

Anlage 2: Informationen zur Berechnung

**Große Laber, Gewässer II.+III. Ordnung
Fluss-km 46+000 bis 84+000
Ermittlung des Überschwemmungsgebietes**



Vorhabensträger:



**Wasserwirtschaftsamt
Landshut**
Seligenthaler Straße 12
84034 Landshut
Tel. (08 71) 85 28 - 01

Aufgestellt:

Ingenieurbüro P. Würl
Peter Würl, Dipl.-Ing. (FH)
Mühlgasse 6
96479 Weitramsdorf b. Coburg
Tel: (0 95 61) 83 10 34
Fax: (0 95 61) 83 10 35
E-Mail: sek@ipw-wasser.de
Internet: www.ipw-wasser.de



Stand: Dez. 2009 / Nov. 2019 (redaktionelle Überarbeitung)

Inhaltsverzeichnis

1.	Veranlassung und Aufgabenstellung.....	3
2.	Berechnungsverfahren.....	3
3.	Verwendete Daten	6
3.1.	Eingangsdaten.....	6
3.2.	Sonstige Daten	7
3.3.	Hydrologische Grundlagen	7
4.	Modellaufbau.....	7
4.1.	Allgemein.....	7
4.2.	Eichung / Sensitivitätsanalyse	10
5.	Hochwasserabflüsse und Anfangswasserspiegel	11
6.	Ergebnisse	12
7.	Literaturverzeichnis	13

1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Das Ingenieurbüro Peter Würfl **IPW** wurde mit Schreiben vom 27.07.2009 vom **Wasserwirtschaftsamt (WWA) Landshut** beauftragt, für den Abschnitt der Großen Laaber zwischen Fluss-km 46+000 bis 84+000 die Überschwemmungsgrenzen für ein HQ_{1000} , HQ_{100} , sowie für die Ereignisse HQ_5 , und HQ_{10} mit Hilfe eines zweidimensionalen Strömungsmodells zu ermitteln.

Die Ergebnisse dieser Berechnungen sowie die zugehörigen Pläne werden hiermit vorgelegt.

Am 05. August 2009 wurde eine Ortsbegehung vom Ingenieurbüro P. Würfl gemeinsam mit dem Wasserwirtschaftsamt Landshut durchgeführt. Dabei wurde die Große Laaber und alle relevanten Brücken, Durchlässe und Wehre besichtigt. Auf Grundlage der vorhandenen Pläne und Unterlagen wurden alle für die weitere Bearbeitung wichtigen Informationen aufgenommen und protokolliert.

2. Berechnungsverfahren

Für die hydraulische Modellierung wurde das zweidimensionale Strömungsmodell HYDRO_AS-2d verwendet, welches die entsprechenden Grundgleichungen mit Hilfe der Finiten Volumen (FV) löst. Eine detaillierte Beschreibung dieses Programms ist [1] und [2] zu entnehmen. Hier werden nur die wesentlichen Aspekte wiedergegeben.

Die zweidimensionale Betrachtung ermöglicht im Gegensatz zu einer eindimensionalen Berechnung die spezielle Betrachtung der Strömungssituation eines Fluss-Vorland-Systems.

Bei dem verwendeten Modell wird das Untersuchungsgebiet durch Dreiecke (3 Knoten) und Vierecke (4 Knoten) diskretisiert (Abb. 1). Vorteil dieser Einteilung eines Gebietes ist das flexible Anpassen an die vorherrschende Topographie.

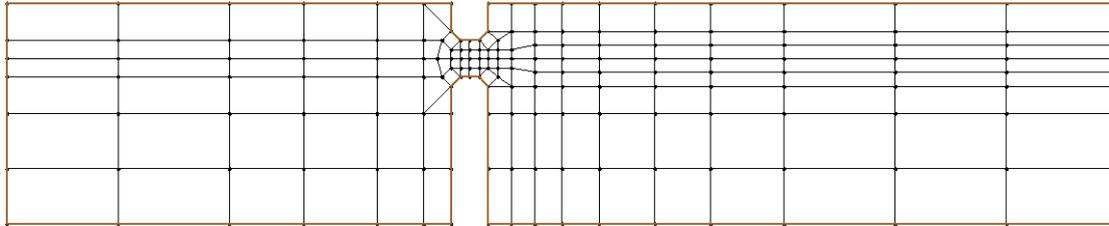


Abb. 1: Beispiel für die Diskretisierung eines Gebietes

Die Gleichungen für die zweidimensionale Strömungsberechnung ergeben sich durch Integration über die Fließtiefe der dreidimensionalen Gleichungen zur Erhaltung von Masse und Impuls. Dabei wird neben einer hydrostatischen Druckverteilung angenommen, dass vertikale Beschleunigungsterme und vertikale Geschwindigkeiten vernachlässigbar klein sind.

Kontinuität:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} = 0$$

Impulsgleichungen:

$$\frac{\partial uh}{\partial t} + \frac{\partial u^2 h}{\partial x} + \frac{\partial \frac{1}{2} gh^2}{\partial x} - \frac{\partial vh}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial uvh}{\partial y} - \frac{\partial vh}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial y} + ghI_{Rx} - ghI_{Sx} = 0$$

$$\frac{\partial vh}{\partial t} + \frac{\partial v^2 h}{\partial y} + \frac{\partial \frac{1}{2} gh^2}{\partial y} - \frac{\partial uh}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial uvh}{\partial x} - \frac{\partial uh}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial x} + ghI_{Ry} - ghI_{Sy} = 0$$

h: Wassertiefe [m]; z: Sohlenhöhe [m]; H: h+z; u: Fließgeschwindigkeit in x-Richtung [m/s]; v: Fließgeschwindigkeit in y-Richtung [m/s]; I_R: Reibungsgefälle; I_S: Sohlengefälle; g: Fallbeschleunigung [m/s²]; n: Viskosität [m²/s].

Die Berechnung des Reibungsgefälles erfolgt mit der Darcy-Weisbach-Formel:

$$I_R = \frac{\lambda v |v|}{2gD}$$

λ: Widerstandsbeiwert; D: hydraulischer Durchmesser [m].

Der Widerstandsbeiwert λ wird mit der Manning-Strickler-Formel ermittelt:

$$\lambda = 6,34 \frac{2g}{k_{st}^2 D^{1/3}}$$

k_{st} : Manning-Strickler-Beiwert [$m^{1/3}/s$].

Die Viskosität wird über einen konstanten Anteil und die durch die Sohlenreibung verursachte Wirbelviskosität definiert:

$$v = v_0 + c_\mu v^* h$$

v_0 : konstanter Wert [m^2/s]; c_μ : Koeffizient; v^* : Schubspannungsgeschwindigkeit [m/s].

Anfangs- und Randbedingungen

Die Berechnung erfolgt grundsätzlich instationär. Da bei der hier angestrebten Untersuchung eine stationäre Betrachtung erfolgt, wird die Berechnung solange durchgeführt, bis sich stationäre Verhältnisse (d.h. zu- und abfließende Wassermengen sind gleich) einstellen.

Als Anfangsbedingung wird ein bekannter Strömungszustand vorgegeben. Da hier eine stationäre Betrachtung erfolgen soll, werden die anfänglichen Fließgeschwindigkeiten sowie die Wassertiefen gleich Null gesetzt.

Offene Ränder

Am oberen Modellrand werden die Abflussmengen und Fließrichtungen; am unteren Modellrand wird eine Wasserspiegellage vorgegeben.

Geschlossene Ränder

An allen Rändern, die nicht als Zu- oder Ablaufrand definiert werden, wird eine randparallele Strömung vorausgesetzt, d.h. senkrechte Geschwindigkeitskomponenten sind Null.

Das verwendete Modell besitzt folgende Eigenschaften:

- Die FV-Formulierung ermöglicht die Beschreibung eines Gebietes durch viele (Höhen-) Knoten und Elemente. Damit ist eine sehr detaillierte Abbildung der realen Topographie möglich.
- Die FV-Methode zeichnet sich durch ihre konservative Eigenschaft aus.
- Die Grenze zwischen dem trockenen und dem unter Wasser stehenden Gelände verursacht oftmals Probleme und führt zu Instabilitäten während der Berechnung. Deshalb wird i.d.R. eine minimale Wassertiefe definiert, ab der Knotenpunkte aktiviert bzw. deaktiviert werden. Diese Grenze beträgt beim verwendeten Modell 1 cm.

3. Verwendete Daten

3.1. Eingangsdaten

Eingangsdaten in das zweidimensionale Modell sind die Topographie der Vorländer, Gewässerprofile, Straßenhöhen etc. Vom Vorhabensträger wurden folgende Daten digital geliefert:

- Flussquerprofile, georeferenziert, an hydraulisch erforderlichen Stellen, sowie an Sonderbauwerken
- Lage der Hektometersteine (Gauß-Krüger-Koordinaten), fiktive Kilometrierung für die Plandarstellung
- Lagepläne (Digitale TK 25 Blätter)
- Bestandskarten (Photogrammetrische Auswertung von Lage und Nutzung mit eingearbeiteten Höheninformationen) in digitaler Form (ArcView-Shape bzw. CAD)

- Orthophotos
- Flurkarten, z.B. gescannt (Rasterformat) oder digital als Vektorformat
- Bauwerkspläne / Planunterlagen digital oder analog für Sonderbauwerke (Wehre, Brücken, Durchlässe)
- Unterlagen über Steuerungsstrategien bei Kraftwerken, Schleusen, Wehren
- Hydrologische Daten Bemessungsabflüsse HQ_{1000} , HQ_{100} , HQ_{20} , HQ_5 , Hochwasserlängsschnitte
- Digitales Geländemodell aus Laserscandaten – 1m Punktabstand

3.2. Sonstige Daten

Im Rahmen der Untersuchung sind zusätzlich folgende Daten und Informationen verwendet worden.

- Bilder des Flussgebietes.

3.3. Hydrologische Grundlagen

- Abflusslängsschnitt erstellt vom WWA Landshut.

4. Modellaufbau

4.1. Allgemein

In einem ersten Schritt erfolgte der Aufbau des 2D-Netzes, mit dem die Topographie des Untersuchungsgebietes erfasst wurde. Die Modellierung des Vorlandes erfolgte auf Basis der Laserscandaten. Diese sind mit Abständen von 1 m sehr eng gerastert, so dass die hohen Datenmengen des originären DGM nur schwer bzw. überhaupt nicht zu verarbeiten sind. Um dieses Problem zu lösen, wurde mit dem Programm Laser_As-2D eine automatische Ausdünnung der Punktdaten vorgenommen. Die verbliebenen Punkte weisen in den Bereichen mit stärkeren Höhenabweichungen eine entsprechende höhere Punktdichte auf und in den Bereichen mit geringeren Änderungen des Geländes wird die Punktzahl reduziert. Als Ergebnis wurde ein Datensatz erzeugt, der die wesentlichen Strukturen (wie z.B. Dammkronen, Bö-

schungskanten usw.) erkennbar machte, die Punkte in regelmäßigen Polygonen (Dreiecke u. Vierecke) vernetzte, und der die Elemente homogen über das gesamte Gebiet verteilt hat. Nach einer zusätzlichen manuellen Bearbeitung war das Modell für das hydrotechnische Simulationsprogramm SMS (Surface-Water Modelling System) einlesbar.

Im Vorlandnetz blieb der Flussschlauch zunächst unberücksichtigt, d.h. das Vorlandnetz wurde komplett vernetzt. Auch die durch die Ausdünnung nun erkennbaren linken und rechten Böschungsoberkanten des Flusses wurden durch die automatische Vernetzung miteinander verbunden. Dann wurden diese Elemente zum späteren Einbau des Flussschlauches in das Vorlandmodell manuell wieder entfernt.

Die anschließende Generierung des Flussschlauch-Netzes erfolgte aus den vorgelegten Fluss-Querprofilen. Anhand der, aus dem Vorlandmodell isolierten, Bruchkanten und den zur Verfügung gestellten Orthophotos des Untersuchungsgebietes konnte der Verlauf des Flussschlauches nachvollzogen werden. Durch die Interpolation der Wasserspiegel- und Sohlpunkte zwischen den einzelnen Querprofilen konnten die Höhen der einzelnen Punkte des Flussschlauches bestimmt werden. Entsprechend diesen Vorgaben wurde dann das Flussschlauchnetz mit rechteckigen Elementen erzeugt. Die Knotenanzahl wurde in Abhängigkeit von der Flussbreite und den Querprofilabständen so gewählt, dass das Seitenverhältnis der Elemente bei ca. 1:3 liegt.

Im Bereich der Bauwerke (Brücken, Wehre) wurde entsprechend der Bauwerksgeometrie (z.B. Bogenbrücke) das Flussschlauchnetz mit Hilfe der aufgenommenen Punkte in kleinere Elemente unterteilt. Bei der Aufbereitung des Netzes im Bauwerksbereich wurde insbesondere darauf geachtet, dass die Form und Lage der Dreiecks- und Rechteckselemente dem Verlauf der Bauwerkskanten folgen und diese entsprechend wiedergegeben werden.

Bei den Brückenbauwerken, bei welchen davon ausgegangen werden konnte, dass die Brückenunterkante in den Wasserspiegel eintaucht, wurde diese Brückenunterkante für alle Punkte im Brückenbereich als konstruktive Unterseite (KUK) in das Netz eingegeben. Entsprechend wurde bei der Berechnung in diesen Bereichen gegebenenfalls auch Druckabfluss berücksichtigt. Unterschiedliche Brückenunterseiten bzw. Bogenbrücken wurden durch die Eingabe unterschiedlicher Höhen für die KUK festgelegt.

Entwässerungsröhre oder Flutdurchlässe im Vorlandmodell wurden durch entsprechende Nodestrings (Type „Wehrüberfall“) an den jeweiligen Bauwerken definiert. Überfallbeiwerte, Segmentbreite, Kronenhöhe und Berechnungsformel (Du Buat / Poleni) wurden dabei für jeden Nodestring angegeben. Wehranlagen wurden anhand der aufgenommenen Bauwerkspunkte modelliert und mit einem „Wehrüberfall“- Nodestring versehen.

Im nächsten Schritt wurde das Flussschlauchnetz mit dem Vorlandnetz verbunden. Hierfür wurden beide in eine Datei geladen. Die Verbindung des Flussschlauches mit dem Vorland erfolgte automatisch, musste aber anschließend noch manuell nachbearbeitet werden, um die Form und Lage der Elemente dem Verlauf von Flussschlauch und Böschungsoberkante anzupassen. Die Widerlager der Brückenbauwerke wurden als „Loch“ im Netz definiert, d.h. die Elemente an den jeweiligen Stellen wurden aus dem Berechnungsnetz entfernt. Auf diese Weise wurden bei der Simulation der Berechnung die Widerlager als nicht durchströmbar berücksichtigt. Ähnlich den Brückenwiderlagern wurden auch die Gebäude im Bereich des vermuteten Überschwemmungsgebietes als „Loch“ im Netz definiert, und somit als nicht durchströmbarer Bereich festgelegt.

Zur Vervollständigung des Berechnungsnetzes wurden im letzten Modellierungsschritt die Elemente mit der Flächennutzung (Rauheitsbelegung) aus der Luftbilddauswertung belegt. Diese Flächennutzungen wurden als ArcView-Shape vom WWA Landshut mitgeliefert und konnten mit dem Programm „SMS“ automatisch auf das Berechnungsnetz übertragen werden. In Teilbereichen war eine Nachbearbeitung der Rauheiten notwendig.

4.2. Eichung / Sensitivitätsanalyse

Nach Aufbau des Netzes erfolgte eine erste Zuordnung der Manning-Strickler-Rauheitsbeiwerte entsprechend den Rauheitsempfehlungen von Dr. Nujic (siehe [3]). Für die Eichung des Modells standen keine Hochwasserfixierungen zur Verfügung, daher wurde das Modell durch Sensitivitätsanalysen auf Plausibilität geprüft. D.h. es wurden mehrere Modelle mit veränderten Rauheitsbeiwerten (z.B. Vorland $\pm 10\%$ bis $\pm 20\%$, Flussschlauch $\pm 2\%$ bis $\pm 5\%$) berechnet und analysiert.

Es werden die in der Anlage ... aufgelisteten Rauheiten im betrachteten Untersuchungsraum angesetzt.

5. Hochwasserabflüsse und Anfangswasserspiegel

Folgende mit dem Vorhabensträger abgestimmten Abflussmengen der Großen Laber bzw. Zuflüsse zur Großen Laber gingen in die Modellierung ein:

		HQ ₅	Σ	HQ ₂₀	Σ	HQ ₁₀₀	Σ	HQ ₁₀₀₀	Σ
Zulauf Nr.1	FI-km 84+000	2,31	2,31	4,13	4,13	7,0	7,0	11,87	11,87
Zulauf Nr.2	FI-km 83+200	0,59	2,90	1,06	5,19	1,8	8,8	3,05	14,92
Zulauf Nr.3	FI-km 81+800	1,12	4,03	2,01	7,20	3,4	12,2	5,77	20,69
Zulauf Nr.4	FI-km 81+000	1,12	5,15	2,01	9,20	3,4	15,6	5,77	26,46
Zulauf Nr.5	FI-km 79+800	1,12	6,27	2,01	11,21	3,4	19,0	5,77	32,22
Zulauf Nr.6	FI-km 77+000	2,67	8,94	4,78	15,99	8,1	27,1	13,74	45,96
Zulauf Nr.7	FI-km 75+600	1,98	10,92	3,54	19,53	6,0	33,1	10,18	56,14
Zulauf Nr.8	FI-km 74+200	1,98	12,90	3,54	23,07	6,0	39,1	10,18	66,31
Zulauf Nr.9	FI-km 70+600	2,97	15,87	5,31	28,38	9,0	48,1	15,26	81,58
Zulauf Nr.10	FI-km 69+000	1,39	17,26	2,48	30,86	4,2	52,3	7,12	88,70
Zulauf Nr.11	FI-km 66+200	1,25	18,51	2,24	33,10	3,8	56,1	6,44	95,15
Zulauf Nr.12	FI-km 63+600	1,65	20,16	2,95	36,05	5,0	61,1	8,48	103,63
Zulauf Nr.13	FI-km 62+100	1,65	21,81	2,95	39,00	5,0	66,1	8,48	112,11
Zulauf Nr.14	FI-km 60+300	0,96	22,77	1,71	40,71	2,9	69,0	4,92	117,02
Zulauf Nr.15	FI-km 59+000	1,16	23,93	2,07	42,78	3,5	72,5	5,94	122,96
Zulauf Nr.16	FI-km 56+800	1,19	25,11	2,12	44,90	3,6	76,1	6,11	129,07
Zulauf Nr.17	FI-km 53+600	1,65	26,76	2,95	47,85	5,0	81,1	8,48	137,55
Zulauf Nr.18	FI-km 50+600	0,66	27,42	1,18	49,03	2,0	83,1	3,39	140,94
Zulauf Nr.19	FI-km 47+600	0,99	28,41	1,77	50,80	3,0	86,1	5,09	146,03

Tab. 2: Angesetzte Zuflüsse [m³/s]

Die Auslaufbedingung am unterstromigen Modellrand der Großen Laber wurde mit dem Sohlgefälle $J = 1,0 \text{ ‰}$ definiert.

6. Ergebnisse

Die zweidimensionale Berechnung der Strömungsverhältnisse zwischen Fluss-km 46+000 bis Fluss-km 84+000 liefert auf einer Strecke von ca. 38 km Hochwasserstände des Gewässers Große Laber für vom Vorhabensträger festgelegte HQ_5 , HQ_{10} , HQ_{100} und HQ_{1000} . Weiterhin wurden durch die Auswertung der Wasserstände Wassertiefenkarten, Isolinien, Strömungsvektoren und Längsschnitte erstellt.

....

Aufgestellt: 16. Dezember 2009

.....
Dipl.-Ing. (FH) Peter Würfl
Ingenieurbüro P. Würfl **IPW**
Weitramsdorf b. Coburg

7. Literaturverzeichnis

- [1] Nujic, M.: HYDRO_AS-2D. Ein zweidimensionales Strömungsmodell für die wasserwirtschaftliche Praxis. Benutzerhandbuch Vers. 1.3x.
- [2] Nujic, M.: Praktischer Einsatz eines hochgenauen Verfahrens für die Berechnung von tiefengemittelten Strömungen, Mitteilungen des Instituts für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München, Nr. 64, 1999.
- [3] Nujic, M.: HYDRO_AS-2D. Ein zweidimensionales Strömungsmodell für die wasserwirtschaftliche Praxi. Tutorial zur Grundschulung.
- [4] Nujic, M.: HYDRO_AS-2D. Ein zweidimensionales Strömungsmodell für die wasserwirtschaftliche Praxi. Tutorial zum Aufbaukurs.
- [5] SMS - Surface Water Modeling System. Tutorials - Benutzerhandbuch.
- [6] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft: SMS - Surface Water Modeling System. Tutorial zur Schulung.
- [7] Abbott, M.B.: Computational Hydraulics, Elements of the Theory of Free-Surface Flows, Pitman Publ. London, 1979.
- [8] Schröder, R.C.M.: Hydraulische Methoden zur Erfassung von Rauheiten, DVWK Schriften Heft 92, Parey Hamburg-Berlin, 1999.
- [9] Nujic, M.: LASER_AS-2D. Laserdaten – Ausdünnung und Aufbereitung für die 2D-Modellierung. Benutzerhandbuch, Februar 2006