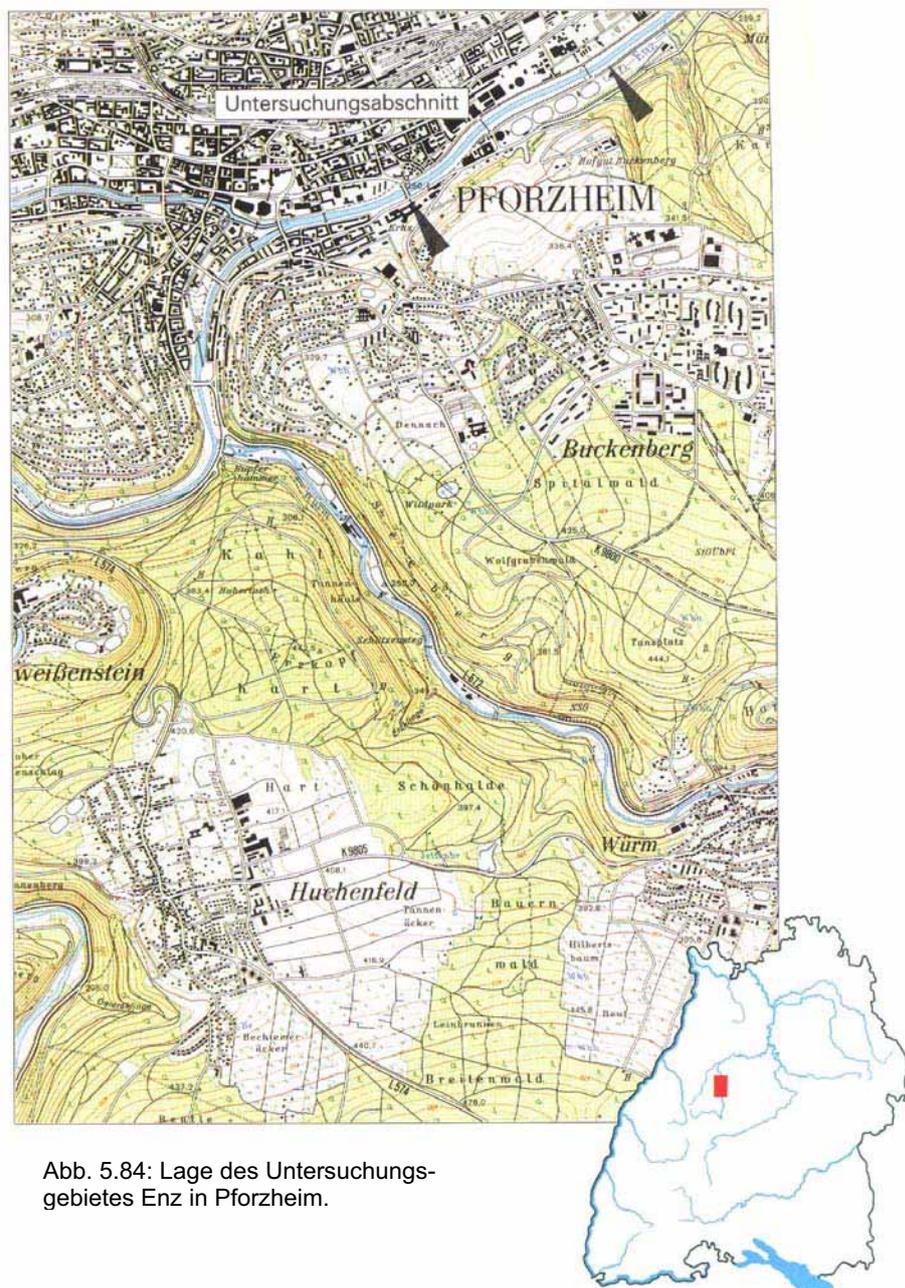
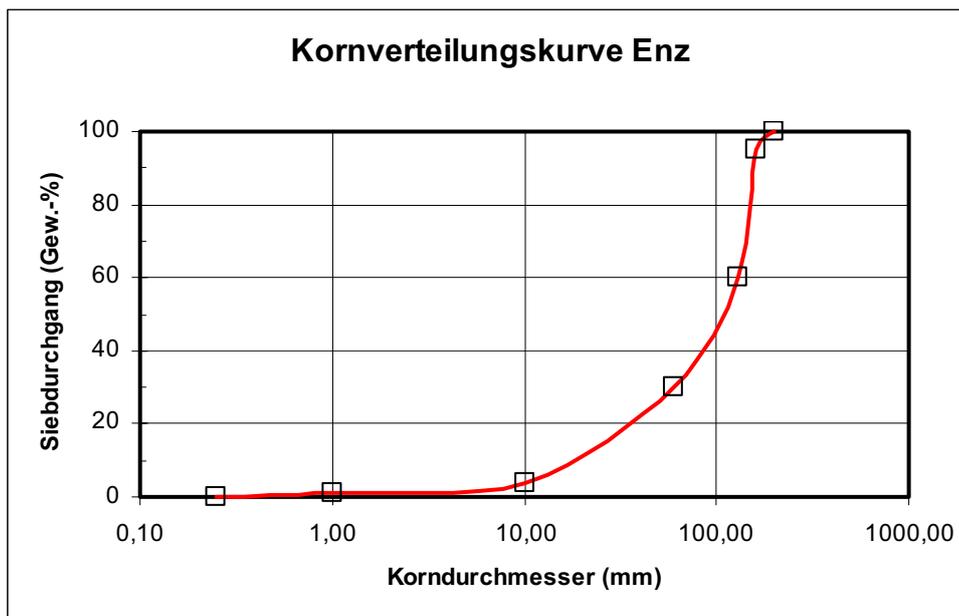


Abb. 5.84: Lage des Untersuchungsgebietes Enz in Pforzheim.

Enz Bereich 1 (km 56+530) **$k_{st} \approx 13$ bis $52 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** **Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt**

Abschnittscharakteristik	Gegliedertes Gerinne mit gerader Linienführung. Die Sohle ist unregelmäßig mit grobem Geröll bedeckt. Auf den Vorländern und entlang der Böschungen ist Grasbewuchs.
Gerinneklassifizierung	Gegliedertes Gerinne
mittleres Sohlliniengefälle	I_{so} ca. 0,00185
Kartengrundlage TK 25	Blatt 7018 (Pforzheim)
<i>Hydrologische Kennwerte</i>	
nächstgelegener Pegel	Pforzheim-Kläranlage
Einzugsgebietsgröße	1478 km ²
MNQ	5,12 m ³ /s
MQ	17,20 m ³ /s
MHQ	161,00 m ³ /s

**Abgeleitete k_s -Werte**

Autor	k_s -Wert (mm)
GARBRECHT	150
ENGELUND/H.	260
HEY	490
KAPHIUS	180
MERTENS	225
DITTRICH	490
Mittelwert	300

Abb. 5.85: Kornverteilung der Gewässersohle und resultierende k_s -Werte.

Enz Bereich 1 (km 56+530) **$k_{st} \approx 13$ bis $52 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** 

Abb. 5.86: Aufnahme von einer Brücke in Richtung Oberwasser entlang der Enz in der Ortslage Pforzheim. Im oberen Bildteil ist die Schwelle des Pegels Pforzheim-Kläranlage zu erkennen.



Abb. 5.87: Bereich 1 vom linken Ufer aus gegen Fließrichtung aufgenommen (Aufnahmedatum 12/1993).

Enz Bereich 1 (km 56+530)

$k_{st} \approx 13 \text{ bis } 52 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Tabellarische Auflistung der hydraulischen Daten

Abfluss [m³/s]	A [m²]	r_{hy} [m]	V_m [m/s]	k_{st} [m ^{1/3} /s]	h [m]
2,12	7,36	0,36	0,29	13,3	0,16
3,50	8,61	0,41	0,41	17,1	0,22
8,48	11,99	0,55	0,71	24,5	0,38
15,13	15,47	0,69	0,98	29,2	0,54
25,83	19,97	0,85	1,29	33,4	0,74
33,00	22,52	0,94	1,47	35,4	0,85
49,66	28,38	0,85	1,75	45,5	1,06
80,46	40,04	0,84	2,01	52,3	1,35
208,90	87,64	1,13	2,38	50,9	2,09
227,04	95,14	1,23	2,39	48,5	2,17
382,34	140,87	1,75	2,71	43,4	2,77
550,00	187,74	2,26	2,93	39,6	3,35

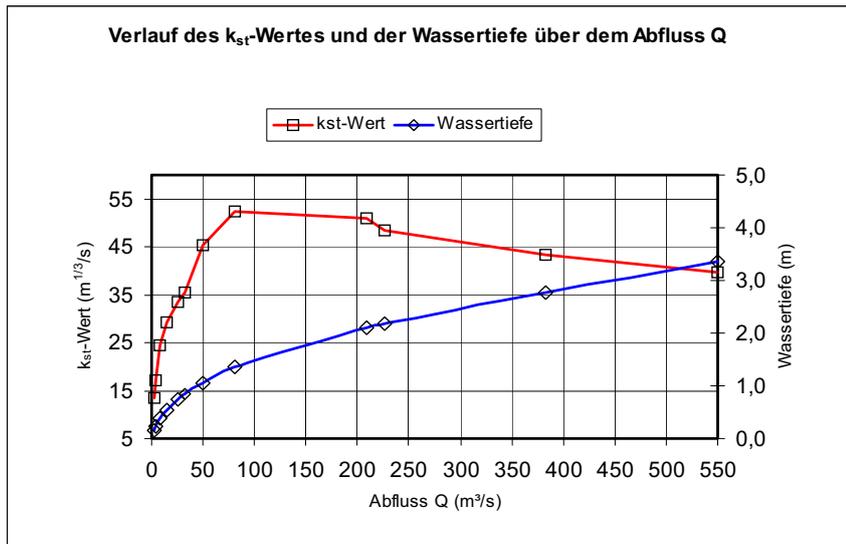


Abb. 5.88: Verlauf des k_{st} -Wertes und der Wassertiefe über dem Abfluss Q.

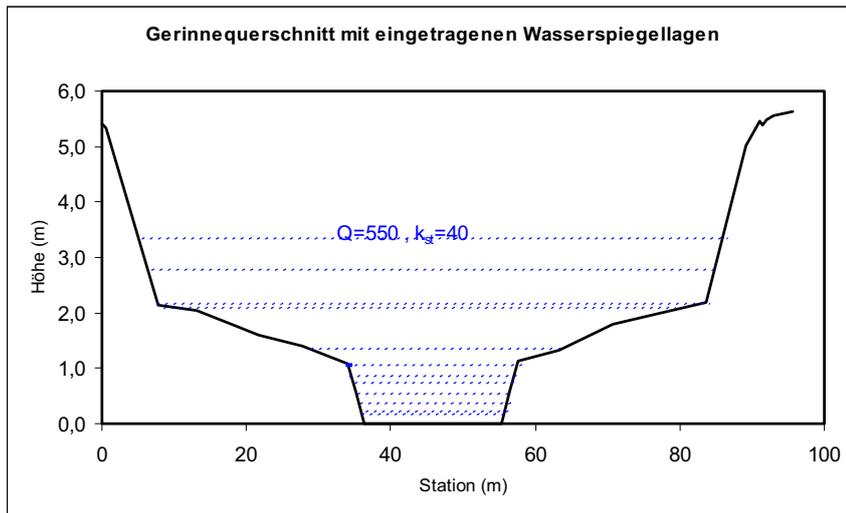


Abb. 5.89: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Enz Bereich 1 (km 56+530)

$k_{st} \approx 13$ bis $52 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

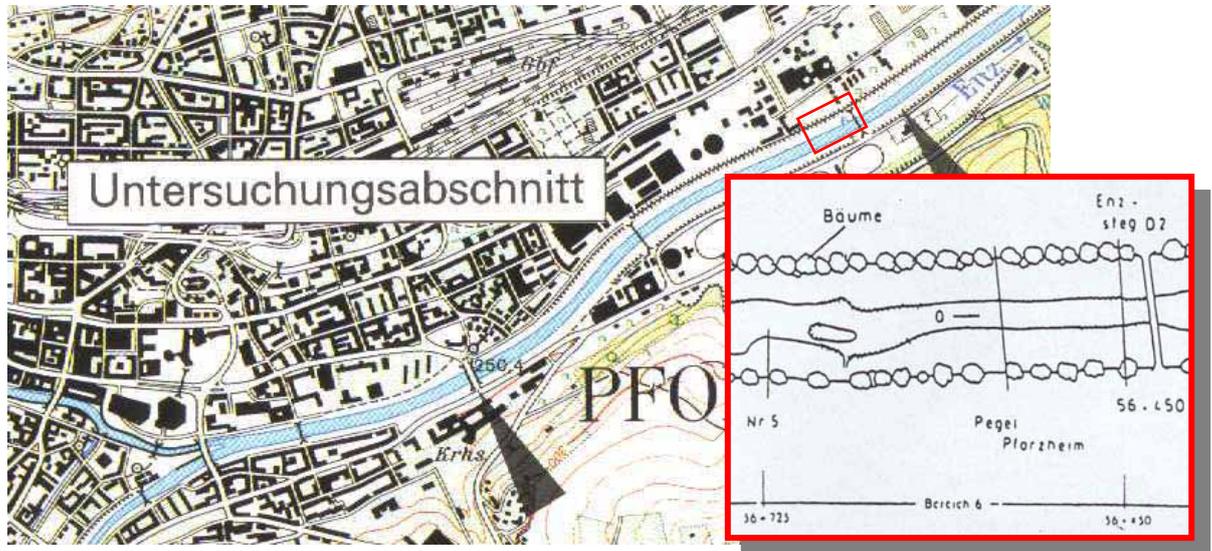


Abb. 5.90: Lageplan.

Interpretation der dargestellten k_{st} -Werte:

Die gezeigten k_{st} -Werte resultieren aus einer hydraulischen Rückrechnung von Naturmessdaten. Hierbei wurde in dem betrachteten Gewässerabschnitt von Normalabflussbedingungen ausgegangen. Die Auswirkungen von Strömungsbeeinflussungen im ober- und Unterwasser des betrachteten Abschnittes wurde damit vernachlässigt.

Die Wasserstands-Abfluss-Beziehung und die k_{st} -Wert-Abfluss-Beziehung steigen bis zum bordvollen Abfluss des Mittelwasserbettes (bei $h \approx 1,30 \text{ m}$) sehr rasch an. Dies liegt daran, dass mit zunehmender Fließtiefe die Auswirkung der Sohlenrauigkeit nachlässt, wodurch der k_{st} -Wert größer wird. An ca. $1,30 \text{ m}$ beginnt die Ausuferung und die Vorländer werden überströmt. Da zunächst infolge der geringen Vorland-Fließtiefen der Abfluss über die Vorländer im Vergleich zum Abfluss in Hauptgerinne sehr gering ist, bleibt der k_{st} -Wert des gesamten Gerinnes überwiegend beeinflusst durch den glatten k_{st} -Wert des Hauptgerinnes, weshalb es zu keiner signifikanten k_{st} -Wertänderung kommt.

Erst ab einer deutlichen Überdeckung der Vorländer (ab einer Fließtiefe von $h \approx 2,20 \text{ m}$) nimmt der Anteil der Vorländer am Abflussgeschehen derart zu, dass sich der dortige k_{st} -Wert signifikant auf den k_{st} -Wert des gesamten Querschnittes auswirkt → es kommt zu einer leichten Abnahme des gesamten k_{st} -Wertes.

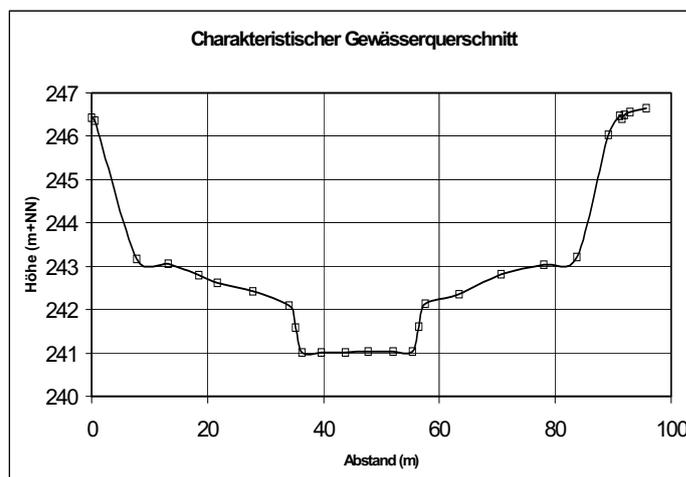
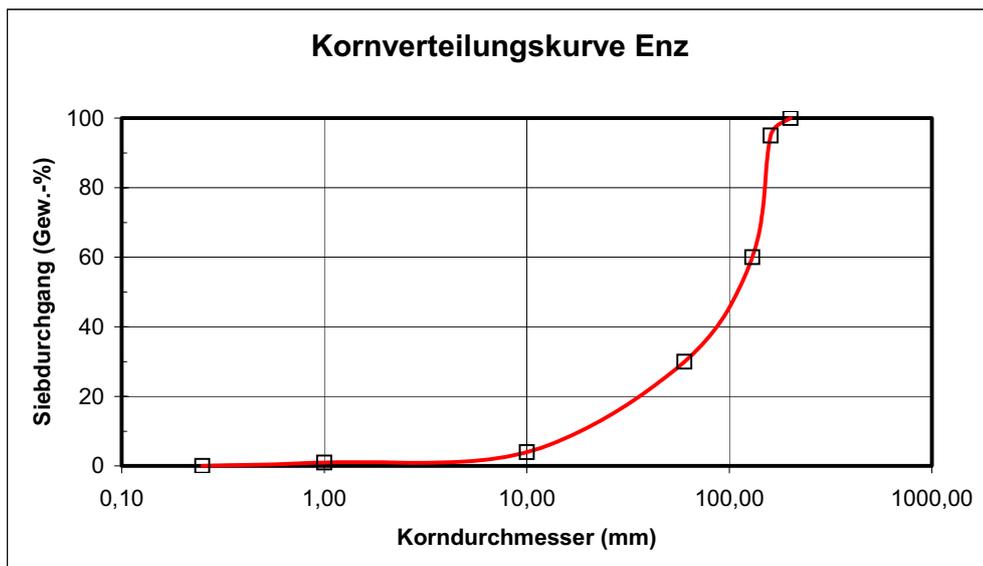


Abb. 5.91: Charakteristischer Gewässerquerschnitt.

Enz Bereich 2 (km 56+725 bis km 56+935)

 $k_{st} \approx 15 \text{ bis } 22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ **Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt**

Abschnittscharakteristik	Geradlinig und regelmäßig verlaufendes Mittelwasserbett. Die Vorländer sind überwiegend mit Gras bewachsen, der rechte Damm besitzt einen lichten, einreihigen Baumbestand.
Gerinneklassifizierung	Gegliedertes Gerinne
mittleres Sohlprofilgefälle	I_{so} ca. 0,006
Kartengrundlage TK 25	Blatt 7018 (Pforzheim)
<i>Hydrologische Kennwerte</i>	
nächstgelegener Pegel	Pforzheim-Kläranlage
Einzugsgebietsgröße	1478 km ²
MNQ	5,12 m ³ /s
MQ	17,20 m ³ /s
MHQ	161,00 m ³ /s

Abgeleitete k_s -Werte

Autor	k_s -Wert (mm)
GARBRECHT	150
ENGELUND/H.	260
HEY	490
KAPHIUS	180
MERTENS	225
DITTRICH	490
Mittelwert	300

Abb. 5.92: Kornverteilung der Gewässersohle und resultierende k_s -Werte.

Enz Bereich 2 (km 56+725 bis km 56+935) **$k_{st} \approx 15$ bis $22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** 

Abb. 5.93: Blick gegen Fließrichtung zum Bereich 5 (Aufnahmedatum: 02/1992 – Hochwasser).



Abb. 5.94: Blick gegen Fließrichtung zum rechten Ufer im Bereich 5 (Aufnahmedatum 10/1997).

Enz Bereich 2 (km 56+725 bis km 56+935)

$k_{st} \approx 15$ bis $22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Tabellarische Auflistung der hydraulischen Daten

Abfluss [m³/s]	A [m²]	r_{hy} [m]	V_m [m/s]	k_{st} [m ^{1/3} /s]	h [m]
14,30	32,49	0,94	0,44	5,8*	1,52
41,70	44,07	1,19	0,94	10,7*	1,85
57,20	56,68	1,38	1,01	10,4*	2,18
80,90	60,38	1,42	1,34	13,6	2,27
110,00	67,80	1,48	1,62	16,0	2,44
229,00	101,84	1,81	2,25	19,3	3,11
383,00	137,45	2,13	2,79	21,5	3,71

Die mit * gekennzeichneten Werte sind unplausibel. Wahrscheinlich liegt ein Messfehler bei den Naturdaten vor.

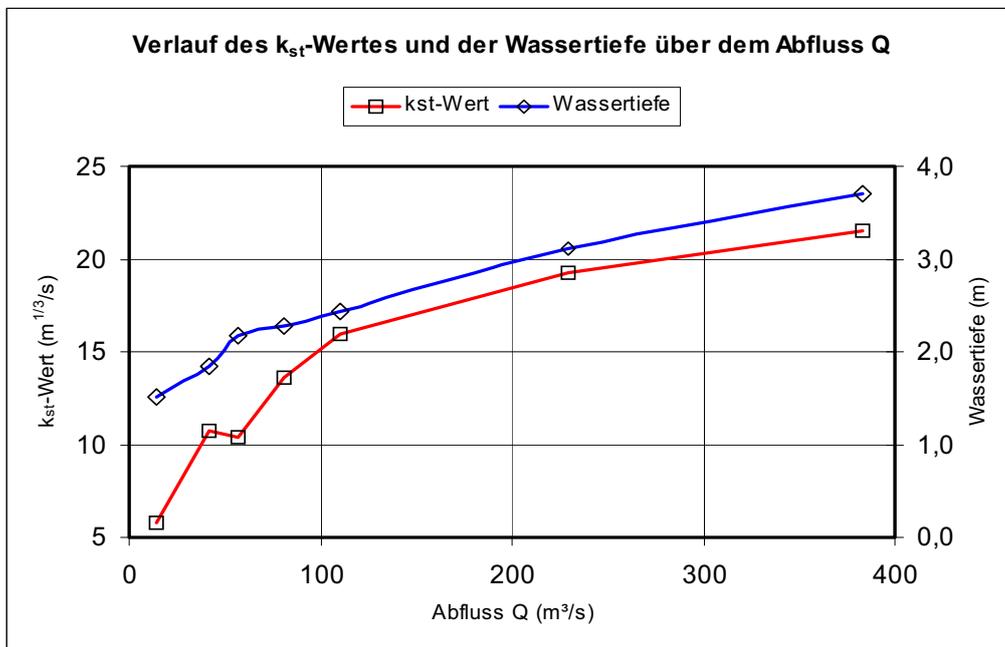


Abb. 5.95: Verlauf des k_{st} -Wertes und der Wassertiefe über dem Abfluss Q.

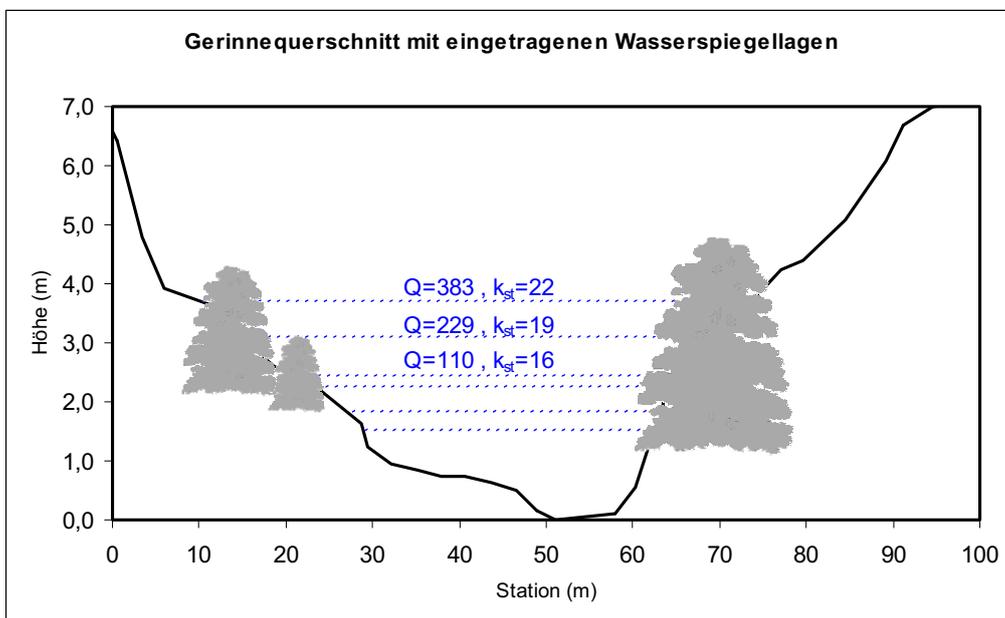


Abb. 5.96: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Enz Bereich 2 (km 56+725 bis km 56+935)

$k_{st} \approx 15$ bis $22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

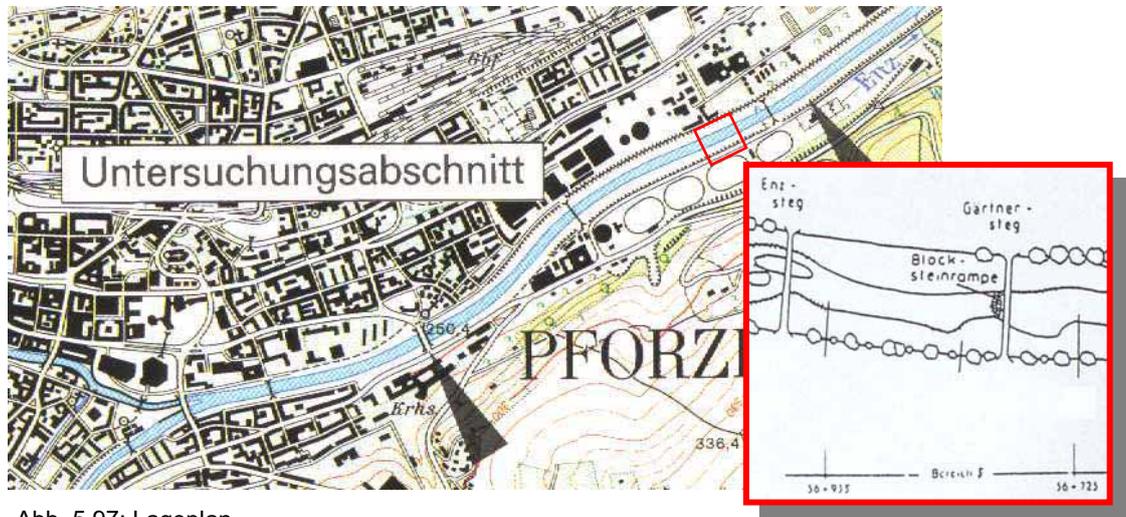


Abb. 5.97: Lageplan.

Interpretation der dargestellten k_{st} -Werte:

Die gezeigten k_{st} -Werte resultieren aus einer hydraulischen Rückrechnung von Naturmessdaten. Hierbei wurde in dem betrachteten Gewässerabschnitt von Normalabflussbedingungen ausgegangen. Die Auswirkungen von Strömungsbeeinflussungen im ober- und Unterwasser des betrachteten Abschnittes wurde damit vernachlässigt.

Die in der Tabelle auf Seite 80 mit (*) gekennzeichneten k_{st} -Werte sind nicht plausibel, da die Sohle keine derartige Rauheit besitzt, die sich bei einer Fließtiefe von $h > 1,50 \text{ m}$ so enorm auswirkt. Diese Werte sind wahrscheinlich auf Messfehler bei den Naturdaten zurückzuführen.

Die ohnehin erstaunlich kleinen k_{st} -Werte sind auf die Auswirkung des Vorlandbewuchses zurückzuführen. Hierbei ist zu beachten, dass in Abbildung 5.93 der Zustand des Gewässers kurz nach Fertigstellung der Renaturierungsarbeiten dargestellt ist. In Abbildung 5.94 hingegen ist die Bewuchsentwicklung nach 11 Jahren deutlich zu erkennen.

FELKEL hat in Untersuchungen gezeigt, dass sich der Uferbewuchs insbesondere bei kleineren Fließgewässern sehr stark auf den Abfluss auswirkt. Dadurch nimmt die Leistungsfähigkeit des Gerinnequerschnittes sehr stark ab, was durch einen kleinen k_{st} -Wert in der GMS-Formel ausgedrückt wird.

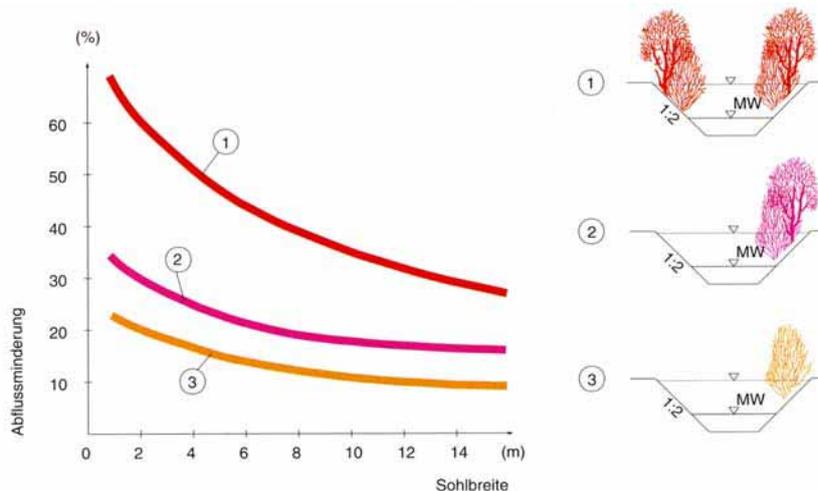
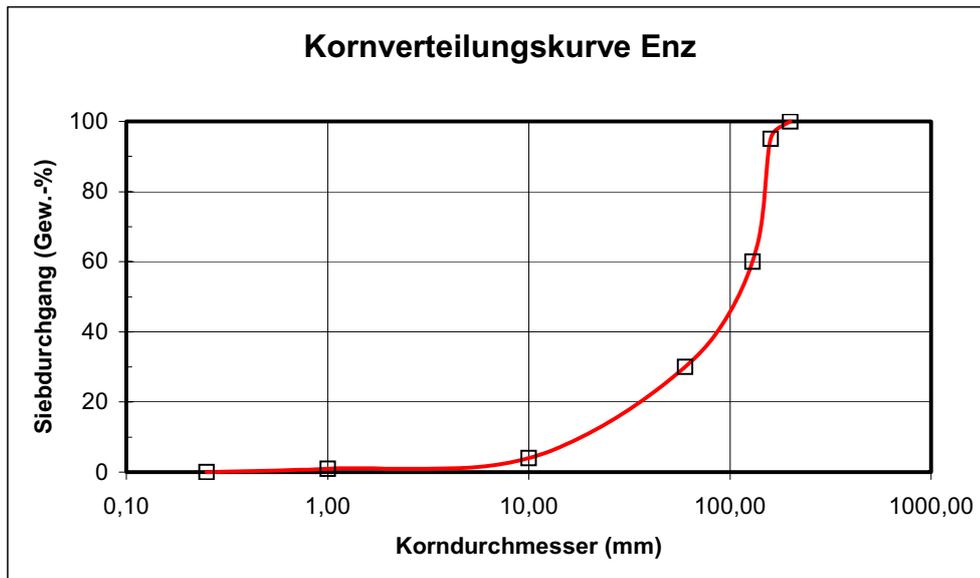


Abb. 5.98: Auswirkungen des Uferbewuchses auf den Abfluss nach FELKEL.

Enz Bereich 3 (km 56+935 bis km 57+080)

 $k_{st} \approx 12 \text{ bis } 23 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ **Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt**

Abschnittscharakteristik	Aufweitungsbereich mit ursprünglich drei Inseln. Die Inseln sind mittlerweile infolge von Hochwässern teilweise abgetragen. Die Uferböschungen sind im Aufweitungsbereich mit einem Steinwurf gesichert. Auf den Vorländern wächst überwiegend Gras und vereinzelt Bäume.
Gerinneklassifizierung	Gegliedertes Gerinne
mittleres Sohlprofilgefälle	I_{so} ca. 0,006
Kartengrundlage TK 25	Blatt 7018 (Pforzheim)
<i>Hydrologische Kennwerte</i>	
nächstgelegener Pegel	Pforzheim-Kläranlage
Einzugsgebietsgröße	1478 km ²
MNQ	5,12 m ³ /s
MQ	17,20 m ³ /s
MHQ	161,00 m ³ /s

Abgeleitete k_s -Werte

Autor	k_s -Wert (mm)
GARBRECHT	150
ENGELUND/H.	260
HEY	490
KAPHIUS	180
MERTENS	225
DITTRICH	490
Mittelwert	300

Abb. 5.99: Kornverteilung der Gewässersohle und resultierende k_s -Werte.

Enz Bereich 3 (km 56+935 bis km 57+080) **$k_{st} \approx 12$ bis $23 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** 

Abb. 5.100: Blick in Fließrichtung zu den Inseln vom rechten Ufer aus (Aufnahmedatum 2/1992).



Abb. 5.101: Blick in Fließrichtung entlang des rechten Ufers. Im Hintergrund sind die teilweise bewachsenen Inseln zu erkennen (Aufnahmedatum: 10/1999).

Enz Bereich 3 (km 56+935 bis km 57+080)

$k_{st} \approx 12 \text{ bis } 23 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Tabellarische Auflistung der hydraulischen Daten

Abfluss [m ³ /s]	A [m ²]	r _{hy} [m]	v _m [m/s]	k _{st} [m ^{1/3} /s]	h [m]
14,30	34,68	1,08	0,41	5,0*	1,45
57,20	52,71	1,24	1,08	12,0	1,93
80,90	57,47	1,28	1,41	15,2	2,04
110,00	73,95	1,40	1,49	15,2	2,38
229,00	91,42	1,50	2,50	24,4	2,69
383,00	142,19	1,79	2,69	23,4	3,41

Der mit * gekennzeichnete Wert ist unplausibel. Wahrscheinlich liegt ein Messfehler bei den Naturdaten vor.

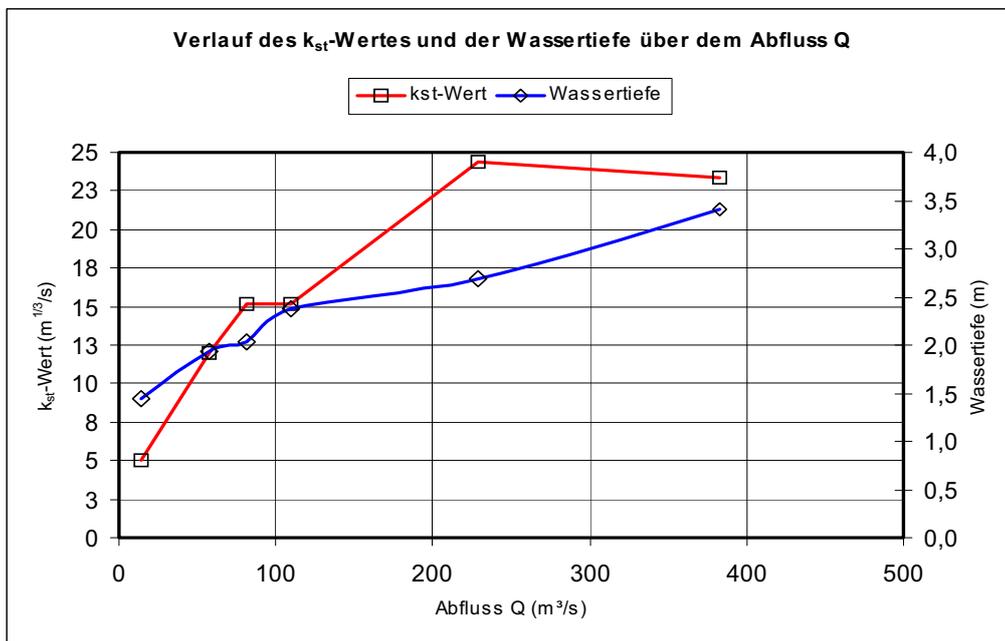


Abb. 5.102: Verlauf des k_{st}-Wertes und der Wassertiefe über dem Abfluss Q.

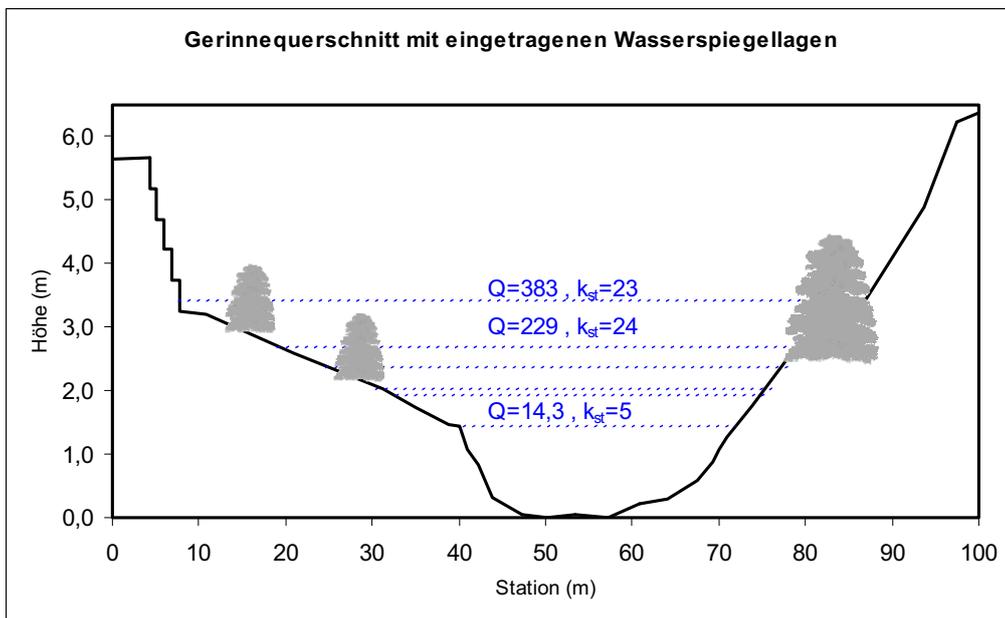


Abb. 5.103: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Enz Bereich 3 (km 56+935 bis km 57+080)

$k_{st} \approx 12$ bis $23 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

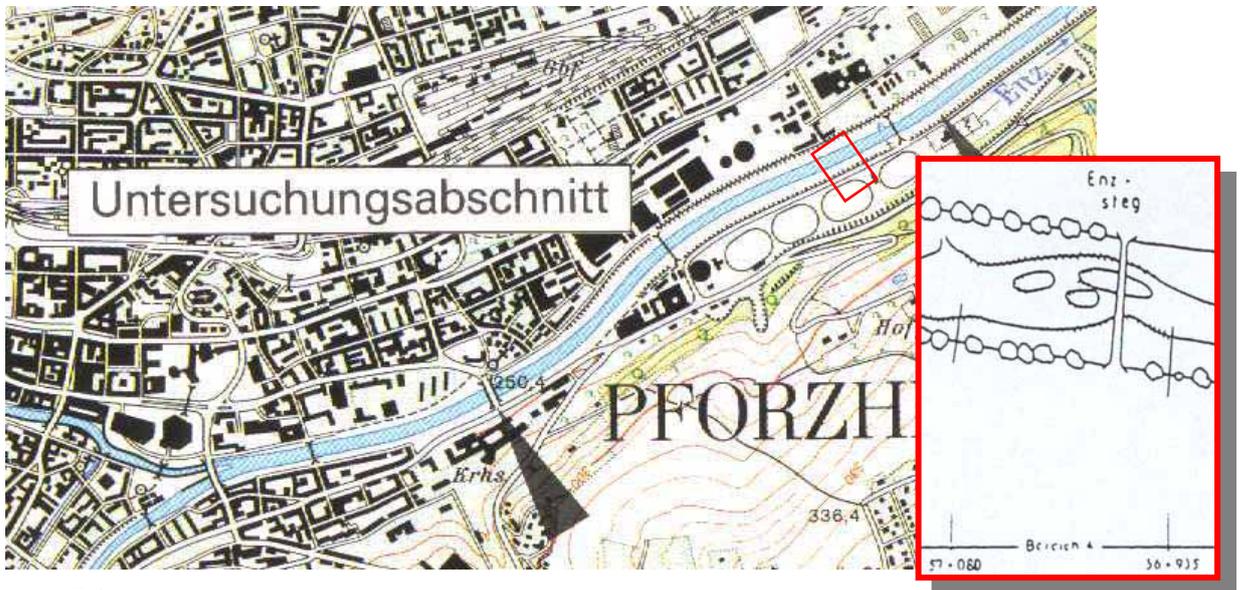


Abb. 5.104: Lageplan.

Interpretation der dargestellten k_{st} -Werte:

Die gezeigten k_{st} -Werte resultieren aus einer hydraulischen Rückrechnung von Naturmessdaten. Hierbei wurde in dem betrachteten Gewässerabschnitt von Normalabflussbedingungen ausgegangen. Die Auswirkungen von Strömungsbeeinflussungen im ober- und Unterwasser des betrachteten Abschnittes wurde damit vernachlässigt. Der in der Tabelle auf Seite 84 mit (*) gekennzeichnete k_{st} -Wert ist nicht plausibel, da die Sohle keine derartige Rauheit besitzt, die sich bei einer Fließtiefe von $h > 1,45$ m so enorm auswirkt. Dieser Wert ist wahrscheinlich auf Messfehler bei den Naturdaten zurückzuführen.

Infolge der Inselstrukturen, die mit Ihrem Formwiderstand das Strömungsverhalten des Gewässers prägen, kommt es gemäß dem Fall 9 im Leitfaden Teil 2 zu einem Aufstau im Oberwasser der Inseln. Dadurch wird in diesem Abschnitt die Fließgeschwindigkeit reduziert, so dass sich bei relativ großen Fließtiefen im Vergleich z.B. zum Bereich 1 nur geringe Fließgeschwindigkeiten einstellen.

Ferner führt die Berücksichtigung der Inselstrukturen zu eher geringen k_{st} -Werten. Infolge des dichten Uferbewuchses wird der k_{st} -Wert ebenfalls beeinträchtigt, insbesondere bei Fließtiefen von $h > 2,0$ m, wo es zu Ausuferungen kommt. Erst bei größeren Fließtiefen von $h > 2,60$ m wird der Gesamt- k_{st} -Wert infolge der Überströmung der Inselstrukturen und Durchströmung der Bewuchselemente deutlich größer.

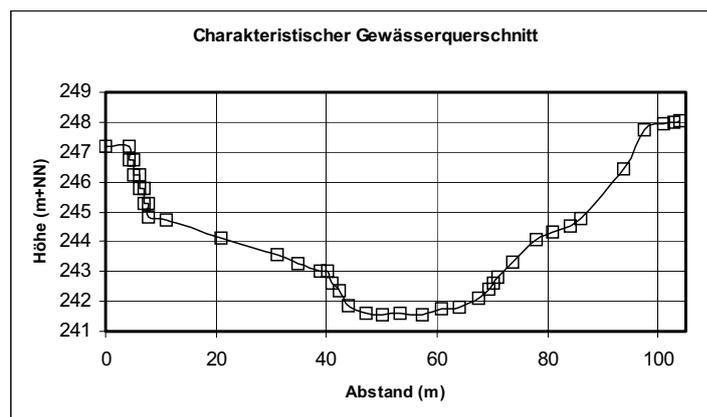
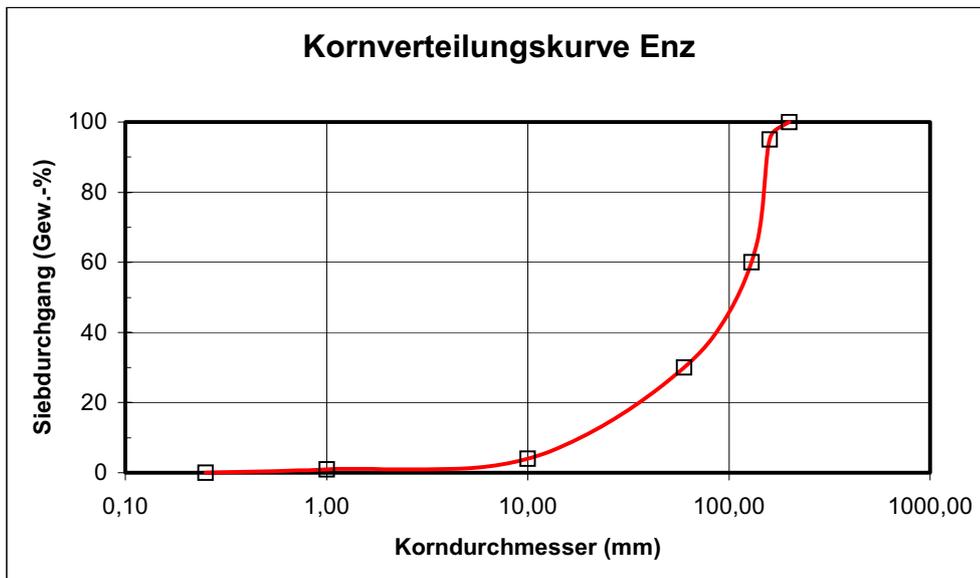


Abb. 5.105: Charakteristischer Gewässerquerschnitt.

Enz Bereich 4 (km 57+080 bis km 57+440) **$k_{st} \approx 16 \text{ bis } 19 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** **Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt**

Abschnittscharakteristik	Ausgeprägte Flach- und Stillwasserzonen, hervorgerufen durch Buchten und Ufervorsprünge sowie unterschiedliche Böschungsneigungen. Das Mittelwasserbett besitzt eine pendelnde Linienführung. Die Vorländer sind mit Gras bewachsen, die Hochwasserschutzdämme sind mit Bäumen bestanden.
Gerinneklassifizierung	Gegliedertes Gerinne
mittleres Sohlliniengefälle	I_{so} ca. 0,006
Kartengrundlage TK 25	Blatt 7018 (Pforzheim)
<i>Hydrologische Kennwerte</i>	
nächstgelegener Pegel	Pforzheim-Kläranlage
Einzugsgebietsgröße	1478 km ²
MNQ	5,12 m ³ /s
MQ	17,20 m ³ /s
MHQ	161,00 m ³ /s

Abgeleitete k_s -Werte

Autor	k_s -Wert (mm)
GARBRECHT	150
ENGELUND/H.	260
HEY	490
KAPHIUS	180
MERTENS	225
DITTRICH	490
Mittelwert	300

Enz Bereich 4 (km 57+080 bis km 57+440) **$k_{st} \approx 16$ bis $19 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** 

Abb. 5.107: Blick in Fließrichtung entlang des Bereiches 3 (Aufnahmedatum: 03/1992).



Abb. 5.108: Blick in Fließrichtung bei Hochwasserabfluss in den Bereich 3 (Aufnahmedatum 02/1997).

Enz Bereich 4 (km 57+080 bis km 57+440)

$k_{st} \approx 16$ bis $19 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Tabellarische Auflistung der hydraulischen Daten

Abfluss [m ³ /s]	A [m ²]	r _{hy} [m]	V _m [m/s]	k _{st} [m ^{1/3} /s]	h [m]
14,30	27,07	0,64	0,52	9,0*	0,88
41,70	37,72	0,79	1,10	16,5	1,12
57,20	52,98	1,03	1,08	13,5	1,43
80,90	56,58	1,08	1,43	17,3	1,50
110,00	77,22	1,35	1,42	14,8	1,88
229,00	102,10	1,64	2,24	20,6	2,30
383,00	152,80	2,16	2,51	19,2	3,07

Der mit * gekennzeichnete Wert ist unplausibel. Wahrscheinlich liegt ein Messfehler bei den Naturdaten vor.

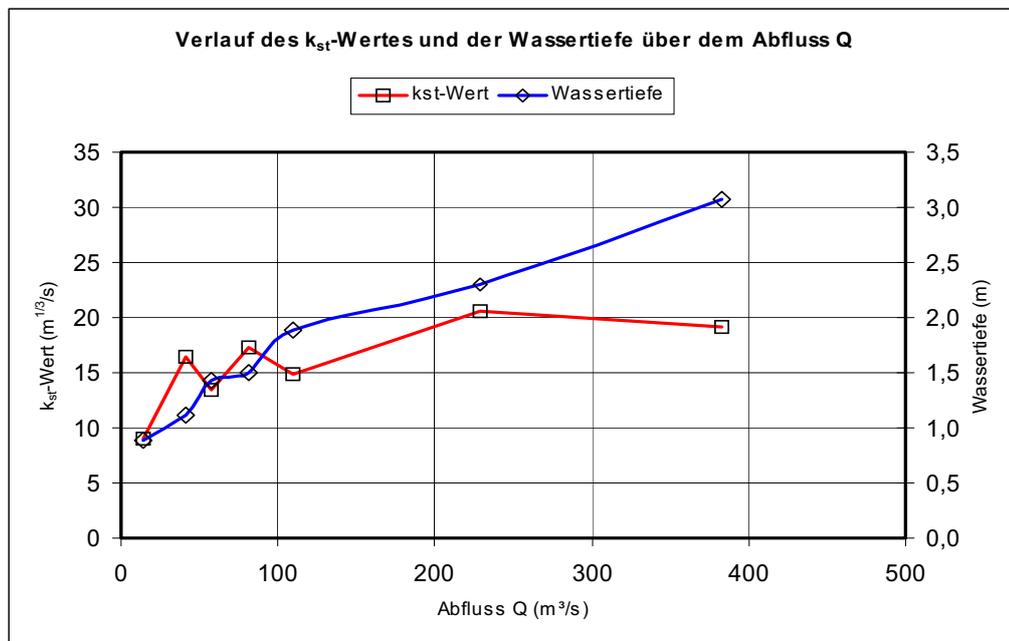


Abb. 5.109: Verlauf des k_{st} -Wertes und der Wassertiefe über dem Abfluss Q.

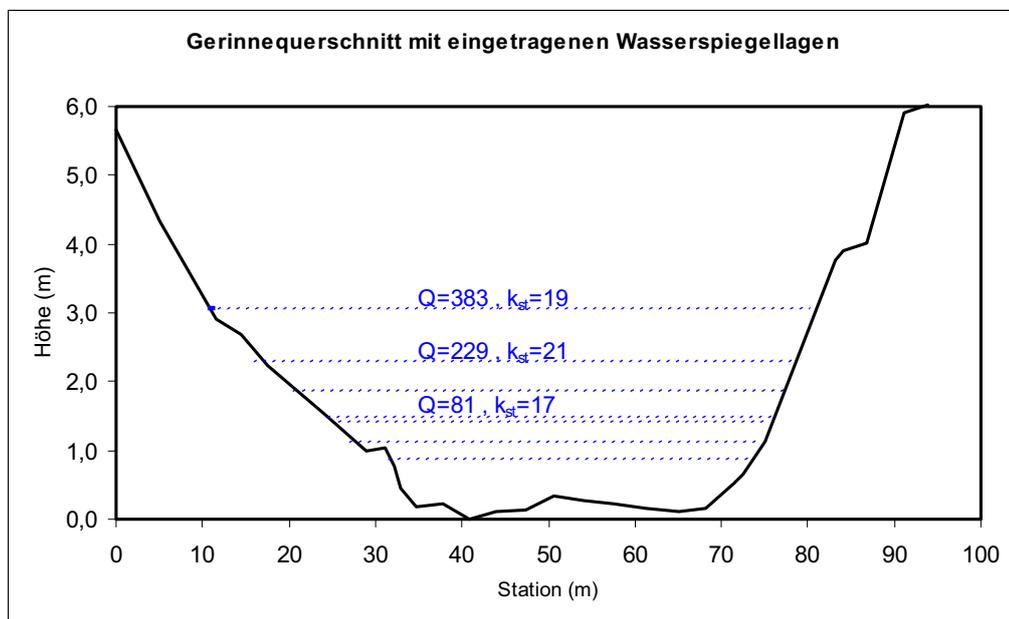


Abb. 5.110: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Enz Bereich 4 (km 57+080 bis km 57+440)

$k_{st} \approx 16$ bis $19 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

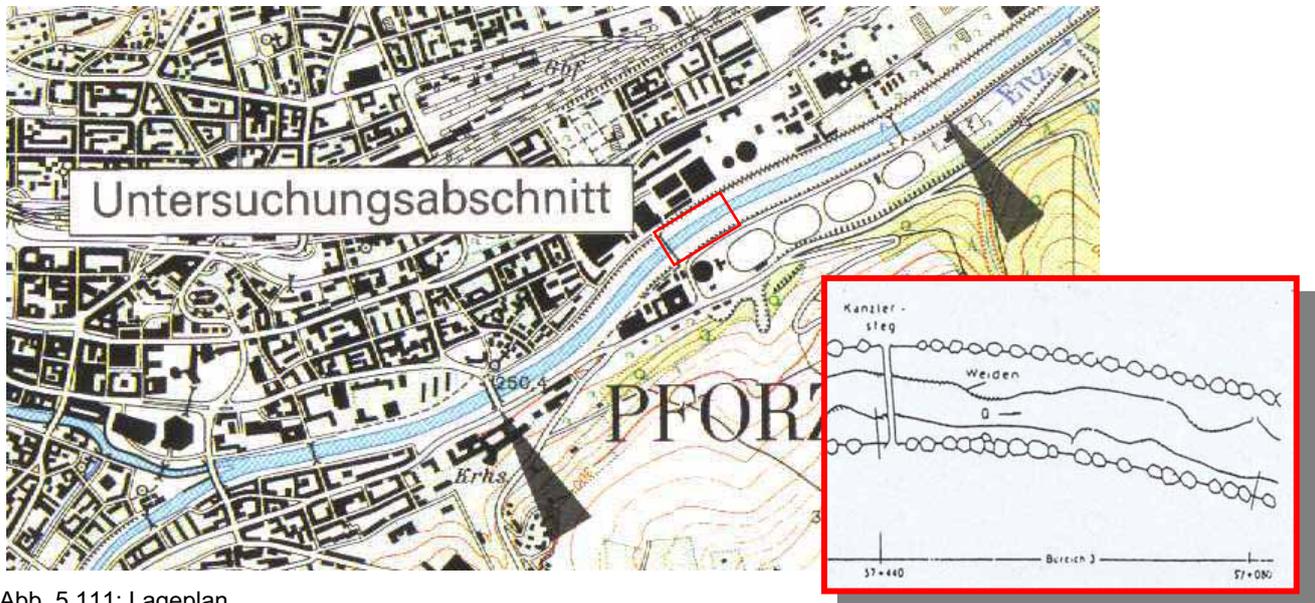


Abb. 5.111: Lageplan.

Interpretation der dargestellten k_{st} -Werte:

Die gezeigten k_{st} -Werte resultieren aus einer hydraulischen Rückrechnung von Naturmessdaten. Hierbei wurde in dem betrachteten Gewässerabschnitt von Normalabflussbedingungen ausgegangen. Die Auswirkungen von Strömungsbeeinflussungen im ober- und Unterwasser des betrachteten Abschnittes wurde damit vernachlässigt.

Für geringe Fließtiefen ist infolge der geringen Überdeckung zunächst ein sehr kleiner k_{st} -Wert anzunehmen. Bei einer Fließtiefe ab ca. $h \geq 2,0 \text{ m}$ kommt es zu einer Überflutung der grasbewachsenen Vorländer. Im Vergleich zu den k_{st} -Werten für gegliederte Gerinne mit grasbewachsenen Vorländern aus der Literatur ($\rightarrow k_{st} \approx 33$ bis $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ lt. Tabelle d auf Seite 14) fallen die rückgerechneten k_{st} -Werte in diesem Fall kleiner aus, da es sich im betrachteten Abschnitt nicht um eine leicht pendelnde Linienführung mit Ufervorsprüngen und ständigen Änderungen der Uferstrukturen handelt.

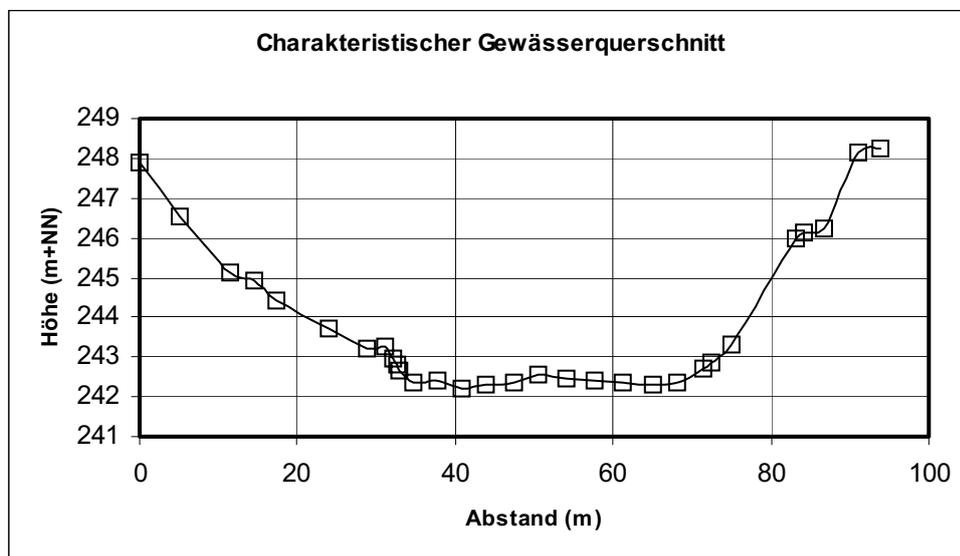


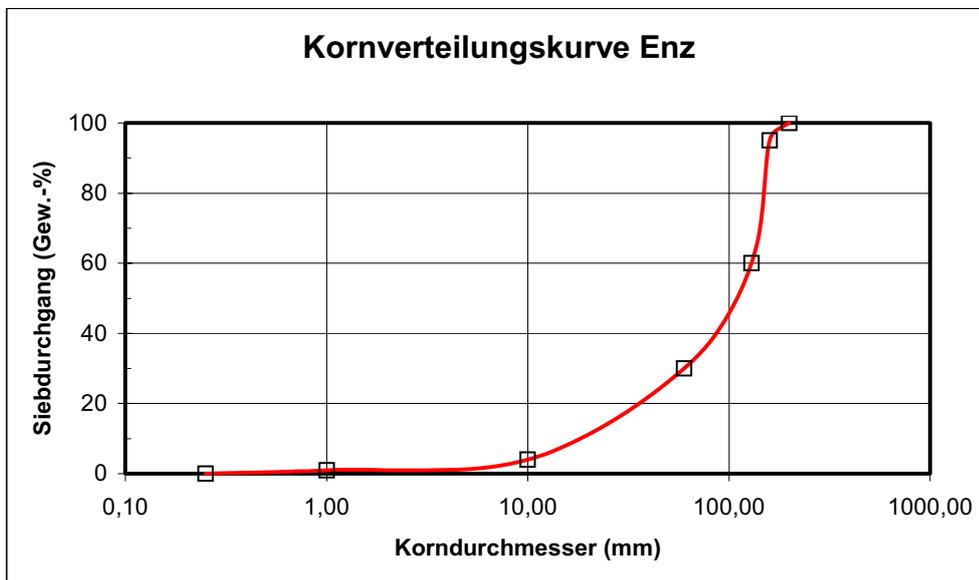
Abb. 5.112: Charakteristischer Gewässerquerschnitt.

Enz Bereich 5 (km 57+440 bis km 57+695)

$k_{st} \approx 10$ bis $22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt

Abschnittscharakteristik	Aufweitungsbereich mit vier Inseln, die vollständig bewachsen sind. Das Mittelwasserbett weist daher stark unregelmäßige Querschnitte mit zum Teil starken Einengungen auf. Die Vorländer sind mit Gras bewachsen, entlang der Hochwasserschutzdämme befindet sich einreihiger Baumbestand.
Gerinneklassifizierung	Gegliedertes Gerinne. Wegen Inseln im Gerinne ist das Verfahren schlecht geeignet. Vorgehen deshalb nach Leitfaden Teil 4, Fall 9.
mittleres Sohlprofilgefälle	I_{so} ca. 0,006
Kartengrundlage TK 25	Blatt 7018 (Pforzheim)
<i>Hydrologische Kennwerte</i>	
nächstgelegener Pegel	Pforzheim-Kläranlage
Einzugsgebietsgröße	1478 km ²
MNQ	5,12 m ³ /s
MQ	17,20 m ³ /s
MHQ	161,00 m ³ /s



Abgeleitete k_s -Werte

Autor	k_s -Wert (mm)
GARBRECHT	150
ENGELUND/H.	260
HEY	490
KAPHIUS	180
MERTENS	225
DITTRICH	490
Mittelwert	300

Abb. 5.113: Kornverteilung der Gewässersohle und resultierende k_s -Werte.

Enz Bereich 5 (km 57+440 bis km 57+695) **$k_{st} \approx 10$ bis $22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** 

Abb. 5.114: Blick gegen die Fließrichtung (Aufnahmedatum 08/1994).



Abb. 5.115: Ansicht wie im vorhergehenden Bild. Hochwasserabfluss mit vollständig überströmten Inseln (Aufnahmedatum 03/1995).

Enz Bereich 5 (km 57+440 bis km 57+695)

$k_{st} \approx 10$ bis $22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Tabellarische Auflistung der hydraulischen Daten

Abfluss [m³/s]	A [m²]	r_{hy} [m]	V_m [m/s]	k_{st} [m ^{1/3} /s]	h [m]
14,30	22,99	0,70	0,62	10,0	1,10
41,70	29,38	0,84	1,42	20,3	1,29
57,20	39,55	1,03	1,44	18,1	1,57
80,90	45,02	1,12	1,80	21,3	1,71
110,00	70,50	1,38	1,56	16,1	2,27
229,00	90,73	1,62	2,52	23,4	2,65
383,00	141,69	1,98	2,70	21,9	3,44

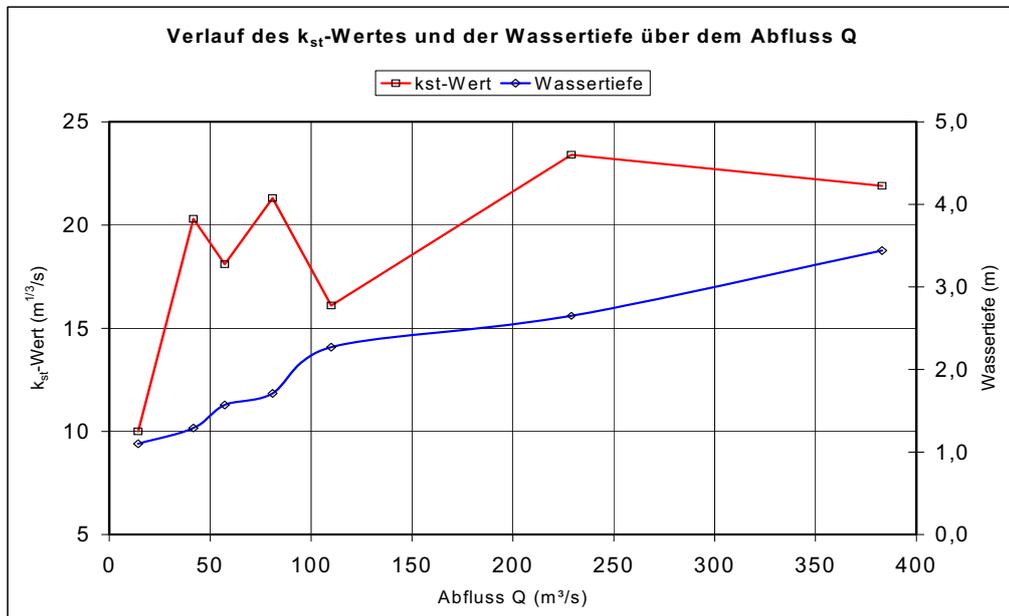


Abb. 5.116: Verlauf des k_{st} -Wertes und der Wassertiefe über dem Abfluss Q.

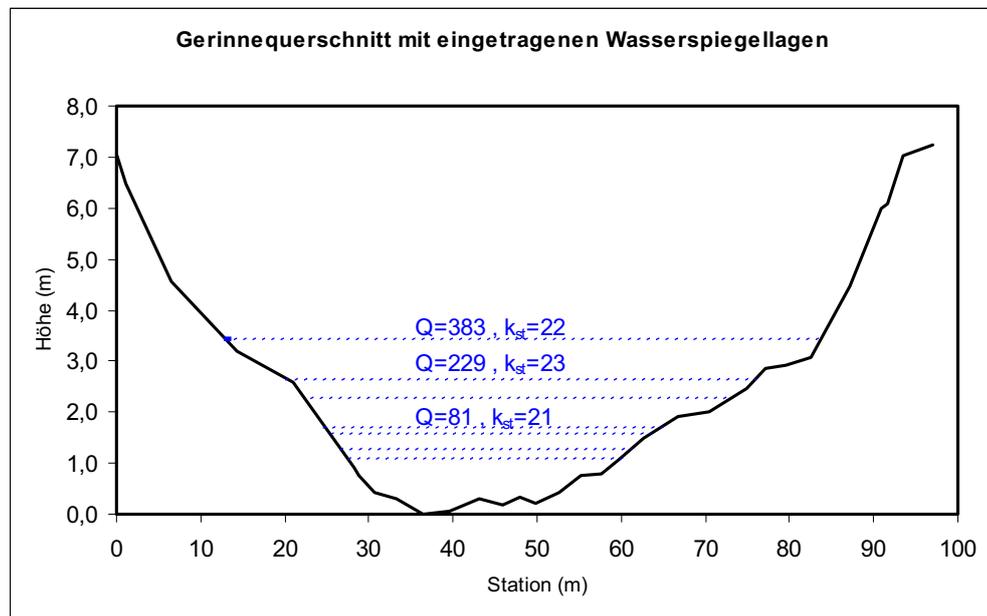


Abb. 5.117: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Enz Bereich 5 (km 57+440 bis km 57+695)

$k_{st} \approx 10$ bis $22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

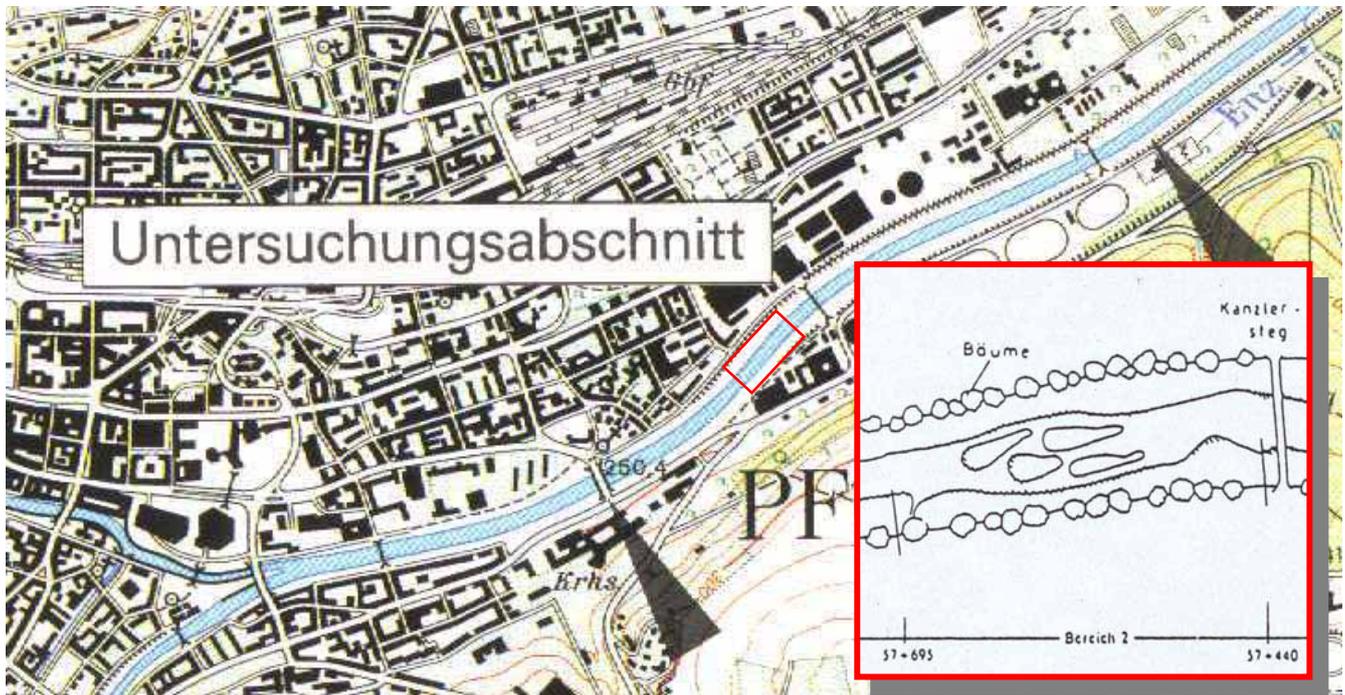


Abb. 5.119: Lageplan.

Interpretation der dargestellten k_{st} -Werte:

Die gezeigten k_{st} -Werte resultieren aus einer hydraulischen Rückrechnung von Naturmessdaten. Hierbei wurde in dem betrachteten Gewässerabschnitt von Normalabflussbedingungen ausgegangen. Die Auswirkungen von Strömungsbeeinflussungen im ober- und Unterwasser des betrachteten Abschnittes wurde damit vernachlässigt.

Infolge des Formwiderstandes der Inseln kommt es bei der Rückrechnung – ähnlich wie im Bereich 4 – zu eher kleinen k_{st} -Werten.

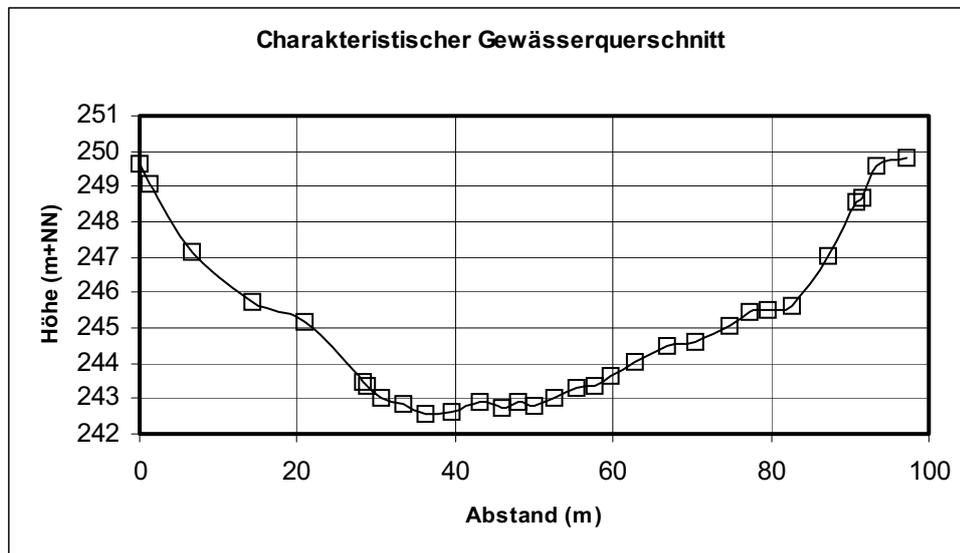


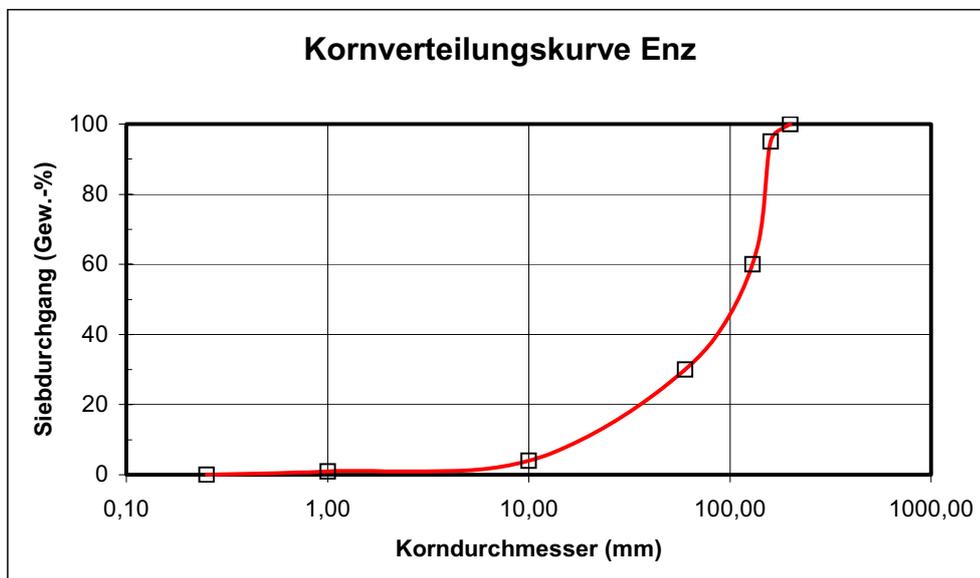
Abb. 5.120: Charakteristischer Gewässerquerschnitt.

Enz Bereich 6 (km 57+695 bis km 57+970)

$k_{st} \approx 16 \text{ bis } 25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Allgemeine Informationen über den Gewässerabschnitt

Abschnittscharakteristik	Der Bereich erstreckt sich entlang einer langgezogenen Linkskrümmung. Das Mittelwasserbett besitzt trapezförmige Profilquerschnitte ohne Unregelmäßigkeiten und wird sowohl links- als auch rechtsufrig von einem Bewuchsstreifen gesichert. Die Vorlandbereiche sind mit Gras bewachsen.
Gerinneklassifizierung	Gegliedertes Gerinne. Wegen Bewuchs im Übergangsbereich ist das Verfahren schlecht geeignet. Vorgehen deshalb nach Leitfaden Teil 4, Fall 17.
mittleres Sohlprofilgefälle	I_{so} ca. 0,006
Kartengrundlage TK 25	Blatt 7018 (Pforzheim)
<i>Hydrologische Kennwerte</i>	
nächstgelegener Pegel	Pforzheim-Kläranlage
Einzugsgebietsgröße	1478 km ²
MNQ	5,12 m ³ /s
MQ	17,20 m ³ /s
MHQ	161,00 m ³ /s



Abgeleitete k_s -Werte

Autor	k_s -Wert (mm)
GARBRECHT	150
ENGELUND/H.	260
HEY	490
KAPHIUS	180
MERTENS	225
DITTRICH	490
Mittelwert	300

Abb. 5.121: Kornverteilung der Gewässersohle und resultierende k_s -Werte.

Enz Bereich 6 (km 57+695 bis km 57+970) **$k_{st} \approx 16$ bis $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$** 

Abb. 5.122: Blick in Fließrichtung (Aufnahmedatum 03/1993).



Abb. 5.123: Blick gegen Fließrichtung etwas unterhalb des ersten Aufnahmeorts; erhöhter Abfluss (Aufnahmedatum 12/1999).

Enz Bereich 6 (km 57+695 bis km 57+970)

$k_{st} \approx 16 \text{ bis } 25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Tabellarische Auflistung der hydraulischen Daten

Abfluss [m³/s]	A [m²]	r _{hy} [m]	V _m [m/s]	k _{st} [m ^{1/3} /s]	h [m]
14,30	22,99	0,70	0,62	10,0*	1,10
41,70	29,38	0,84	1,42	20,3	1,29
57,20	39,55	1,03	1,44	18,1	1,57
80,90	45,02	1,12	1,80	21,3	1,71
110,00	70,50	1,38	1,56	16,1	2,27
229,00	90,73	1,62	2,52	23,4	2,65
383,00	141,69	1,98	2,70	21,9	3,44

Der mit * gekennzeichnete Wert ist unplausibel. Wahrscheinlich liegt ein Messfehler bei den Naturdaten vor.

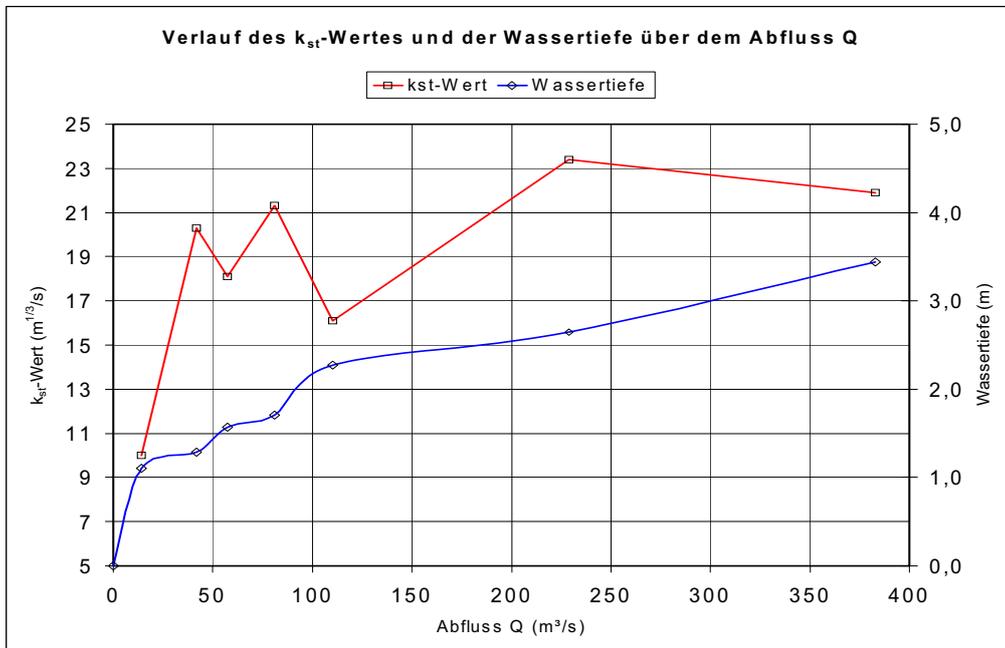


Abb. 5.124: Verlauf des k_{st} -Wertes und der Wassertiefe über dem Abfluss Q.

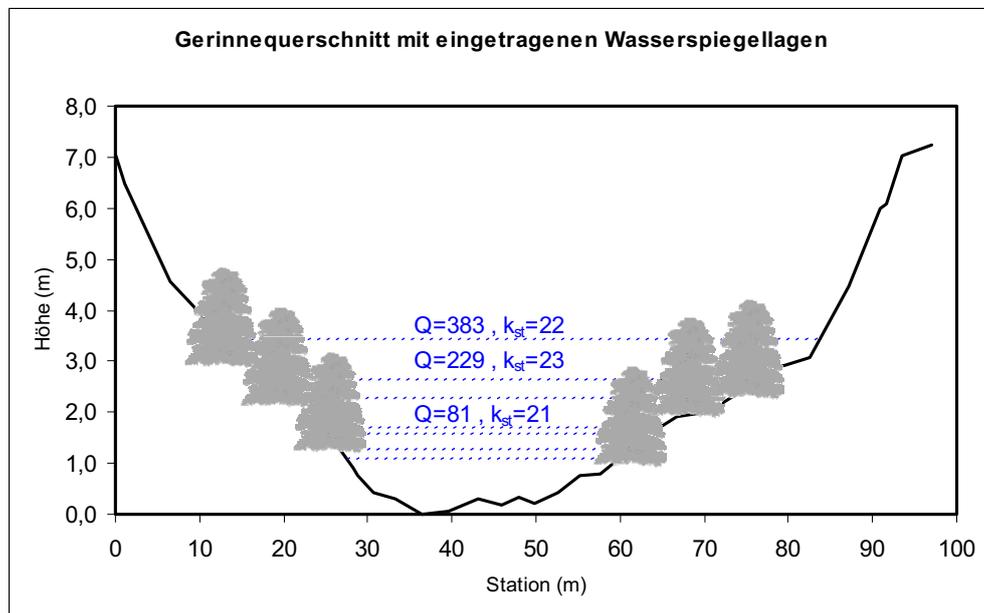


Abb. 5.125: Gerinnequerschnitt mit eingetragenen Wasserspiegellagen.

Enz Bereich 6 (km 57+965 bis km 57+970)

$k_{st} \approx 16$ bis $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

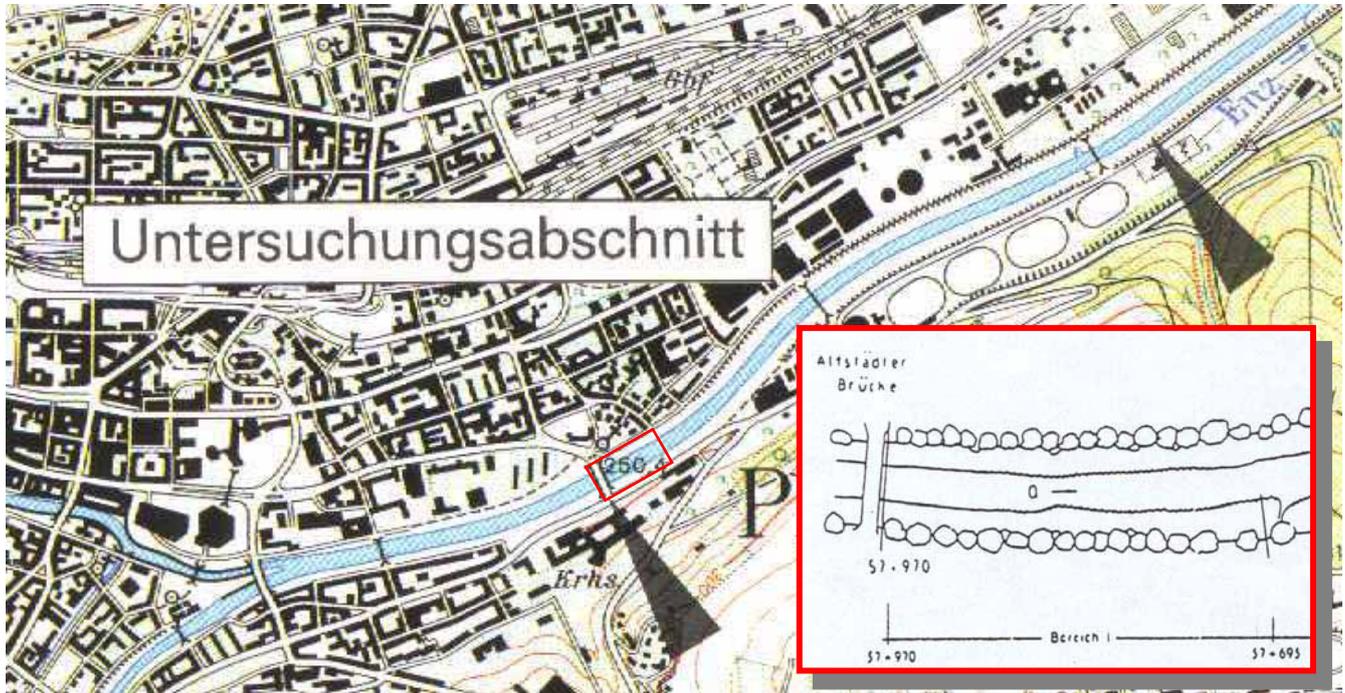


Abb. 5.126: Lageplan.

Interpretation der dargestellten k_{st} -Werte:

Die gezeigten k_{st} -Werte resultieren aus einer hydraulischen Rückrechnung von Naturmessdaten. Hierbei wurde in dem betrachteten Gewässerabschnitt von Normalabflussbedingungen ausgegangen. Die Auswirkungen von Strömungsbeeinflussungen im ober- und Unterwasser des betrachteten Abschnittes wurde damit vernachlässigt.

Der in der Tabelle auf Seite 96 mit (*) gekennzeichnete k_{st} -Wert ist nicht plausibel, da die Sohle keine derartige Rauheit besitzt, die sich bei einer Fließtiefe von $h > 1,10 \text{ m}$ so enorm auswirkt. Dieser Wert ist wahrscheinlich auf Messfehler bei den Naturdaten zurückzuführen.

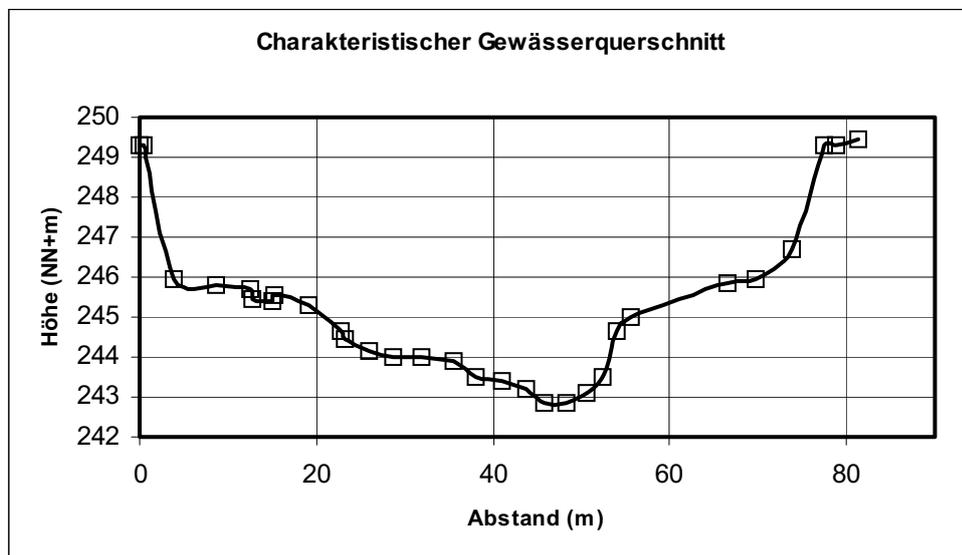


Abb. 5.127: Charakteristischer Gewässerquerschnitt.

6 Literaturverzeichnis

- BOLLRICH, G., 1996: Technische Hydromechanik Band 1 (4. Auflage), Berlin
- DITTRICH, A., 1998: Wechselwirkung Morphologie/Strömung naturnaher Fließgewässer. Schriftenreihe des Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe (TH), Heft 198
- DVWK (Hrsg.), 1991: Hydraulische Berechnung von Fließgewässern, Merkblätter, Heft 220/1991, Hamburg und Berlin
- ENGELUND, F., HANSEN, E., 1966: Investigation of flow in alluvial streams. Acta Polytechnica Scandinavia, Kopenhagen
- GARBRECHT, G., 1961: Abflussberechnung für Flüsse und Kanäle. Die Wasserwirtschaft, 51. Jahrgang, S. 40-45 und S. 72-77
- HEY, R.D., 1979: Flow resistance in gravel-bed rivers. Journal of Hydraulics Division, Vol. 105, No. HY4, pp. 365-379
- KAMPHUIS, J.W., 1974: Determination of sand roughness for fixed beds. Journal of Hydraulic Research, Vol. 12(2), pp. 193-203
- KEULEGAN, G.H., 1938: Laws of turbulent flow in open channels. Research Paper 1151, Journal of Research, Nat. Bureau of Standards 21
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG, 1995: Naturnahe Umgestaltung von Fließgewässern, Teil III: Dokumentation der Entwicklung ausgewählter Pilotvorhaben. Karlsruhe
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG, 2000: Hydraulik naturnaher Fließgewässer – Teil 1: Empirische hydraulische Berechnungsverfahren. Karlsruhe
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG, 2000: Hydraulik naturnaher Fließgewässer – Teil 4: Berechnungsverfahren für naturnahe Gewässerstrukturen. Karlsruhe
- LANGE, G., LECHER, K., 1993: Gewässerregelung, Gewässerpflege. Naturnaher Ausbau und Unterhaltung von Fließgewässern (3. Auflage), Hamburg und Berlin
- MERTENS, W., 1994: Zum Strömungswiderstand naturnaher Fließgewässer. Wasserwirtschaft, 84, Heft 3, S. 138-141
- NAUDASCHER, E., 1992: Hydraulik der Gerinne und Gerinnebauwerke (2. Auflage), Wien und New York
- NIKURADSE, J., 1933: Strömungsgesetze in rauhen Rohren. Forsch. Arb. Ing.-Wes., Heft 361
- RÖSSERT, R., 1994: Hydraulik im Wasserbau (9. Auflage), Oldenburg
- SCHADE, G., 1985: Ökologische Untersuchungen an der ausgebauten unteren Murr 1977 bis 1982, Ludwigsburg.
- SCHNEIDER, 1994: Bautabellen für Ingenieure (11. Auflage), Düsseldorf
- SCHRÖDER, R., PRESS, 1966: Hydromechanik im Wasserbau, Berlin
- SCHRÖDER, W (Hrsg.), EULER, G., SCHNEIDER, K., KNAUF, D., 1994: Grundlagen des Wasserbaus, Hydrologie, Hydraulik, Wasserrecht (3. Auflage), Düsseldorf
- ZUPPKE, B., 1992: Hydromechanik im Bauwesen (4. Auflage), Wiesbaden und Berlin

**Veröffentlichungen der Reihe
Handbuch Wasser 2
ISSN 0946-0675**

Titel	Band	Jahr der Herausgabe	Preis (falls lieferbar)
Gewässerkundliche Beschreibung Abflußjahr 1990	1	1991	vergriffen
Bauweisen des naturnahen Wasserbaus Umgestaltung der Enz in Pforzheim	2	1991	15 €
Gewässerentwicklungsplanung - Leitlinien -	3	1992	15 €
Übersichtskartierung der morphologischen Naturnähe von Fließgewässern (Methode) - Vorinformation -	4	1992	vergriffen
Regionalisierung hydrologischer Parameter für Niederschlag-Abfluß-Berechnungen - Grundlagenbericht - - Programmdiskette -	5	1992	vergriffen
Ökologie der Fließgewässer Niedrigwasser 1991	6	1992	20 €
Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchung - Arbeitsanleitung - - Programmdiskette -	7	1992	vergriffen
Verkrautung von Fließgewässern Einflußfaktoren, Wechselwirkungen, Kontrollmaßnahmen - Literaturstudie -	8	1993	vergriffen
Gewässerkundliche Beschreibung Abflußjahr 1992	9	1993	15 €
Kontrolle des Japan-Knöterichs an Fließgewässern I. Erprobung ausgewählter Methoden	10	1994	15 €
Gewässerrandstreifen Voraussetzung für die naturnahe Entwicklung der Gewässer	11	1994	15 €
Gewässerkundliche Beschreibung Hochwasser Dezember 1993	12	1994	13 €
Handbuch der stehenden Gewässer in Baden-Württemberg Regierungsbezirke Freiburg, Karlsruhe und Stuttgart	13	1994	vergriffen
Handbuch der stehenden Gewässer in Baden-Württemberg Regierungsbezirk Tübingen	14	1994	vergriffen
Übersichtskartierung des morphologischen Zustands der Fließgewässer in Baden-Württemberg 1992/1993	15	1994	13 €

Titel	Band	Jahr der Herausgabe	Preis (falls lieferbar)
Umweltverträglichkeitsprüfung bei Wasserbauvorhaben nach § 31 WHG Leitfaden Teil I: Verfahren	16	1994	vergriffen
Morphologischer Zustand der Fließgewässer in Baden-Württemberg Auswertung und Interpretation der Ergebnisse der Übersichtskartierung 1992/93	17	1995	13 €
Kontrolle des Japan-Knöterichs an Fließgewässern II. Untersuchungen zu Biologie und Ökologie der neophytischen Knöterich-Arten	18	1995	15 €
Gesamtkonzept Naturnahe Unterhaltung von Fließgewässern Möglichkeiten, Techniken Perspektiven	19	1995	8 €
Naturnahe Umgestaltung von Fließgewässern Teil III: Dokumentation der Entwicklung ausgewählter Pilotvorhaben, erste Zwischenberichte der Erfolgskontrolle	20	1995	15 €
Umweltverträglichkeitsprüfung bei Wasserbauvorhaben nach § 31 WHG Leitfaden Teil III: Bestimmung des Untersuchungsrahmens, Untersuchungsmethoden	21	1995	12 €
Schadstoffdatei Rhein Dokumentation	22	1996	vergriffen
Schadstofftransport bei Hochwasser Neckar, Rhein und Donau im Januar 1995	23	1996	15 €
Schwermetalle in den Sedimenten der Fließgewässer Baden-Württembergs	24	1996	11 €
Bauweisen des naturnahen Wasserbaus Dokumentation und Bewertung am Pilotprojekt Enz/Pforzheim 1990 - 1995	25	1996	11 €
Entwicklung der Fließgewässerbeschaffenheit - chemisch, physikalisch, biologisch - Stand 1995	26	1996	11 €
Das Abflußjahr 1994 - ein Hochwasserjahr	27	1996	vergriffen
Pilotprojekt "Konfliktarme Baggerseen (KaBa)" - Statusbericht -	28	1997	6 €
Meßnetz-Zentrale Meßnetzprogramm	29	1996	vergriffen

Titel	Band	Jahr der Herausgabe	Preis (falls lieferbar)
Pappeln an Fließgewässern	30	1996	15 €
Rechtsgrundlagen der Gewässerunterhaltung Teil I Überblick	31	1996	8 €
Baggerseeuntersuchungen in der Oberrheinebene Auswertung der Sommerbeprobung 1994 und Frühjahrsbeprobung 1995	32	1997	vergriffen
Nährstoff- und Schadstoffeinträge in Baggerseen (Literaturstudie)	33	1996	15 €
Biologische Freiwasseruntersuchungen Rhein-Neckar-Donau - Planktonentwicklung - Bioaktivitäten - Stoffumsätze - 1994	34	1997	vergriffen
Untersuchung der gentoxischen Wirkung von Gewässern und Abwässern	35	1997	vergriffen
Dammscharten in Lockerbauweise bei Hochwasserrückhaltebecken	36	1997	12 €
Ökologische Bewertung von Fließgewässern in der Europäischen Union und anderen Ländern (Literaturstudie)	37	1997	8 €
Saisonale, horizontale und vertikale Zooplankton-verteilungsmuster Eine Fallstudie für den Grötzingen Baggersee	38	1997	vergriffen
Methodologische Untersuchungen zur Ermittlung des Biochemischen Sauerstoffbedarfs des Sediments und des Wasserkörpers in den Baggerseen der Oberrheinebene	39	1997	vergriffen
Biologische Freiwasseruntersuchungen in Rhein, Neckar, Donau. Berichtsjahr 1995-1996	40	1997	6 €
Regionale Bachtypen in Baden-Württemberg Arbeitsweisen und exemplarische Ergebnisse an Keuper- und Gneisbächen	41	1997	18 €
Statistische Untersuchung langfristiger Veränderungen des Niederschlags in Baden-Württemberg	42	1997	14 €
Studie über ökohydraulische Durchlaßbauwerke für regulierbare Hochwasserrückhalteräume	43	1998	vergriffen
Gewässerentwicklung in Baden-Württemberg Teil II Gewässerentwicklungskonzept - Loseblattsammlung -	44	1998	vergriffen
Rauhe Rampen in Fließgewässern	45	1998	vergriffen
Gewässergeometrie	46	1998	vergriffen

Titel	Band	Jahr der Herausgabe	Preis (falls lieferbar)
Die Reihe „Handbuch Wasser 2“ wird unter der Bezeichnung „Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie“ fortgesetzt ISSN 1436-7882			
Naturgemäße Bauweisen Unterhaltungsmaßnahmen nach Hochwasserereignissen	47	1998	12 €
Gewässerentwicklungsplanung Teil I Grundlagen und Faltblatt	48	1998	11 €
Gewässergütekarte Baden-Württemberg	49	1998	21 €
Beschaffenheit der Fließgewässer Jahreskatalog 1997 CD-ROM	50	1998	vergriffen
Fließgewässerversauerung im Schwarzwald Ökologische Bewertung auf der Basis des Diatomeenbenthons	51	1999	vergriffen
Ab- und Umbauprozesse in Baggerseen und deren Einfluß auf das Grundwasser Literaturauswertung	52	1999	vergriffen
Die Gewässerlandschaften Baden-Württembergs	53	1999	vergriffen
Hochwasserabfluss-Wahrscheinlichkeit in Baden-Württemberg	54	1999	41 €
Unterhaltung und Pflege von Gräben	55	1999	11 €
Hydrochemische und biologische Merkmale regionaler Bachtypen in Baden-Württemberg	56	1999	30 €
Die heutige potentielle natürliche Vegetation an Fließgewässern in Baden-Württemberg	57	1999	vergriffen
Überwachung der Fließgewässerbeschaffenheit in Baden-Württemberg - Vorgehenskonzept -	58	1991	kostenfrei
Beschaffenheit der Fließgewässer Jahresdatenkatalog 1998 CD-ROM	59	2000	31 €
Niederschlagsdaten Baden-Württemberg	60	2000	8 €
Zustand der Baggerseen in der Oberrheinebene	61	2000	9 €

Titel	Band	Jahr der Heraus- gabe	Preis (falls lieferbar)
Seenphysikalische Prozesse in Baggerseen Modellgestützte Bewertungen – und Entscheidungshilfen -	62	2000	15 €
Anlagen zur Herstellung der Durchgängigkeit von Fließgewässern	63	2000	16 €
Beschaffenheit der Fließgewässer Jahresdatenkatalog 1999 CD-ROM	64	2001	30 €
Das Hochwasser vom Oktober/ November 1998	65	2000	12 €
Fließgewässer in Baden-Württemberg als Lebensraum ausgewählter Artengruppen	66	2001	9 €
Untersuchungen zum Vorkommen von Xenobiotika in Schwebstoffen und Sedimenten Baden-Württembergs	67	2001	9 €
Schadstoff-Informationssystem-Wasser (SIWAS) CD-ROM	68	2001	15 €
Hochwasserabfluss-Wahrscheinlichkeiten in Baden-Württemberg CD-ROM	69	2001	30 €
Gewässerstruktur-gütekartierung in Baden-Württemberg	70	2001	11 €
Beschaffenheit der Fließgewässer Jahresdatenkatalog 2000 CD-ROM	71	2002	10 €
Gewässerentwicklung in Baden-Württemberg Leitfaden Teil 3 Arbeitsanleitung zur Erstellung von Gewässerentwicklungsplänen	72	2002	12 €
Aromatische Sulfonate in Oberflächengewässern, Schwebstoffen und Sedimenten Baden-Württembergs	73	2002	9 €
Hydraulik naturnaher Fließgewässer Teil 1 Grundlagen und empirische hydraulische Berechnungsverfahren	74	2002	11 €
Hydraulik naturnaher naturnaher Fließgewässer Teil 2 – Neue Berechnungsverfahren für naturnahe Gewässerstrukturen	75	2002	12 €
Beschaffenheit der Fließgewässer Jahresdatenkatalog 2001	76	2003	10 €
Erfahrungsaustausch und Zusammenarbeit der Länder zur Verbesserung der Hochwasservorhersage für große Flussgebiete am 14. und 15. Januar 2003 in Karlsruhe	77	2003	kostenfrei

Formblätter

Im „Leitfaden Hydraulik Naturnaher Fließgewässer, Teil 1 – Grundlagen und empirische hydraulische Berechnungsverfahren“ wurden Formblätter zur Erfassung der Daten für eine empirische hydraulische Berechnung zur Verfügung gestellt. Diese Formblätter sind nachfolgend als Kopiervorlage abgedruckt.

Die Formblätter sind möglichst einfach gegliedert und ermöglichen es dem Anwender direkt am Gewässer möglichst schnell und ausreichend genau die relevanten Daten zu erfassen. Es empfiehlt sich, bei der Begehung stets neben einem Fotoapparat ein Maßband bzw. Meterstab mitzuführen. Des Weiteren sollte, falls vorhanden, ein Neigungsmesser im Taschenformat zur Anwendung kommen.

Auf den Formblättern soll stichwortartig und durch ankreuzen die Querschnittscharakteristik an den entsprechenden Stellen vermerkt werden. Dies soll beim Abschätzen der Rauheiten helfen. **Besonders sorgfältig sollte dabei die Sohlstruktur notiert werden, da diese auf Fotos oftmals nicht mehr zu erkennen ist.**

Ebenso sorgfältig müssen die Informationen über den Bewuchs dokumentiert werden. Hierfür sollten ebenfalls Fotos gemacht werden. Zusätzlich sollte man die hydraulisch relevanten Bewuchsumrisse in der Querschnittsskizze eintragen. Eine Abschätzung der Bewuchsquerschnitte wird ebenfalls empfohlen.

Skizze des Querschnitts mit eingetragenen Abmessungen

Gewässer:

Datum / Uhrzeit:

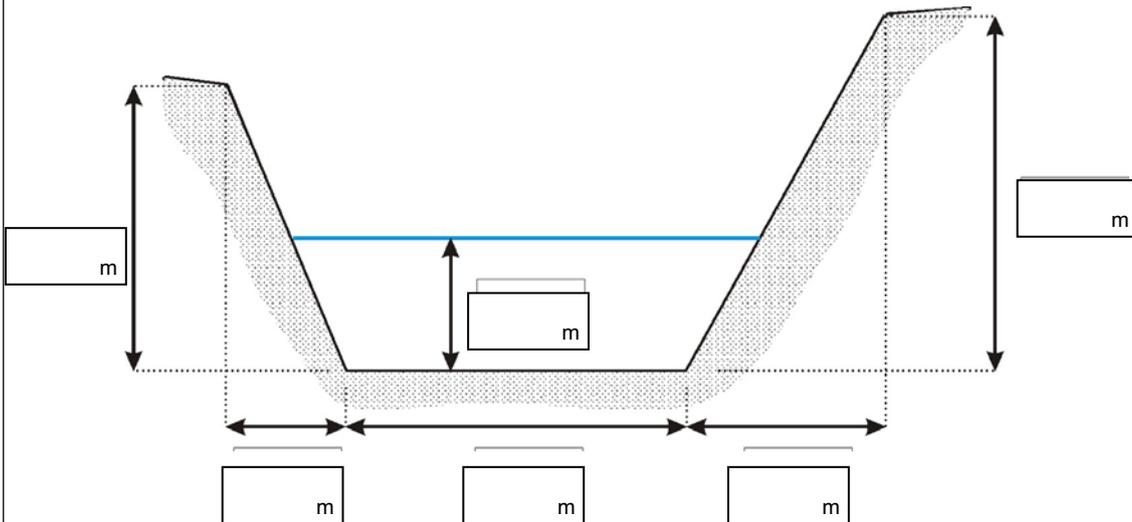
Ort / Stationierung:

Bearbeiter:

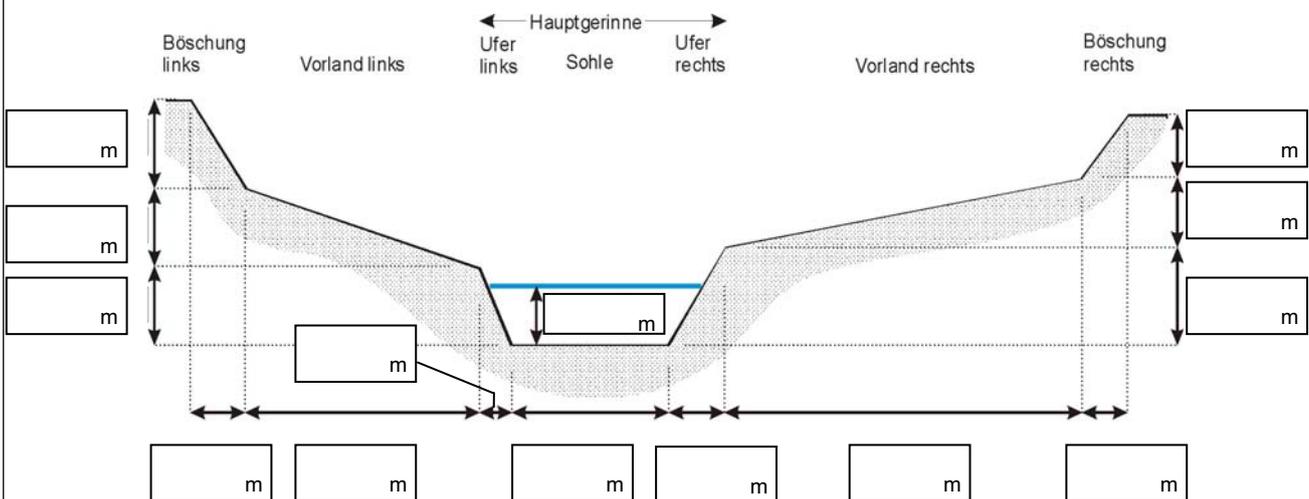
Nicht maßstäbliche Querschnittsskizze für kompakte/gedielerte Gerinne

Die relevanten Abmessungen sind in die Kästchen einzutragen. Bewuchselemente sollten skizziert werden.

Für kompakte Gerinne (Blick in Fließrichtung):



Für gedielerte Gerinne (Blick in Fließrichtung):



Weitere Angaben:

Wassertiefe h: Die Gerinnesohle ist idealisiert als horizontal anzunehmen. Die Wassertiefe ist an mehreren Stellen im Querschnitt zu messen und dann zu mitteln. Der gemittelte Wert wird dann in die Skizze eingetragen.

Fließgeschwindigkeit v_m : Die mittlere Fließgeschwindigkeit sollte auch geschätzt werden. Durch Anwendung der Kontinuitätsgleichung $Q = v_m \cdot A$ kann damit ein erster Näherungswert für den Abfluss berechnet werden.

Bewuchselemente: Bewuchs (Bäume, Sträucher, Büsche, Kraut, Gras) sollte mit in die Skizze eingetragen werden.

Wahl der Teilrauheitsbeiwerte $k_{st,i}$ zur Berechnung der äquivalenten Gerinnerrauheit $k_{st,ges}$ nach EINSTEIN/HORTON (Teil 1 → Kap. 5.2.2)

1) Wahl der Sohlenrauheit $k_{st,So}$ [$m^{1/3}/s$]

Beschreibung	k_{st} -Wert	Wahl
• Sohle ohne Unregelmäßigkeiten ...		
...glatt (z.B. Feinkies k_{st} ca. $40 m^{1/3}/s$)	38 bis 42	<input type="checkbox"/>
...mit mäßigem Geschiebetrieb (stabile Deckschicht; z.B. Grobkies ca. $35 m^{1/3}/s$)	33 bis 38	<input type="checkbox"/>
...reich an Geschiebe oder großen Steinen	25 bis 33	<input type="checkbox"/>
• Sohle mit Unregelmäßigkeiten (z.B. Becken, Sandbänke, unregelmäßige Sieblinie) ...		
...ohne signifikanten aquatischen Bewuchs	24 bis 30	<input type="checkbox"/>
...mit vereinzelt großen Steinen und Verkräutung.....	20 bis 28	<input type="checkbox"/>
...mit vermehrt großen Steinen.....	17 bis 22	<input type="checkbox"/>
...ausgeprägte Absturz-Becken-Struktur bzw. Stromschnellen und Verkräutung.....	13 bis 20	<input type="checkbox"/>

Gewählte Sohlenrauheit: $k_{st,So} =$ _____ $m^{1/3}/s$

2) Wahl der Uferböschungsrauhheiten $k_{st,Bö,li}$ und $k_{st,Bö,re}$ [$m^{1/3}/s$]

Beschreibung	k_{st} -Wert	Wahl	
		li.	re.
• kein Bewuchs, homogen	30 bis 40	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Baumbewuchs – nur Stämme umströmt (evtl. hier Flächenabzugsverfahren!).....	17 bis 29	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Buschbewuchs – Astwerk durchströmt (evtl. Flächenabzugsverfahren!)	7 bis 13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Verkräutung.....	8 bis 20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Grasbewuchs	15 bis 25	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Gewählte Uferböschungsrauhheit: $k_{st,Bö,li} =$ _____ $m^{1/3}/s$ und $k_{st,Bö,re} =$ _____ $m^{1/3}/s$

3) Wahl der Vorlandrauheiten $k_{st,V,li}$ und $k_{st,V,re}$ [$m^{1/3}/s$]

Beschreibung	k_{st} -Wert	Wahl	
		li.	re.
• Grasflächen ohne Büsche ...			
...kurzes Gras	28 bis 40	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...hohes Gras.....	20 bis 33	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• landwirtschaftlich genutzte Flächen ...			
...ohne Bepflanzung bzw. überströmter Bewuchs, der sich anschmiegt	25 bis 40	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...mit Bepflanzung bzw. umströmter Bewuchs mit signifikantem Widerstand.....	20 bis 35	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Buschbewuchs...			
...vereinzelt	14 bis 35	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...unregelmäßig verteilt, im Frühjahr und Sommer mit Blätter	13 bis 25	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...unregelmäßig verteilt, im Herbst und Winter ohne Blätter	17 bis 28	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...starker Vorlandbewuchs im Frühjahr und Sommer.....	6 bis 14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...starker Vorlandbewuchs im Herbst und Winter.....	9 bis 22	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Baumbewuchs ...			
...nur Stämme werden umströmt (evtl. Flächenabzugsverfahren!).....	20 bis 33	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...umströmtes dichtes Astwerk.....	13 bis 20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...umströmter Jung- bzw. Kleinbewuchs, der sich nicht anschmiegt	6 bis 13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Gewählte Vorlandrauheiten: $k_{st,V,li} =$ _____ $m^{1/3}/s$ und $k_{st,V,re} =$ _____ $m^{1/3}/s$

Alle angegebenen Zahlenwerte wurden der Literatur entnommen, vgl. dazu [1], [2], [3], [4], [6], [9] und [8].

Vereinfachte Abschätzung des $k_{st,ges}$ -Wertes nach COWAN (→ Teil 1 Kap. 5.2.1)

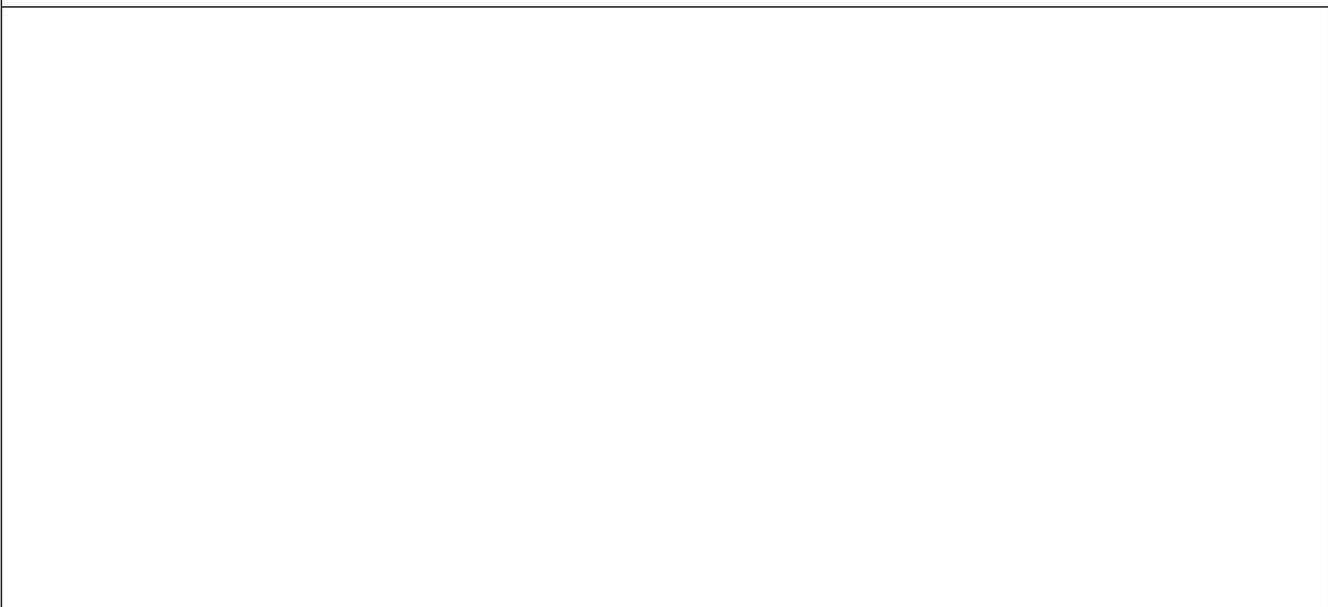
Beschaffenheit des Sohlenmaterials (n_0) Erde 0,020 <input type="checkbox"/> gebrochener Fels 0,025 <input type="checkbox"/> Feinkies 0,024 <input type="checkbox"/> Grobkies 0,028 <input type="checkbox"/>	Änderungen in der Gerinnequerschnittsform (n_2) schwach 0,000 <input type="checkbox"/> selten auftretend ... 0,005 <input type="checkbox"/> häufig auftretend ... 0,010 bis 0,015 <input type="checkbox"/>	Einfluss von Bewuchs (n_4) nieder 0,005 bis 0,010 <input type="checkbox"/> mittel 0,010 bis 0,025 <input type="checkbox"/> hoch 0,025 bis 0,050 <input type="checkbox"/> sehr hoch 0,050 bis 0,100 <input type="checkbox"/>
Unregelmäßigkeit des Sohlenmaterials (n_1) vernachlässigbar 0,000 <input type="checkbox"/> gering 0,005 <input type="checkbox"/> mittel 0,010 <input type="checkbox"/> stark 0,020 <input type="checkbox"/>	Einfluss von Hindernissen (n_3) vernachlässigbar ... 0,000 <input type="checkbox"/> gering 0,010 bis 0,015 <input type="checkbox"/> merklich 0,020 bis 0,030 <input type="checkbox"/> stark 0,040 bis 0,060 <input type="checkbox"/>	Mäandrierungsgrad (m_5) gering 1,000 <input type="checkbox"/> merklich 1,150 <input type="checkbox"/> stark 1,300 <input type="checkbox"/>

Berechnung des $k_{st,ges}$ -Wertes nach COWAN: $k_{st,ges} = 1 / [(n_0+n_1+n_2+n_3+n_4) \cdot m_5] =$ _____ $m^{1/3}/s$

Beschreibung der Bewuchseigenschaften (Angabe der Abmessungen etc.)

	Vorland links	Uferböschung links	Uferböschung rechts	Vorland rechts
Junge Bäume, Verästelung umströmt				
Alte Bäume, nur Stamm umströmt				
Junge Weiden und Röhrichte, die sich umlegen				
Alte Weiden und Sträucher mit stabilen Widerstand				
Sonstige				

Foto des Gewässerabschnittes



Film Nr.: _____ Foto Nr.: _____ Standort: _____

Aufnahme/Blickrichtung: nach OW nach UW vom rechten Ufer aus vom linken Ufer aus von Brücke

Bemerkungen: _____