

4. Hinweise für die Erhebung der Datengrundlage

Die Güte der Berechnung einer Wasserspiegellinie ist nicht nur von der richtigen Wahl eines Berechnungsverfahrens gem. Abb. 2.5, sondern auch in entscheidendem Maße von der Vollständigkeit und Qualität der Eingangsgrößen abhängig. Da der in Wirklichkeit 3-dimensionale Strömungsvorgang in der Wasserspiegelberechnung auf einen 1-dimensionalen Vorgang reduziert wird, wird die Topographie und Gewässerstruktur nicht flächendeckend erhoben, sondern beschränkt sich auf einzelne Gewässerquerschnitte, die charakteristisch und damit maßgeblich für den Strömungsvorgang sind. Somit muß bereits bei der Datenerhebung ein umfassendes Sachverständnis eingebracht werden, um das Wesentliche vom Unwesentlichen trennen zu können. Nachfolgendes Kapitel soll daher einen Beitrag zur Vermittlung dieses Sachverständnisses liefern.

Die Datenerhebung untergliedert sich in der Regel in Vermessungsarbeiten und in eine Abschätzung der hydraulischen Parameter. Im Zuge der Vermessung sind die Gewässer- und Talprofile sowie Bauwerke und Bewuchszonen einzumessen. Eine Begehung durch einen Hydrauliker sollte vorangehen. Sie ist ein unverzichtbares Element in der Datenerhebung, denn nur so kann das für die Wasserspiegelberechnung notwendige Verständnis der Gewässersituation und Strömungsbedingungen vermittelt werden. Die Begehung ist möglichst durch ein Feldbuch zu dokumentieren, das Skizzen und Bemerkungen und möglichst auch eine Fotodokumentation enthält, so daß in der Aufarbeitung der erhobenen Daten am Arbeitsplatz die Verhältnisse am Gewässer gut nachvollzogen werden können. Im einzelnen sind im Zuge der Datenerhebung folgende Besonderheiten zu beachten.

4.1 Vermessung

4.1.1 Auswahl der Profile

Die Vorauswahl der Profile erfolgt vor der Vermessung anhand von deutschen Grundkarten, topographischen Karten oder Gewässerstationierungskarten (z.B. M 1:5000 oder 1:25000). Die notwendige Profildichte ergibt sich aus den Genauigkeitsanforderungen an die WSP-Berechnung, d.h. Abbildung eines mittleren Zustandes oder Detailuntersuchung. Die Profile sollten rechtwinklig zum Gerinne vermessen werden, damit die wahre Gerinnebreite aufgenommen wird. Bei stark mäandrierenden Gewässern muß zusätzlich Wert darauf gelegt werden, daß sich die aufgemessenen Profile nicht überschneiden.

Genauigkeiten in der Höhenlage der Profilpunkte ergeben sich aus dem Anschluß an das Deutsche Höhenhauptnetz (DHH) (mNN, mit $\sigma_{\text{abs}} < 0.03 \text{ m}$).

Häufig ist auch die Orientierung des Profils (GAUSS-KRÜGER-Koordinaten eines Flußpunktes einschl. Azimut der Profilachse) für die lagegetreue Darstellung in der Karte und für die Berechnung von Überschwemmungsflächen gewünscht.

Die Lagegenauigkeit ist abhängig vom gewählten Verfahren. In der Regel wird es ausreichend sein, in einer Karte M 1:5000 einen aufgemessenen Profilpunkt zu markieren und dessen Lage mit einer Genauigkeit von ca. $\sigma_{\text{Lage}} < 1.0$ m, einschließlich des vor Ort festgehaltenen Azimut, zu fixieren. Sind höhere Anforderungen an die Lagegenauigkeit gestellt, so kann durch Vermessung eines Polygonzuges mit Anschluß an geodätische Festpunkte eine Lagegenauigkeit von ca. $\sigma_{\text{Lage}} < 0.1$ m erreicht werden.

Generell gilt, daß erhöhter Aufwand bei der Profilvermessung auch zu höheren Kosten führt. Hier ist immer abzuwägen, ob die gewünschte Genauigkeit der berechneten Wasserspiegellage mit einem vertretbaren finanziellen Aufwand zu erreichen ist.

4.1.2 Vermessung der Profile

Folgende Regeln sind bei der Vermessung der Profile zu beachten:

- Die Profilgeometrie wird durch einen Polygonzug über das Hauptgerinne und abflußrelevante Vorlandbereiche mit Berücksichtigung der Knickstellen im Profil beschrieben.
- Die Anzahl Stützpunkte je Profil kann erheblich schwanken. Für einfache Querschnitte (Graben) reicht die Erfassung der Profiloberkanten und Böschungfußpunkte (Sohlpunkte). Für komplizierte Querschnitte werden bis zu zwanzig oder mehr Profilpunkte benötigt, um die Geometrie mit ihren Neigungswechseln zu beschreiben. Generell kann man sagen, daß nicht jede Unebenheit erfaßt werden muß, da ein Profil die mittleren Verhältnisse eines Abschnittes korrekt wiedergeben soll. Die Anzahl der aufzumessenden Punkte je Profil ist abhängig von der Profilbreite (Anschluß Vorländer) und der Profilgliederung (alle Neigungswechsel); z.B. 50 m breite Profilaufnahme mit ca. 8-10 Polygonpunkten (~6.00 m).
- Die gewählten Profilbreiten sind so anzusetzen, daß das aufgemessene Profil für alle nachzuweisenden HQ_x ausreicht (i.d.R. bei kleineren Gewässern 3 bis 5 m über Sohle).
- Die horizontale Lage der Punkte (x-Koordinaten) im Polygonzug kann auf einen beliebigen Bezugspunkt bezogen werden.
- Die vertikalen Koordinaten der Polygonpunkte (z-Koordinaten) sollten auf [mNN] bezogen eingegeben werden.
- Die Eingabe der Punkte erfolgt in Fließrichtung gesehen von links nach rechts. Dabei sind Querprofileinschnürungen (abnehmende Breite bei zunehmender Höhe) in der Regel nicht zulässig (Ausnahme: geschlossene Profile).
- Es ist darauf zu achten, daß, speziell bei stark mäandrierenden Gewässern, keine schneidenden Profilachsen (Lage) aufgenommen werden, sondern die Profile auf den Vorländern entsprechend abgeknickt werden.
- Umströmte Gebäude (im Uferbereich) sind als Teil der Profilgeometrie zu erfassen.

Die Profilabstände sind so zu wählen, daß die wirklichen Strömungsverhältnisse realitätsnah wiedergegeben werden. Das bedeutet im einzelnen:

- Im allgemeinen sind Profilabstände von ca. 70 bis 100 m im Mittelgebirgsbereich, bei gleichförmigen Abflußverhältnissen auch darüber anzusetzen.
- Im Flachland können die Profilabstände, je nach Gleichförmigkeit, bis 200 m angesetzt werden.
- Im Bereich von Bauwerken und/oder einer starken Änderung der Gerinnegeometrie oder des Sohlgefälles sind zusätzliche Profile notwendig.

Weiterhin ist der Profilabstand abhängig von folgenden Faktoren:

<u>Weniger Profile notwendig</u>	↔	<u>Mehr Profile notwendig</u>
Standardprofile	↔	naturnahe Profile (Ungleichförmigkeit)
Flachlandabfluß	↔	Gebirgsabfluß (Sohlgefälle)
Hauptgerinneströmung	↔	Interaktion Vorlandabfluß (Turbulenzaustausch)
Ausgebaute Uferlinien	↔	natürliche Berandung (Rauheitseinflüsse)
Ungestörter Abfluß	↔	Formbeeinflußter Abfluß (Formbeiwerte, Bewuchsklassen)
anthropogen unbeeinflußt	↔	anthropogen geprägter Flußlauf (Bauwerke)

Für jedes Profil muß eine eindeutige Profilnummer vergeben werden. Dabei kann z.B. die Kilometrierung als Profilnummer abstrahiert werden (Gewässerkilometer 1.340 als Profilnummer 13400). Die Kilometrierung bzw. Stationierung ist in [km] aufsteigend von der Mündung entgegen der Fließrichtung vorzunehmen. Es ist - besonders bei mäandrierenden Gerinnen - darauf zu achten, daß die Gerinnelänge im Flußschlauch für die Profilkilometrierung verwendet wird, da die eingegebene Kilometrierung zur Ermittlung des Profilabstands bei der WSP-Rechnung benutzt wird. Weichen die Fließlängen im Vorland signifikant von denen im Flußschlauch ab, sind diese getrennt zu erfassen, so daß eine Fließverlustkorrektur gemäß Gl. 34 durchgeführt werden kann.

4.1.3 Vermessungsbegleitende Daten

Bei jedem vermessenden Profil ist das Vermessungsdatum anzugeben. Bei der Auswertung von Bestandsplänen ist deren Datum zu übernehmen. Für beide Vorgehensweisen ist es sinnvoll, daß zusätzlich ein Nachbearbeitungsdatum während der hydraulischen Berechnung als weitere Identifikation (ggf. auch der Name des Bearbeiters) in der Profildatei mitgeführt wird.

Bei der Vermessung ist der Wasserstand zum Zeitpunkt der Aufnahme festzuhalten (mNN). Die Wassermenge am Tag der Messung kann später aus Pegelaufzeichnungen ergänzt werden. Beide Informationen zusammen liefern eine brauchbare Eichungsgrundlage entlang des Gewässers.

Bei größeren Gewässern ist die Gewässerkennzahl und die Dienststelle zu vermerken.

4.2 Schätzung der hydraulischen Parameter

4.2.1 Sohlrauheiten und Fließwiderstände durch Bewuchs

Zu den wichtigsten hydraulischen Parametern gehören die Rauheiten, die den Fließwiderstand beschreiben. Die Erhebung erfolgt entweder bei der Vermessung oder bei der Begehung. Dabei ist darauf zu achten, daß eine Trennung von Sohlrauheiten und Bewuchseinflüssen bei der Datenaufnahme und -verwaltung erfolgt. Der Bewuchseinfluß sollte nie zusammen mit der Sohlrauheit durch k_S -Werte abgebildet werden, da sonst eine Trennung des Einflusses von Gerinnesohle und Bewuchs nicht möglich ist. Die Überlagerung dieser Rauheitseinflüsse erfolgt im Berechnungsmodell.

Es ist weiterhin wichtig, darauf hinzuweisen, daß die Erfassung der Sohlrauheiten und des Bewuchses in der Längsentwicklung grundsätzlich eine Integration der Situation im Bereich des jeweils betrachteten Profils darstellt (halber Abstand zu den benachbarten Profilen). Daher empfiehlt sich eine flächige Aufnahme der Sohlrauheiten und des Bewuches mit einer Dokumentation im Lageplan gemäß Abb. 4.1. Durch gleichzeitige Darstellung der Profillage ist so eine Kontrolle, ob durch die Profillage die Rauheitsverhältnisse richtig erfaßt werden und ggf. weitere Profile interpoliert werden müssen, gewährleistet. Als Hilfsmittel für die lageplanorientierte Dokumentation und Realnutzungskartierung bieten sich Luftbilder und Biotoptypenkartierungen an. Sie lassen sich mit Geographischen Informationssystemen (GIS) und Methoden der thematischen Kartographie anschaulich zu Rauheitszonen graphisch aufbereiten und durch Verschneidungsalgorithmen automatisch in die Profildatensätze übertragen. Trotz der inzwischen häufig vorhandenen guten Kartengrundlage ist zur Rauheitserhebung eine intensive Begehung des Gewässers und der Talaue unumgänglich, wobei die Sohlrauheit unter Zuhilfenahme von Abb. 3.9 und 3.10 vor Ort abzuschätzen ist.

Der Bewuchs als zweiter Fließwiderstand ist jeweils abschnittsweise zwischen zwei Polygonpunkten zu beschreiben. Einzelbewuchs, z.B. Hecke oder freistehende Bäume, ist getrennt durch Einzelparameter zu erfassen. Zur Vereinfachung der Charakterisierung des Widerstandes aus Bewuchselementen wird empfohlen, die häufig vorkommende Bewuchssituationen in Bewuchsklassen zusammenzufassen und auf der Grundlage von Abb. 3.16 zu quantifizieren. Bei hohen Genauigkeitsanforderungen wird das im DVWK-Merkblatt Heft 220 enthaltene Verfahren der genauen Bewuchsaufnahme empfohlen.

Die Rauheits- und Bewuchsparameter unterliegen jahreszeitlichen Einflüssen. Je nach Vegetationsstand, können hierdurch zum Teil ganz erhebliche Unterschiede auftreten. Zum Teil geht der Vegetationsstand direkt aus den Verfahren der Bewuchsquantifizierung hervor (z. B. bei der hydraulischen Quantifizierung eines überströmten Bewuchses gemäß Kap. 3.2.4.1). Die Rauheitstabellen in Abb. 3.9 und die Bewuchsparameter in Abb. 3.16 weisen diese Differenzierung nicht auf. Die Bewuchsparameter aus Abb. 3.16 gehen von Verhältnissen während der Vegetationsphase aus. Diese können aber auch zum Teil auf die vegetationsfreie Zeit übertragen werden, da insbesondere Büsche und Bäume mit durchströmtem Astwerk durch mitgeführtes Geschwemmsel in einer Weise verlegt werden, daß sie Fließwiderstände wie in der Vegetationsphase hervorrufen. Die bei graskrautigem Bewuchs jahreszeitlichen Einflüssen unterliegende Rauheit spiegelt sich in dem großen Rauheitsbereich der Abb. 89 wider, wobei in der Vegetationszeit die oberen Werte und in der vegetationsfreien Zeit die unteren Werte zu verwenden sind. Die genaue Abschätzung dieser Parameter liegt im Ermessen des Anwenders und sollte daher möglichst durch eine Kalibrierung überprüft werden.

4.2.2 Klassifizierung von Informationen

Verschiedene Wasserspiegellinienprogramme verwenden zur Vereinfachung und Vereinheitlichung der Beschreibung bestimmter Rauheitssituationen Rauheitsklassen oder Globalparameter (Klassen, Klassifizierung).

So lassen sich z.B. Bewuchs- oder Rauheitssituationen durch Klassifizierung zusammenfassen und ggf. durch Korrektur des Klassenwertes auch global korrigieren. Bei der praktischen Aufnahme der Bewuchsdaten kann auf vordefinierte oder benutzerdefinierte Bewuchsklassen zurückgegriffen werden, wobei Abb. 3.16 als Grundlage dienen kann.

4.3 Erfassung von Bauwerken

Bauwerke sind generell so zu vermessen, daß in geringem Abstand (z.B. fünf Meter) je ein Profil vor und hinter dem Bauwerk aufgenommen wird. Der Abstand soll so gewählt sein, daß der Fließzustand bzw. die evtl. auftretende Verengung des Fließquerschnitts hydraulisch korrekt erfaßt wird. Der Abstand kann bei kleinen Gewässern geringer Breite verringert, bei größeren Gewässern vergrößert werden.

Bei längeren Bauwerken unregelmäßiger Geometrie ist darauf zu achten, daß sie durch den kleinsten Querschnitt (Engpaß) repräsentiert werden.

Ist das Bauwerk nicht hochwasserfrei, ist das Überströmungsprofil zu vermessen. Bei längeren Bauwerken ist darauf zu achten, daß das Überströmungsprofil die maßgebliche Stelle an der Oberwasserseite des Bauwerks korrekt erfaßt. Der tiefste Punkt dieses Profils ist als Überströmungshöhe (Beginn der Überströmung) getrennt auszuweisen. Ggf. ist es notwendig, bei längeren Überströmungsstrecken eine Stromaufteilung (Verzweigung) der Strömung festzulegen und mehrere Überströmungsprofile aufzunehmen. Weiterhin ist die Höhe der Konstruktionsunterkante [m+NN] aufzunehmen.

Wie bei offenen Gerinneprofilen erfordert ein Bauwerksprofil eine Stationierung (in der Mitte des Bauwerkes). Die hydraulisch relevante Länge des Bauwerkes (oder die Stationierung des Bauwerksanfangs und -endes) ist zu vermessen.

Bei Durchlässen ist zu unterscheiden zwischen festen Geometrien (Kreis, Kasten, Normprofile) und geschlossenen Profilen mit unregelmäßiger Geometrie. Profile vor und hinter dem Durchlaß sollten so ausgewählt sein, daß keine plötzlichen, extremen Querschnittsänderungen auftreten (korrekte Behandlung von Ein- und Auslaufverlusten).

Für Wehre wird benötigt:

- Überfallprofil (Höhe der Wehrkrone, Form der Wehrkrone, Radius der Wehrkrone (bei rundkronigen Wehren), Krümmungsradius der Wehrklappe, Sohlhöhe vor dem Wehr, Absturzhöhe, Überfalllänge, Überfallbeiwert, Abminderungsfaktoren)
- Beschreibung des baulichen Zustands und die Betriebsweise (Steuerung)

Die benötigten Daten für Durchlaßprofile sind, je nach Typ, verschieden:

- Kreisdurchlässe: Durchmesser, Rauheit, Sohlhöhe- u. -neigung, Bauwerkslänge, Höhe der Konstruktionsoberkante
- Kastendurchlässe: Breite, Höhe, Rauheit, Sohlhöhe- u. -neigung, Bauwerkslänge, Höhe der Konstruktionsoberkante
- Normprofile: Kenngrößen der Geometrie (z.B. max. Breite, Höhe und spezifische Normierungsgrößen bzw. geometrische Verhältnisse), Rauheit, Sohlhöhe- u. -neigung, Bauwerkslänge, Höhe der Konstruktionsoberkante

Manche Spiegellinienprogramme ermöglichen die Berechnung von geschlossenen Profilen mit unregelmäßigen Querschnitten. Für diese werden benötigt:

- Aufnahme aller Profilpunkte (geschlossener Profilverlauf)
- alternativ Ermittlung und Eingabe von normierten geometrischen Beziehungen ($A(h)$, $b(h)$, $u(u)$, $K_s(h)$)
- Rauheiten
- Sohlneigung

- Bauwerkslänge
- Höhe der Konstruktionsoberkante

4.4 Längsschnittdaten

Außer den Informationen für die einzelnen Profile werden Daten für die Gerinnelängsentwicklung bzw. die Berechnungsreihenfolge benötigt (stationär-ungleichförmige WSP-Rechnung).

Dazu wird festgelegt, welche Profile (Profil oben/Profil unten; begrenzende Profile) den Streckenabschnitt beschreiben. Es erfolgt eine Vergabe einer Nummer für ein Berechnungselement. Ggf. ist auch die Angabe des Elementtyps (offenes/geschlossenes Gerinne, Wehr, Durchlaß) notwendig.

Zusätzliche (optionale) Daten, die für die Berechnung erfaßt werden müssen, die aber nicht einem Profil, sondern einer Strecke zugeordnet sind, können sein:

- Verlustbeiwerte für Krümmungen
- Verlustbeiwerte für Verzweigungen und Zusammenflüsse
- Verlustbeiwerte für Stufen und Sohlschwellen
- Zufluß- bzw. Abflußmengen von einmündenden bzw. abzweigenden Nebenläufen oder Verzweigungen

4.5 Daten aus digitalen Höhenmodellen oder Befliegungen

Bei der Berechnung und Ausweisung von Überschwemmungsgebieten werden zusätzlich zu den Profildaten auch flächenhafte Informationen zur Beschreibung der Überschwemmungsgrenze zwischen den Profilen benötigt. Als Ergänzung zu den Daten aus terrestrischen Vermessungen stehen seit einigen Jahren digitale Höhenmodelle als Rasterdaten mit verschiedenen Rasterweiten und Genauigkeiten zur Beschreibung der Geländetopographie zur Verfügung. Diese Daten werden von den Landesvermessungsämtern aus verschiedenen Datenquellen erarbeitet. Sie eignen sich bei ausreichender Dichte (10*10 m Raster) und Qualität (Höhengenauigkeit) gut für die Ergänzung von terrestrischen Vermessungen, die den Flußschlauch aufnehmen. Die Vorlandhöhen werden dann rechnergestützt mit den Flußschlauchdaten verschnitten, so daß eine vollständige Abbildung der Gewässertopographie erreicht wird (SACHER/NAUJOKS, 1998). In jedem Fall sind die Übergangsbereiche der Höhen aus beiden Datenquellen zu überprüfen.

Ist ein Digitales Geländemodell nicht vorhanden oder zu ungenau, so kann die Datengrundlage auch durch eine Befliegung des zu untersuchenden Gewässers wirtschaftlich bereitgestellt werden (BROCKMANN, 1998). Als Verfahren stehen für den praktischen Einsatz die Stereophotogrammetrie und die Laser-Scan-Technik zur Verfügung.

Grundsätzlich ist die erreichbare Genauigkeit bei beiden Verfahren hoch, problematisch ist aber die Erfassung korrekter Geländehöhen in Bereichen mit dichtem Bewuchs oder Bebauung. Dort ist eine manuelle oder

halbautomatisierte Nachbearbeitung der Daten notwendig. Die erreichbaren Genauigkeiten liegen z.B. beim Laser-Scan-Verfahren bei ca. +/- 15 cm (Sicherheitswahrscheinlichkeit $\alpha=0.95$) mit einer Rasterweite von 1 m. Bauwerke lassen sich nicht erfassen, sind also in jedem Fall zu vermessen. Gleiches gilt für die Gerinnesohle, die ebenfalls durch die Befliegung nicht erfaßt werden kann. Befliegungen sind in den bewuchsarmen Zeiten bei Niedrigwasser durchzuführen, um Fehler durch dichten Bewuchs zu vermeiden und einen möglichst großen Bereich des Gewässerbettes zu erfassen.

Besonders in bebauten Bereichen ist auf eine genaue Erfassung des Vorlandbereichs zu achten. Deiche, im Hochwasserfall abflußleitende Straßen- und Eisenbahndämme und andere markante Geometrieänderungen längs der Fließrichtung sind ggf. durch eine Einzelpunktnachvermessung aufzunehmen. Der Umfang der notwendigen Arbeiten kann oft erst abgeschätzt werden, wenn eine erste berechnete Überschwemmungsgrenze ermittelt wurde. Bei größeren Gewässern mit entsprechend lang andauerndem Hochwasser und signifikanten Ausuferungen kann eine Befliegung genaue Informationen über die Überschwemmungsgrenzen liefern.

Ergänzend können noch Luftphotos digital bereitgestellt und ausgewertet werden, die eine flächenhafte Auswertung von Bewuchs- und Rauheitszonen ermöglichen.

Folgende Arbeitsschritte beinhaltet die Bearbeitung nach dieser Methodik:

- Übernahme von DGM-Daten (LVA) oder Befliegung mit Aufnahme der Höhen nach dem Laser-Scan-Verfahren
- Aufbau eines DGM (Rasterweite festlegen, Prüfung der Höhengenaugigkeit und -zuverlässigkeit, ggf. örtliche Nachvermessung)
- Plausibilitätsprüfung: Datenüberprüfung DGM und Korrektur im Bereich des Vorlandes und der Bebauung
- Terrestrische Aufnahme des Flußschlauches mit ca. 20 m Vorlandanbindung und geringem mittlerem Profilabstand zzgl. der Bauwerke
- Integration der Flußschlauch-Vermessung in das DGM und Berechnung der vollständigen Gewässerprofile für den Hydraulik-Datensatz
- Übernahme evtl. verfügbarer weiterer Daten (digital und/oder analog) in den Projektdatenbestand:
 - Luftbilder (Orthophotos)
 - DGK5 (Kartengrundlage für Darstellung)
 - TK25 (Übersichtskarte)
- Einarbeitung der vor Ort erhobenen Rauheitswerte in den Profildatensatz
- Durchführung der hydraulischen Berechnungen einschließlich Kalibrierung
- Übernahme der berechneten Wasserspiegel für HQ_x in das DGM, Verschneidung mit dem DGM
- Aufbereitung von Überschwemmungsgebietskarten (z.B. Blattsnitte DGK5)
- Übernahme von Luftbildern, Georeferenzierung zur Schaffung der Möglichkeit, die erarbeiteten Ergebnisse (z.B. Profillagen, Überschwemmungsgrenzen usw.) mit den Luftbildern zu überlagern und ggf. auszugeben
- Ggf. bereichsweise Überprüfung der ermittelten Überschwemmungsgebiete durch Einzelpunktnachvermessung (Bebauungsabschnitte) nach Vorliegen der ersten Arbeitskarten.

Dieser hohe Aufwand verursacht erhebliche Kosten. Aufwand und Nutzen sind gegeneinander abzuwägen. Werden die Daten für einen Auftraggeber erhoben, der eine weitere Nutzung z.B. in einem Gewässerinformationssystem plant, ist der Aufwand gerechtfertigt. Die so erhobenen Daten sind aber auch geeignet, um bereichsweise evtl. notwendige Detailberechnung mit 2D-Ansätzen durchzuführen.