

DR.-ING. KARL LUDWIG
Beratender Ingenieur Wasserwirtschaft-Wasserbau
76133 Karlsruhe, Herrenstraße 14, Tel. 0721/91251-0

Auftraggeber:
Gewässerdirktion Südlicher Oberrhein/Hochrhein
Projektgruppe Breisach

**RECHNERISCHE ÜBERPRÜFUNG DER
LEISTUNGSKURVEN FÜR DAS MÖHLINWEHR
(MÖHLIN-KM 1+590)**

-- ERLÄUTERUNGSBERICHT --

Bearbeiter :
Dipl. Wi.-Ing. G. E. Krauter

Karlsruhe, August 2001

zu Prot. Nr. 1996 v. 29.8.01

RECHNERISCHE ÜBERPRÜFUNG DER LEISTUNGSKURVEN FÜR DAS MÖHLINWEHR (MÖHLIN-KM 1+590)

-- ERLÄUTERUNGSBERICHT --

	INHALT	Seite
1.	Auftrag und Veranlassung	1
2.	Datengrundlagen	2
3.	Theoretische Grundlagen der Untersuchung	3
4.	Ermittlung von Abflußkurven im Unterwasser des Möhlinwehrs	18
5.	Berechnung von Leistungskurven für das Möhlinwehr	27

Anlagen A: Tabellarische Abflußkurven für die Möhlin
zwischen Mündung und Möhlinwehr

Anlagen B: Tabellarische Leistungskurven für das Möhlinwehr

1. AUFTRAG UND VERANLASSUNG

Das Möhlinwehr (Möhlin-km 1+590) soll im Rahmen von ökologischen Flutungen des Retentionsraums Kulturwehr Breisach zur Steuerung des Wasserstandes im Retentionsraum eingesetzt werden. Voraussetzung dafür ist die Kenntnis der Leistungskurven des Möhlinwehrs.

Aus einer früheren Untersuchung liegen Leistungskurven für das Möhlinwehr vor. Diese Leistungskurven sind jedoch ohne Berücksichtigung möglicher Rückwirkungen vom Wehrunterwasser und unter Verwendung nicht bauwerksspezifischer Berechnungsansätze erstellt worden. Daher hat die Gewässerdirektion Südlicher Oberrhein/Hochrhein, Projektgruppe Breisach den Unterzeichnenden mit Schreiben vom 21.5.2001 und 8.6.2001 unter den Aktenzeichen 72.14 und 70.22 beauftragt, eine

„Rechnerische Überprüfung der Leistungskurven für das Möhlinwehr“

durchzuführen. Die Untersuchung ist abgeschlossen und wird hiermit vorgelegt.

Karlsruhe, im August 2001



.....
(Dr.-Ing. Karl Ludwig)

2. DATENGRUNDLAGEN

Der Untersuchung lagen folgende Daten zu Grunde, die von der Gewässerdirektion Südlicher Oberrhein/Hochrhein, Projektgruppe Breisach zur Verfügung gestellt wurden:

- Querprofile der Möhlin im Unterwasser des Möhlinwehrs, Möhlin-km 0+050 bis Möhlin-km 1+500, ohne Standdatum,
- Deutsche Grundkarte, M 1 : 5.000, Blatt Breisach, mit Lage der Querprofile,
- Pläne der Straßenbrücke an der Möhlinmündung (Möhlin-km 0+000) und der neuen Straßenbrücke zum Sportplatz (Möhlin-km 0+775), ohne Standdatum,
- Pläne der festen Schwelle in der Möhlin bei Möhlin-km 0+360, ohne Standdatum,
- Grundriss, Längsschnitte und Querschnitte für das Möhlinwehr, Stand 1.3.1972,
- „Möhlinwehr, Abflüsse in Abhängigkeit vom Oberwasser für unterschiedliche Spalthöhen und freier Abfluß“, Neubauleitung Hochwasserschutz Oberrhein, Breisach, Oktober 1994 sowie
- Abflußkurve Rhein-km 225.300 (Möhlinmündung, $Q_{\text{Kanal}} = 1.400 \text{ m}^3/\text{s}$), Modellrechnung August 1985, Neubauleitung Hochwasserschutz Oberrhein, Breisach.

3. THEORETISCHE GRUNDLAGEN DER UNTERSUCHUNG

3.1 GRUNDGLEICHUNGEN DER EINDIMENSIONALEN WASSERSPIEGELLAGENBERECHNUNG

Aus dem Prinzip der Energieerhaltung ergibt sich bei Vernachlässigung seitlicher Zuflüsse die Differentialgleichung

$$\begin{aligned}\frac{dh_e}{dx} &= \frac{d}{dx}(h_w + h_g) \\ h_w &= y + z(x) \\ h_g &= \alpha \frac{v^2}{2g} \\ v &= \frac{Q}{A(y, x)}\end{aligned}\tag{3.1}$$

In der Differentialgleichung (3.1) bedeuten (s. auch Bild 3.1):

- x - Fließweg [m], positive Richtung entgegen Fließrichtung,
- h_e - Energiehöhe [m+NN],
- h_w - Wasserspiegelniveau [m+NN],
- h_g - Geschwindigkeitshöhe [m],
- $z(x)$ - Höhe der Gewässersohle [m+NN],
- y - Wassertiefe [m],
- α - Beiwert zur Berücksichtigung einer ungleichmäßigen Geschwindigkeitsverteilung im Querschnitt [-],
- v - Fließgeschwindigkeit [m/s], gemittelt über den Fließquerschnitt,
- g - Gravitationskonstante [m/s²],
- Q - Durchfluss [m³/s] sowie
- A(y,x) - durchflossener Querschnitt [m²].

Der Korrekturbeiwert α für die Geschwindigkeitshöhe

$$\alpha = \frac{1}{A} \int_A \frac{v^3}{V^3} dA\tag{3.2}$$

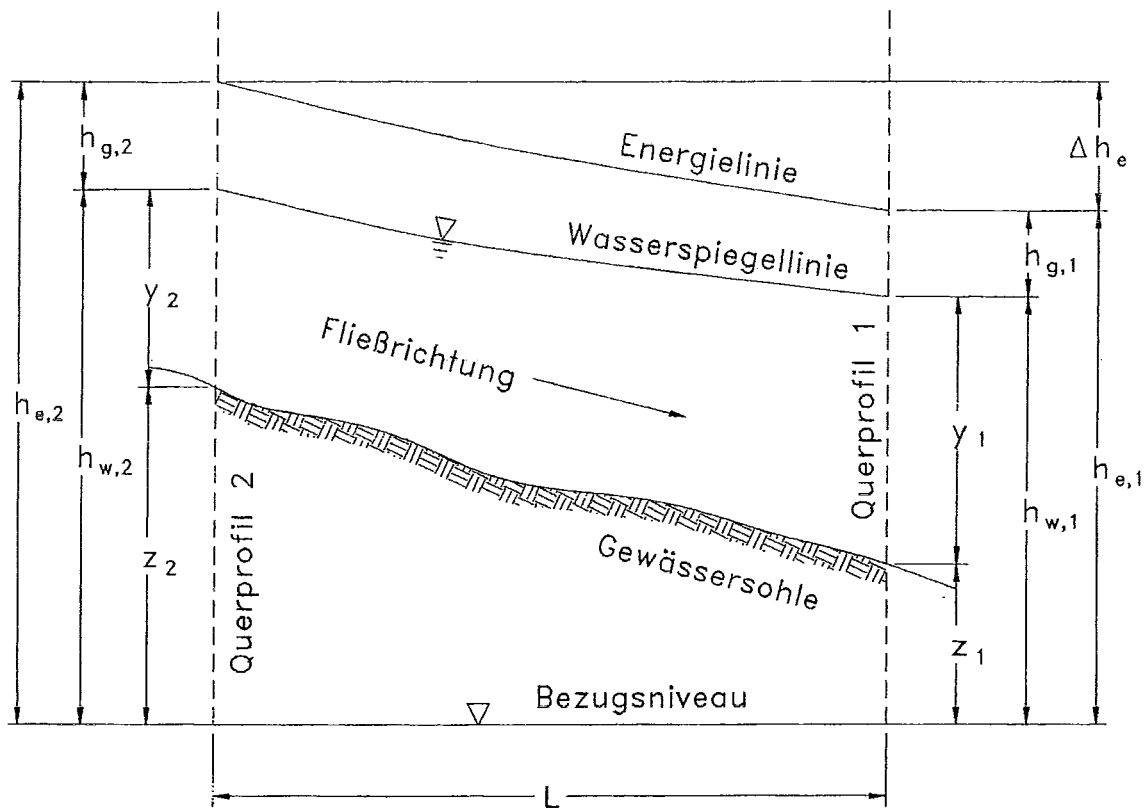


Bild 3.1: Definitionsskizze zur Wasserspiegellagenberechnung

mit

v' - Fließgeschwindigkeit in einem Flächenelement
des durchflossenen Querschnitts [m/s].

Der Korrekturbeiwert α wird in kompakten Querschnitten mit über den gesamten Querschnitt nahezu konstanten Fließgeschwindigkeiten gleich 1 angenommen. Bei gegebenem Durchfluss Q und bekanntem Wasserspiegelniveau $h_{w,1}$ im Ausgangsquerprofil 1 kann die Wasserspiegellage in einem Querprofil 2 durch Integration der Gleichung (3.1) über den Fließweg wie folgt bestimmt werden:

$$h_{w,2} = h_{w,1} + h_{g,1} - h_{g,2} + \int_{x_1}^{x_2} \frac{dh_e}{dx} d\xi \quad (3.3)$$

Die Integrationsrichtung wird dabei von der sogenannten Froude-Zahl

$$Fr = v \sqrt{\frac{\alpha B}{gA}} \quad (3.4)$$

bestimmt, wobei

B - Wasserspiegelbreite im Querschnitt [m]

bedeutet. Ist die Froude-Zahl $Fr > 1$ spricht man von einem schießenden (überkritischen) Abfluss und die Berechnung der Wassertiefe in Gleichung (3.3) muss in Fließrichtung vorgenommen werden.

Bei der kritischen Wassertiefe y_{kr} (bzw. der kritische Wasserspiegellage h_{kr}) ist die Energiehöhe minimal und die Froude-Zahl erreicht den Wert 1.

Gilt für die Froude-Zahl dagegen $Fr < 1$, liegt strömender (unterkritischer) Abfluss vor und die Berechnung der Wassertiefen bzw. Wasserspiegellagen muss in diesem Fall entgegen der Fließrichtung erfolgen.

Im Fall des strömenden Abflusses wird die Änderung der Energiehöhe h_e im wesentlichen durch Reibungsverluste an der Gewässersohle und den seitlichen Gerinnewänden (Böschungen) bedingt. Das Reibungsgefälle kann in allgemeiner Form durch Einführung eines sogenannten hydraulischen Leitwertes K formuliert werden als

$$\frac{dh_e}{dx} = J_e = \frac{Q^2}{K(y, x)^2} \quad (3.5)$$

Darin bedeuten

J_e - Reibungsgefälle [-] und
 $K(y, x)$ - hydraulischer Leitwert [m^3/s].

Aus den Gleichungen (3.3) und (3.5) ergibt sich mit Hilfe des 1. Mittelwertsatzes der Integralrechnung die Grundgleichung der Wasserspiegellagenberechnung für den strömenden Abfluss:

$$\begin{aligned}
h_{w,2} &= h_{w,1} + h_{g,1} - h_{g,2} + \Delta h_e \\
\Delta h_e &= \frac{J_{e,1} + J_{e,2}}{2} L + h_v \\
L &= x_2 - x_1
\end{aligned}
\tag{3.6}$$

wobei

- Δh_e - Energiehöhendifferenz [m],
- L - Profilabstand [m] und
- h_v - örtliche Einzelverlusthöhen [m]

darstellen. Durch örtliche Einzelverlusthöhen h_v können zusätzliche Verluste infolge von Wirbelbildungen (z.B. bei Gerinneverengungen oder -erweiterungen) oder in Krümmungen berücksichtigt werden.

Da die Geschwindigkeitshöhe $h_{g,2}$ und die Energiedifferenz Δh_e Funktionen von der Fließtiefe y_2 und damit vom Wasserspiegelniveau $h_{w,2}$ sind, wird die Gleichung (3.6), ausgehend von einem geschätzten Anfangswert, mit Hilfe eines iterativen Näherungsverfahrens gelöst. Mathematisch gesehen handelt es dabei um die Lösung der gewöhnlichen Differentialgleichung (3.1) mit Hilfe eines finiten Differenzenverfahrens.

3.2 GEGLIEDERTE QUERSCHNITTE

Im Falle gegliederter Gerinnequerschnitte (Flussschlauch mit Hochwasservorländern entsprechend Bild 3.2) werden die Wasserspiegellagenberechnungen in einem kompakten Ersatzprofil entsprechend Gleichung (3.6) durchgeführt.

Dabei wird von folgenden Grundannahmen ausgegangen (die Indizes L, R und S bezeichnen jeweils die entsprechende Größe im linken, rechten Vorland und im Flussschlauch):

- Der Wasserspiegel in den einzelnen Querprofilen ist horizontal, d.h.

$$h_{w,L} = h_{w,S} = h_{w,R} = h_w \tag{3.7}$$

- Die Energiehöhen in den einzelnen Profilabschnitten sind gleich, d.h.

$$h_{e,L} = h_{e,S} = h_{e,R} = h_e$$

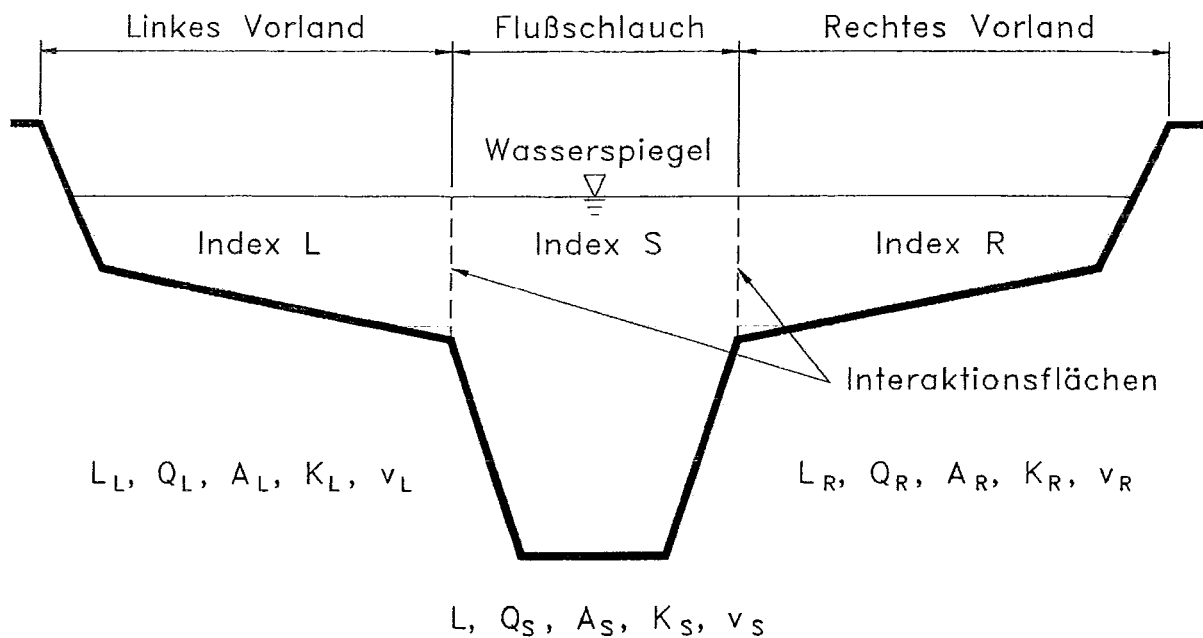


Bild 3.2: Bezeichnungen für gegliederte Querprofile

Da die lokalen Verluste h_v im allgemeinen auf das kompakte Ersatzprofil bezogen werden, resultiert aus der Gleichheit der Energiehöhen die Bedingung

$$J_{e,L} \frac{L_L}{L} = J_{e,S} = J_{e,R} \frac{L_R}{L} = J_e \quad (3.8)$$

wobei L der Profilabstand im Flußschlauch und L_L, L_R die (z.B. in Krümmungen von L abweichenden) Profilabstände im linken bzw. rechten Vorland darstellen.

- Die Summe der Durchflüsse in den einzelnen Profilabschnitten ergibt den Gesamtdurchfluss im Querprofil, d.h.

$$Q_L + Q_S + Q_R = Q \quad (3.9)$$

- Der Geschwindigkeitshöhenbeiwert für das kompakte Ersatzprofil wird aus den Fließgeschwindigkeiten und durchflossenen Flächen der einzelnen Teilströme nach Gleichung (3.2) bestimmt, wobei die Geschwindigkeitsvariation in den einzelnen Teilströmen vernachlässigt wird, d.h.

$$\alpha = \frac{v_L^3 A_L + v_S^3 A_S + v_R^3 A_R}{v^3 A} \quad (3.10)$$

Bei gegebenem Wasserspiegelniveau resultiert für die Durchflüsse in den Teilquerschnitten aus den Bedingungen (3.8) und (3.9) nach dem Einsetzen der Gleichung (3.5) das Gleichungssystem

$$\begin{aligned} \frac{Q_L}{K_L} \sqrt{\frac{L_L}{L}} &= \frac{Q_S}{K_S} = \frac{Q_R}{K_R} \sqrt{\frac{L_R}{L}} \\ Q_L + Q_S + Q_R &= Q \end{aligned} \quad (3.11)$$

Mit den aus (3.11) berechneten Teildurchflüssen kann dann der Geschwindigkeitshöhenbeiwert α aus Gleichung (3.10) bestimmt werden, so dass auch für gegliederte Profile die Grundgleichung für die Wasserspiegellagen (3.6) iterativ gelöst werden kann.

3.3 BERECHNUNGSANSÄTZE FÜR DEN HYDRAULISCHEN LEITWERT

In der Bundesrepublik Deutschland werden zur Berechnung der Reibungsverluste hauptsächlich die Fließformel nach Manning-Strickler und das Widerstandgesetz nach Darcy/Weisbach angewandt.

Für die Fließformel nach Manning-Strickler ergibt sich aufgrund von

$$\begin{aligned} Q &= k_{st} A R_h^{2/3} \sqrt{J_e} \\ R_h &= \frac{A}{U_b} \end{aligned}$$

der hydraulische Leitwert zu

$$K = k_{st} A R_h^{2/3} \quad (3.12)$$

mit den Bezeichnungen

- k_{st} - Geschwindigkeitsbeiwert nach Manning-Strickler [$m^{1/3}/s$],
- R_h - hydraulischer Radius [m] und
- U_b - benetzter Umfang [m].

Im Falle der Widerstandsbeziehung nach Darcy/Weisbach

$$Q = A \sqrt{\frac{8\bar{g}}{\lambda} R_h J_e}$$

folgt für den hydraulischen Leitwert

$$K = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} A \sqrt{8gR_h} \quad (3.13)$$

mit dem Widerstandsbeiwert λ für den hydraulisch rauen Bereich nach Prandtl, v. Kármán

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2,03 \lg \frac{14,84 R_h}{k_s} \quad (3.14)$$

und der absoluten Rauheit k_s [m].

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird für den hydraulischen Leitwert der Ansatz nach Manning-Strickler (Gleichung 3.12) verwendet, da wesentlich mehr Erfahrungswerte über die Größe des Geschwindigkeitsbeiwertes k_{st} als über die absolute Rauheit k_s vorliegen.

3.4 WEHRE UND SCHWELLEN

Für die Überfallmenge je Breitenmeter q [$\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$] an einem Wehr oder an einer Schwelle gilt (s. z.B. Knapp, F. H.: "Ausfluss, Überfall und Durchfluß im Wasserbau", Verlag G. Braun, Karlsruhe, 1960, Naudascher, E.: "Hydraulik der Gerinne und Gerinnebauwerke", Springer-Verlag, Wien, New York, 1987):

$$q = \frac{2}{3} C_{\bar{U}} C_R \sqrt{2g(h_{e,ow} - h_{wk})^3} \quad (3.15)$$

Darin bedeuten:

- $h_{e,ow}$ - Energiehöhe im Oberwasser [m+NN],
- h_{wk} - Höhe der Wehr- oder Schwellenkronen [m+NN],
- $C_{\bar{U}}$ - Überfallbeiwert [-] sowie
- C_R - Rückstaukoeffizient [-].

Die Energiehöhe $h_{e,ow}$ bezieht sich auf ein Profil im ungestörten Bereich des Oberwassers, d.h. am Beginn der Absenkungslinien in einem Abstand vom ca. 4- bis 6-fachen der Überfallhöhe $h_{w,ow} - h_{wk}$ oberhalb des Wehrs.

An einem Wehrüberfall sind grundsätzlich drei unterschiedliche Abflußzustände zu unterscheiden:

a) Vollkommener Überfall

Man spricht von einem vollkommenen Überfall, wenn der Unterwasserstand $h_{w,uw}$ [m+NN] keinen Einfluß auf die Überfallmenge q hat. Der Rückstaukoeffizient C_R ist in diesem Fall gleich 1. Der Überfallbeiwert $C_{\bar{U}}$ ist eine Funktion des Wehrtyps (rundkronig, breitkronig, scharfkantig), der Wehrgeometrie (Höhe der Wehrkrone über der Sohle an der Ober- und Unterwasserseite des Wehrs, Ausformung der Wehrkrone sowie der ober- und unterwasserseitigen Wehrwand) sowie der Energiehöhe im Wehroberwasser. Die Überfallbeiwerte können mit Hilfe der bei Knapp (s.o.) angegebenen Ansätze aus der Wehrgeometrie und der Oberwasserenergiehöhe berechnet werden.

b) Überströmtes Wehr

Ein Wehr ist dann überströmt, wenn sich auf der Wehrkrone hydrostatische Druckverhältnisse einstellen, d.h. wenn der Unterwasserstand so hoch ist, dass über der Wehrkrone keine signifikanten Stromlinienkrümmungen auftreten. In diesem Fall ist die Gleichung (3.15) nicht mehr anwendbar. Vereinfachend kann in diesem Fall die Gleichheit von Unterwasser- und Oberwasserenergiehöhe angenommen, d.h. eine verlustfreie Überströmung des Wehrs vorausgesetzt werden.

c) Unvollkommener Überfall

In dem Abflußbereich, der zwischen Fall a) und Fall b) liegt, spricht man von einem unvollkommenen Wehrüberfall. C_0 bezeichnet dann in (3.15) den Überfallbeiwert, der sich für eine gegebene Energiehöhe $h_{e,ow}$ bei vollkommenem Überfall ergeben würde. Der Rückstaukoeffizient C_R gibt den Faktor an, um den die Überfallmenge gegenüber der Überfallmenge bei vollkommenem Überfall aufgrund des Unterwasserstandes $h_{w,uw}$ reduziert wird. Bei unvollkommenem Überfall gilt stets $0 < C_R < 1$.

Sowohl die Unterwasserstände für die Grenze zwischen den Fällen a) und c) sowie c) und b) als auch der Wert des Rückstaukoeffizienten sind Funktionen des Wehrtyps, der Wehrgeometrie, der Oberwasserenergiehöhe und des Verhältnisses $h_{e,ow}/h_{w,uw}$. Die Werte von C_R können mit Hilfe der bei Knapp (s.o.) angegebenen Übergangskurven berechnet werden.

Der Gesamtabfluß über ein Wehr kann durch Integration der rechten Seite von Gleichung (3.15) über die Wehrbreite B [m] erhalten werden:

$$Q = \int_0^B q(\zeta) d\zeta \quad (3.16)$$

wobei $q(\zeta)$ die breitenspezifische Überfallmenge an der Stelle ζ darstellt. Da das Integral (3.16) im allgemeinen Fall variierender Wehrgeometrie nicht geschlossen lösbar ist, wird die gesamte Überfallmenge Q mit Hilfe numerischer Integrationsverfahren bestimmt.

3.5 BRÜCKEN

Die Berechnung des zu erwartenden Aufstaus vor Einbauten erfolgt bei strömendem Abfluss im verbauten Profilquerschnitt nach folgender Gleichung (Çidarer, "Einfluss von seitlichen Profileinengungen (Brückenwiderlagern) auf den Abflussvorgang in Wasserläufen", Mitteilungen des Leichtweiss-Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig, Heft 53, 1977):

$$A_{ow}y_{ow} - A_{uw}y_{uw} + \frac{Q^2}{g} \left(\frac{\beta_{ow}}{A_{ow}} - \frac{\beta_{uw}}{A_{uw}} - \frac{C_W \alpha_Q}{2A_{uw}} \right) = 0 \quad (3.17)$$

Darin bedeuten

- A_{ow} - Durchflossene Fläche im Oberwasser der Verbauung [m^2],
- y_{ow} - Abstand des Flächenschwerpunktes vom Wasserspiegel im Oberwasser der Verbauung [m],
- β_{ow} - Impulsbeiwert zur Berücksichtigung der Geschwindigkeitsverteilung im Oberwasserprofil der Verbauung [-],
- A_{uw} - Durchflossene Fläche im Unterwasser der Verbauung [m^2],
- y_{uw} - Abstand des Flächenschwerpunktes vom Wasserspiegel im Unterwasser der Verbauung [m],
- β_{uw} - Impulsbeiwert zur Berücksichtigung der Geschwindigkeitsverteilung im Unterwasserprofil der Verbauung [-],
- α_Q - Durchfluß-Verbauungsverhältnis [-] sowie
- C_W - Widerstandskoeffizient der Verbauung [-].

Der Widerstandskoeffizient C_W ist eine Funktion des Durchfluß-Verbauungsverhältnisses α_Q und der Froud'schen Zahl im unverbauten Profil. Er wird nach den von Çidarar in der oben genannten Literatur angegebenen Diagrammen bestimmt.

Der Impulsbeiwert β ist analog zum Geschwindigkeitshöhenbeiwert α (Gleichung 3.10) wie folgt definiert:

$$\beta = \frac{v_L^2 A_L + v_S^2 A_S + v_R^2 A_R}{v^2 A} \quad (3.18)$$

Das Durchfluß-Verbauungsverhältnis α_Q berücksichtigt neben dem Grad der Profilverbauung zusätzlich die Geschwindigkeitsverteilung in den unverbauten Teilprofilen:

$$\alpha_Q = \frac{\sum_{i=L,S,R} (A_{uw,i} - A_{vb,i}) v_{uw,i}}{Q} \quad (3.19)$$

mit

- $A_{uw,i}$ - durchflossene Fläche im Teilprofil i des Brückenunterwassers [m^2],
- $A_{vb,i}$ - Fläche im Teilprofil i der Verbauung bezogen auf $h_{w,uw}$ [m^2]
(bei eingestauten Brücken ist für $A_{vb,i}$ der lichte Brückenquerschnitt im Teilprofil i einzusetzen) und
- $v_{uw,i}$ - Fließgeschwindigkeit im Teilprofil i des Brückenunterwassers [m/s].

Für $\beta_{uw} = 1$, d.h. einer einheitlichen Fließgeschwindigkeit im Unterwasserprofil, entspricht das Durchfluß-Verbauungsverhältnis α_Q dem besser bekannten Flächenverbauungsverhältnis α_F :

$$\alpha_F = \frac{A_{uw} - A_{vb}}{A_{uw}}$$

wobei

- A_{uw} - die durchflossene Fläche im Unterwasserprofil [m²] und
- A_{vb} - die Fläche im Verbauungsprofil bezogen auf $h_{w,uw}$ [m²] (bei eingestauten Brücken ist für A_{vb} der lichte Brückenquerschnitt einzusetzen)

bedeuten. Aus der Gleichung (3.17) kann der Wasserspiegel $h_{w,ow}$ im Oberwasser der Verbauung berechnet werden. Der verbauungsbedingte Aufstau $\Delta h_{w,vb}$ ergibt sich dann aus der Differenz $h_{w,ow} - h_{w,uw}$. Der Aufstau $\Delta h_{w,vb}$ gilt für rechteckige Verbauungselemente. Er kann mit Hilfe der Beziehung

$$\Delta h'_{w,vb} = \Delta h_{w,vb} \frac{\delta - \alpha(\delta - 1)}{3,9 - 2,9\alpha} \quad (3.20)$$

nach Rehbock (siehe z.B. Schröder, Euler, Schneider, Knauf: "Grundlagen des Wasserbaus", Werner Verlag, 1994) anderen Verbauungsformen angepasst werden, mit

- δ - Verbauungsformbeiwert [-] (= Rehbock'schen Pfeiler-Formbeiwert), mit
 - $\delta = 3,9$ für rechteckige Verbauung (damit $\Delta h'_{w,v} = \Delta h_{w,v}$) und
 - $\delta = 1,0$ für schmale, sehr spitz zulaufende Verbauung.

Bei schießendem Abfluss im verbauten Profil kann die Gleichung (3.17) nicht verwendet werden. Die Berechnung der Wasserspiegelhöhe im Oberwasser der Verbauung erfolgt in diesen Fällen iterativ aus der Beziehung

$$h_{w,ow} + h_{g,ow} = h_{w,gr,vb} + h_{g,gr,vb} + 0,55 \frac{\delta}{3,9} (h_{g,gr,vb} - h_{g,ow}) \quad (3.21)$$

Darin bedeuten:

- $h_{g,ow}$ - Geschwindigkeitshöhe im Oberwasser der Verbauung [m],
- $h_{w,gr,vb}$ - Wasserspiegelhöhe bei Grenzabfluß im verbauten Profil [m+NN] und
- $h_{g,gr,vb}$ - Geschwindigkeitshöhe bei Grenzabfluß im verbauten Profil.

Der verbauungsbedingte Aufstau $\Delta h_{w,vb}'$ ergibt sich dann aus der Differenz $h_{w,ow} - h_{w,uw}$.

3.6 UNTERSTRÖMTE PLAN- UND SEGMENTSCHÜTZE

Der Durchfluß Q [m³/s] unter einem Planschütz oder einem Segmentverschluß berechnet sich allgemein aus (s. Knapp, Naudascher):

$$Q = msB\sqrt{2g\Delta h_{e,s}} \quad (3.22)$$

mit

- m - Ausflußbeiwert [-],
- s - Schütz- bzw Segmentöffnungsweite [m],
- B - Durchflußbreite [m] sowie
- $\Delta h_{e,s}$ - wirksame Energiedifferenz am Schütz bzw. Segment [m].

Die wirksame Energiedifferenz $\Delta h_{e,s}$ wird aus der Bilanz der Energiehöhen in einem Querschnitt oberhalb und unterhalb der Schützöffnung ermittelt. In diesen Querschnitten müssen hydrostatische Druckverhältnisse herrschen, d.h. die Stromlinien in diesen Querschnitten müssen näherungsweise parallel verlaufen.

Da der Verlauf der Stromlinien im Bereich der Schütze maßgeblich von der Bauform abhängt, variiert die Lage des unterwasserseitigen Querschnitts ebenfalls mit der Bauform (s. Abschnitte 3.6.1 und 3.6.2). Allgemein seien die Größen in diesem Querschnitt mit dem Index „su“ bezeichnet.

Zusätzlich ist bei der Ermittlung der wirksamen Energiedifferenz zwischen freiem, d.h. vom Unterwasser unbeeinflussten, und rückgestautem Ausfluß zu differenzieren. Im Fall des freien Ausflusses gilt

$$h_{p,su,f} + h_{g,su} \geq h_{w,uw} + h_{g,uw}$$

mit dem Grenzwasserstand zwischen freiem und rückgestauten Abfluß $h_{w,uw,fg}$ [m+NN]

$$h_{w,uw,fg} = h_{p,su,f} + h_{g,su} - h_{g,uw,fg}$$

wobei

- $h_{p,su,f}$ - die piezometrische Höhe im Querschnitt „su“ bei freiem Ausfluß [m+NN],
- $h_{g,su}$ - die Geschwindigkeitshöhe im Querschnitt „su“ [m] und
- $h_{g,uw,fg}$ - die zu $h_{w,uw,fg}$ korrespondierende Geschwindigkeitshöhe im Unterwasser [m]

bedeuten. Es folgt damit für die wirksame Energiedifferenz:

$$\Delta h_{e,s} = h_{e,ow} - \max(h_{p,su,f}, h_{e,uw} - h_{g,su}) \quad (3.23)$$

Die Gleichung (3.22) kann alternativ, z.B. zu Vergleichszwecken, auch in der Form

$$Q = C_q s B \sqrt{2gy_{w,ow}} \quad (3.24)$$

mit der Wassertiefe im Schützoberwasser $y_{w,ow}$ [m] und dem Ausflußbeiwert C_q [-]. Aus den Gleichungen (3.22) und (3.24) ergibt sich folgender Zusammenhang zwischen den Ausflußbeiwerten C_q und m :

$$C_q = m \sqrt{\frac{\Delta h_{e,s}}{y_{w,ow}}}$$

Bezüglich der unterströmten Plan- und Segmentschütze können prinzipiell zwei Bauformen unterschieden werden:

- Schütze mit horizontaler Bauwerkssohle (Abschnitt 3.6.1) und
- auf rundkronige Wehre aufgesetzte Segmentverschlüsse (Abschnitt 3.6.2).

3.6.1 SCHÜTZE MIT HORIZONTALER BAUWERKSSOHLLE

Nach Knapp kann der Ausflußbeiwert m in Gleichung (3.22) aus dem Produkt zweier Funktionen φ und $C_{c,s}$ bestimmt werden, wobei die Funktion φ die Energieverluste am Schütz und $C_{c,s}$ die maximale vertikale Strahlkontraktion hinter dem Schütz bei freiem Ausfluß angibt:

$$\varphi = 0,96 + (0,0017\theta - 0,05) \frac{s}{h_{e,ow} - z} \quad (3.25)$$

$$C_{c,s} = 1,06 \left(N - \sqrt{N^2 - A} \right)$$

mit

$$N = \frac{h_{e,ow} - z}{s}$$

$$A = \frac{\left(N \hat{\Theta} - \frac{1 - \cos \Theta}{\sin \Theta} \right) (2N - 1)}{N \left(1 + \frac{\hat{\Theta}}{\Theta} - \cos \Theta \right) - \frac{1 - \cos \Theta}{\sin \Theta} - \frac{1}{2} \left(\frac{\hat{\Theta}}{\sin \Theta} - \cos \Theta \right)} \quad (3.26)$$

$$\hat{\Theta} = \Theta \frac{\pi}{180}$$

und

- Θ - Neigungswinkel der Oberwasserseite des Schützes bzw. Segmentes an der Unterkante gegen die Horizontale [°] sowie
- z - Höhe der Bauwerkssohle [m+NN].

Der Querschnitt „su“ (s. Abschnitt 3.6) wird an die Stelle der maximalen Strahlkontraktion hinter dem Schütz gelegt. Damit sind zur Bestimmung der wirksamen Energiedifferenz $\Delta h_{e,s}$ in Gleichung (3.23) folgende Ausdrücke einzusetzen:

$$h_{p,su,f} = sC_{c,s} + z$$

$$h_{g,su} = \frac{Q^2}{2g(sBC_{c,s})^2} \quad (3.27)$$

3.6.2 AUF RUNDKRONIGE WEHRE AUFGESETZTE SEGMENTVERSCHLÜSSE

Aufgrund des Wehrrückens resultiert gegenüber Bauwerken mit horizontaler Sohle (s. Abschnitt 3.6.1) ein grundsätzlich anderer Stromlinienverlauf. Insbesondere ergibt sich eine Reduktion der Sohlrücke in und unterhalb der Segmentöffnung. Daher sind gegenüber Bauwerken mit horizontaler Sohle bei gleicher Segmentöffnungsweite deutlich höhere Durchflüsse zu erwarten.

Leider liegen für diesen Fall keine allgemeingültigen Ansätze für die Bestimmung der Ausflußbeiwerte vor, da die Ausflußbeiwerte nun nicht nur von der Segmentgeometrie und der Energiehöhe im Oberwasser sondern auch von der Wehrgeometrie und der Lage des Aufsatzpunktes des Segmentes auf dem Wehrrücken abhängen.

Knapp hat aus Messungen an einer Wehranlage mit rundkronigem Wehr und einem auf dem Wehrscheitel aufliegenden Segmentverschlusses für den Ausflußbeiwert m die Funktion

$$m = 0,78 - 0,08 \frac{s}{h_{e,ow} - h_{wk}} \quad (3.28)$$

abgeleitet. Falls der Auflagepunkt des Segmentschützes sich auf dem Wehrscheitel befindet, können im Bereich der Wehrkrone - insbesondere bei kleinen Segmentöffnungsweiten - hydrostatische Druckverhältnisse angenommen werden. Daher wird in diesem Fall der Querschnitt „su“ (s. Abschnitt 3.6) in den Wehrscheitel gelegt. Es resultieren für die piezometrische Druckhöhe und die Energiehöhe, die in Gleichung (3.23) einzusetzen sind, die folgenden Ausdrücke:

$$h_{p,su,f} = h_{wk} + \frac{s}{2} \quad (3.29)$$
$$h_{g,su} = \frac{Q^2}{2g(sB)^2}$$

Wie Testrechnungen am Beispiel der von Kapp untersuchten Wehranlage ergeben haben, würden sich bei einer Durchflußberechnung entsprechend Abschnitt 3.6.1 mit $z = h_{wk}$ um ca. 10% bis 20% zu geringe Durchflüsse ergeben.

4. ERMITTLUNG VON ABFLUSSKURVEN IM UNTERWASSER DES MÖHLINWEHRS

Für die Überprüfung der Leistungskurven des Möhlinwehrs (s. Abschnitt 5) wurden Abflußkurven im Wehrunterwasser in Abhängigkeit vom Möhlin- und vom Rheindurchfluß benötigt. Die Abflußkurven wurden mit Hilfe eindimensionaler Wasserspiegellagenberechnungen ermittelt.

Dazu wurde ein eindimensionales Strömungsmodell für die Möhlin von der Mündung in den Rhein (Möhlin-km 0+000) bis ins unmittelbare Unterwasser des Möhlinwehrs (Oberwasser der Tosbeckenkante, Möhlin-km 1+570) aufgebaut. Grundlage des Modells waren 30 Querschnitte der Möhlin (jeweils im Abstand von 50 m), Pläne der Brücke an der Möhlinmündung und der neuen Brücke zum Sportplatz (Möhlin-km 0+775) sowie Pläne der Schwelle bei Möhlin-km 0+360 und des Möhlinwehrs (s. Abschnitt 2).

Die Geschwindigkeitsbeiwerte nach Manning-Strickler (s. Abschnitt 3.3) wurden aufgrund von Erfahrungswerten mit $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ im Hauptgerinne und mit $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ in den Vorländern angenommen.

Der Brückenstau für die zwei Brücken wurde mit Hilfe der Gleichung (3.17), Abschnitt 3.5 berechnet, wobei jeweils eine senkrechte Anströmung der Verbauung mit einem Rehbock'schen Formbeiwert von 3,9 vorausgesetzt wurde.

Der Überfall an der Schwelle bei Möhlin-km 0+360 und an der Tosbeckenkante im Unterwasser des Möhlinwehrs wurden entsprechend den in Abschnitt 3.4 beschriebenen Ansätzen behandelt.

Der Wasserspiegel in der Möhlin an der Mündung wurde aus der Abflußkurve im Rhein bei Rhein-km 225+300 (s. Bild 3) ermittelt. Die Rheindurchflüsse in der Abflußkurve beziehen sich, wie auch alle Angaben zu Rheindurchflüssen im Folgenden, auf den Durchfluß im Gesamtrhein unterhalb der Möhlinmündung, d.h. auf die Summe der Durchflüsse im Rhein, im Grand Canal d'Alsace und in der Möhlin, wobei für den Gand Canal d'Alsace ein maximaler Durchfluß von $1.400 \text{ m}^3/\text{s}$ angenommen wurde.

Da die Möhlin in einem Winkel von 90° in den Rhein mündet, wurde als kontrollierender Wasserspiegel die Energiehöhe im Rhein angesetzt. Die Energiehöhe im Rhein wurde für jeden Rheindurchfluß mit Hilfe des Rheinprofils bei km 225+300 und dem entsprechenden Wasserstand aus der Abflußkurve bestimmt. Die resultierenden Energiehöhen sind ebenfalls in Bild 3 eingetragen.

Die Wasserspiegellagenberechnungen erfolgten für Gesamtrheindurchflüsse von $0 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $3.500 \text{ m}^3/\text{s}$ in Intervallen von $500 \text{ m}^3/\text{s}$ sowie für Möhlin durchflüsse von $5 \text{ m}^3/\text{s}$, $10 \text{ m}^3/\text{s}$ und von $25 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $200 \text{ m}^3/\text{s}$ in Intervallen von $25 \text{ m}^3/\text{s}$.

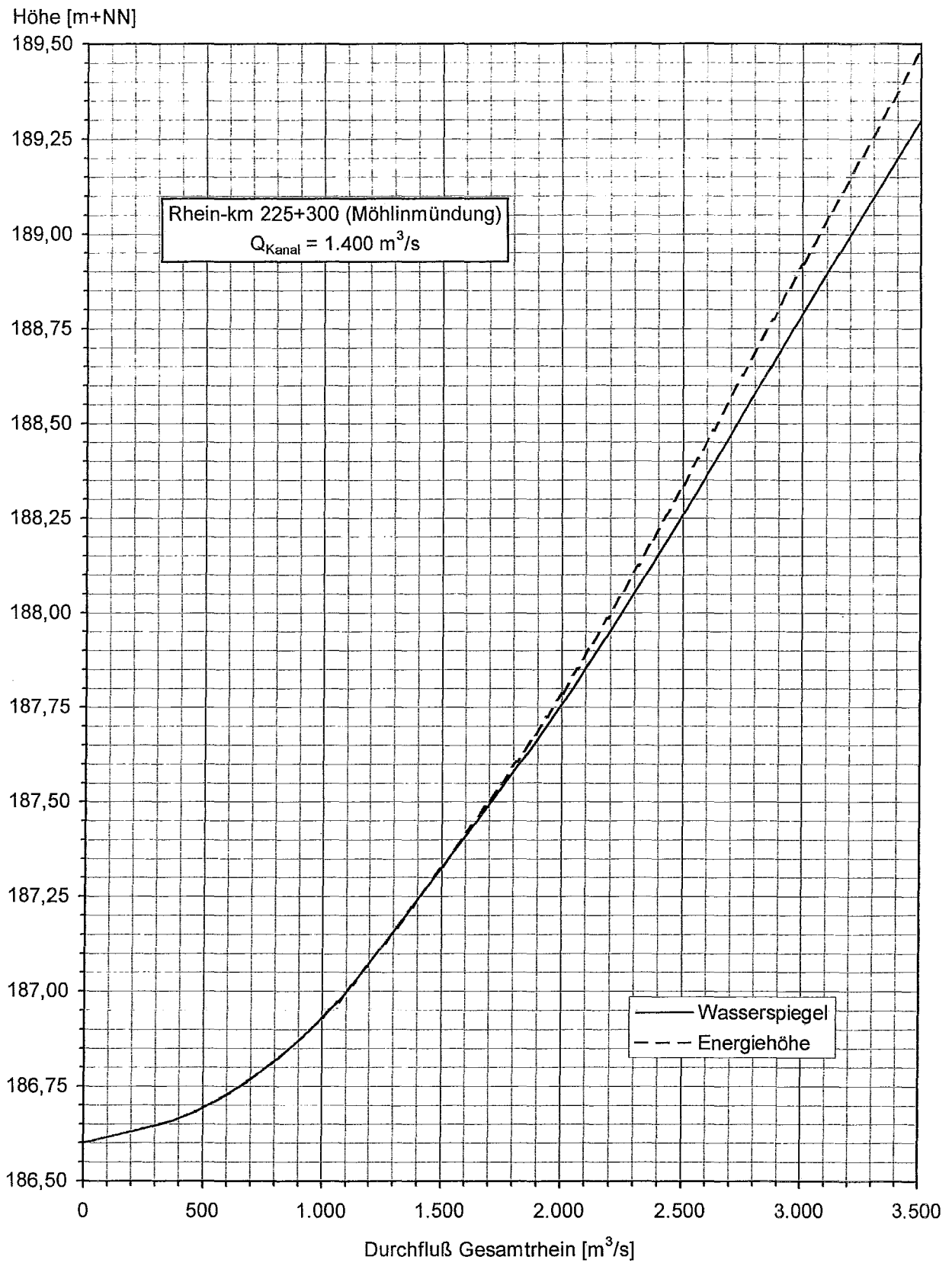


Bild 3: Wasserstands-Abfluß-Beziehung und Energiehöhen-Abflußbeziehung für den Rhein bei Rhein-km 225+300 (Möhlinmündung)

Die Ergebnisse der Wasserspiegellagenberechnungen sind in Form von Abflußkurven in den Bildern 4 bis 9 und in Tabellenform in den Anlagen A dargestellt, und zwar

- für das Oberwasser der Brücke an der Möhlinmündung (km 0+014) in Bild 4 und Anlage A-1,
- für das Unterwasser der Möhlinschwelle (km 0+360) in Bild 5 und Anlage A-2,
- für das Oberwasser der Möhlinschwelle in Bild 6 und Anlage A-3,
- für das Oberwasser der neuen Brücke zum Sportplatz (km 0+775) in Bild 7 und Anlage A-4
- für das Unterwasser der Tosbeckenkante am Möhlinwehr (km 1+570) in Bild 8 und Anlage A-5 sowie
- für das Oberwasser der Tosbeckenkante am Möhlinwehr in Bild 9 und Anlage A-6.

Die Wasserstände im Oberwasser der Tosbeckenkante am Möhlinwehr wurden als Unterwasserstände für die Berechnung der Leistungskurven des Möhlinwehrs (s. Abschnitt 5) angesetzt.

Wasserspiegel [m³/s]

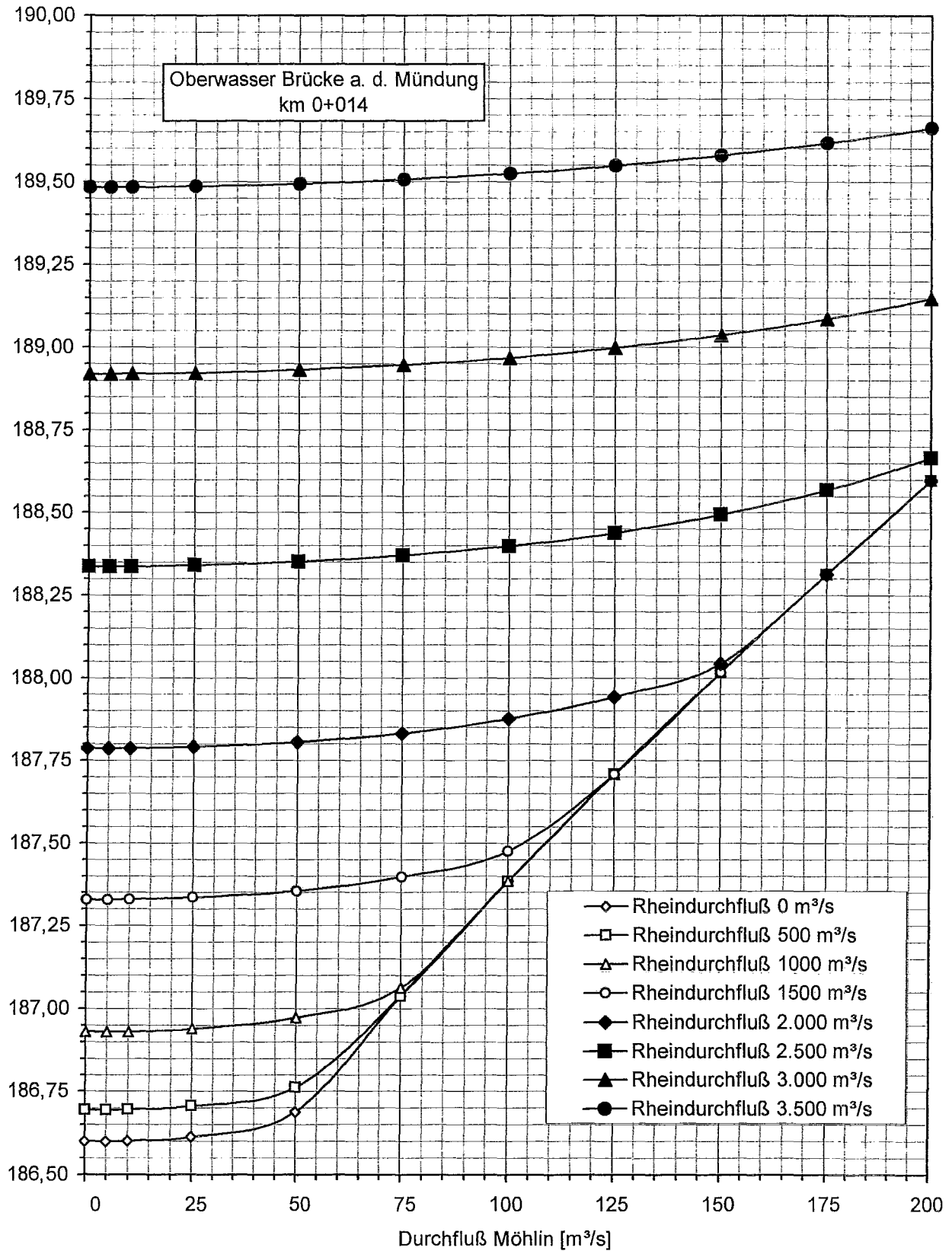


Bild 4: Abflußkurve im Oberwasser der Brücke an der Möhlinmündung

Wasserspiegel [m³/s]

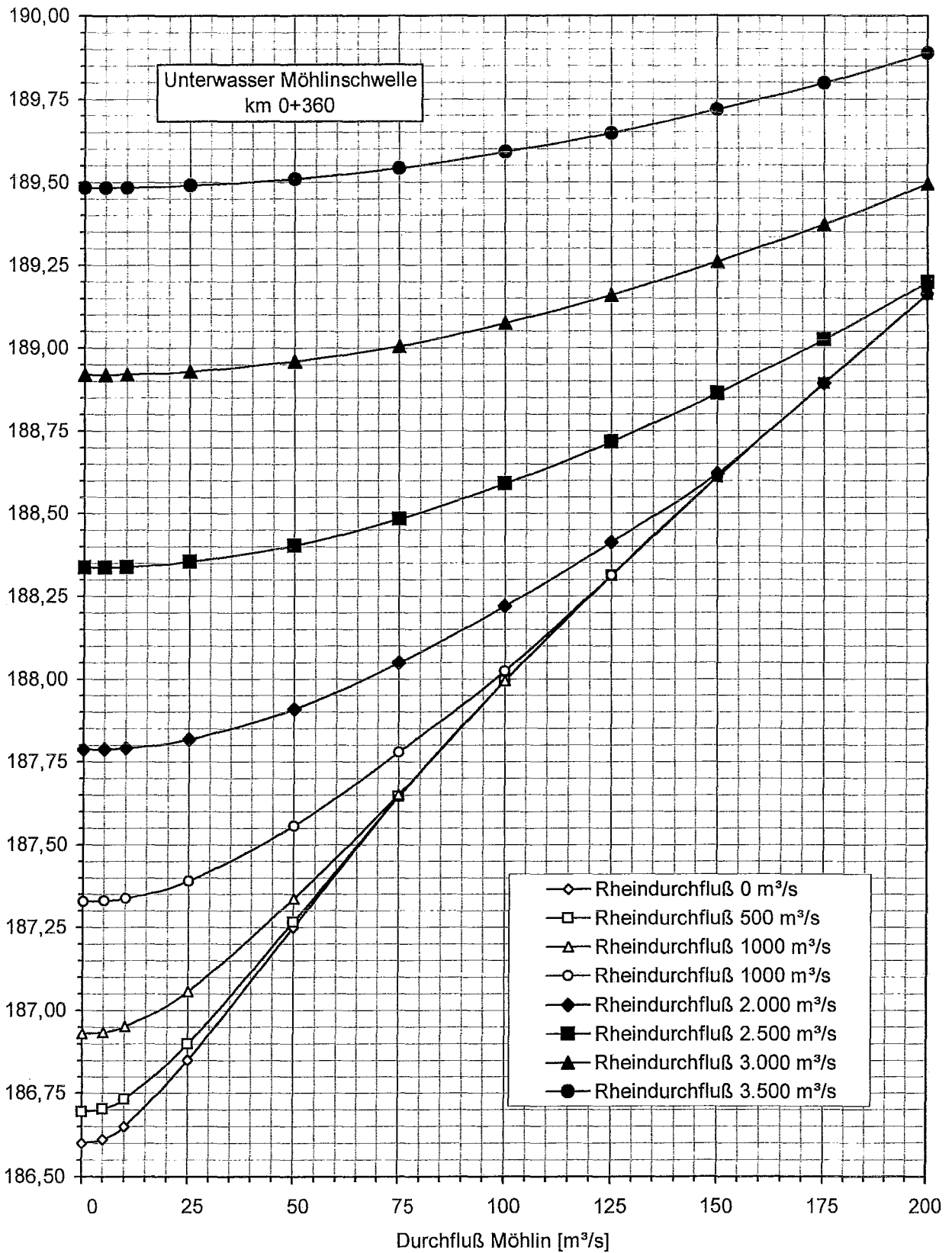


Bild 5: Abflußkurve im Unterwasser der Möhlinschwelle

Wasserspiegel [m³/s]

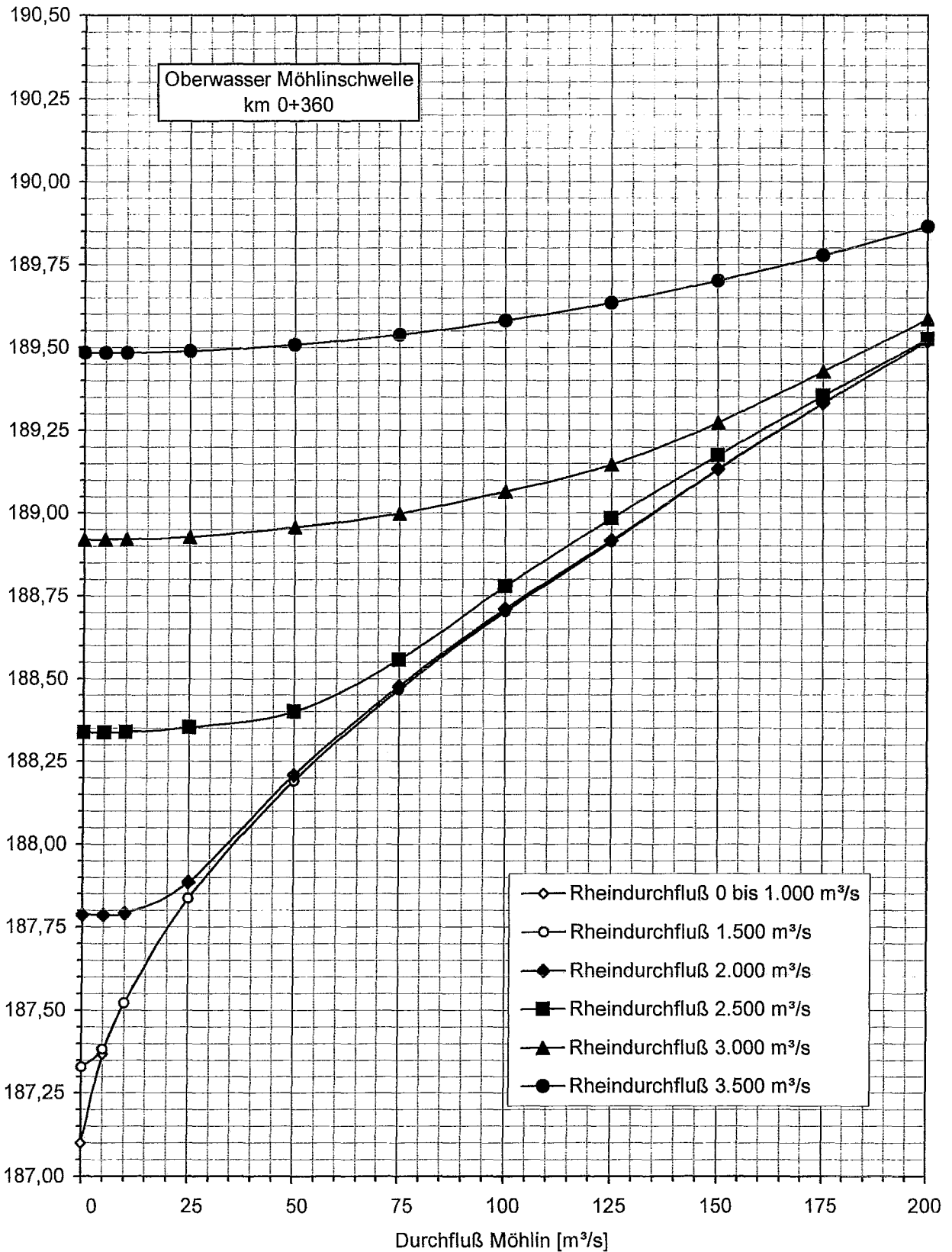


Bild 6: Abflußkurve im Oberwasser der Möhlinchwelle

Wasserspiegel [m³/s]

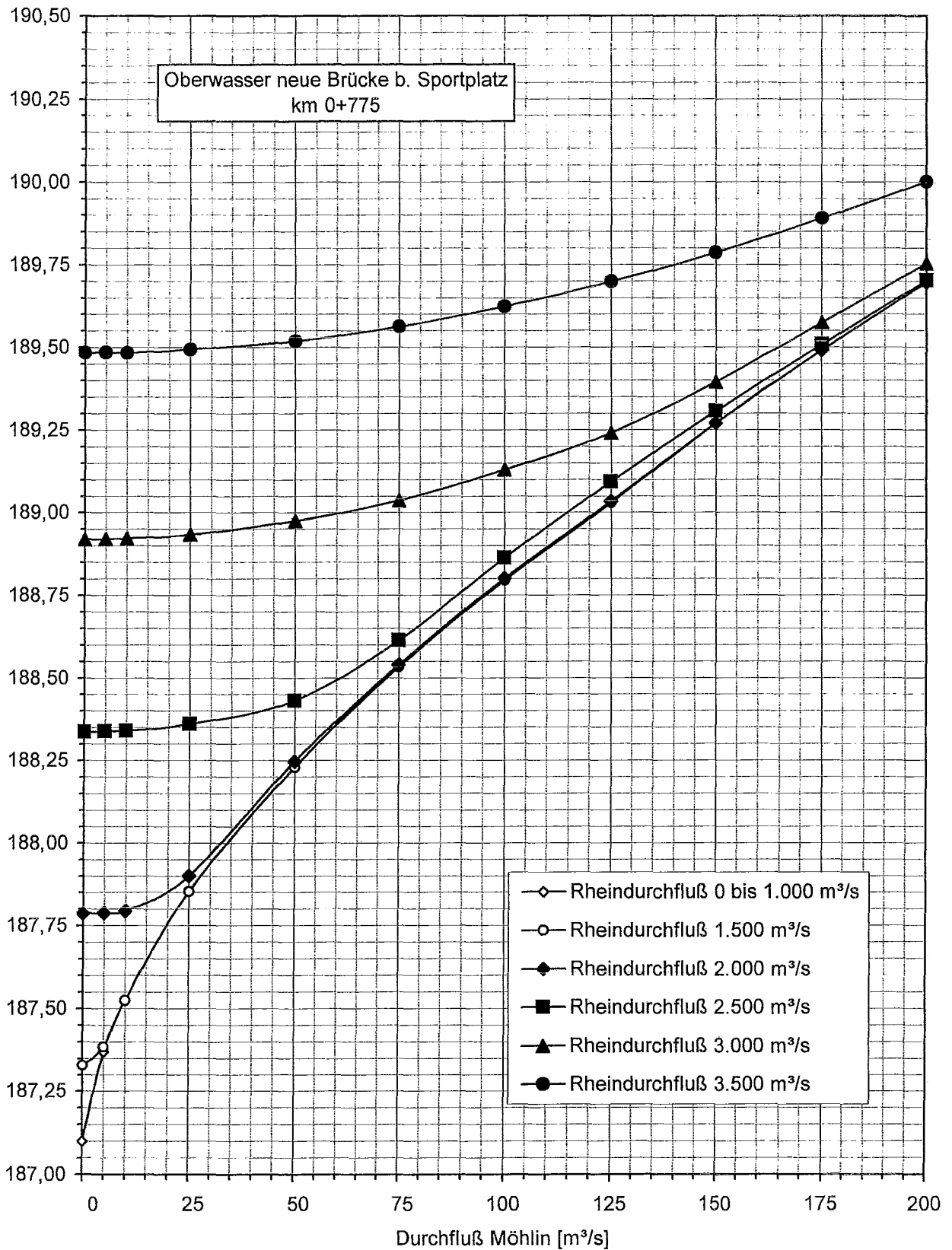


Bild 7: Abflußkurve im Oberwasser der neuen Brücke zum Sportplatz

Wasserspiegel [m³/s]

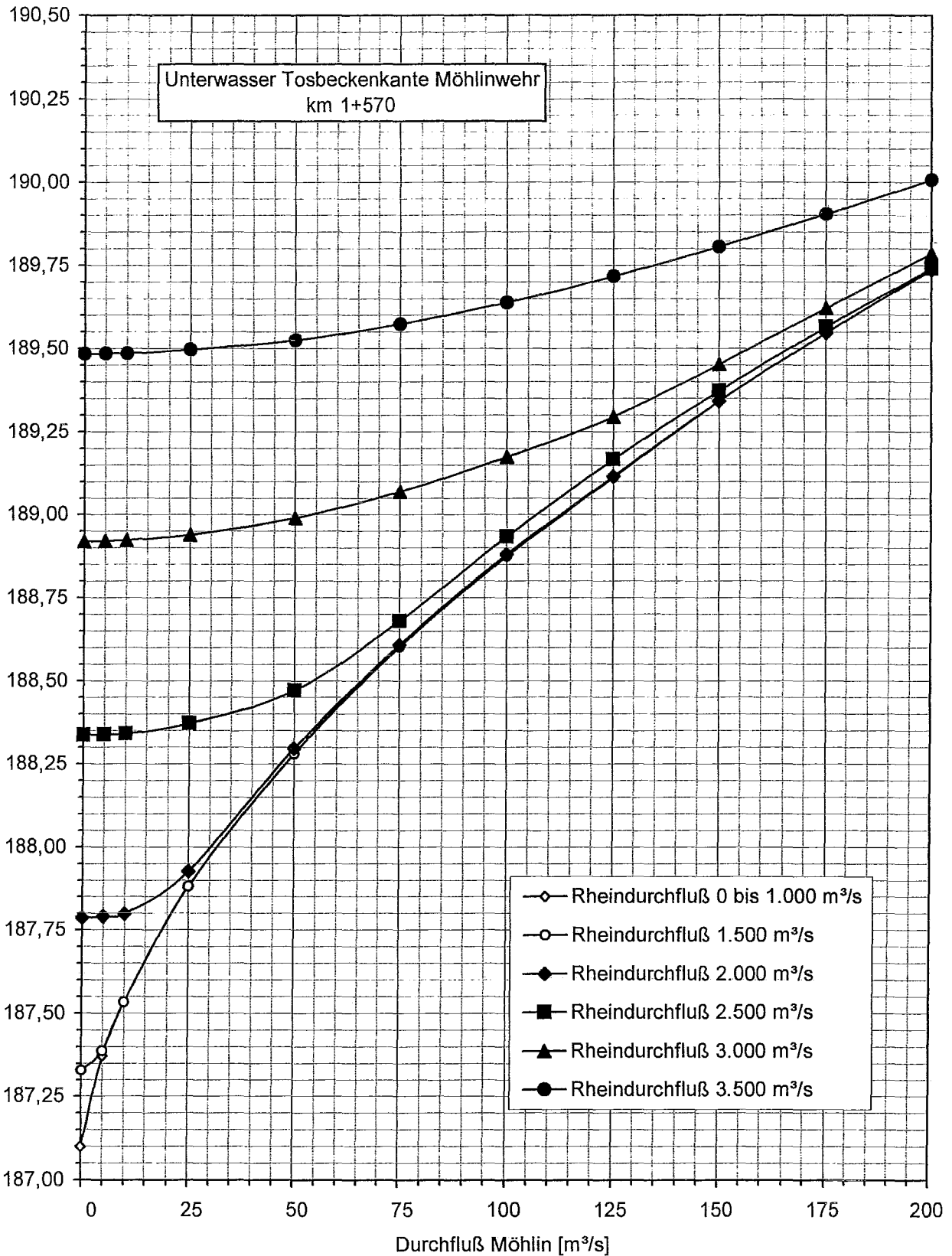


Bild 8: Abflußkurve im Unterwasser der Tosbeckenkante am Möhlinwehr

Wasserspiegel [m³/s]

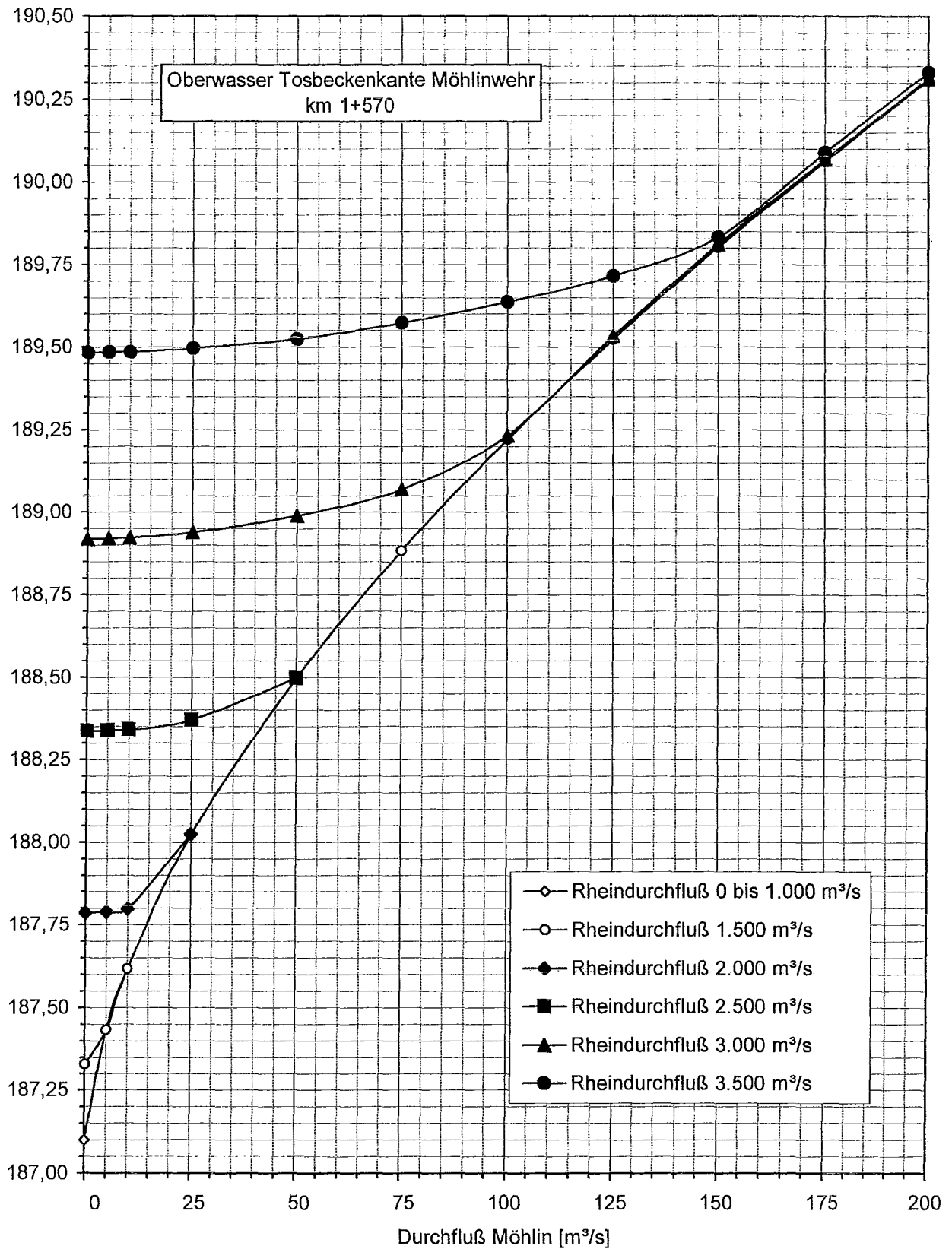


Bild 9: Abflußkurve im Oberwasser der Tosbeckenkante am Möhlinwehr

5. BERECHNUNG VON LEISTUNGSKURVEN FÜR DAS MÖHLINWEHR

Die Leistungskurven für das Möhlinwehr wurden auf der Grundlage der Bauwerkspläne des Möhlinwehrs (s. Abschnitt 2) erstellt. Die Leistungskurven bei voll geöffnetem Segment wurden mit Hilfe der im Abschnitt 3.4 beschriebenen Ansätze, die Leistungskurven bei teilgeöffnetem Segment nach dem im Abschnitt 3.6.2 erläuterten Verfahren berechnet.

Zusätzlich wurde im Bereich der Flügelmauern im Oberwasser des Möhlinwehrs entsprechend einem Öffnungswinkel von 45° ein Verengungsverlust vom 0,3-fachen der Differenz der Geschwindigkeitshöhen im unmittelbaren Wehroberwasser und im Oberwasser der Flügelmauern angesetzt.

Der Unterwasserstand am Möhlinwehr wurde den Abflußkurven im Oberwasser der Tosbeckenkante entnommen (Bild 9, Abschnitt 4).

Die so berechneten Leistungskurven für das Möhlinwehr im Oberwasser der Flügelmauern sind als Diagramme in den Bildern 10 bis 13 und als Tabellen in den Anlagen B dargestellt, und zwar

- für Gesamtrheindurchflüsse von bis 2.000 m³/s in Bild 10 und Anlage B-1,
- für einen Gesamtrheindurchfluß von 2.500 m³/s in Bild 11 und Anlage B-2,
- für einen Gesamtrheindurchfluß von 3.000 m³/s in Bild 12 und Anlage B-3 sowie
- für einen Gesamtrheindurchfluß von 3.500 m³/s in Bild 13 und Anlage B-4.

Aus einer früheren Untersuchung lagen bereits Leistungskurven für das Möhlinwehr vor. Diese Leistungskurven wurden, abweichend von der vorliegenden Untersuchung, auf folgender Grundlage bestimmt:

- Vernachlässigung des Rückstaus vom Unterwasser, d.h. es wurde bei voll geöffnetem Segment ein vollkommener Überfall ($C_R = 1$ in Gleichung 3.15) und bei teilgeöffnetem Segment freier Ausfluß ($\Delta h_{e,s} = h_{e,ow} - h_{p,su,f}$ in Gleichung 3.23) angenommen.
- Bei der Berechnung der Leistungskurve für den Wehrüberfall bei vollgeöffnetem Segment wurde in Gleichung (3.15) vereinfachend statt der Energiehöhe $h_{e,ow}$ der Wasserstand im Wehroberwasser und ein konstanter Überfallbeiwert $C_{\bar{0}}$ von 0,7 angesetzt.
- Die Ermittlung der Durchflüsse bei teilgeöffnetem Segment erfolgte auf der Grundlage der Gleichung (3.24) in Abschnitt 3.6, wobei für den Ausflußbeiwert C_q eine Funktion

$$C_q = f(h_{w,ow}, \Theta)$$

für Segmentschütze mit horizontaler Bauwerkssohle (Abschnitt 3.6.1, $z = h_{wk}$) aus Schröder, Euler, Schneider, Knauf: „Grundlagen des Wasserbaus“, Werner-Verlag, Düsseldorf, 1994 verwandt wurde.

Es resultierten für Schützöffnungsweiten von 1 m Ausflußbeiwerte zwischen 0,57 und 0,62 und für Schützöffnungsweiten von 2 m Ausflußbeiwerte zwischen 0,56 und 0,57.

In Tabelle 1 sind die Leistungskurven aus der früheren Untersuchung („alte Leistungskurven“) für das vollgeöffnete Segment und für Segmentöffnungsweiten von 1 m und 2 m dargestellt. In der Tabelle 2 sind die entsprechenden Leistungskurven aus der vorliegenden Untersuchung („neue Leistungskurven“) und die Differenz zu den alten Leistungskurven für die untersuchten Gesamtrheindurchflüsse enthalten.

Die Differenzen zwischen den alten und den neuen Leistungskurven sind im Wesentlichen wie folgt begründet:

- Bei der Ermittlung der neuen Leistungskurven wurde der Einfluß des Wehrunterwassers mit berücksichtigt. Der rückstaubehaftete Bereich ist in den Bildern 11 bis 13 eingetragen (bei Gesamtrheindurchflüssen bis 2.000 m³/s erfolgt der Abfluß im gesamten Durchflußspektrum der Möhlin rückstaufrei).
- Die Überfallbeiwerte für den Wehrüberfall bei voll geöffnetem Segment wurden in der vorliegenden Untersuchung in jedem Berechnungsfall aus der Wehrgeometrie und der Oberwasserenergiehöhe bestimmt (s. Abschnitt 3.4). Es resultierten im rückstaufreien Bereich Überfallbeiwerte zwischen 0,59 und 0,66 (s. Tabelle 3) und damit gegenüber den alten Leistungskurven eine um ca. 6% bis 16% reduzierte Durchflußleistung.
- Die Durchflüsse bei teilgeöffnetem Segment wurden in der vorliegenden Untersuchung nach dem in Abschnitt 3.6.2 beschriebenen Verfahren für Segmentverschlüsse, die auf ein rundkroniges Wehr aufgesetzt sind, berechnet. Die Ausflußbeiwerte m nach Gleichung (3.28) wurden zum Vergleich mit den alten Leistungskurven in C_q -Werte nach Gleichung (3.24) umgerechnet. Es ergaben sich im rückstaufreien Bereich bei einer Segmentöffnungsweite von 1 m C_q -Werte von 0,65 bis 0,75 und bei einer Segmentöffnungsweite von 2 m C_q -Werte von 0,59 bis 0,65 (s. Tabelle 4). Die Durchflußerhöhungen gegenüber der alten Leistungskurve betragen damit bei einer Segmentöffnungsweite von 1 m zwischen 14% und 19% und bei einer Segmentöffnungsweite von 2 m zwischen 5% und 14%.

Wasserspiegel [m+NN]

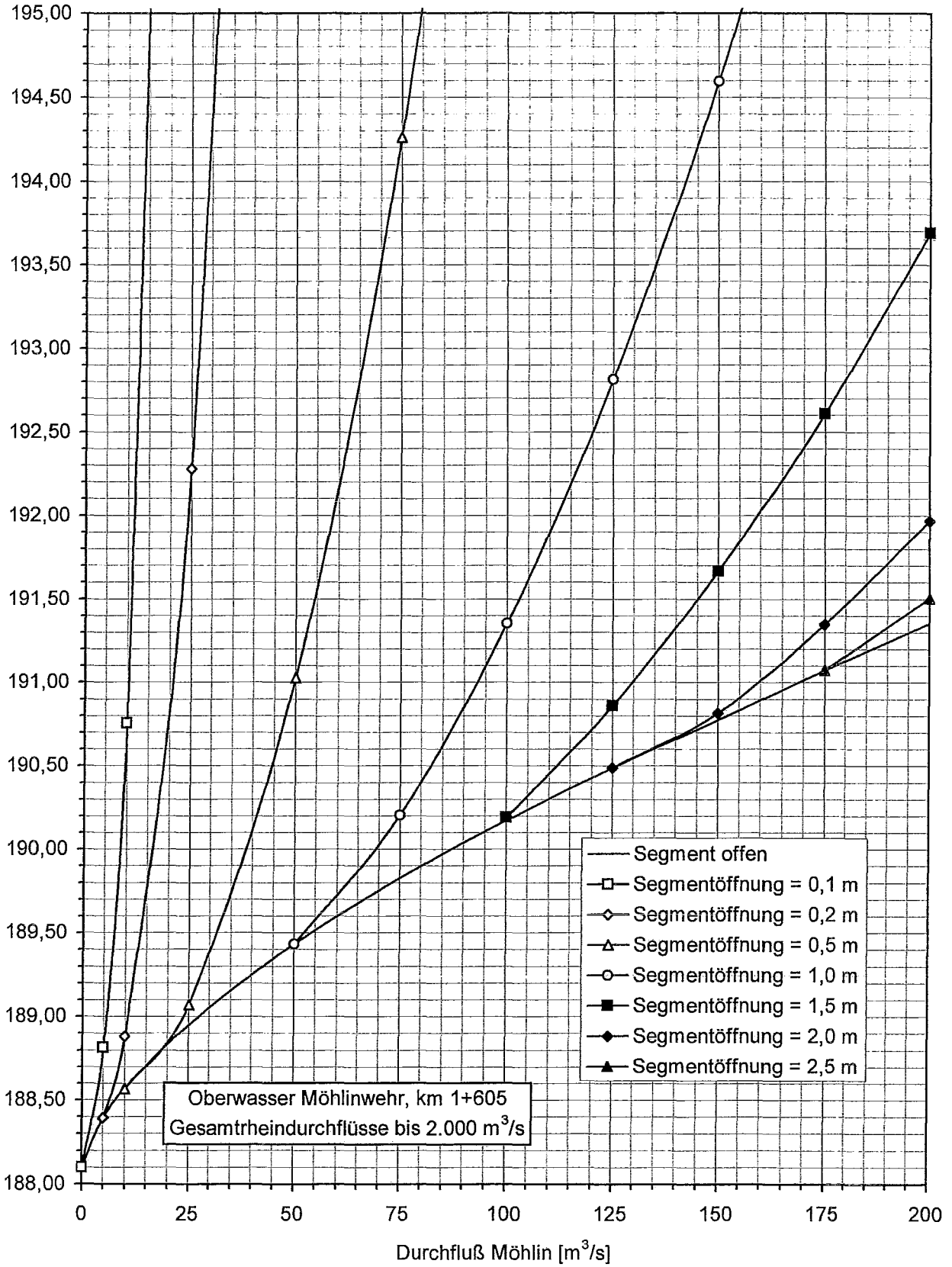


Bild 10: Leistungskurven Möhlinwehr, Gesamtrheindurchflüsse bis 2.000 m³/s

Wasserspiegel [m+NN]

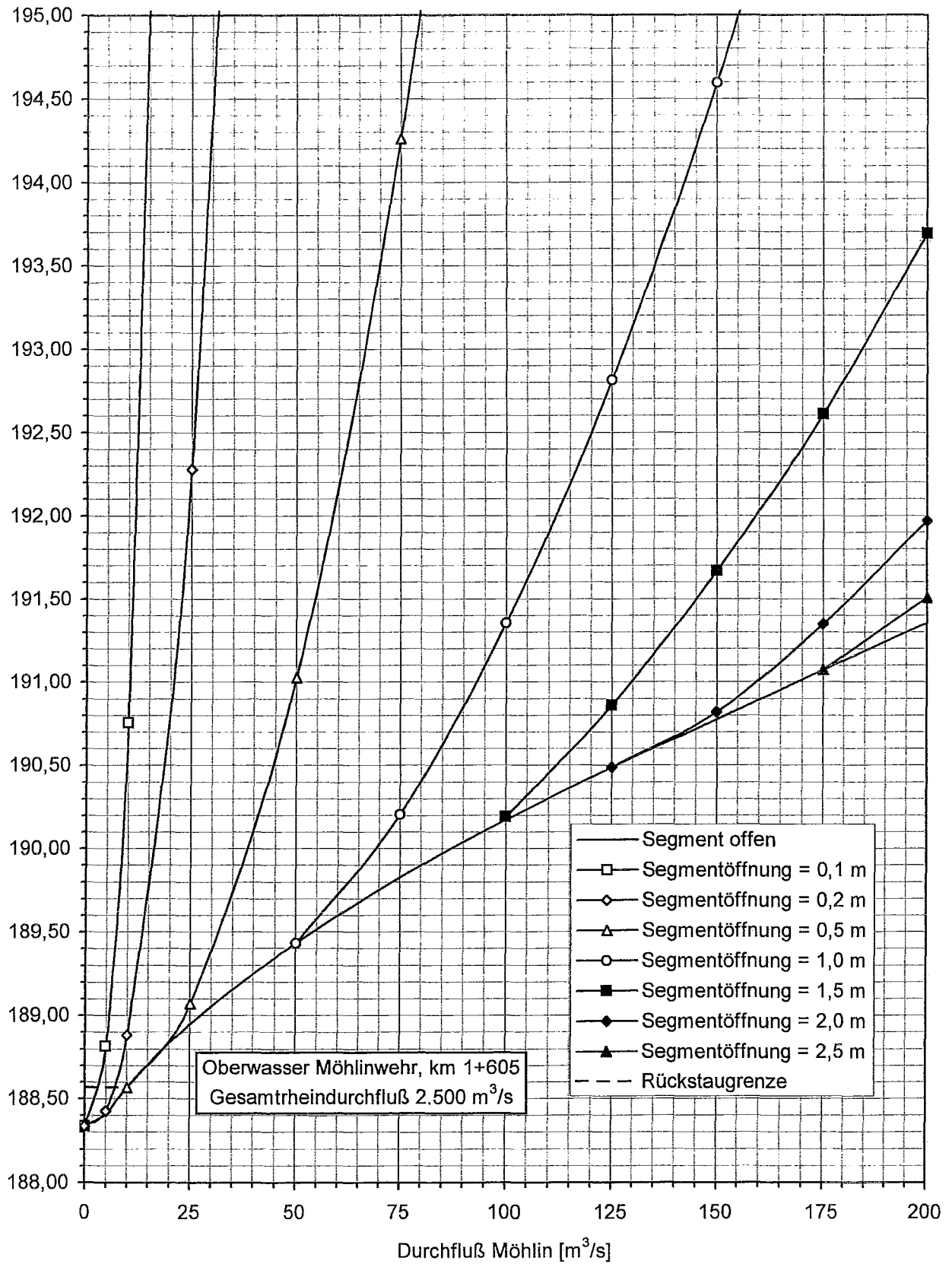


Bild 11: Leistungskurven Möhlinwehr, Gesamtrheindurchfluß 2.500 m³/s

Wasserspiegel [m+NN]

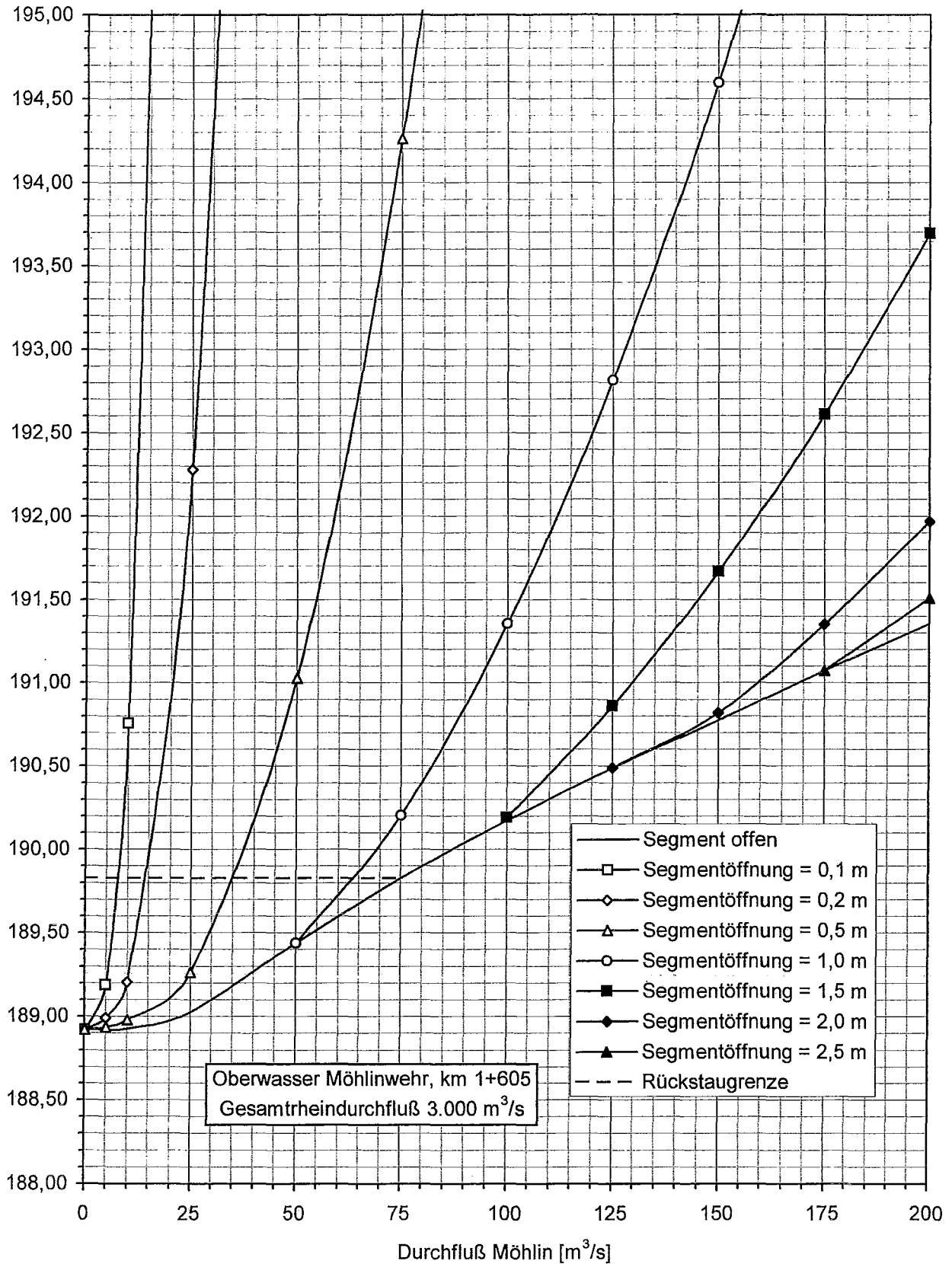


Bild 12: Leistungskurven Möhlinwehr, Gesamtrheindurchfluß 3.000 m³/s

Wasserspiegel [m+NN]

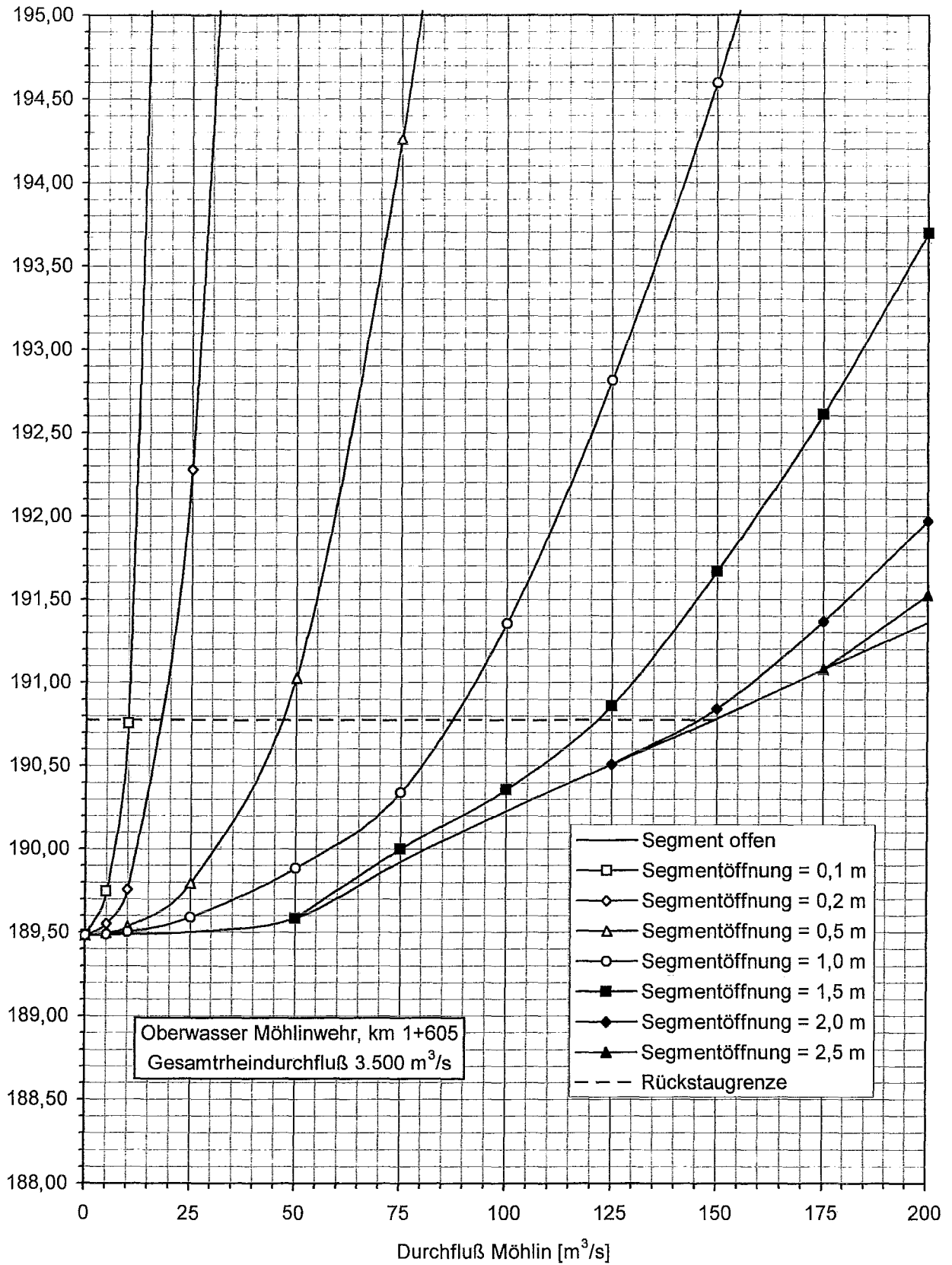


Bild 13: Leistungskurven Möhlinwehr, Gesamtrheindurchfluß 3.500 m³/s

$h_{w,ow}$ [m+NN]	Durchfluß [m³/s] bei		
	offenem Segment	Segmentöffnungsweite [m]	
		1	2
189,10	37,40	37,40	37,40
190,10	105,84	64,00	105,84
191,10	194,48	80,00	156,00
192,10	299,20	96,00	179,00
193,10	418,13	109,00	200,00
194,10	549,78	121,00	223,00

Tabelle 1: Alte Leistungskurven für das Möhlinwehr

Gesamtrheindurchflüsse bis 2.500 m³/s						
$h_{w,ow}$ [m+NN]	Durchfluß und Durchflußdifferenz (neu-alt) [m³/s] bei					
	offenem Segment		Segmentöffnungsweite [m]			
			1		2	
Q	ΔQ	Q	ΔQ	Q	ΔQ	
189,10	32,02	- 5,38	32,02	- 5,38	32,02	- 5,38
190,10	94,76	-11,08	72,89	8,89	94,76	-11,08
191,10	177,58	-16,90	95,00	15,00	164,08	8,08
192,10			113,40	17,40		
193,10			129,21	20,21		
194,10			143,81	22,81		
Gesamtrheindurchfluß 3.000 m³/s						
$h_{w,ow}$ [m+NN]	Durchfluß und Durchflußdifferenz (neu-alt) [m³/s] bei					
	offenem Segment		Segmentöffnungsweite [m]			
			1		2	
Q	ΔQ	Q	ΔQ	Q	ΔQ	
189,10	30,00	- 7,40	30,00	- 7,40	30,00	- 7,40
190,10	94,76	-11,08	72,89	8,89	94,76	-11,08
191,10	177,58	-16,90	95,00	15,00	164,08	8,08
192,10			113,40	17,40		
193,10			129,21	20,21		
194,10			143,81	22,81		
Gesamtrheindurchfluß 3.500 m³/s						
$h_{w,ow}$ [m+NN]	Durchfluß und Durchflußdifferenz (neu-alt) [m³/s] bei					
	offenem Segment		Segmentöffnungsweite [m]			
			1		2	
Q	ΔQ	Q	ΔQ	Q	ΔQ	
189,48	0,00	-37,40	0,00	-37,40	0,00	-37,40
190,10	89,08	-16,76	64,62	0,62	89,08	-16,76
191,10	177,58	-16,90	95,00	15,00	164,08	8,08
192,10			113,40	17,40		
193,10			129,21	20,21		
194,10			143,81	22,81		

Tabelle 2: Neue Leistungskurven für das Möhlinwehr

$Q_{\text{Möhlín}}$ [m ³ /s]	für Gesamtrheindurchflüsse [m ³ /s]							
	bis 2.000		2.500		3.000		3.500	
	$C_{\text{Ü}}$	C_{R}	$C_{\text{Ü}}$	C_{R}	$C_{\text{Ü}}$	C_{R}	$C_{\text{Ü}}$	C_{R}
5	0,59	1,00	0,59	0,94	0,60	0,19	0,61	0,10
10	0,59	1,00	0,59	1,00	0,60	0,41	0,61	0,19
25	0,60	1,00	0,60	1,00	0,60	0,87	0,61	0,46
50	0,61	1,00	0,61	1,00	0,61	0,99	0,62	0,85
75	0,62	1,00	0,62	1,00	0,62	1,00	0,62	0,92
100	0,63	1,00	0,63	1,00	0,63	1,00	0,63	0,96
125	0,64	1,00	0,64	1,00	0,64	1,00	0,64	0,98
150	0,64	1,00	0,64	1,00	0,64	1,00	0,64	1,00
175	0,65	0,99	0,65	0,99	0,65	0,98	0,65	0,98
200	0,66	0,97	0,66	0,97	0,66	0,97	0,66	0,97

Tabelle 3: Überfallbeiwerte $C_{\text{Ü}}$ und Rückstaukoeffizienten C_{R} für den Wehrrücken des Möhlínwehrs (neue Leistungskurven)

$Q_{\text{Möhlín}}$ [m ³ /s]	für Gesamtrheindurchflüsse [m ³ /s]							
	bis 2.000		2.500		3.000		3.500	
	s = 1 m	s = 2 m	s = 1 m	s = 2 m	s = 1 m	s = 2 m	s = 1 m	s = 2 m
5							0,05	
10							0,11	
25							0,26	
50							0,47	
75	0,65		0,65		0,65		0,63	
100	0,70		0,70		0,70		0,70	
125	0,73		0,73		0,73		0,73	
150	0,74	0,59	0,74	0,59	0,74	0,58	0,74	0,58
175	0,75	0,62	0,75	0,62	0,75	0,62	0,75	0,62
200		0,65		0,65		0,65		0,65

Tabelle 4: Ausflußbeiwerte C_{q} nach Gleichung (3.24) für den Segmentverschluß des Möhlínwehrs (neue Leistungskurven)

ANLAGEN A

TABELLARISCHE ABFLUSSKURVEN FÜR DIE MÖHLIN ZWISCHEN MÜNDUNG UND MÖHLINWEHR

INHALT DER ANLAGEN A

- Anlage A-1: Abflußkurven im Oberwasser der Brücke an der Möhlinmündung (km 0+014)
- Anlage A-2: Abflußkurven im Unterwasser der Möhlinschwelle (km 0+360)
- Anlage A-3: Abflußkurven im Oberwasser der Möhlinschwelle
- Anlage A-4: Abflußkurven im Oberwasser der neuen Brücke zum Sportplatz (km 0+775)
- Anlage A-5: Abflußkurven im Unterwasser der Toßbeckenkante am Möhlinwehr (km 1+570)
- Anlage A-6: Abflußkurven im Oberwasser der Toßbeckenkante am Möhlinwehr

ANLAGE A-1: ABFLUSSKURVEN IM OBERWASSER DER BRÜCKE
AN DER MÖHLINMÜNDUNG (KM 0+014)

Q _{Möhl} [m ³ /s]	Gesamtrheindurchfluß [m ³ /s]							
	0	500	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	3.500
0	186,60	186,69	186,93	187,33	187,79	188,34	188,920	189,484
5	186,60	186,69	186,93	187,33	187,79	188,34	188,920	189,484
10	186,60	186,70	186,93	187,33	187,79	188,34	188,920	189,484
25	186,61	186,71	186,94	187,34	187,79	188,34	188,923	189,487
50	186,69	186,76	186,97	187,36	187,81	188,35	188,932	189,494
75	187,04	187,04	187,06	187,40	187,83	188,37	188,947	189,507
100	187,38	187,38	187,38	187,48	187,88	188,40	188,969	189,525
125	187,71	187,71	187,71	187,71	187,94	188,44	188,999	189,549
150	188,02	188,02	188,02	188,02	188,04	188,49	189,037	189,579
175	188,31	188,31	188,31	188,31	188,31	188,57	189,087	189,616
200	188,60	188,60	188,60	188,60	188,60	188,67	189,148	189,662

ANLAGE A-2: ABFLUSSKURVEN IM UNTERWASSER
 DER MÖHLINSCHWELLE (KM 0+360)

Q _{Möhl} [m ³ /s]	Gesamtrheindurchfluß [m ³ /s]							
	0	500	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	3.500
0	186,60	186,69	186,93	187,33	187,79	188,34	188,920	189,484
5	186,61	186,70	186,94	187,33	187,79	188,34	188,920	189,484
10	186,65	186,73	186,95	187,34	187,79	188,34	188,921	189,484
25	186,85	186,90	187,06	187,39	187,82	188,36	188,930	189,491
50	187,25	187,27	187,34	187,56	187,91	188,40	188,961	189,511
75	187,65	187,65	187,65	187,78	188,05	188,48	189,007	189,543
100	188,00	188,00	188,00	188,03	188,22	188,59	189,076	189,591
125	188,31	188,31	188,31	188,31	188,41	188,72	189,160	189,647
150	188,61	188,61	188,61	188,61	188,62	188,86	189,260	189,718
175	188,89	188,89	188,89	188,89	188,89	189,03	189,372	189,798
200	189,16	189,16	189,16	189,16	189,16	189,20	189,496	189,888

ANLAGE A-3: ABFLUSSKURVEN IM OBERWASSER
 DER MÖHLINSCHWELLE (KM 0+360)

Q _{Möhl} [m ³ /s]	Gesamtrheindurchfluß [m ³ /s]							
	0	500	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	3.500
0	187,10	187,10	187,10	187,33	187,79	188,34	188,920	189,484
5	187,37	187,37	187,37	187,38	187,79	188,34	188,920	189,484
10	187,52	187,52	187,52	187,52	187,79	188,34	188,921	189,484
25	187,84	187,84	187,84	187,84	187,89	188,35	188,929	189,490
50	188,19	188,19	188,19	188,19	188,21	188,40	188,958	189,509
75	188,47	188,47	188,47	188,47	188,48	188,56	188,999	189,538
100	188,70	188,70	188,70	188,70	188,71	188,78	189,065	189,582
125	188,91	188,91	188,91	188,91	188,92	188,98	189,146	189,634
150	189,13	189,13	189,13	189,13	189,13	189,17	189,274	189,701
175	189,33	189,33	189,33	189,33	189,33	189,35	189,428	189,778
200	189,52	189,52	189,52	189,52	189,52	189,53	189,585	189,864

ANLAGE A-4: ABFLUSSKURVEN IM OBERWASSER DER NEUEN
BRÜCKE ZUM SPORTPLATZ (KM 0+775)

Q _{Möhl} [m ³ /s]	Gesamtrheindurchfluß [m ³ /s]							
	0	500	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	3.500
0	187,10	187,10	187,10	187,33	187,79	188,34	188,920	189,484
5	187,37	187,37	187,37	187,39	187,79	188,34	188,921	189,485
10	187,53	187,53	187,53	187,53	187,79	188,34	188,922	189,484
25	187,85	187,85	187,85	187,85	187,90	188,36	188,935	189,494
50	188,23	188,23	188,23	188,23	188,25	188,43	188,976	189,520
75	188,53	188,53	188,53	188,53	188,54	188,62	189,038	189,564
100	188,80	188,80	188,80	188,80	188,80	188,86	189,131	189,624
125	189,03	189,03	189,03	189,03	189,04	189,09	189,241	189,699
150	189,27	189,27	189,27	189,27	189,27	189,31	189,396	189,787
175	189,49	189,49	189,49	189,49	189,49	189,51	189,576	189,891
200	189,70	189,70	189,70	189,70	189,70	189,70	189,754	190,002

ANLAGE A-5: ABFLUSSKURVEN IM UNTERWASSER DER
TOSBECKENKANTE AM MÖHLINWEHR (KM 1+570)

Q _{Möhl} [m ³ /s]	Gesamtrheindurchfluß [m ³ /s]							
	0	500	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	3.500
0	187,10	187,10	187,10	187,33	187,79	188,34	188,920	189,484
5	187,37	187,37	187,37	187,39	187,79	188,34	188,921	189,485
10	187,53	187,53	187,53	187,53	187,80	188,34	188,924	189,485
25	187,88	187,88	187,88	187,88	187,93	188,37	188,940	189,497
50	188,28	188,28	188,28	188,28	188,30	188,47	188,991	189,526
75	188,60	188,60	188,60	188,60	188,61	188,68	189,070	189,574
100	188,88	188,88	188,88	188,88	188,88	188,94	189,175	189,639
125	189,11	189,11	189,11	189,11	189,12	189,17	189,295	189,717
150	189,34	189,34	189,34	189,34	189,34	189,37	189,453	189,806
175	189,55	189,55	189,55	189,55	189,55	189,57	189,622	189,904
200	189,74	189,74	189,74	189,74	189,74	189,74	189,785	190,008

ANLAGE A-6: ABFLUSSKURVEN IM OBERWASSER DER
TOSBECKENKANTE AM MÖHLINWEHR (KM 1+570)

Q _{Möhl} [m ³ /s]	Gesamtrheindurchfluß [m ³ /s]							
	0	500	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	3.500
0	187,10	187,10	187,10	187,33	187,79	188,34	188,920	189,484
5	187,43	187,43	187,43	187,43	187,79	188,34	188,921	189,485
10	187,62	187,62	187,62	187,62	187,80	188,34	188,924	189,485
25	188,02	188,02	188,02	188,02	188,02	188,37	188,940	189,497
50	188,50	188,50	188,50	188,50	188,50	188,50	188,991	189,526
75	188,88	188,88	188,88	188,88	188,88	188,89	189,069	189,574
100	189,22	189,22	189,22	189,22	189,22	189,22	189,234	189,638
125	189,52	189,52	189,52	189,52	189,52	189,53	189,535	189,715
150	189,80	189,80	189,80	189,80	189,80	189,81	189,811	189,834
175	190,06	190,06	190,06	190,06	190,06	190,06	190,069	190,090
200	190,31	190,31	190,31	190,31	190,31	190,31	190,313	190,331

ANLAGEN B

TABELLARISCHE LEISTUNGSKURVEN FÜR DAS MÖHLINWEHR

INHALT DER ANLAGEN B

Anlage B-1: Leistungskurven für Gesamtrheindurchflüsse bis 2.000 m³/s

Anlage B-2: Leistungskurven für einen Gesamtrheindurchfluß von 2.500 m³/s

Anlage B-3: Leistungskurven für einen Gesamtrheindurchfluß von 3.000 m³/s

Anlage B-4: Leistungskurven für einen Gesamtrheindurchfluß von 3.500 m³/s

ANLAGE B-1: LEISTUNGSKURVEN FÜR GESAMTRHEINDURCHFLOSSSE
BIS 2.000 M³/S

B-1

Q Möhlin [m³/s]	Segment offen	Segmentöffnungsweite [m]									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	188,100	188,100									
5,0	188,396	188,815	188,396	188,396							
10,0	188,567	190,756	188,882	188,578	188,567	188,567					
25,0	188,951	204,331	192,280	190,102	189,379	189,071	188,951	188,951	188,951	188,951	
50,0	189,433		204,401	195,492	192,417	191,028	190,301	189,883	189,629	189,469	189,433
75,0	189,827				197,469	194,264	192,552	191,544	190,910	190,492	190,207
100,0	190,174					198,789	195,695	193,856	192,685	191,899	191,354
125,0	190,488							196,827	194,960	193,699	192,814
150,0	190,776									195,896	194,597
175,0	191,073										196,700
200,0	191,354										
Q Möhlin [m³/s]	Segmentöffnungsweite [m]										
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
0,0											
5,0											
10,0											
25,0											
50,0	189,433	189,433									
75,0	190,009	189,869	189,827	189,827	189,827						
100,0	190,964	190,679	190,468	190,310	190,190	190,174	190,174				
125,0	192,176	191,702	191,345	191,072	190,862	190,697	190,568	190,488	190,488	190,488	
150,0	193,650	192,944	192,407	191,992	191,667	191,410	191,205	191,040	190,907	190,816	190,776
175,0	195,390	194,408	193,656	193,072	192,610	192,243	191,946	191,706	191,508	191,348	191,271
200,0		196,094	195,094	194,313	193,693	193,197	192,794	192,464	192,194	191,969	191,794
Q Möhlin [m³/s]	Segmentöffnungsweite [m]										
	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8				
0,0											
5,0											
10,0											
25,0											
50,0											
75,0											
100,0											
125,0											
150,0	190,776	190,776	190,776								
175,0	191,203	191,145	191,094	191,073	191,073	191,073	191,073				
200,0	191,709	191,633	191,567	191,507	191,454	191,407	191,364				

ANLAGE B-2: LEISTUNGSKURVEN FÜR EINEN GESAMTRHEINDURCHFLOSS
VON 2.500 M³/S

Q Möhlin [m ³ /s]	Segment offen	Segmentöffnungsweite [m]									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	188,337	188,337	188,337								
5,0	188,409	188,815	188,426	188,409							
10,0	188,567	190,756	188,882	188,578	188,567	188,567					
25,0	188,951	204,331	192,280	190,102	189,379	189,071	188,951	188,951	188,951	188,951	
50,0	189,433		204,401	195,492	192,417	191,028	190,301	189,883	189,629	189,469	189,433
75,0	189,827				197,469	194,264	192,552	191,544	190,910	190,492	190,207
100,0	190,174					198,789	195,695	193,856	192,685	191,899	191,354
125,0	190,488							196,827	194,960	193,699	192,814
150,0	190,776									195,896	194,597
175,0	191,073										196,700
200,0	191,354										
Q Möhlin [m ³ /s]	Segmentöffnungsweite [m]										
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
0,0											
5,0											
10,0											
25,0											
50,0	189,433	189,433									
75,0	190,009	189,869	189,827	189,827	189,827						
100,0	190,964	190,679	190,468	190,310	190,190	190,174	190,174				
125,0	192,176	191,702	191,345	191,072	190,862	190,697	190,568	190,488	190,488	190,488	
150,0	193,650	192,944	192,407	191,992	191,667	191,410	191,205	191,040	190,907	190,819	190,776
175,0	195,390	194,408	193,656	193,072	192,610	192,243	191,946	191,706	191,508	191,348	191,272
200,0		196,094	195,094	194,313	193,693	193,197	192,794	192,464	192,194	191,969	191,794
Q Möhlin [m ³ /s]	Segmentöffnungsweite [m]										
	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8				
0,0											
5,0											
10,0											
25,0											
50,0											
75,0											
100,0											
125,0											
150,0	190,776	190,776	190,776								
175,0	191,204	191,146	191,095	191,073	191,073	191,073	191,073				
200,0	191,709	191,633	191,567	191,507	191,454	191,407	191,364				

B-2

Q Möhlin [m³/s]	Segment offen	Segmentöffnungsweite [m]									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	188,920	188,920	188,920	188,920	188,920	188,920	188,920	188,920			
5,0	188,922	189,187	188,993	188,955	188,942	188,935	188,932	188,930			
10,0	188,927	190,756	189,204	189,058	189,006	188,981	188,967	188,958	188,927		
25,0	189,028	204,331	192,280	190,102	189,411	189,264	189,182	189,130	189,096	189,028	
50,0	189,439		204,401	195,491	192,418	191,028	190,300	189,882	189,629	189,469	189,439
75,0	189,827				197,469	194,264	192,552	191,544	190,910	190,492	190,207
100,0	190,174					198,789	195,695	193,856	192,685	191,899	191,354
125,0	190,488							196,827	194,960	193,699	192,814
150,0	190,776									195,896	194,597
175,0	191,074										196,700
200,0	191,355										
Q Möhlin [m³/s]	Segmentöffnungsweite [m]										
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
0,0											
5,0											
10,0											
25,0											
50,0	189,439	189,439									
75,0	190,009	189,869	189,827	189,827	189,827						
100,0	190,964	190,679	190,468	190,310	190,190	190,174	190,174				
125,0	192,176	191,702	191,345	191,072	190,862	190,697	190,568	190,488	190,488	190,488	
150,0	193,650	192,944	192,407	191,992	191,667	191,410	191,205	191,040	190,907	190,821	190,776
175,0	195,390	194,408	193,656	193,071	192,610	192,242	191,946	191,706	191,508	191,351	191,275
200,0		196,094	195,094	194,313	193,694	193,197	192,794	192,465	192,194	191,969	191,797
Q Möhlin [m³/s]	Segmentöffnungsweite [m]										
	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8				
0,0											
5,0											
10,0											
25,0											
50,0											
75,0											
100,0											
125,0											
150,0	190,776	190,776	190,776								
175,0	191,208	191,149	191,098	191,074	191,074	191,074	191,074				
200,0	191,711	191,636	191,568	191,509	191,457	191,409	191,366				

ANLAGE B-4: LEISTUNGSKURVEN FÜR EINEN GESAMTRHEINDURCHFLOSS VON 3.500 M³/S

Q Möhlin [m ³ /s]	Segment offen	Segmentöffnungsweite [m]									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	189,484	189,484	189,484	189,484	189,484	189,484	189,484	189,484	189,484	189,484	189,484
5,0	189,485	189,746	189,553	189,516	189,503	189,497	189,494	189,492	189,490	189,489	189,489
10,0	189,489	190,756	189,759	189,614	189,562	189,537	189,524	189,516	189,510	189,506	189,503
25,0	189,503	204,331	192,280	190,259	189,944	189,797	189,715	189,664	189,631	189,608	189,591
50,0	189,585		204,401	195,492	192,418	191,028	190,356	190,165	190,039	189,951	189,886
75,0	189,925				197,469	194,264	192,552	191,544	190,911	190,492	190,341
100,0	190,230					198,790	195,696	193,857	192,685	191,899	191,354
125,0	190,511							196,827	194,960	193,701	192,814
150,0	190,784									195,896	194,596
175,0	191,080										196,700
200,0	191,360										
Q Möhlin [m ³ /s]	Segmentöffnungsweite [m]										
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
0,0	189,484	189,484	189,484								
5,0	189,488	189,488	189,487								
10,0	189,501	189,500	189,499								
25,0	189,578	189,569	189,561								
50,0	189,839	189,800	189,772	189,585	189,585	189,585					
75,0	190,237	190,157	190,094	190,043	190,001	189,967	189,925				
100,0	190,964	190,679	190,516	190,429	190,357	190,298	190,249	190,230			
125,0	192,176	191,702	191,345	191,072	190,861	190,697	190,621	190,557	190,511	190,511	190,511
150,0	193,650	192,944	192,408	191,992	191,667	191,410	191,205	191,040	190,908	190,842	190,784
175,0	195,390	194,408	193,656	193,071	192,610	192,242	191,946	191,705	191,508	191,367	191,292
200,0		196,094	195,094	194,312	193,694	193,197	192,794	192,465	192,193	191,970	191,811
Q Möhlin [m ³ /s]	Segmentöffnungsweite [m]										
	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8				
0,0											
5,0											
10,0											
25,0											
50,0											
75,0											
100,0											
125,0											
150,0	190,784	190,784	190,784								
175,0	191,225	191,166	191,114	191,080	191,080	191,080	191,080				
200,0	191,725	191,651	191,584	191,524	191,471	191,424	191,381				

B-4

