



**IBAAarau Kraftwerk AG**

*Obere Vorstadt 37  
5001 Aarau*

---

## **Erneuerung Kraftwerk Aarau – Konzessions- und Bauprojekt –**

**Beilage 11 zum Technischen Bericht:  
Ergänzende hydraulische Berechnungen**

**Gesuch vom 23. Oktober 2013**

---

**Ingenieurgemeinschaft KW Aarau**

**IM** Engineering | **IUB** Engineering

**ANL** ■  
AG NATUR UND LANDSCHAFT



---

Bern / Locarno / Aarau, 23. Oktober 2013

## Impressum

### Bauherrschaft

IBAAarau Kraftwerk AG  
Obere Vorstadt 37  
5001 Aarau

Projektleitung  
Hansjürg Tschannen

### Autoren

#### *IG KW Aarau*

IUB Engineering AG, Bern

Peter Billeter  
Monika Boss  
Adrian Huber

ANL AG für Natur und Landschaft, Aarau

Heiner Keller

## Änderungsverzeichnis

Version	Datum	Kommentar	Status
0.1	27.05.2013	Erstellung	Entwurf
0.2	19.08.2013	Überarbeitung	Entwurf
1.0	23.10.2013	Gesuch (Auflage)	

# Inhaltsverzeichnis

<b>IMPRESSUM</b> .....	<b>2</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>3</b>
<b>1 AUSGANGSLAGE</b> .....	<b>4</b>
<b>2 GRUNDLAGEN</b> .....	<b>4</b>
<b>3 1D-STAUKURVENRECHNUNGEN</b> .....	<b>5</b>
3.1 VORGEHEN UND SZENARIEN .....	5
3.2 RESULTATE .....	5
<b>4 2D-BERECHNUNGEN</b> .....	<b>7</b>
4.1 METHODIK.....	7
4.2 RESULTATE .....	8
4.2.1 Anströmung der Fischpässe .....	8
4.2.2 Strömungsverteilung beim Zusammenfluss von Restwasserstrecke und UW-Kanal .....	8
<b>5 SCHLUSSBEMERKUNG</b> .....	<b>9</b>
<b>ANHANG TEIL 1: 1D-BERECHNUNGEN</b> .....	<b>10</b>
TEIL 1A: QUERPROFILE.....	10
TEIL 1B: LÄNGENPROFILE.....	14
TEIL 1C: WASSERSPIEGELLAGEN PRO QUERPROFIL.....	16
TEIL 1D: MITTLERE FLIESSGESCHWINDIGKEITEN PRO QUERPROFIL .....	20
TEIL 1E: MITTLERE FLIESSGESCHWINDIGKEITEN IN DER RESTWASSERSTRECKE.....	24
<b>ANHANG TEIL 2: 2D-BERECHNUNGEN</b> .....	<b>26</b>
TEIL 2A: TIEFENGEMITTELTE FLIESSGESCHWINDIGKEIT $Q_1$ .....	26
TEIL 2B: TIEFENGEMITTELTE FLIESSGESCHWINDIGKEIT $Q_{67}$ .....	29
TEIL 2C: TIEFENGEMITTELTE FLIESSGESCHWINDIGKEIT $Q_M$ .....	32
TEIL 2D: TIEFENGEMITTELTE FLIESSGESCHWINDIGKEIT $Q_{347}$ .....	35

## 1 Ausgangslage

Im Rahmen des Konzessions- und Bauprojekts Erneuerung KW Aarau wurden ergänzende hydraulische Berechnungen mittels 1- und 2-dimensionaler numerische Modelle (1D- und 2D-Berechnungen) durchgeführt.

Einerseits dienen **1D-Staukurvenrechnungen** (HecRas) als Entscheidungsgrundlage für die Wahl der Restwassermenge und sind eine Ergänzung zu den Erkenntnissen der Dotierversuche, die im Restwasserbericht (Beilage 6) beschrieben sind.

Andererseits soll anhand von **2D-Berechnungen** mittels der numerischen Simulation der tiefengemittelten Flachwassergleichung (Modell HYDRO-AS-2D) die Strömungsvariabilität im Unterwasser des KW Aarau sowie beim Zusammenfluss von Restwasserstrecke und UW-Kanal und in der Restwasserstrecke unterhalb dem Wehr Schönenwerd modelliert werden.

## 2 Grundlagen

Folgende Grundlagen wurden für die Erstellung des Berechnungsnetzes, der Kalibrierung des Modells und der Definition der Lastfälle verwendet:

- Sohlenaufnahmen UW KW Aarau, Terra Vermessungen, Zürich, 11.01.2008
- BAFU Querprofile Alte Aare, Wöschnau – Aarau, Datenlieferung 02.04.2009
- Digitales Terrainmodell, Aarau, Datenlieferung 01.11.2010
- Digitales Terrainmodell, Kt. Solothurn, Datenlieferung 27.07.2011
- Längsschnitt Zentrale 1, Plan 3716a, 1955
- Grundriss Zentrale 1
- Diverse Pläne Zentrale 2, Erneuerung KW Aarau, Gesuch zur Vorprüfung, 22.10.2012
- Technischer Bericht, Erneuerung KW Aarau, Gesuch zur Vorprüfung, 22.10.2012
- Restwasserbericht, Erneuerung KW Aarau, Gesuch zur Vorprüfung, 23.10.2013
- Ertüchtigung Fischpass KW Aarau, Colenco, Juni 2003
- Übersichtsplan 1:5'000, Aarau, Datenlieferung 05.11.2010
- Übersichtsplan 1:10'000, Kt. Solothurn, Stand 2008
- PQ-Beziehung obere Konzessionsgrenze KW Rüchlig neu, NOK

## 3 1D-Staukurvenrechnungen

### 3.1 Vorgehen und Szenarien

Für die hydraulischen 1D-Staukurvenrechnungen werden die BAFU-Querprofile der Restwasserstrecke verwendet. Es werden verschiedene Restwasserabflüsse (10, 15, 20, 25, 30 und 40 m<sup>3</sup>/s) im Alten Aarelauf betrachtet. Die Restwasserszenarien werden für 130, 180, 300 und 420 m<sup>3</sup>/s Abfluss in der Aare aufgezeigt.

In ausgewählten Querprofilen (Standorte siehe Abb. 1) werden die Wasserspiegel im Anhang Teil 1A und im Längenprofil in Anhang Teil 1B dargestellt. Im Anhang 1C und 1D folgen pro Querprofil die Wasserspiegel und die mittleren Fliessgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Abflussmenge in der Aare. Die mittleren Fliessgeschwindigkeiten in der gesamten Restwasserstrecke sind in Anhang Teil 1E zu finden.

### 3.2 Resultate

Der Rückstauereffekt vom KW Rüchlig reicht bereits bei relativ geringen Aareabflussmengen in die Restwasserstrecke KW Aarau. Bei 300 m<sup>3</sup>/s beispielsweise ist der Wasserspiegel (und die Wassertiefe) bei der Kantonsgrenze Solothurn/Aarau praktisch unabhängig von der Restwassermenge. Die Kantonsgrenze liegt zwischen den Querprofilen km 39.563 und 39.403.

Bei einem Aareabfluss von 180 m<sup>3</sup>/s sind die Wasserspiegel unabhängig der Restwassermengen ab dem Querprofil beim Gewiss-km 39.083 flussabwärts praktisch identisch.

Bei einem Aareabfluss von 300 m<sup>3</sup>/s sind die Wasserspiegel unabhängig der Restwassermengen ab dem Querprofil beim Gewiss-km 39.282 flussabwärts praktisch identisch. Ab Querprofil 39.831 ist der Einfluss gering (im cm-Bereich).

Bei einem Aareabfluss von 420 m<sup>3</sup>/s sind die Wasserspiegel unabhängig der Restwassermengen ab dem Querprofil beim Gewiss-km 40.020 flussabwärts praktisch identisch.



Abb. 1: Lage der Querprofile in der Restwasserstrecke

## 4 2D-Berechnungen

Ziele der 2D-Berechnungen sind insbesondere die Simulation:

- der Abströmung der Turbinenauslässe der Zentrale 1 und 2
- der Anströmung der beidseitig angelegten Fischpässe am KW Aarau
- des Zusammenflusses von Restwasserstrecke und UW-Kanal

### 4.1 Methodik

Das Berechnungsnetz besteht aus dem Flussbett und dem Vorland. Für das Flussbett wurden die Sohlenaufnahmen im Unterwasser KW Aarau und die BAFU-Querprofile der Restwasserstrecke benutzt. Zwischen den Querprofilen wurde interpoliert. Das Vorland wurde aus dem digitalen Terrainmodellen der amtlichen Vermessung generiert und anschliessend mit dem Flussbett verbunden.

Zur Untersuchung der oben erwähnten Ziele wurden folgende Lastfälle definiert:

**Tabelle 1: Lastfälle für 2D-Berechnungen**

	$Q_1$		$Q_{67}$ (Beginn Volllastbetrieb)		$Q_M$		$Q_{347}$	
Aare oh. Schönenwerd	760		425		280		140	
Restwasser	360		25		25		15	
Turbinen gesamt	400		400		255		125	
Zentrale 1 - Maschine 1	39	Volllast	39	Volllast				
Zentrale 1 - Maschine 2	39	Volllast	39	Volllast				
Zentrale 1 - Maschine 3	39	Volllast	39	Volllast				
Zentrale 1 - Maschine 4	39	Volllast	39	Volllast	25	64.1 % Teillast	25	64.1 % Teillast
Zentrale 2 - Maschine 1	122	Volllast	122	Volllast	115	94.3 % Teillast	50	41 % Teillast
Zentrale 2 - Maschine 2	122	Volllast	122	Volllast	115	94.3 % Teillast	50	41 % Teillast

Bei der Auslegung der Lastfälle respektive der Turbinenabflüsse wurde darauf geachtet, dass die Fischpässe möglichst optimal angeströmt werden, wodurch bei Niederwasser Maschine 4 der Zentrale 1 (rechtes Ufer) und Maschine 1 der Zentrale 2 (linkes Ufer) in Betrieb sind. Die Abflussaufteilung unter den einzelnen Maschinen berücksichtigt einen, nach aktuellem Wissensstand, möglichst grossen Gesamtwirkungsgrad des KW Aarau.

In der Praxis wird die Kraftwerkssteuerung die Turbinen so zu- und abschalten, dass eine optimale Energieproduktion resultiert. Die oben aufgeführten Lastfälle dienen demnach in erster Linie den 2D-Berechnungen und entsprechen nicht einem Betriebsregime. Einzig der Betrieb der beiden ufernahen Maschinen bei Niederwasser wird vorausgesetzt.

Die untere Randbedingung am Modellende kurz unterhalb der Brücke in Aarau wurde so kalibriert, dass die PQ-Beziehung an der unteren Konzessionsgrenze (rund 200 m oberhalb der Kettenbrücke in Aarau) erfüllt wird.

## 4.2 Resultate

Die Anhänge Teil 2A bis Teil 2D zeigen jeweils drei Situationen mit der tiefenge-mittelten Fliessgeschwindigkeit je Lastfall. Es werden eine Situation mit der Rest-wasserstrecke ab ca. km 40.261 bis unterhalb des Zusammenflusses bei der Ket-tenbrücke, eine Detailsituation des Zusammenflusses und eine weitere Detailsitu-ation im Unterwasser des KW Aarau gezeigt.

### 4.2.1 Anströmung der Fischpässe

Durch den Betrieb der beiden aussenliegenden Maschinen kann die Auffindbar-keit der Fischpasseinstiege bei Nieder- und Mittelwasser ( $Q_{347}$  und  $Q_M$ ) optimiert werden. Insbesondere der rechtsufrige Fischpass wird durch den Betrieb der Ma-schine 4 der Zentrale 1 optimal angeströmt. Auch bei grösseren Abflüssen ( $Q_{67}$  und  $Q_1$ ) sollte der rechtsufrige Fischpass gut auffindbar sein.

Der linksufrige Fischpasseinstieg wird vor allem bei grösseren Abflüssen gut durch die Turbinenabströmung der beiden Maschinen der Zentrale 2 erfasst, da die Strömung dem Ufer folgt. Einzig bei Niederwasser ( $Q_{347}$ ) liegt der Einstieg nicht in der Hauptabströmung. Die lokale Lockströmung am Einstieg ist jedoch gut auszumachen. Aufgrund der Resultate wurde der Einstieg des linksufrigen Fisch-passes nach oberstrom versetzt, so dass er nun bei allen Abflüssen in der Haupt-abströmung der beiden Turbinen der Zentrale 2 liegt.

Die Berechnungen zeigen weiter lokal erhöhte Fliessgeschwindigkeiten von bis zu 1.6–1.7 m/s rund 30 m unterhalb der Turbinenauslässe wo die Fliesstiefe verhält-nismässig gering ist.

Die grössten Fliessgeschwindigkeiten können im Lastfall  $Q_{67}$  (Beginn Volllastbe-trieb) ausgemacht werden. Dies liegt daran, dass das Verhältnis von turbinierter Wassermenge zu Restwassermenge am grössten ist.

### 4.2.2 Strömungsverteilung beim Zusammenfluss von Restwasserstrecke und UW-Kanal

Es kann festgehalten werden, dass lediglich beim Lastfall  $Q_1$  (einjähriges Hoch-wasser) die Fliessgeschwindigkeiten in der Restwasserstrecke grösser als dieje-nigen im UW-Kanal sind. Insbesondere bei den beiden Lastfällen  $Q_{67}$  (Beginn Volllastbetrieb) und  $Q_M$  (Mittelwasserabfluss), wo das Verhältnis von turbinierter Wassermenge zu Restwassermenge am grössten ist, fällt der Unterschied der Fliessgeschwindigkeiten markant aus. Die Verzögerung der Fliessgeschwindigkeit gegen die Vereinigung mit dem UW-Kanal hin ist durch den Rückstau aus aus dem vereinigten Abfluss gegeben. Diese Verzögerung ergibt sich aus der Natur eines Ausleitkraftwerks. Sie könnten effektiv nur dadurch gemindert werden, wenn entweder die Hauptströmung vermindert oder die Stauhaltung Rüchlig abgesenkt würde.

Da aufsteigende Fische grundsätzlich der stärksten Strömung folgen, werden sie wohl ganzjährlich mehrheitlich über die am KW Aarau (an beiden Ufern) angeord-neten Fischpässe aufsteigen.



## 5 Schlussbemerkung

Die 1D-Staukurvenberechnungen und 2D-Berechnungen ergaben vertiefende Erkenntnisse zu Strömungsverhalten in der Rest- und Vereinigungsstrecke, z.B. bezüglich der unterschiedlichen Auswirkungen der Restwassermengen und der Planung der Fischaufstiegsanlagen. Diese Erkenntnisse sind wo nötig in die Planung damit in die Pläne und Berichte eingeflossen. Zu erwähnen ist dabei v.a. die optimierte und etwas nach oberstrom verschobene Lage des Einstiegsbauwerks des linksufrigen Fischpasses mit Lockwasserpumpe. Auch die geeignete Position der Lage des Einstiegs des rechtsufrigen Fischpasses ist zu erwähnen. Im UVB, im Restwasserbericht und im Technischen Bericht wird auf die hier dargelegten Resultate verwiesen.

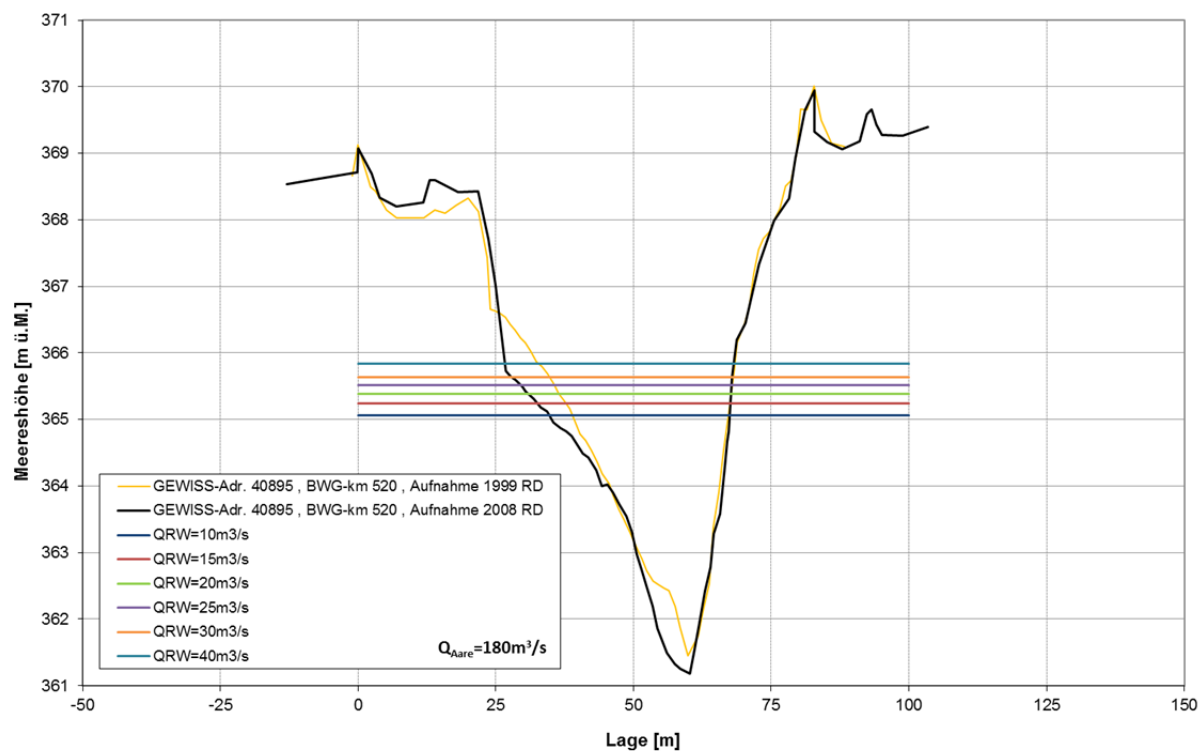
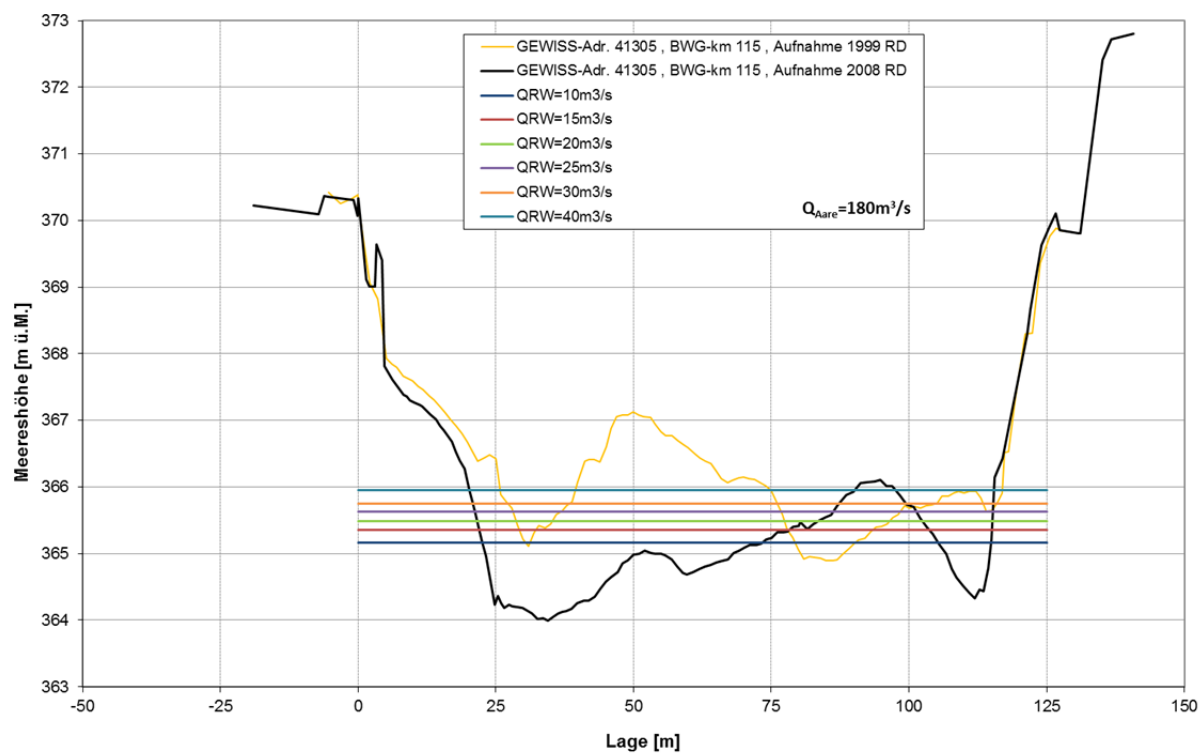
### Ingenieurgesellschaft KW Aarau

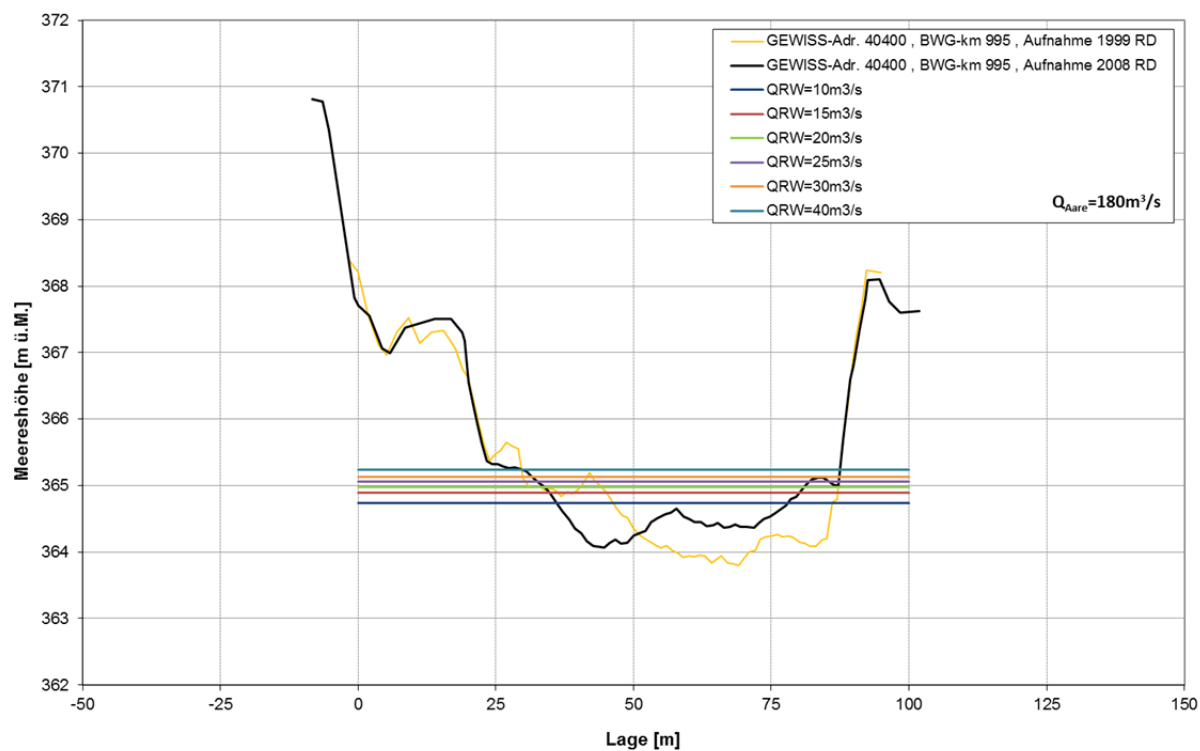
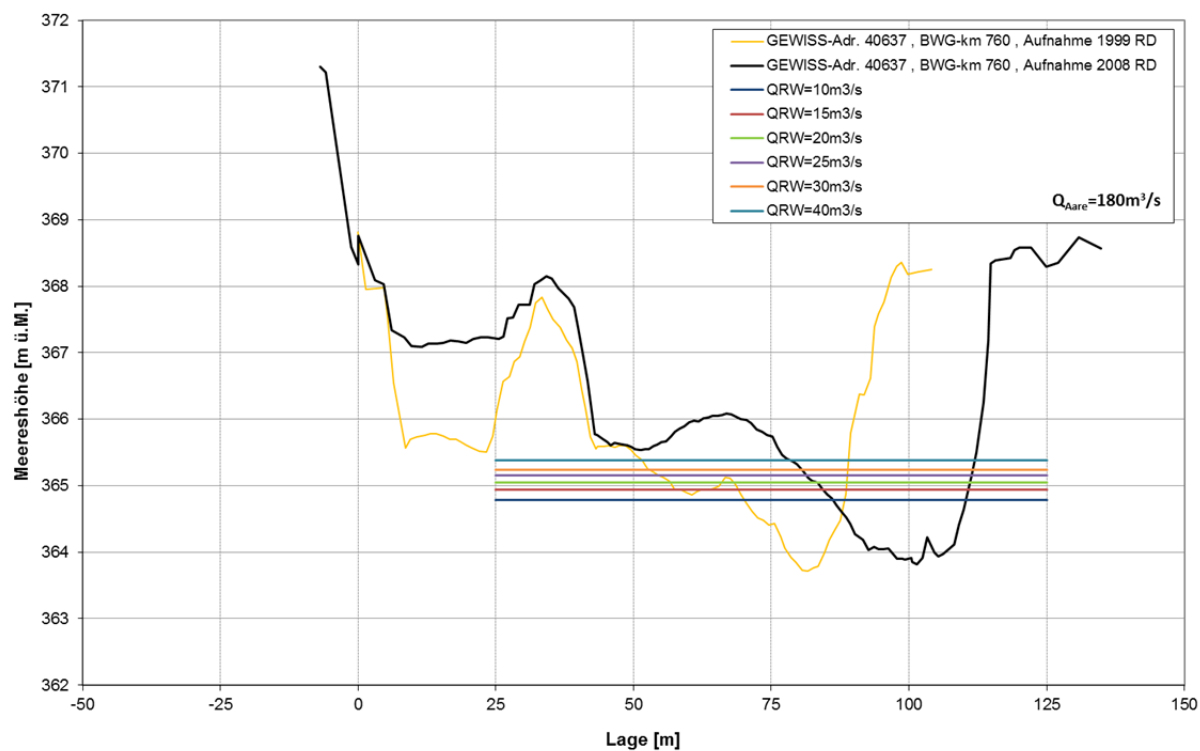
IUB Engineering AG, Bern  
IM Maggia Engineering AG, Locarno  
ANL AG Natur und Landschaft, Aarau

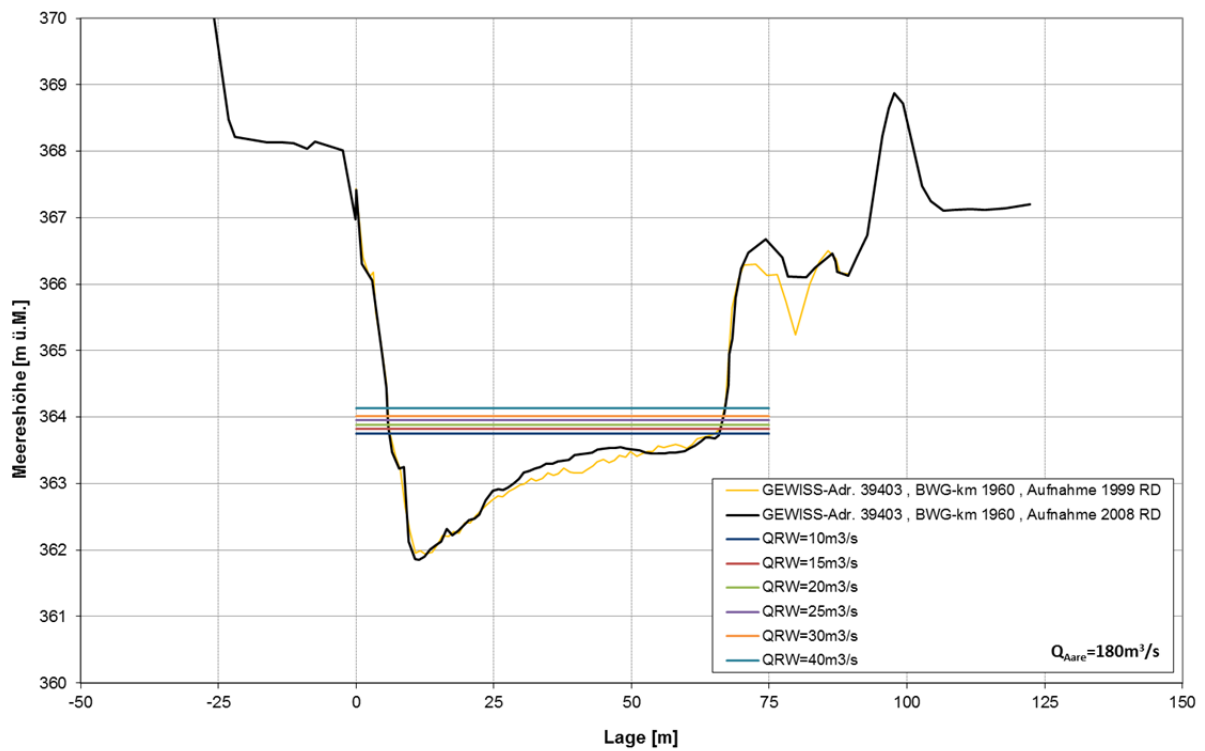
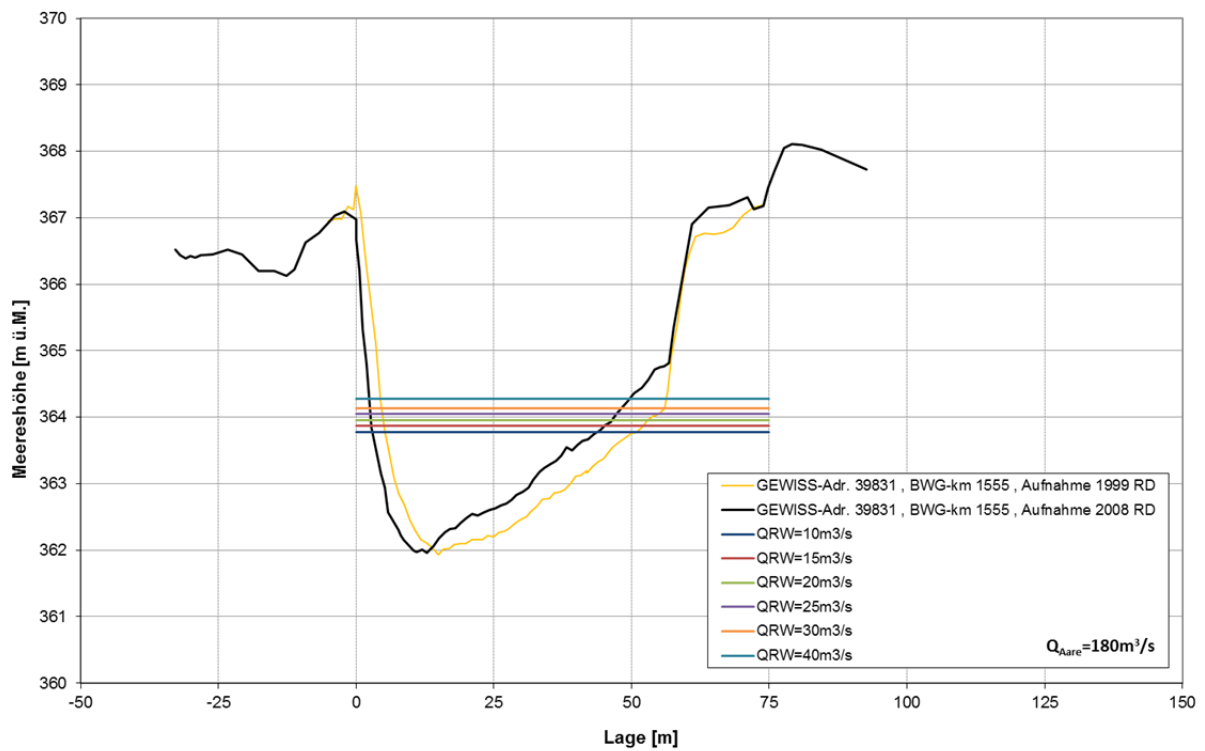
Bern, 23. Oktober 2013

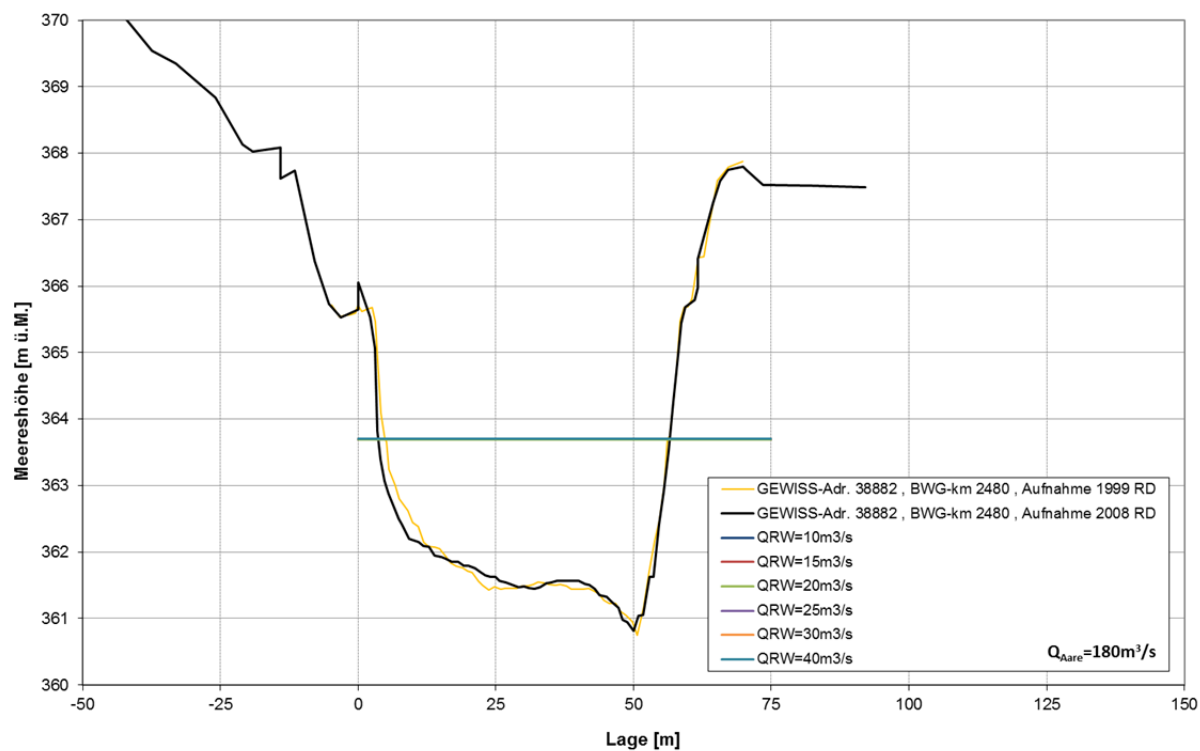
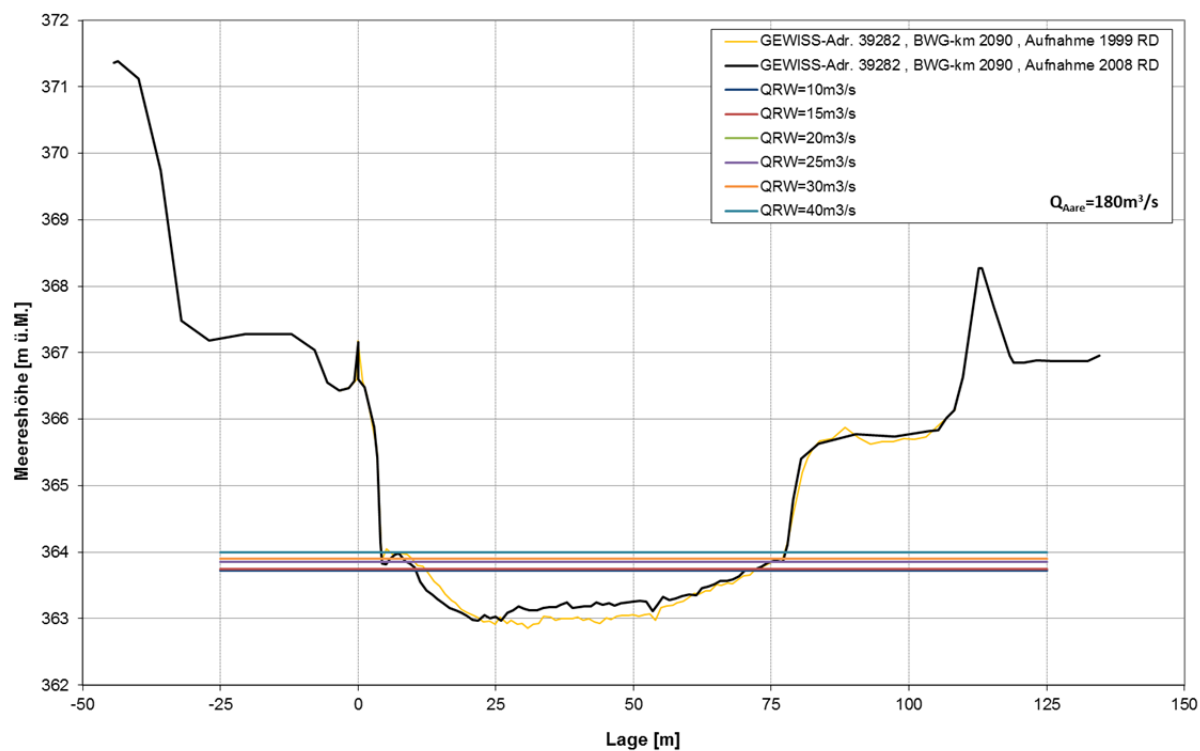
## Anhang Teil 1: 1D-Berechnungen

### Teil 1A: Querprofile

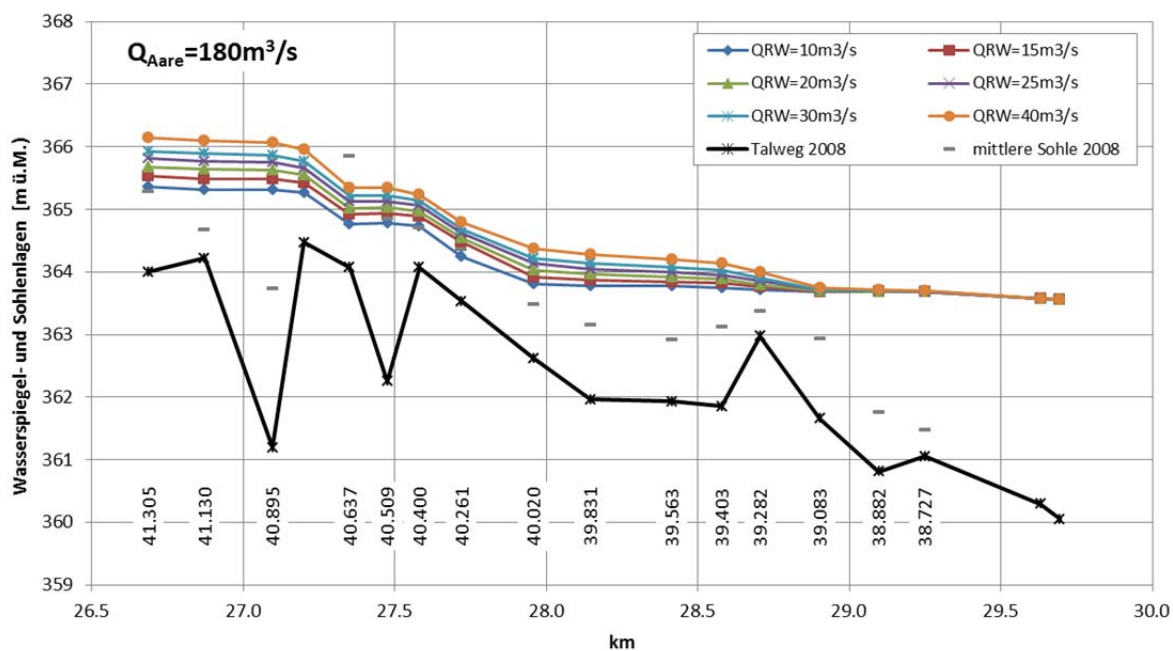
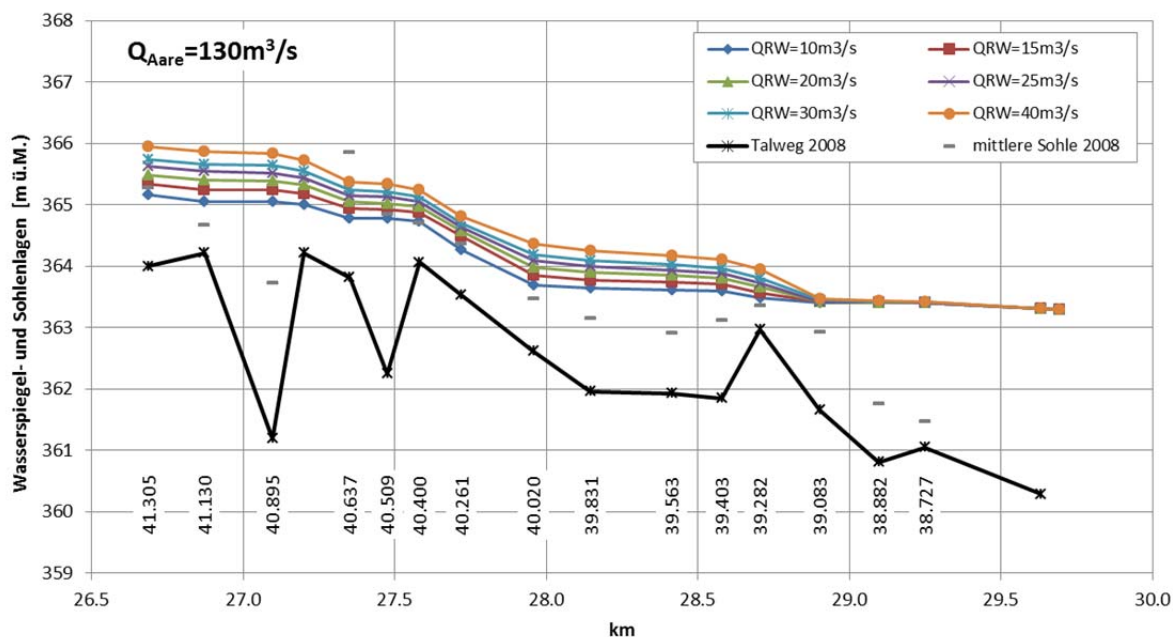


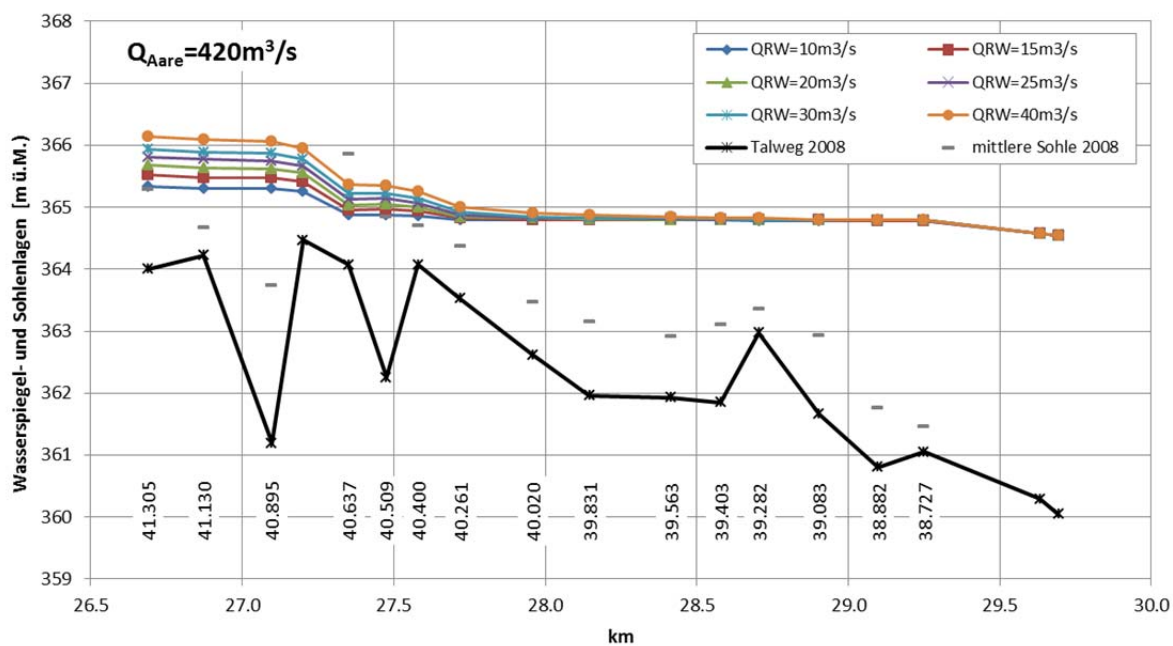
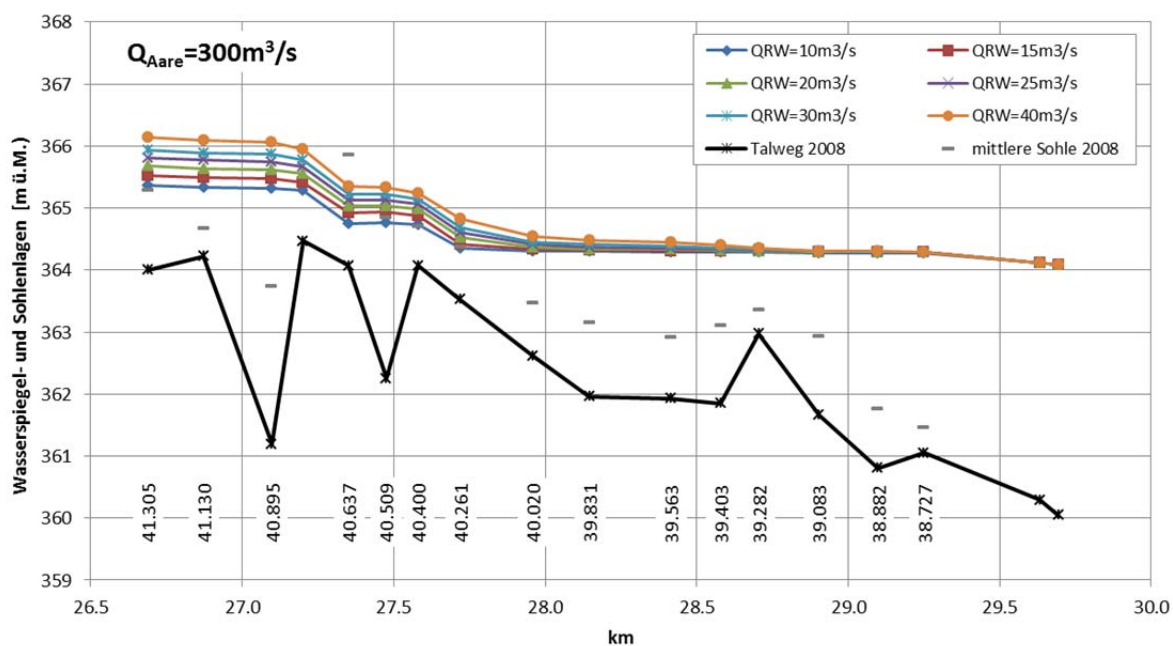




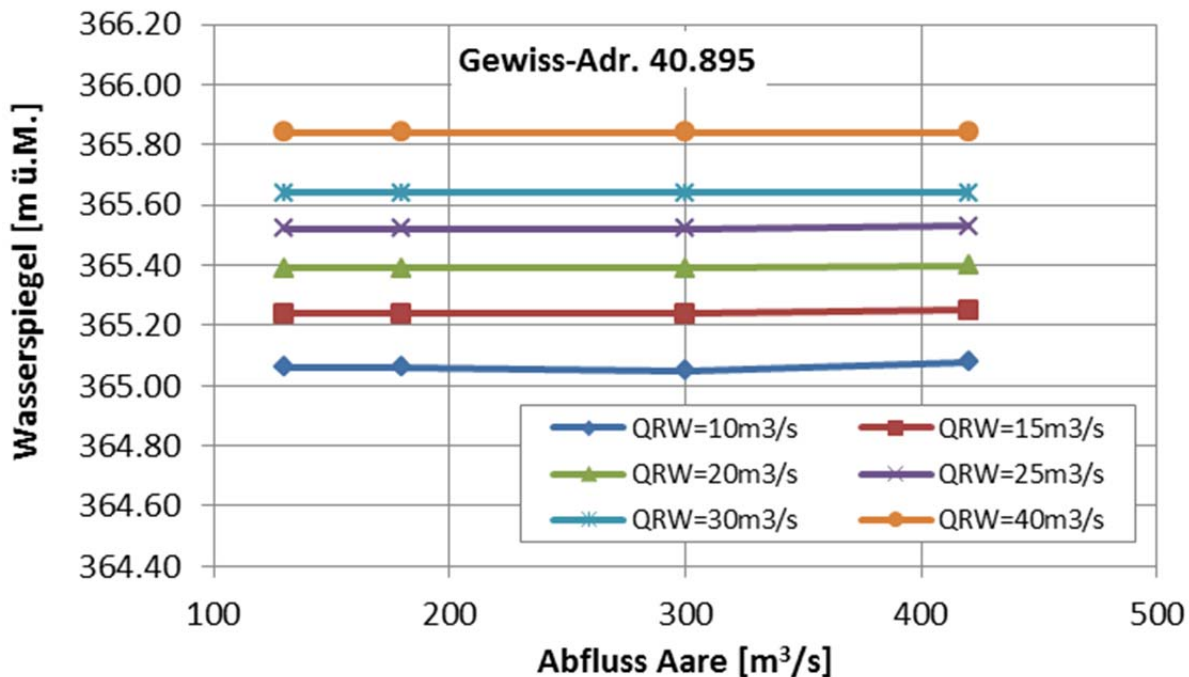
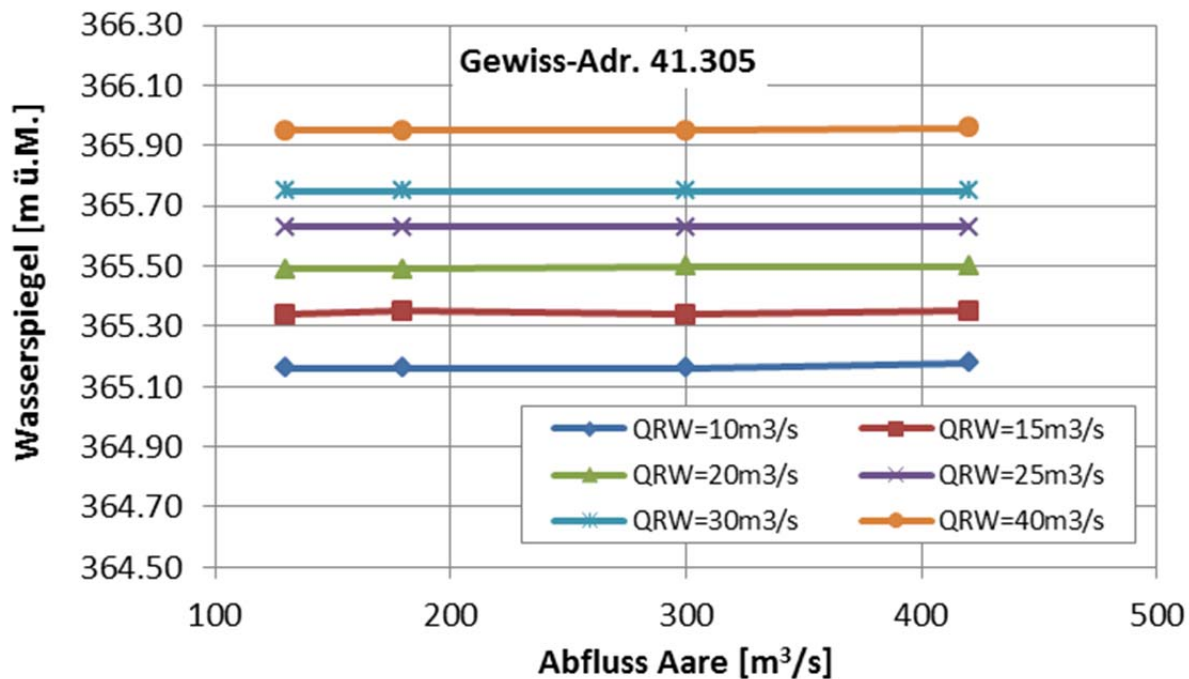


## Teil 1B: Längenprofile

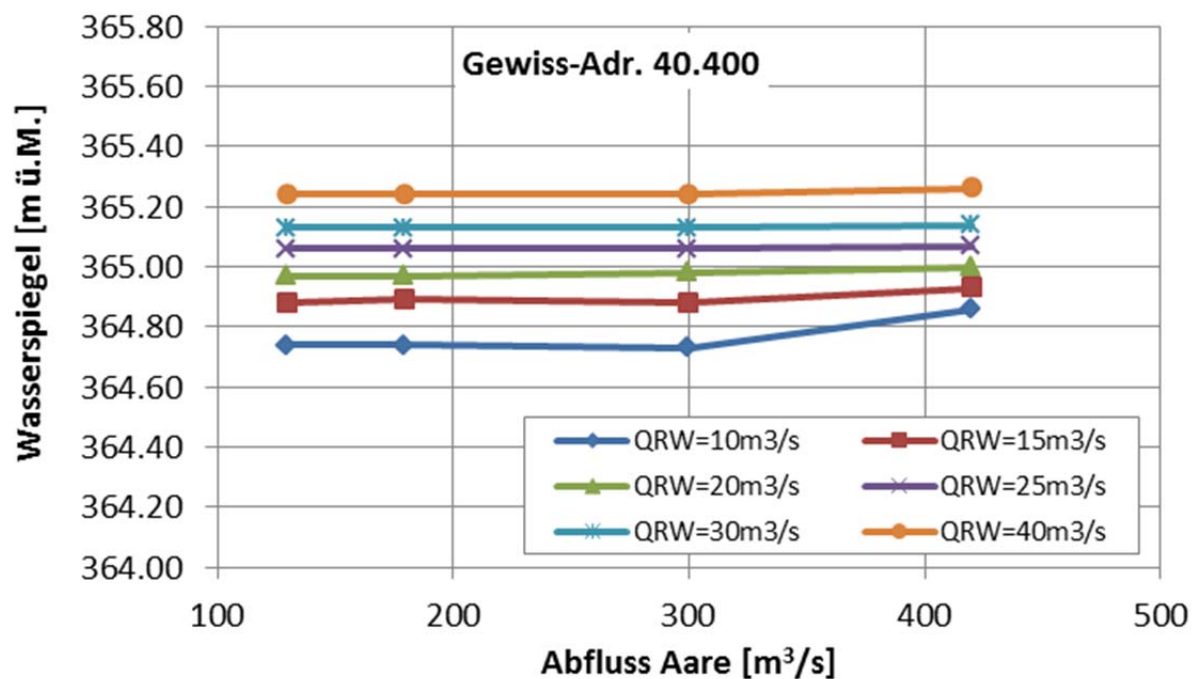
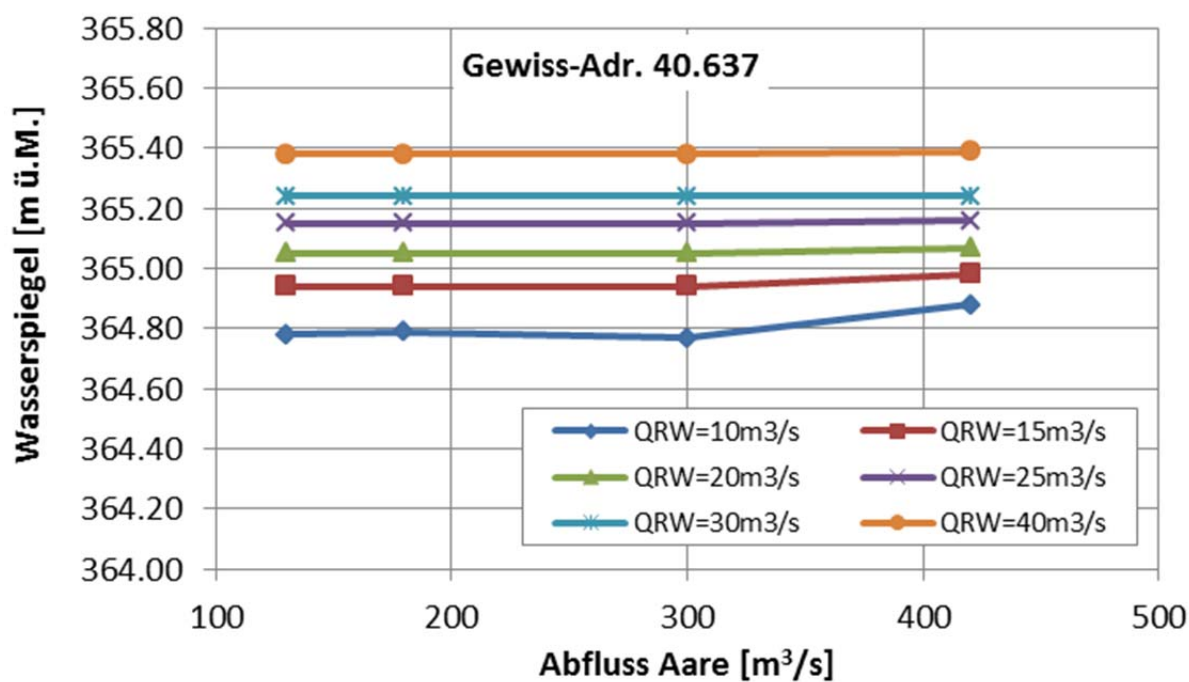


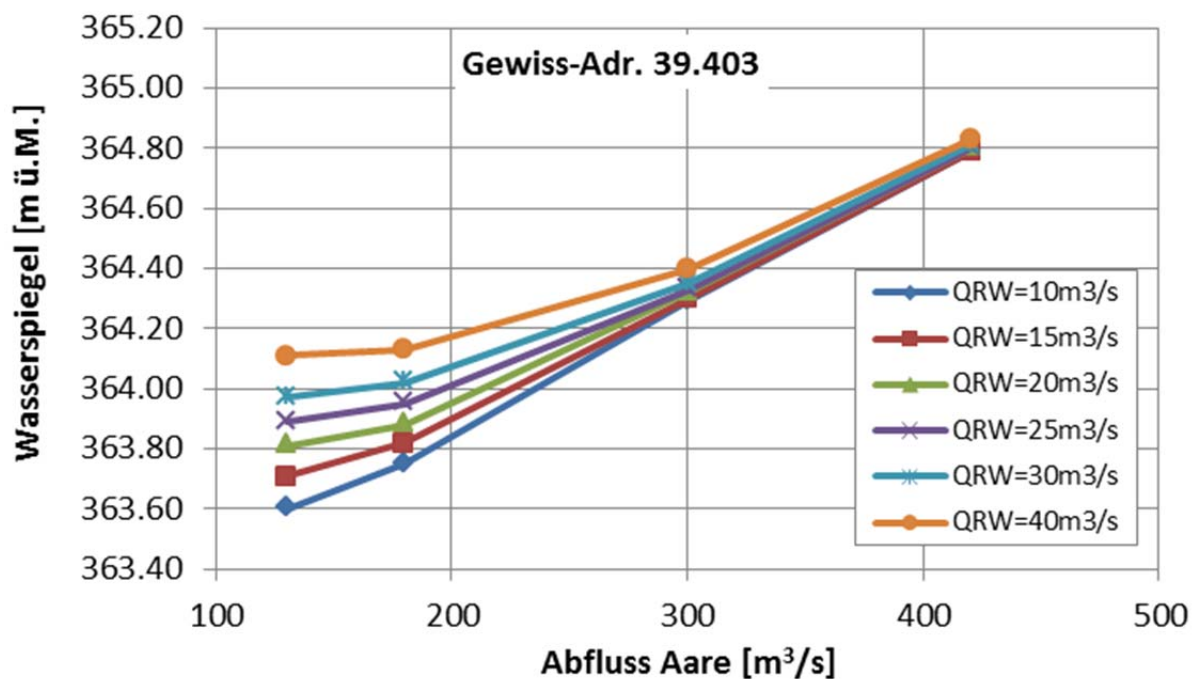
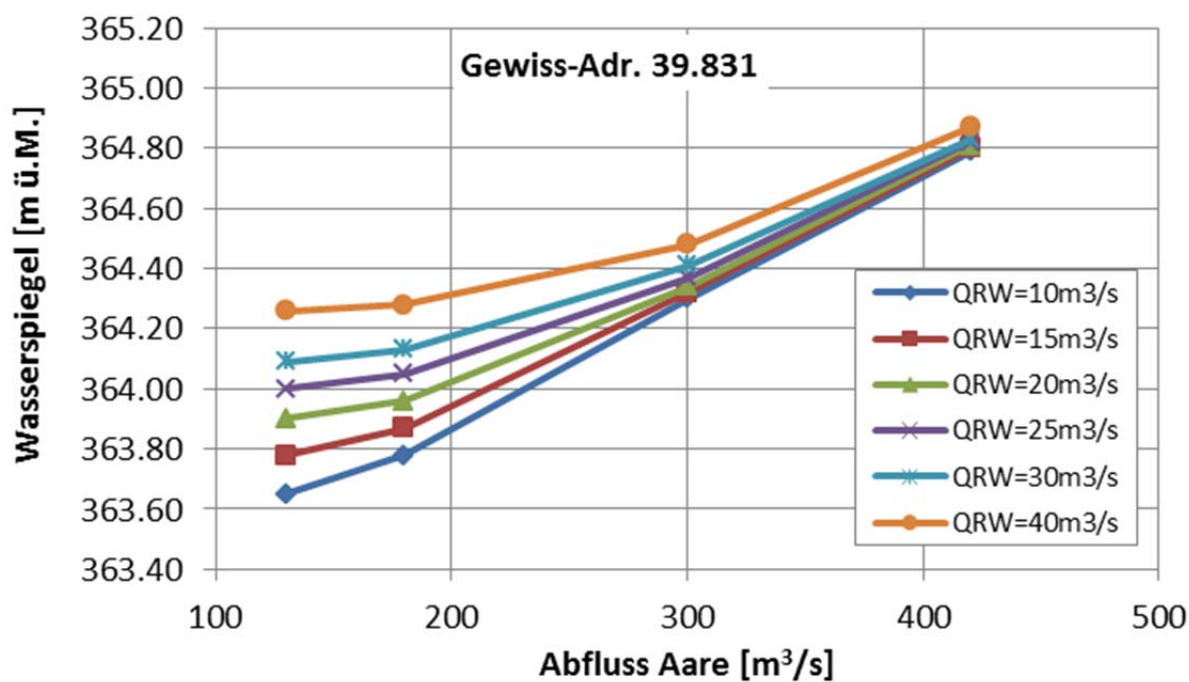


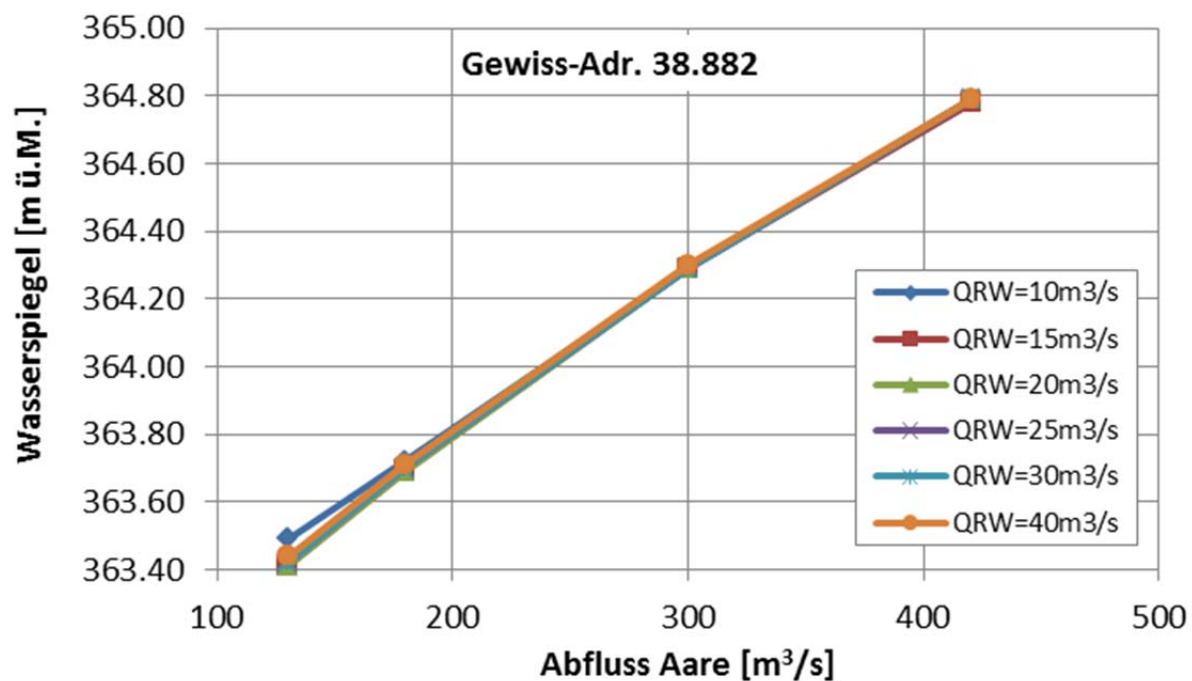
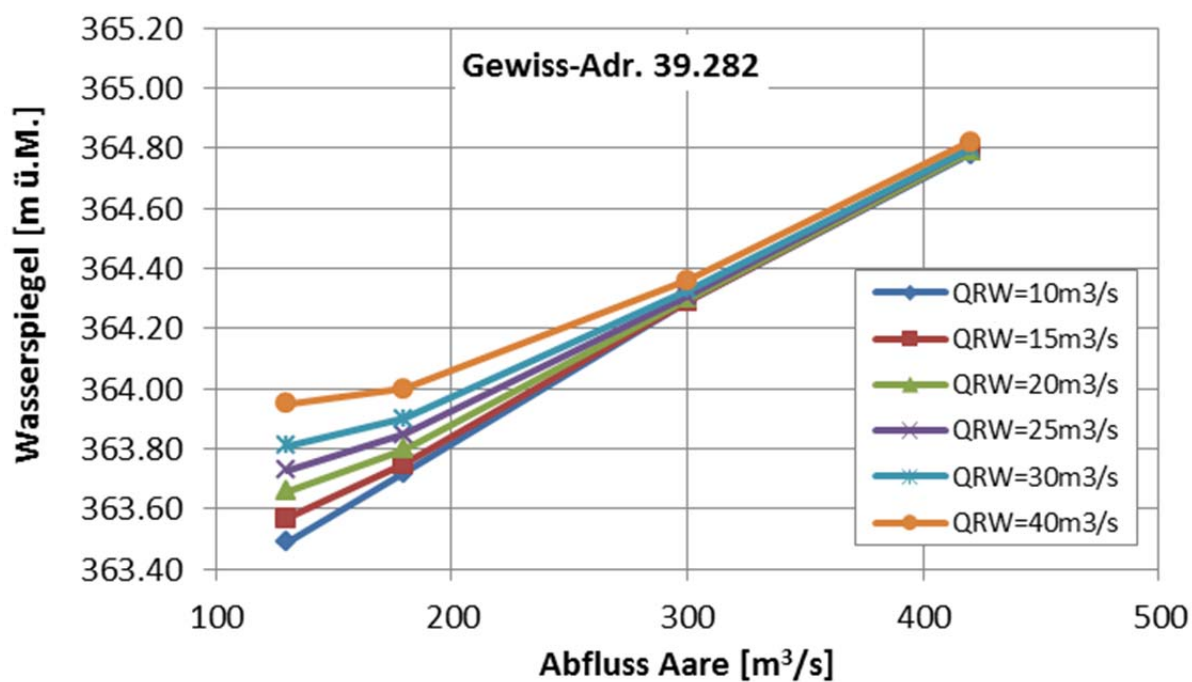
### Teil 1C: Wasserspiegellagen pro Querprofil



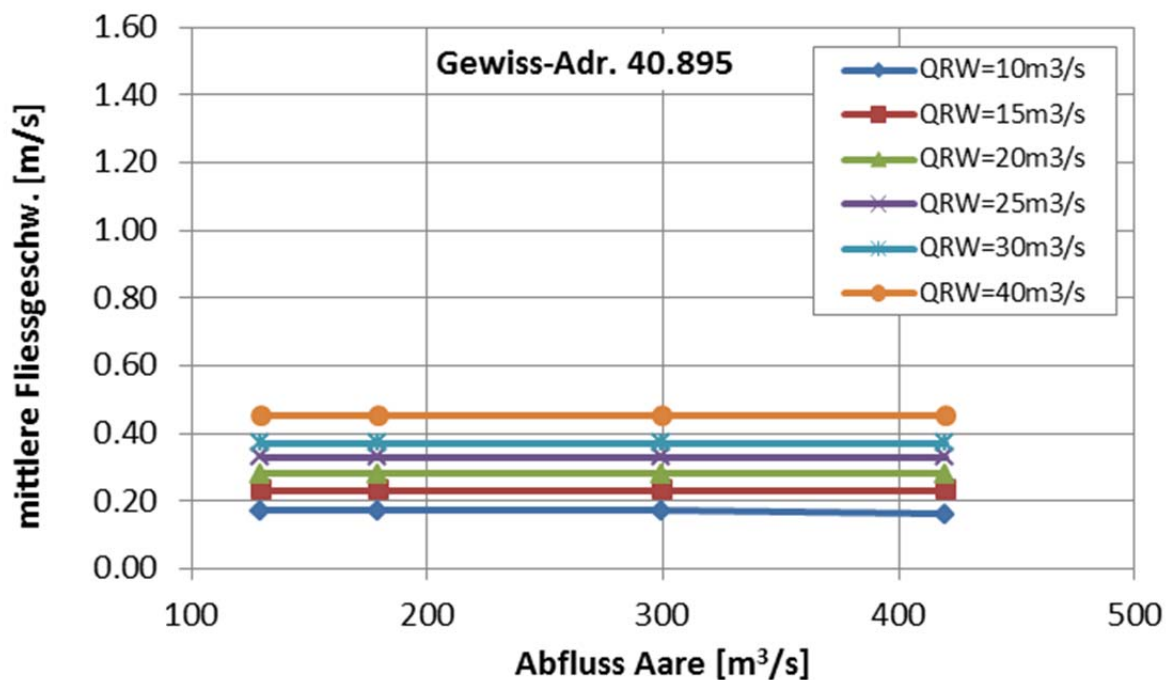
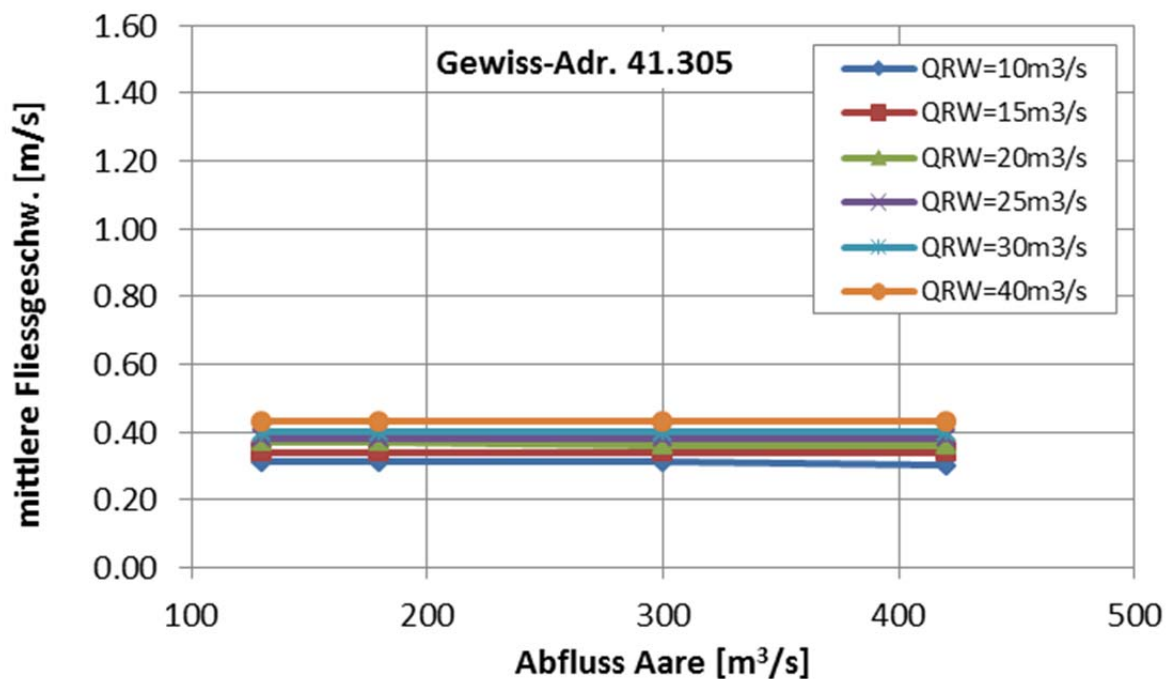


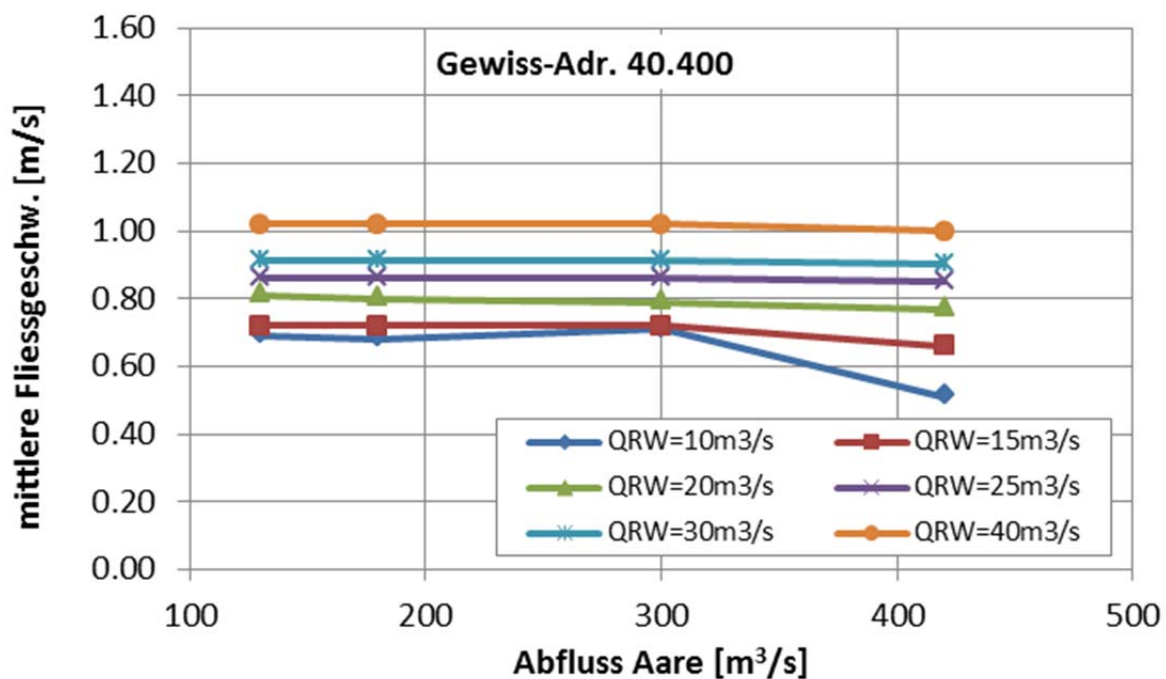
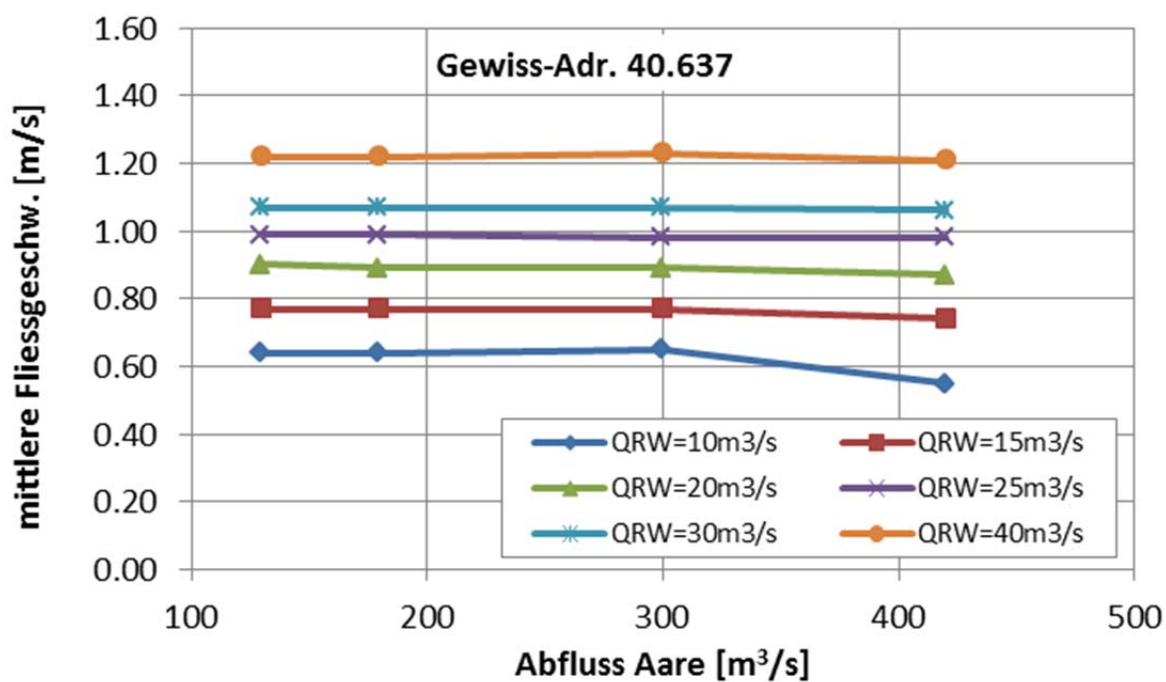


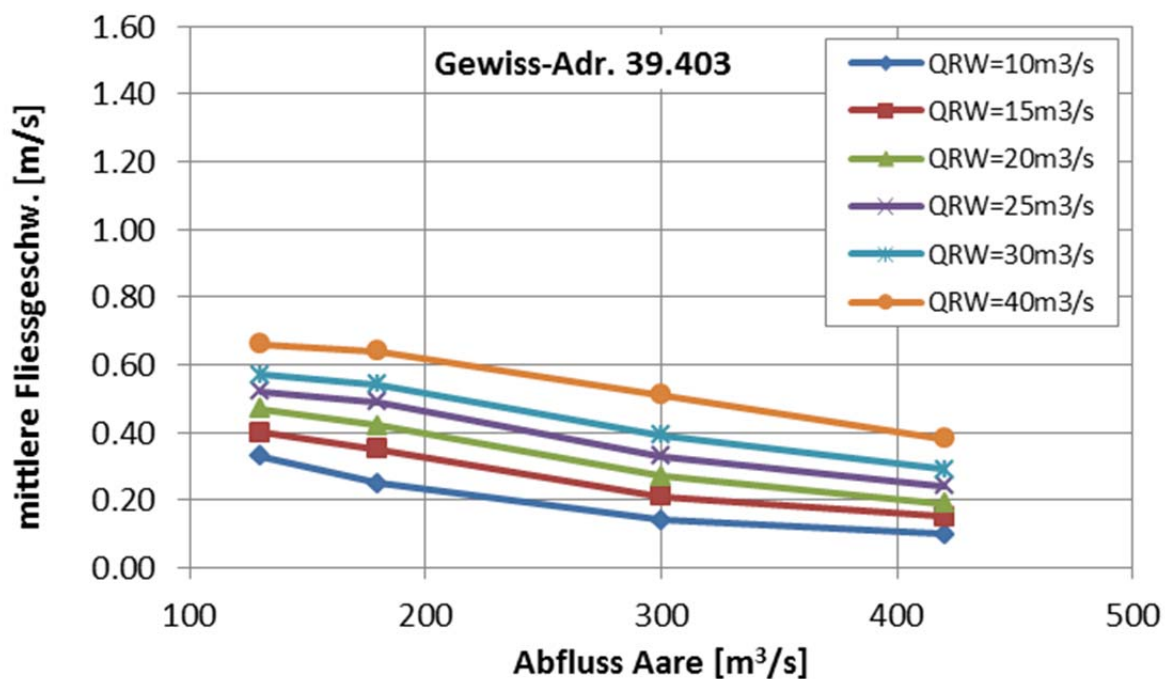
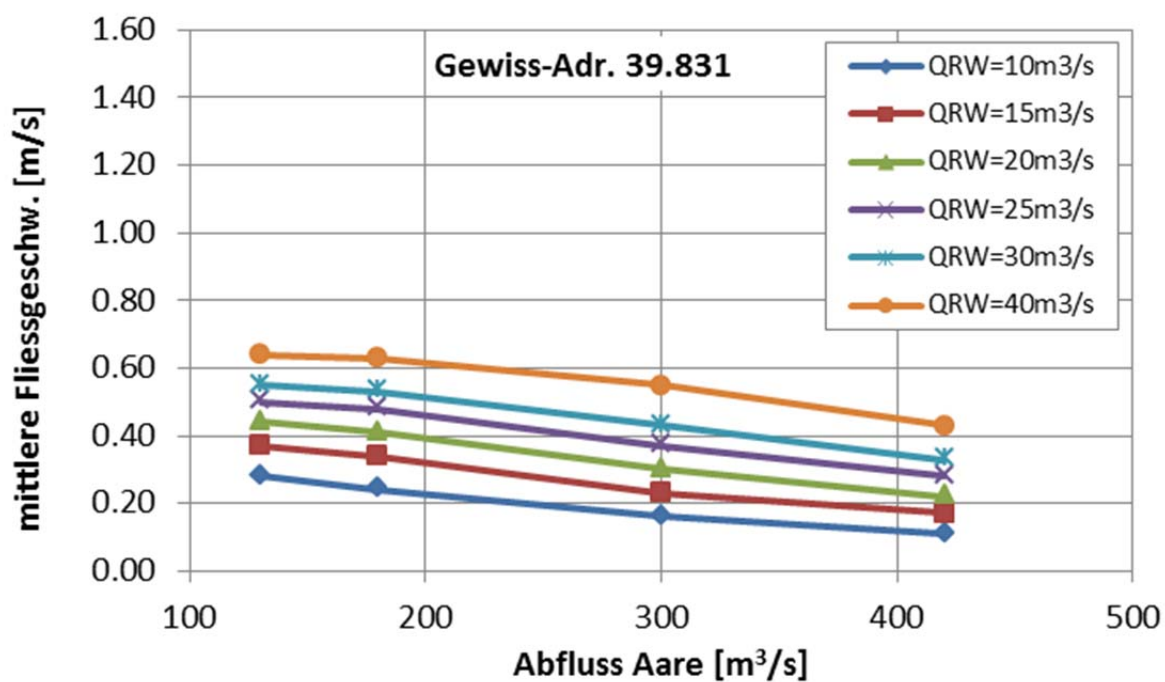


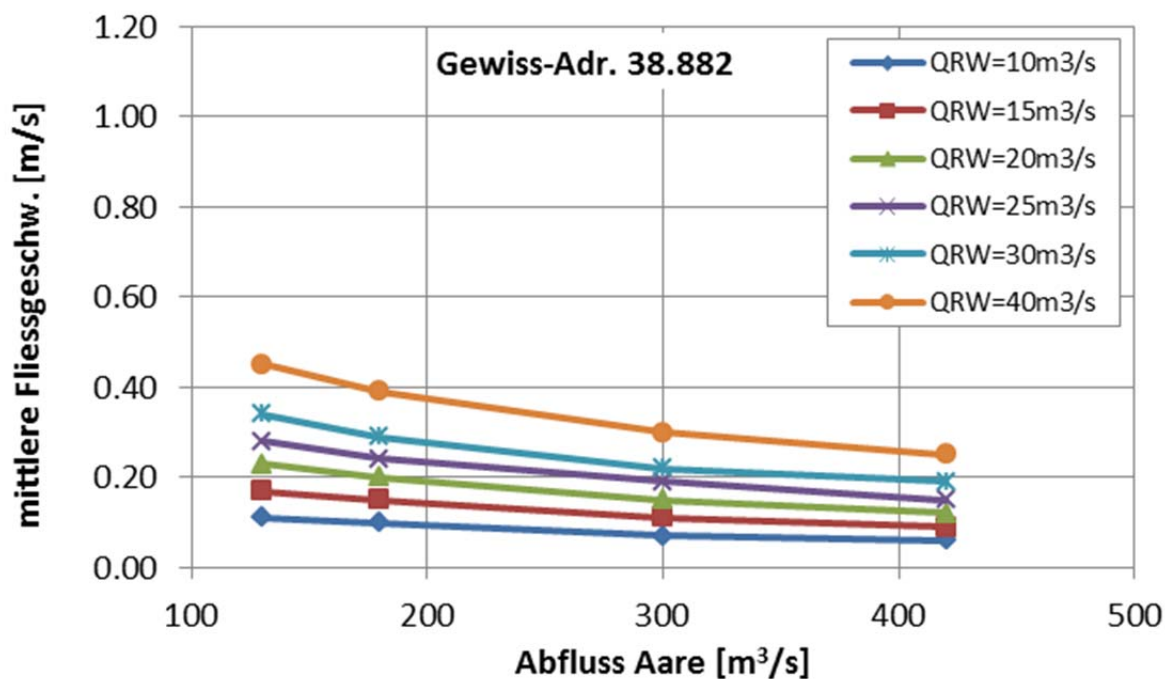
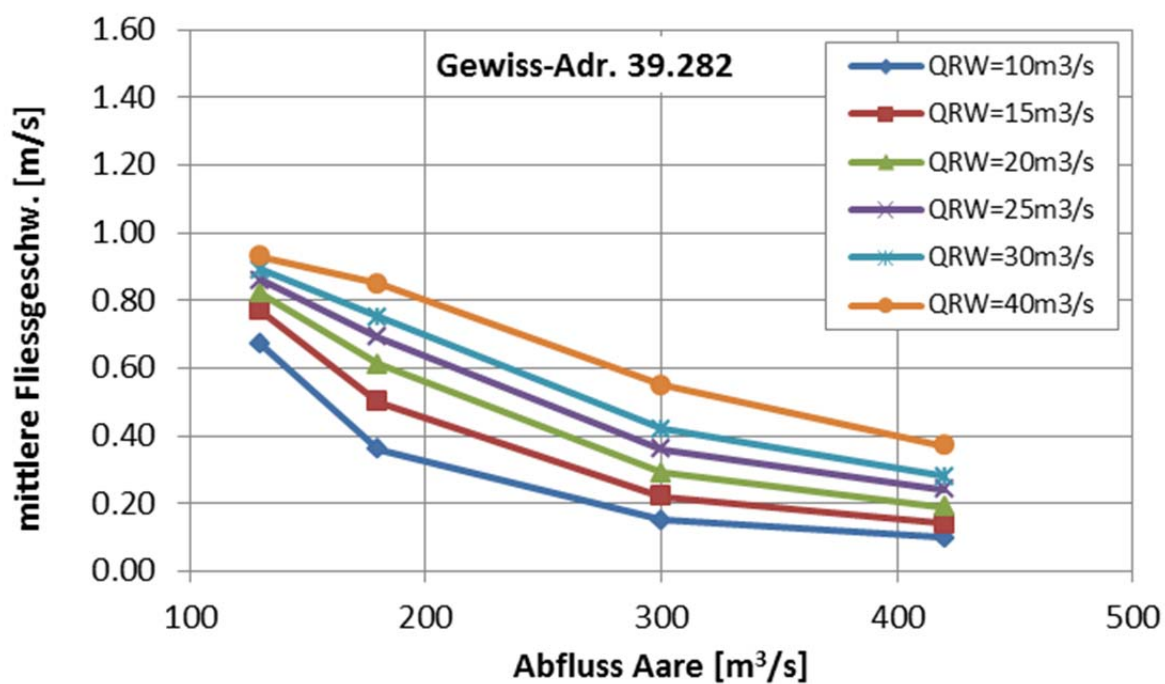


### Teil 1D: Mittlere Fließgeschwindigkeiten pro Querprofil

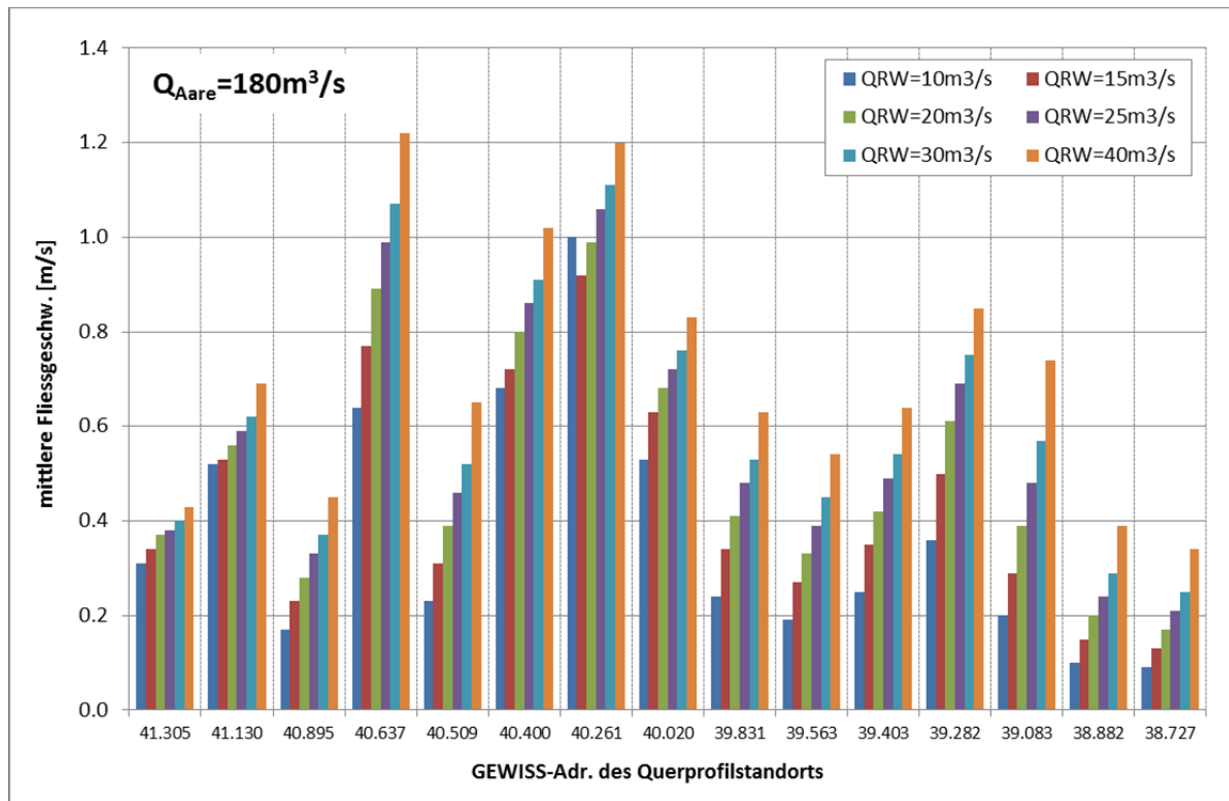
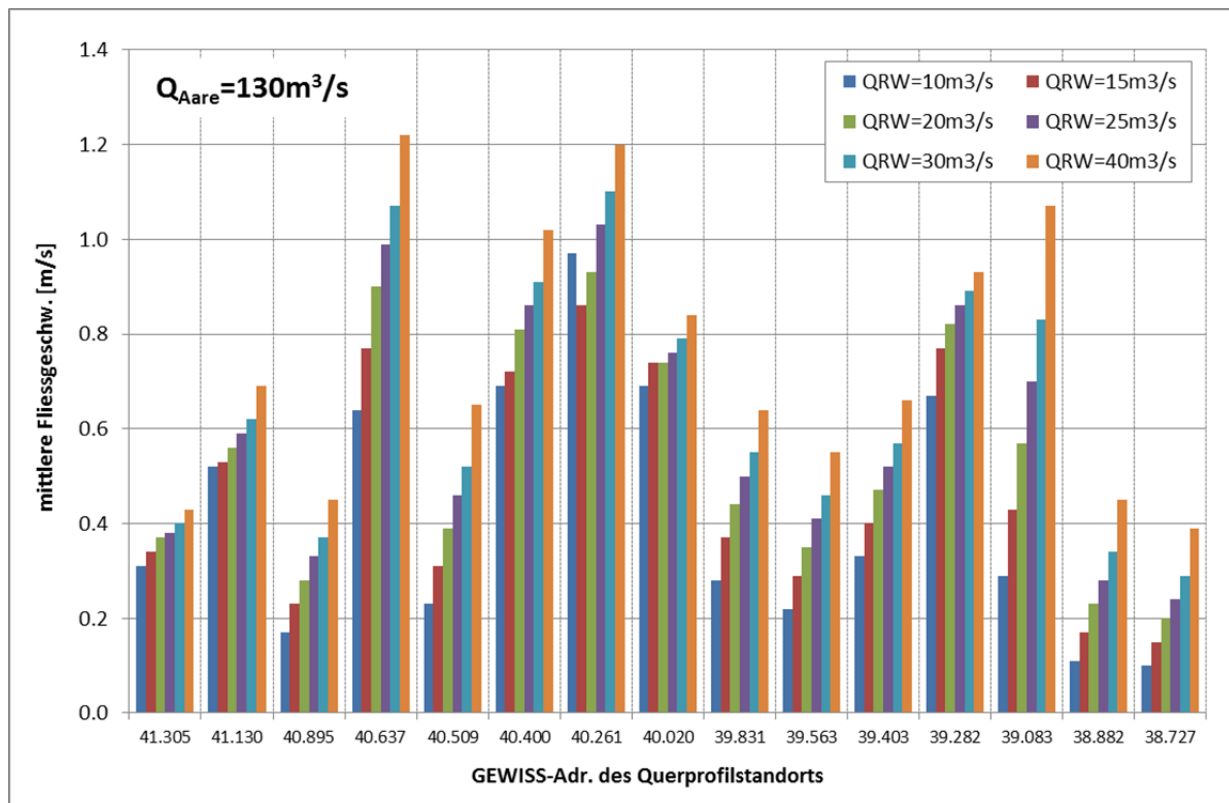




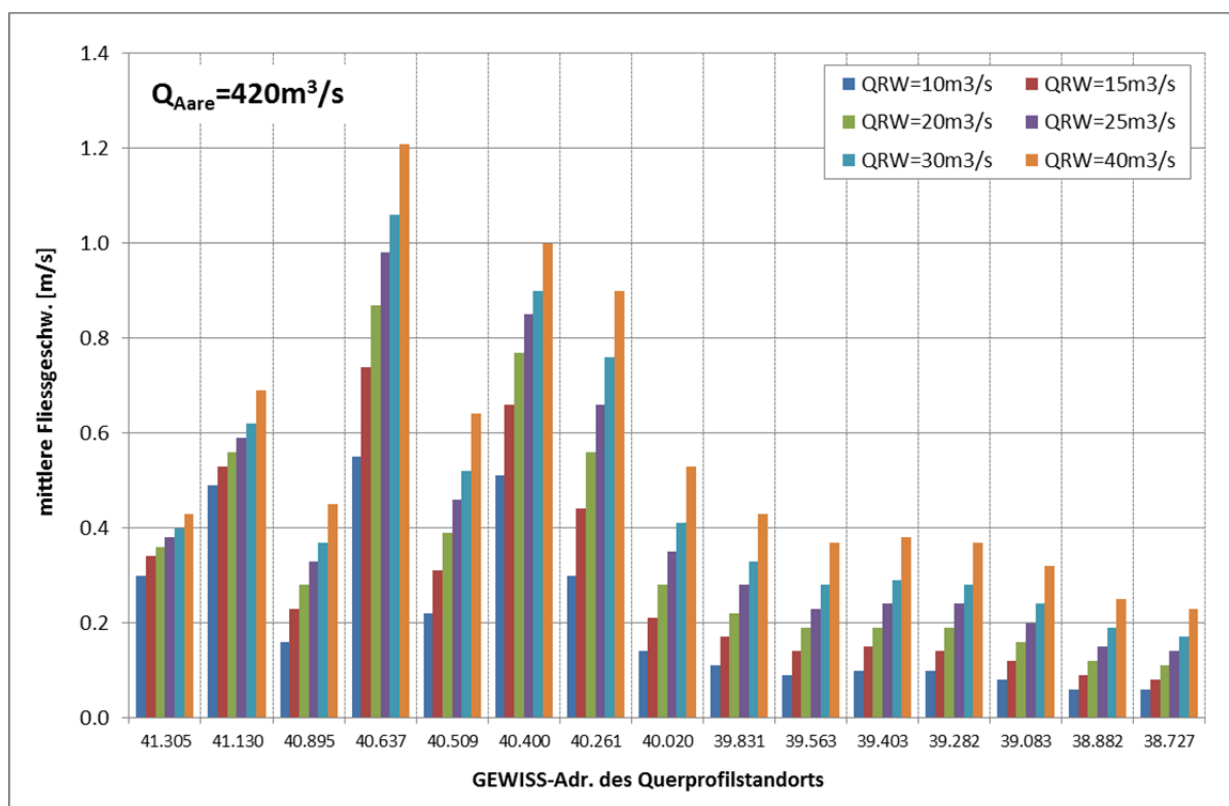
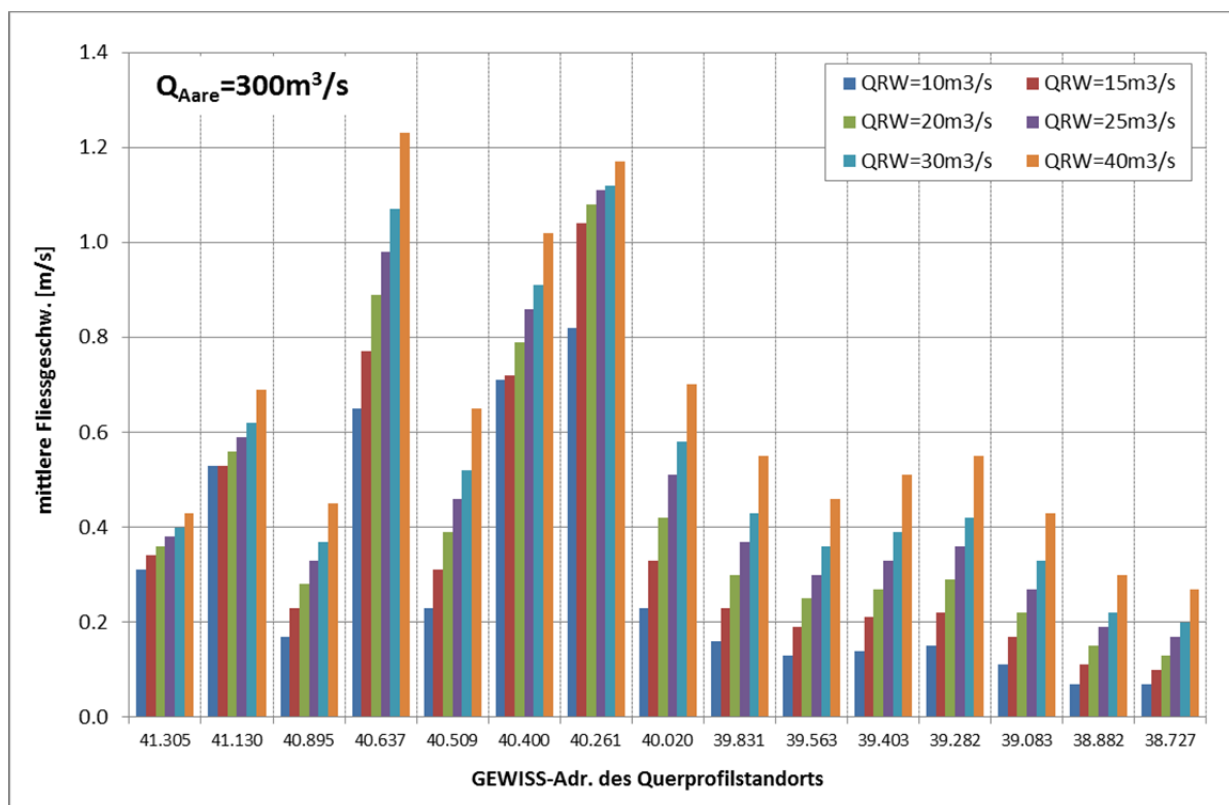




### Teil 1E: Mittlere Fließgeschwindigkeiten in der Restwasserstrecke

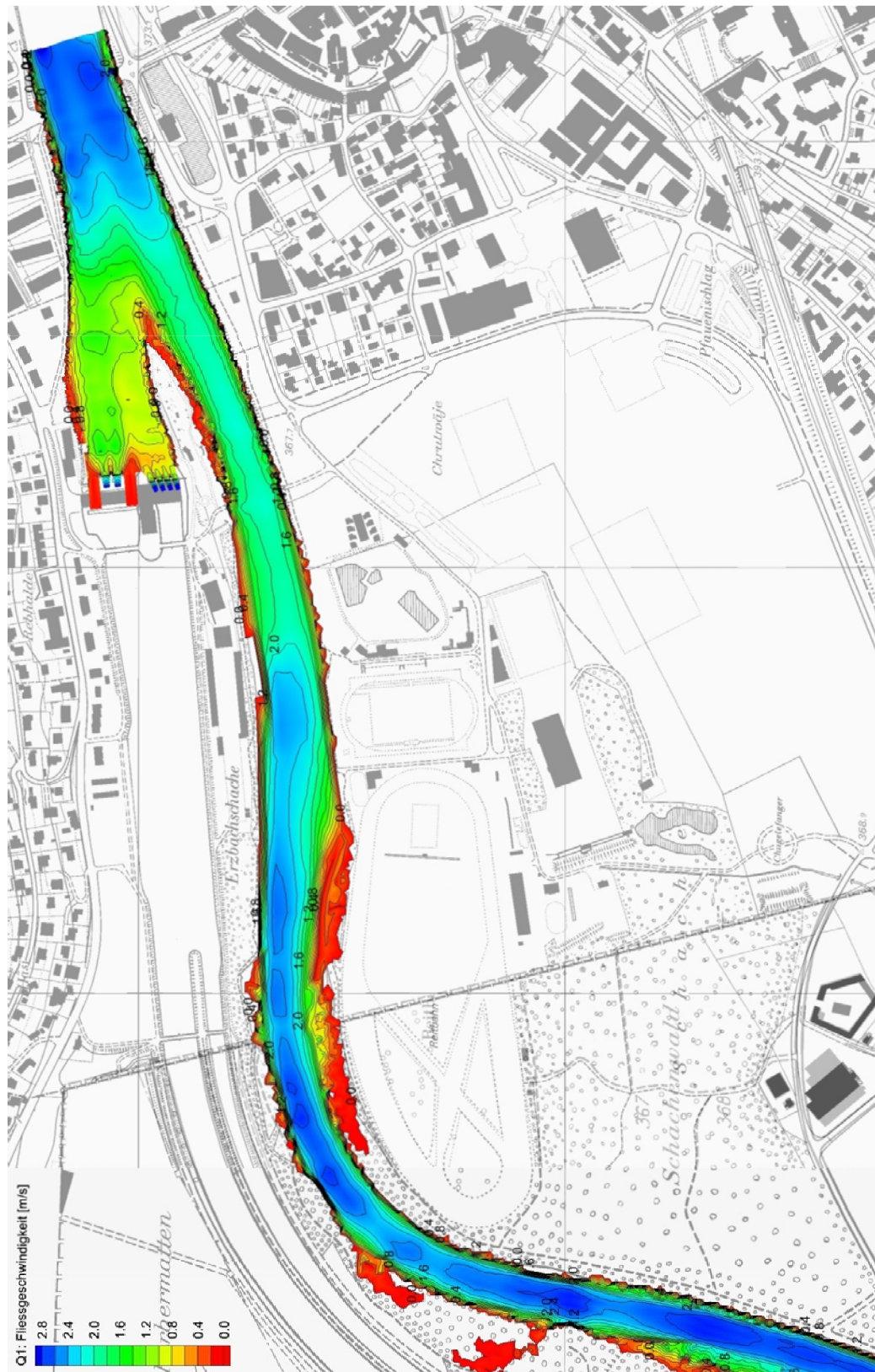




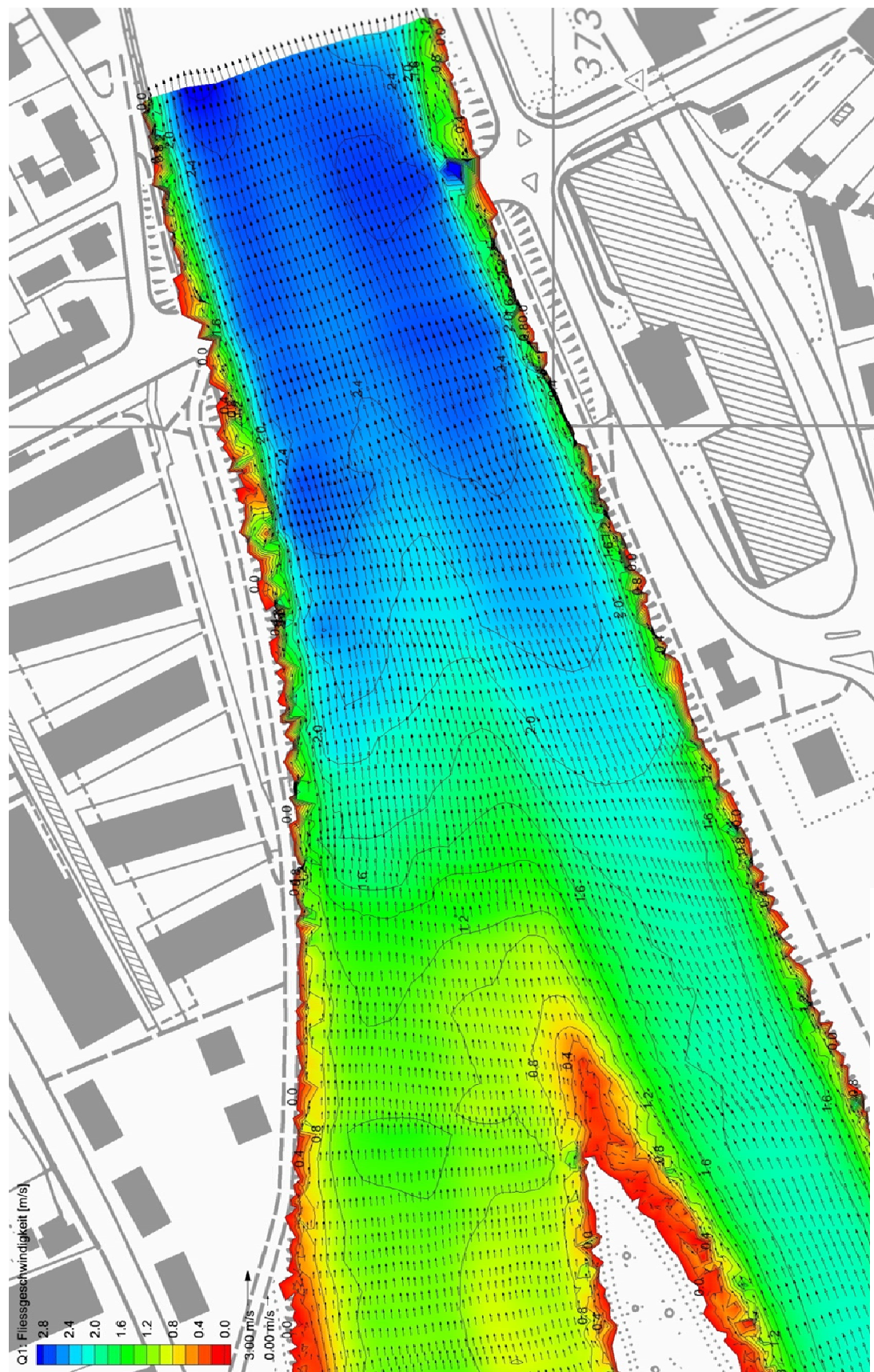


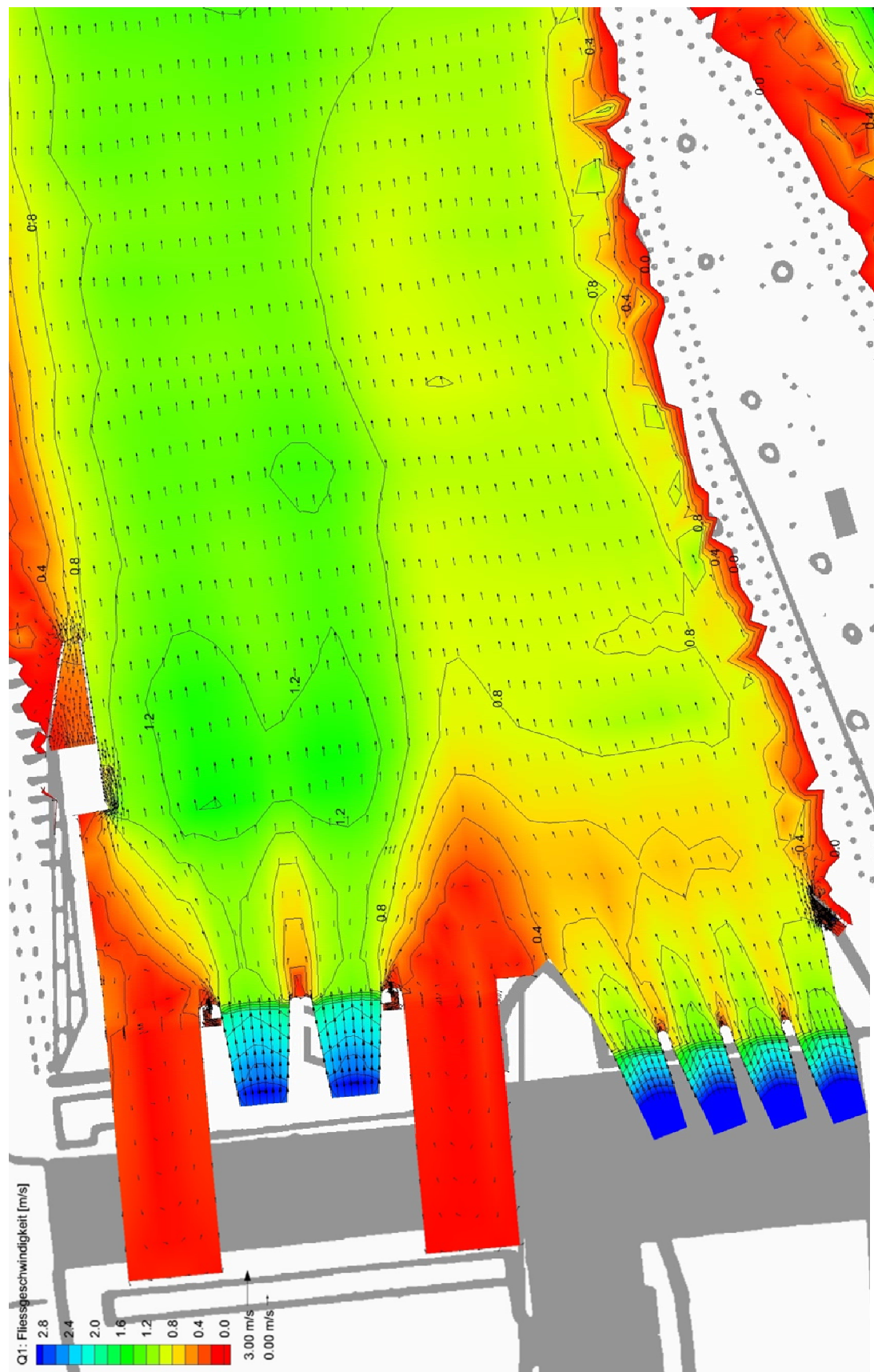
## Anhang Teil 2: 2D-Berechnungen

### Teil 2A: Tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit $Q_1$



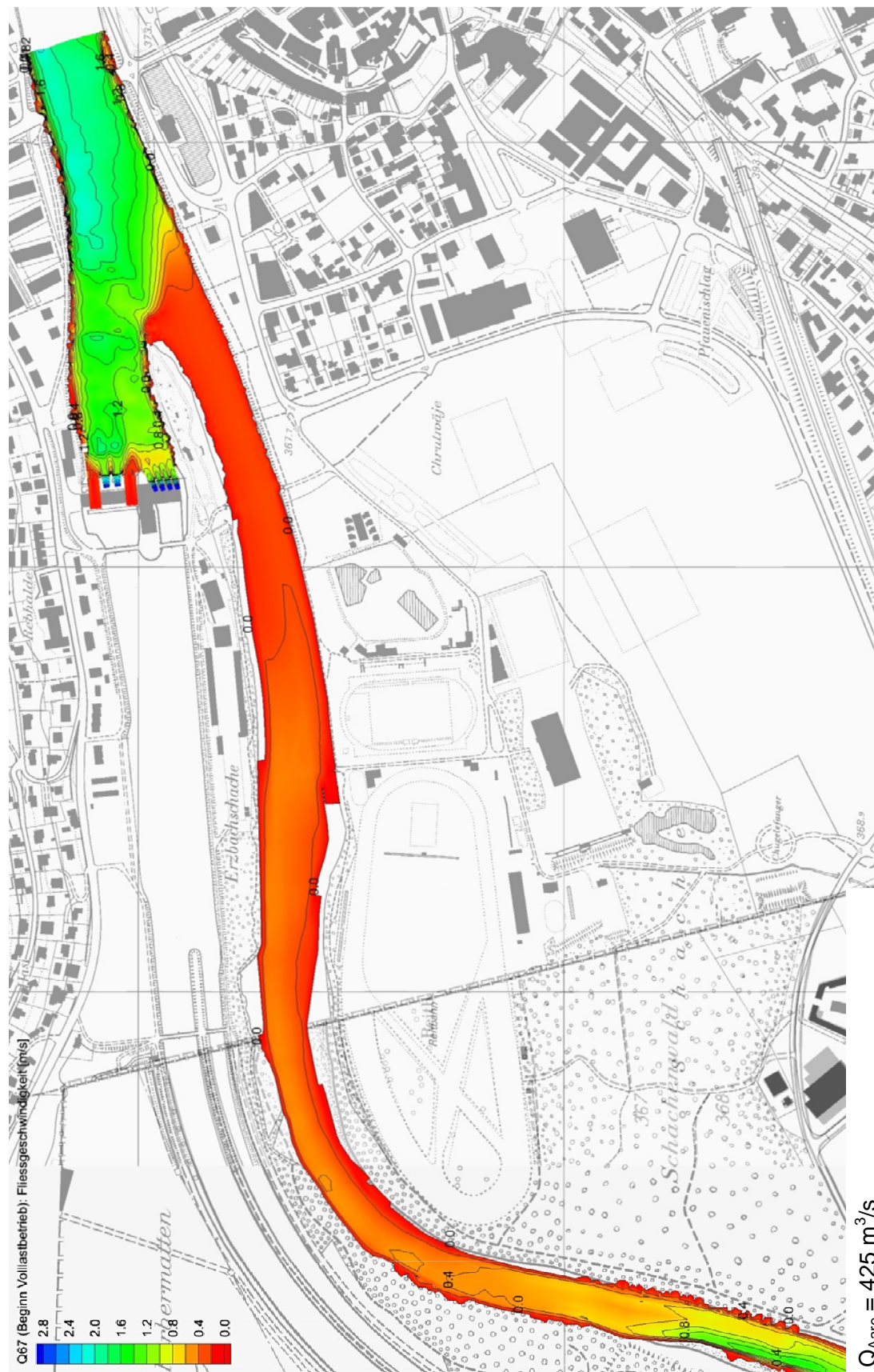
$Q_{Aare} = 760 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_{Kraftwerk} = 400 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_{Restwasser} = 360 \text{ m}^3/\text{s}$

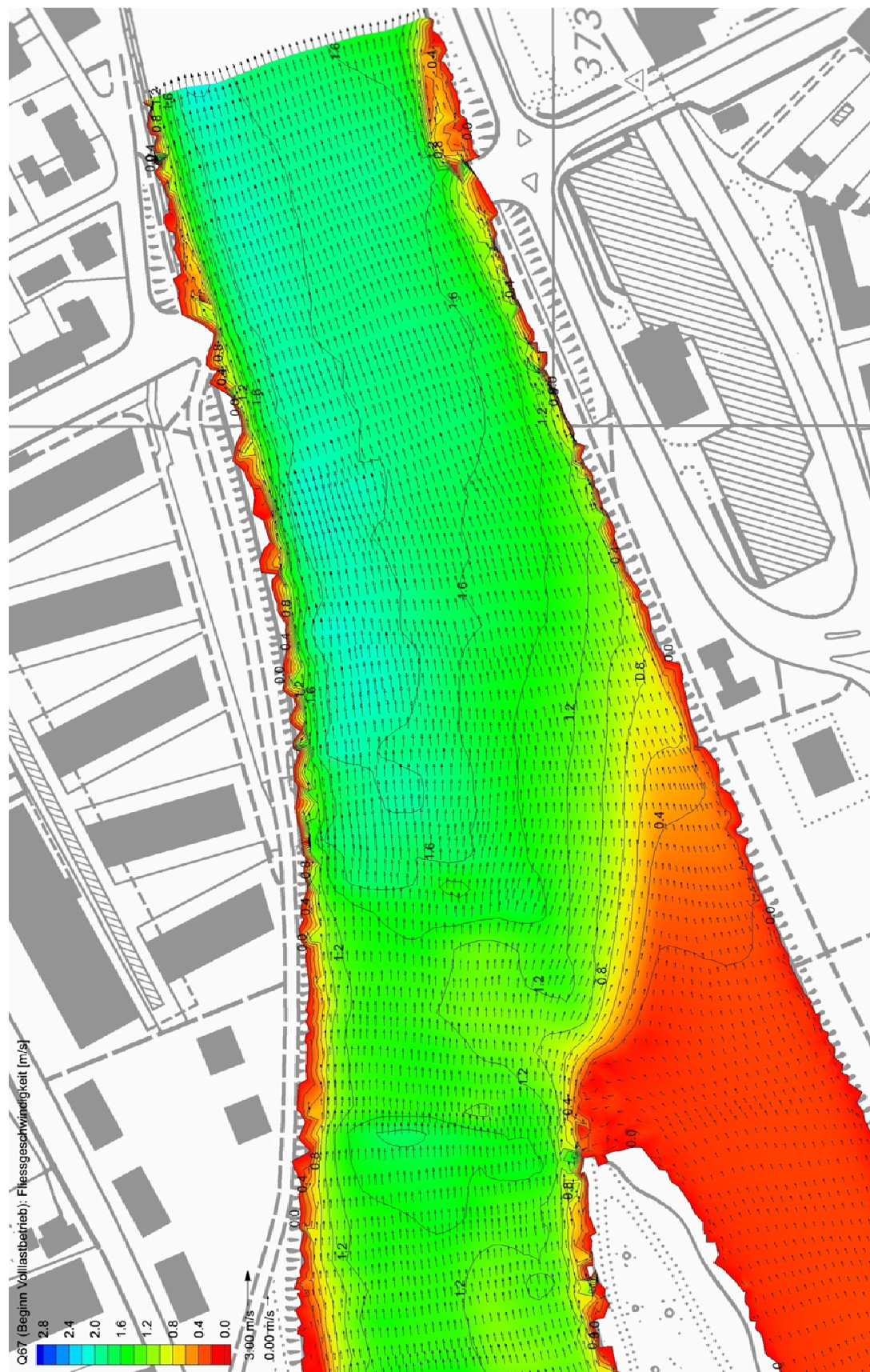




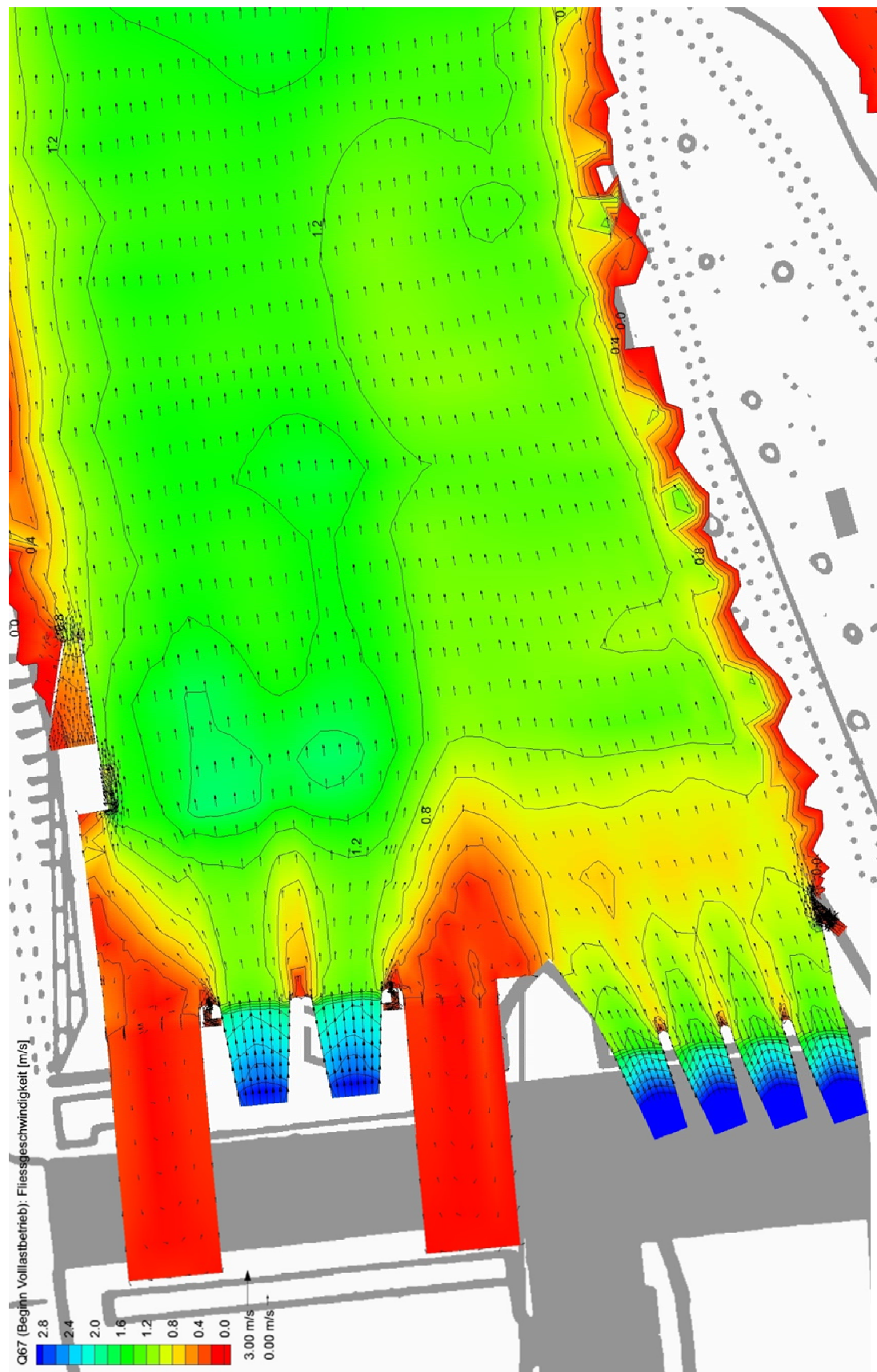
$Q_{Aare} = 760 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_{Kraftwerk} = 400 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_{Restwasser} = 360 \text{ m}^3/\text{s}$

### Teil 2B: Tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit $Q_{67}$



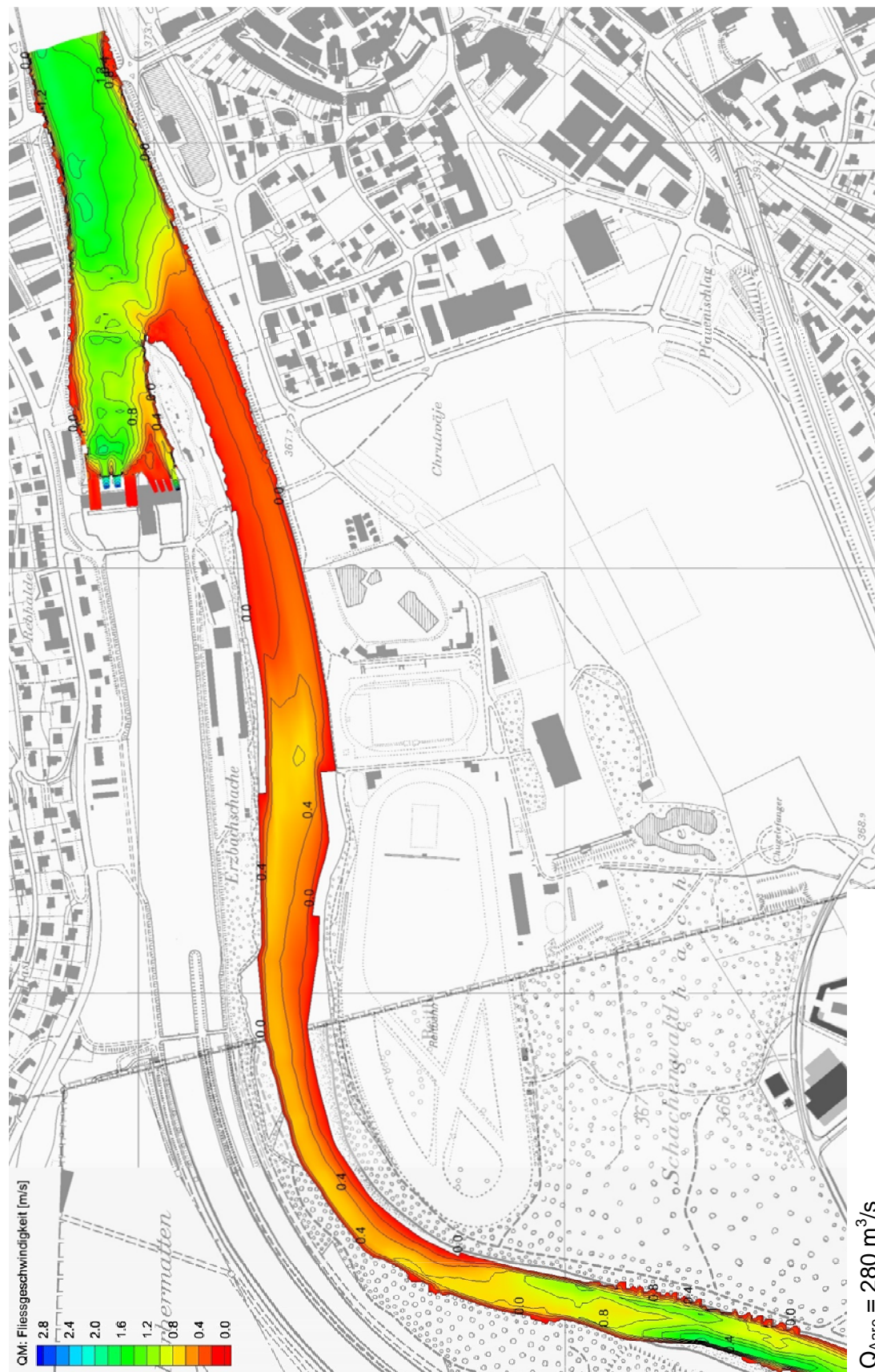


$Q_{\text{Aare}} = 425 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_{\text{Kraftwerk}} = 400 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_{\text{Restwasser}} = 25 \text{ m}^3/\text{s}$



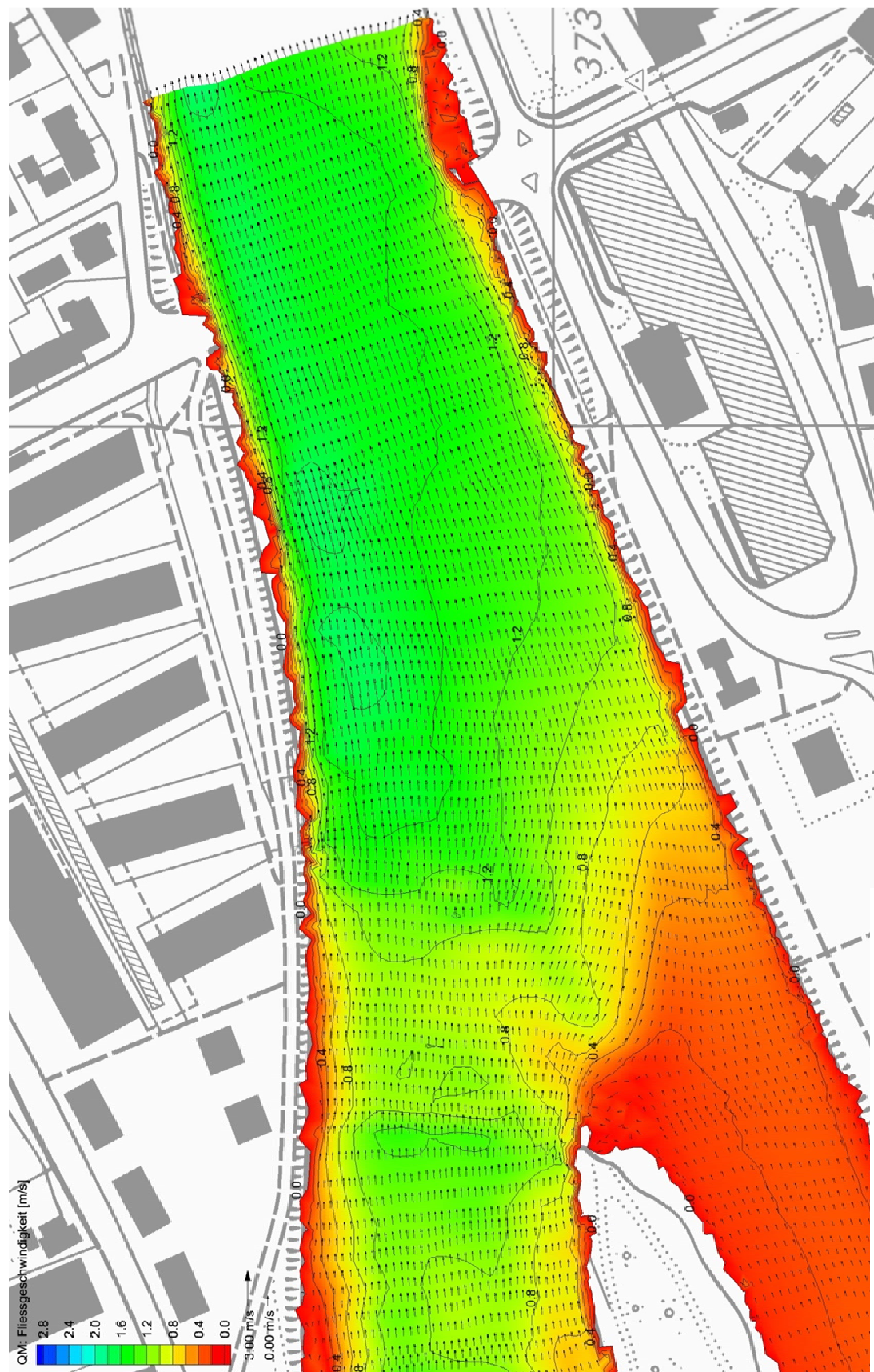
$Q_{Aare} = 425 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_{Kraftwerk} = 400 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_{Restwasser} = 25 \text{ m}^3/\text{s}$

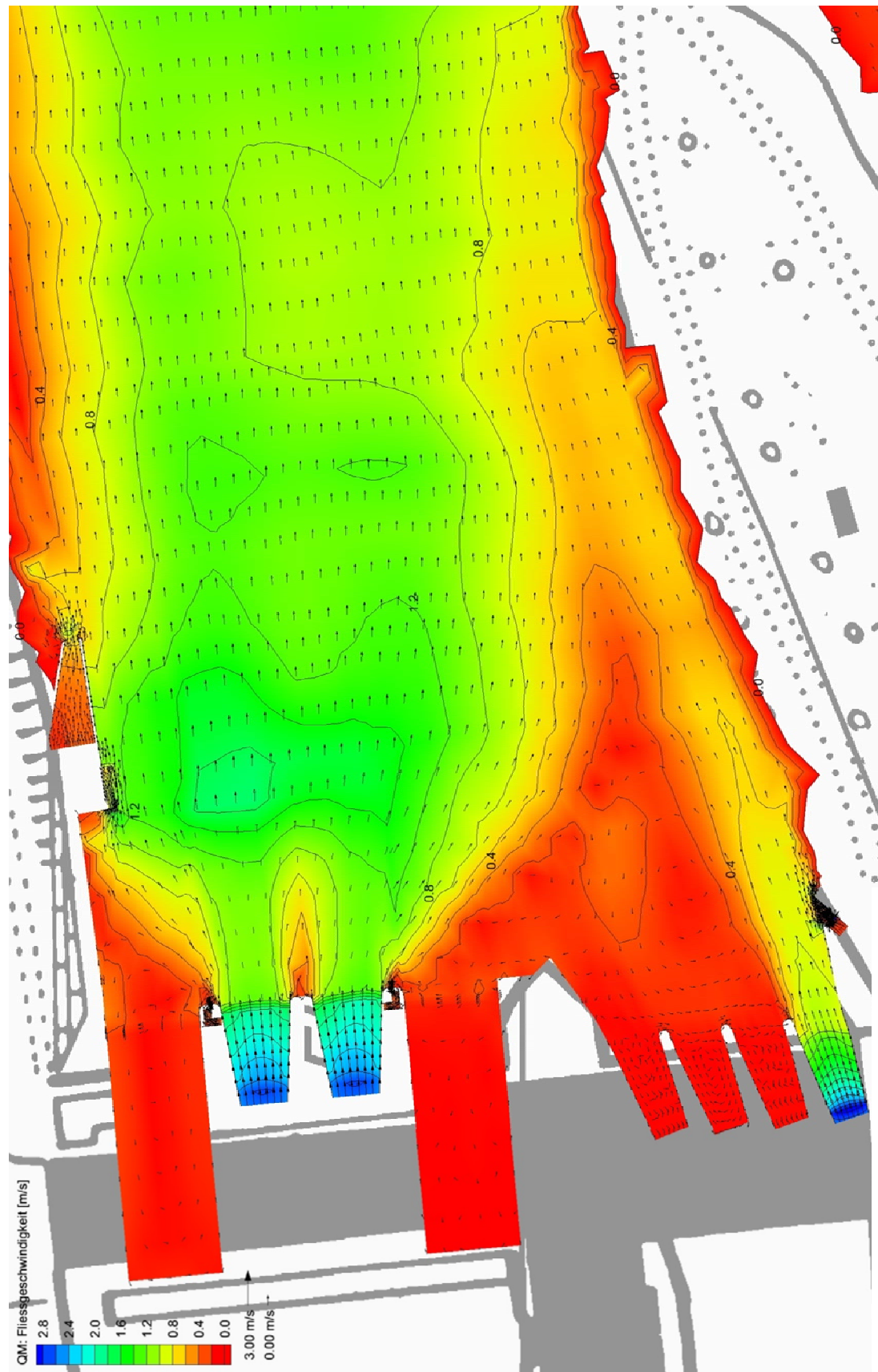
### Teil 2C: Tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit $Q_M$



$Q_{Aare} = 280 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_{Kraftwerk} = 255 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_{Restwasser} = 25 \text{ m}^3/\text{s}$





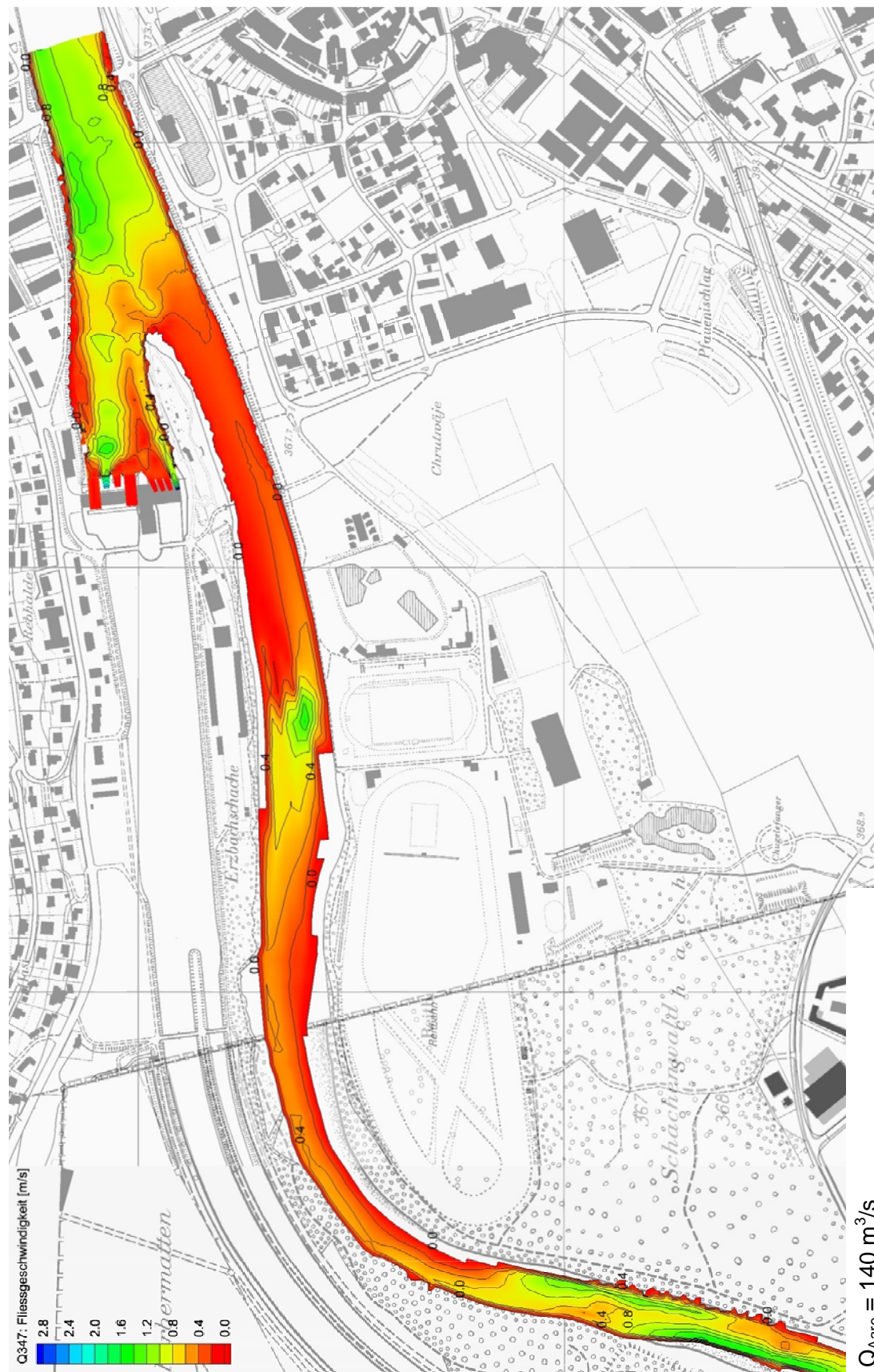


QM: Fließgeschwindigkeit [m/s]

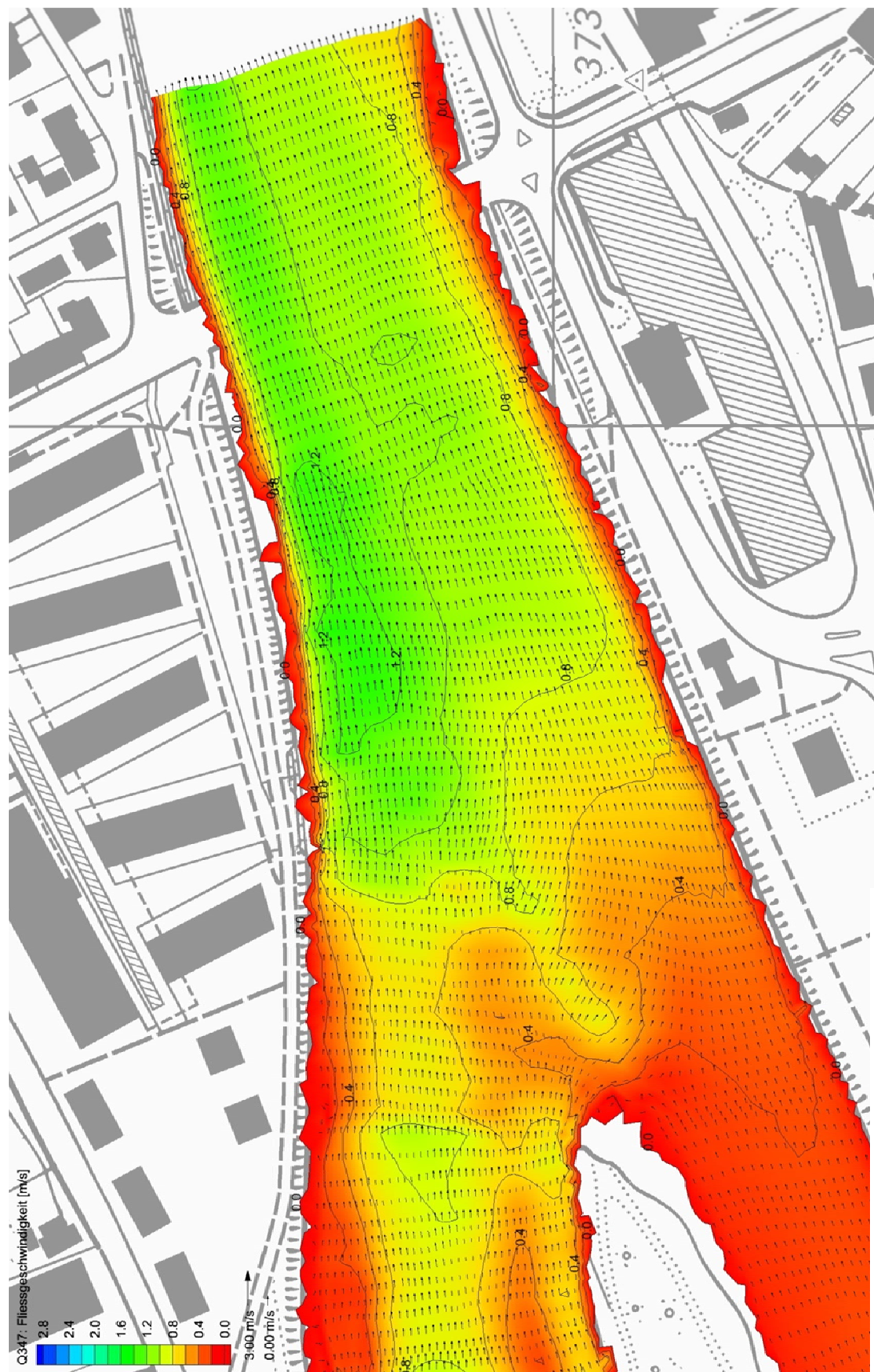
2.8  
2.4  
2.0  
1.6  
1.2  
0.8  
0.4  
0.0  
3.00 m/s  
0.00 m/s

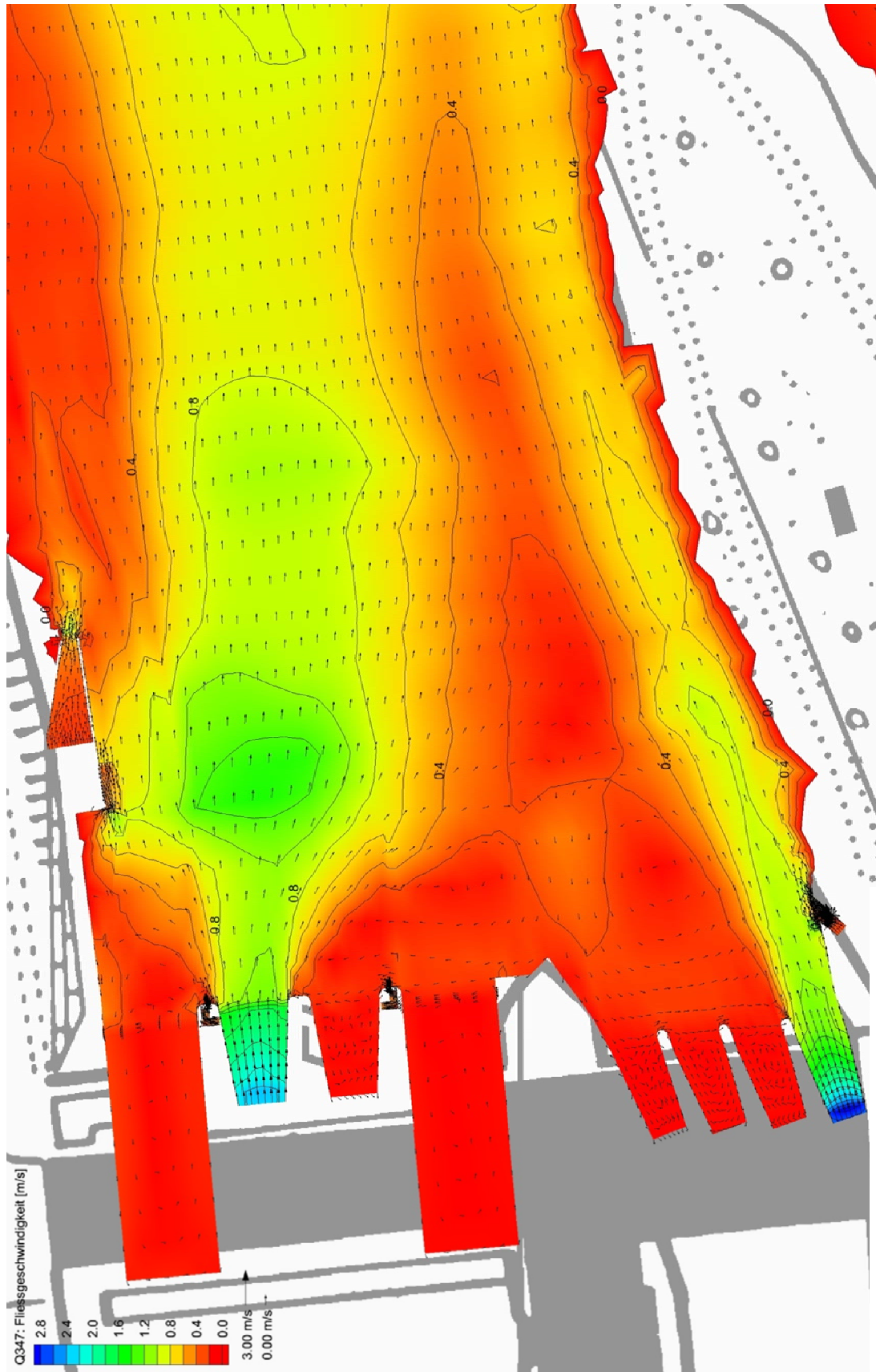
$Q_{Aare} = 280 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_{Kraftwerk} = 255 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_{Restwasser} = 25 \text{ m}^3/\text{s}$

## Teil 2D: Tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit $Q_{347}$

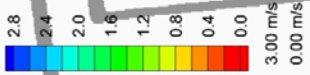


$Q_{Aare} = 140 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_{Kraftwerk} = 125 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_{Restwasser} = 15 \text{ m}^3/\text{s}$





Q347: Fließgeschwindigkeit [m/s]



$Q_{Aare} = 140 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_{Kraftwerk} = 125 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_{Restwasser} = 15 \text{ m}^3/\text{s}$