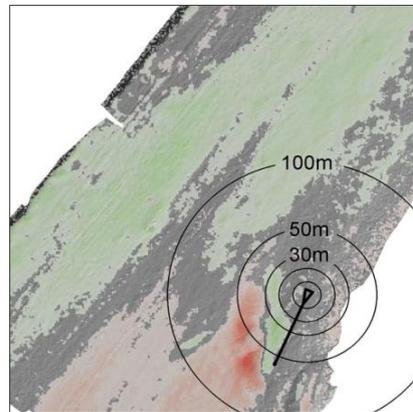
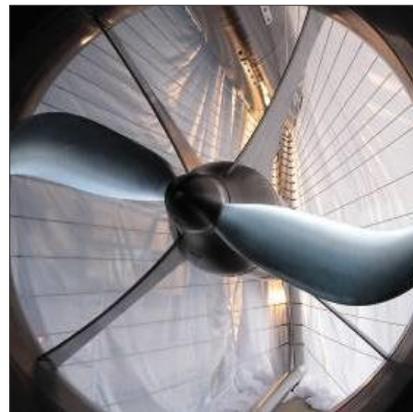
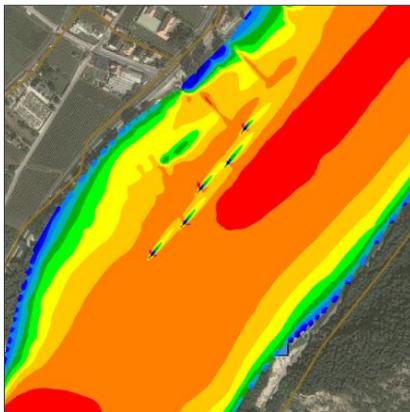


Strom-Boje Weißenkirchen Monitoring und Modellierung

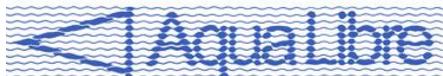
ZWISCHENBERICHT



Auftraggeber

Aqua Libre Energieentwicklungs GmbH

Bäckerstraße 1
A- 2433 Margarethen am Moos



Gefördert vom

Christian Doppler Forschungsgesellschaft

Boltzmanngasse 20
A- 1090 Wien



Projektleitung

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Helmut Habersack

Universität für Bodenkultur Wien

Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau

CD Labor für Innovative Methoden in Fließgewässermonitoring, Modellierung und Flussbau



Projektbearbeitung

B.A. Christoph Fichtinger

Dipl.-Ing. Kurt Glock

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Helmut Habersack

Dipl.-Ing. Mario Klösch

Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Marcel Liedermann

Dipl.-Ing. Mag. Dr.techn. Christine Sindelar

B.A. Konrad Stogart

Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael Tritthart

Dipl.-Ing. Beatrice Wagner

Zitiervorschlag:

Habersack, H., Tritthart, M., Klösch, M., Liedermann, M., Glock, K., Sindelar, C., Fichtinger, C., Stogart, K., Wagner, B. (2014): Strom-Boje Weissenkirchen – Monitoring und Modellierung. Zwischenbericht vom 18.11.2014, im Auftrag von Aqua Libre Entwicklungs GmbH, gefördert von der Christian Doppler Forschungsgesellschaft. Wien, 18 S.

Titelbilder: IWHW-BOKU

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Monitoring der Sohländerungen.....	1
2.1	Datengrundlage.....	1
2.1.1	Sohlgrundvermessungen.....	1
2.1.2	Hydrologie.....	1
2.2	Methodik.....	2
2.3	Ergebnisse.....	2
2.3.1	Höhenmodelle.....	2
3	3D hydrodynamische numerische Modellierung.....	6
3.1	Kalibrierung.....	6
3.2	Regulierungsniederwasser RNQ 930 m ³ s ⁻¹	8
3.2.1	Wasserspiegellage RNQ.....	8
3.2.2	Fließgeschwindigkeiten RNQ.....	9
3.2.3	Sohlschubspannungen RNQ.....	10
3.3	Mittelwasser MQ 1875 m ³ s ⁻¹	11
3.3.1	Wasserspiegellage MQ.....	11
3.3.2	Fließgeschwindigkeiten MQ.....	12
3.3.3	Sohlschubspannungen MQ.....	13
3.4	Höchster schiffbarer Wasserstand HSQ 4870 m ³ s ⁻¹	14
3.4.1	Wasserspiegellage HSQ.....	14
3.4.2	Fließgeschwindigkeiten HSQ.....	15
3.4.3	Sohlschubspannungen HSQ.....	16
4	Interpretation und Schlussfolgerung.....	18
4.1	Monitoring der Sohländerungen.....	18
4.2	3D hydrodynamische numerische Modellierung.....	18

1 Einleitung

Bei der Nutzung hydrokinetischer Energie handelt es sich, im Vergleich zur konventionellen Wasserkraft, um eine relativ neue Technologie im Sektor der erneuerbaren Energien. Weltweit existieren erst einige wenige Systeme, welche sich in unterschiedlichen Entwicklungsstadien, von Labortests bis zur kommerziellen Nutzung, befinden. Die österreichische Firma Aqua Libre hat mit der Strom-Boje bereits eine hydrokinetische Anlage bis zur Marktreife entwickelt und mit ihrer Erfindung den österreichischen Klimaschutzpreis 2010 gewonnen.

Eine Besonderheit der Strom-Boje im Vergleich zu anderen hydrokinetischen Systemen liegt in der Verankerung und der Verwendung eines Diffusors. Die Strom-Boje wird nicht starr in der Gewässersohle verankert, sondern wird an einer ca. 30 m langen Kette befestigt, die wiederum an der Sohle an einem Betonfundament fixiert ist. Die beweglichen Turbinenschaufeln sind von einem Diffusor ummantelt, der einerseits die Stromerzeugung erhöht (durch Erhöhung des Durchfluss-wirksamen Querschnitts) und andererseits als Schwimmkörper dient. Kette und Diffusor sind derart konstruiert, dass die Turbine, die bei Mittelwasser an der Wasseroberfläche schwimmt, ab hohem Mittelwasser abtaucht. Auf diese Weise können Kollisionen mit großen Treibstücken, die bei Hochwasser an der Wasseroberfläche treiben, unterbunden werden."

2 Monitoring der Sohländerungen

Die von der Strom-Boje durchgeführte Energieumwandlung könnte die Strömung an der Flusssohle verändern und mitunter den Sedimenttransport beeinflussen, so dass sich unerwünschte Anlandungen oder Erosionen ergeben. Die Sohle in der Nähe einer installierten Strom-Boje wurde auf eine solche Beeinflussung untersucht. Zu diesem Zweck wurden 3 aufeinanderfolgende Sohlgrundaufnahmen mittels Multibeam-Echolot verglichen.

2.1 Datengrundlage

2.1.1 Sohlgrundvermessungen

Zur Schaffung einer Datengrundlage wurden von der BOKU wiederholte Sohlgrundvermessungen mittels Multibeam-Echolot beauftragt. Der Vermessungsbereich erstreckte sich zwischen Flusskilometer 2014,4 und 2014,9 und deckte somit insgesamt 500 m der Donau ab. Am 29. 3. 2012, kurz nach Einbringung der Strom-Boje 3 im November 2011, wurde die erste Vermessung durchgeführt. Mit zwei weiteren Sohlvermessungen am 3. 4. 2013 und am 8. 8. 2013 konnte die Entwicklung der Sohle im Nahbereich der Strom-Boje in zwei Zeiträumen dargestellt werden.

2.1.2 Hydrologie

Die Hydrologie bestimmt die an der Sohle wirkenden Strömungskräfte und beeinflusst somit auch den Sedimenttransport. Daher ist in der Analyse der Sohländerungen eine Berücksichtigung der Hydrologie notwendig. Während im ersten Zeitraum (29. 3. 2012 bis 3. 4. 2013) nur kleinere Hochwasserereignisse auftraten, fand im Zeitraum zwischen 3. 4. 2013 und 8. 8. 2013 ein ca. 100-jährliches Hochwasserereignis statt (Abb. 1).

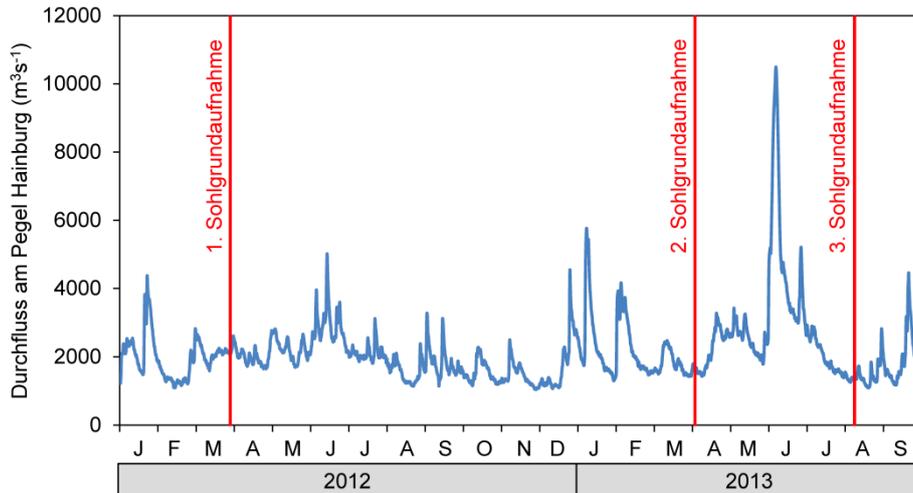


Abb. 1. Hydrologie der Donau im Untersuchungszeitraum und Zeitpunkte der Sohlgrundaufnahmen.

2.2 Methodik

Die Auflösung der zur Verfügung gestellten Sohlgrundaufnahmen betrug ca. 1 m. Mit Hilfe eines Geoinformationssystems wurden die Sohlpunkte linear zu einem Dreiecksnetz interpoliert und daraufhin in ein quadratisches Raster mit einer Zellengröße von 1 m umgewandelt. Schlussendlich konnte ein Höhenmodell von einem zweiten subtrahiert und somit die Sohlhöhenänderungen berechnet und visualisiert werden.

2.3 Ergebnisse

2.3.1 Höhenmodelle

In Abb. 2 bis Abb. 4 sind die Höhenmodelle zu den drei Vermessungszeitpunkten dargestellt. Aus diesen kann für beide untersuchte Zeiträume keine größere Änderung der Sohlmorphologie im Bereich der Strom-Boje 3 abgeleitet werden. Lediglich in der Nähe des Ankers sind die Auswirkungen einer im November 2012 erfolgten Entnahme von ca. 200 m³ Sediment erkennbar.

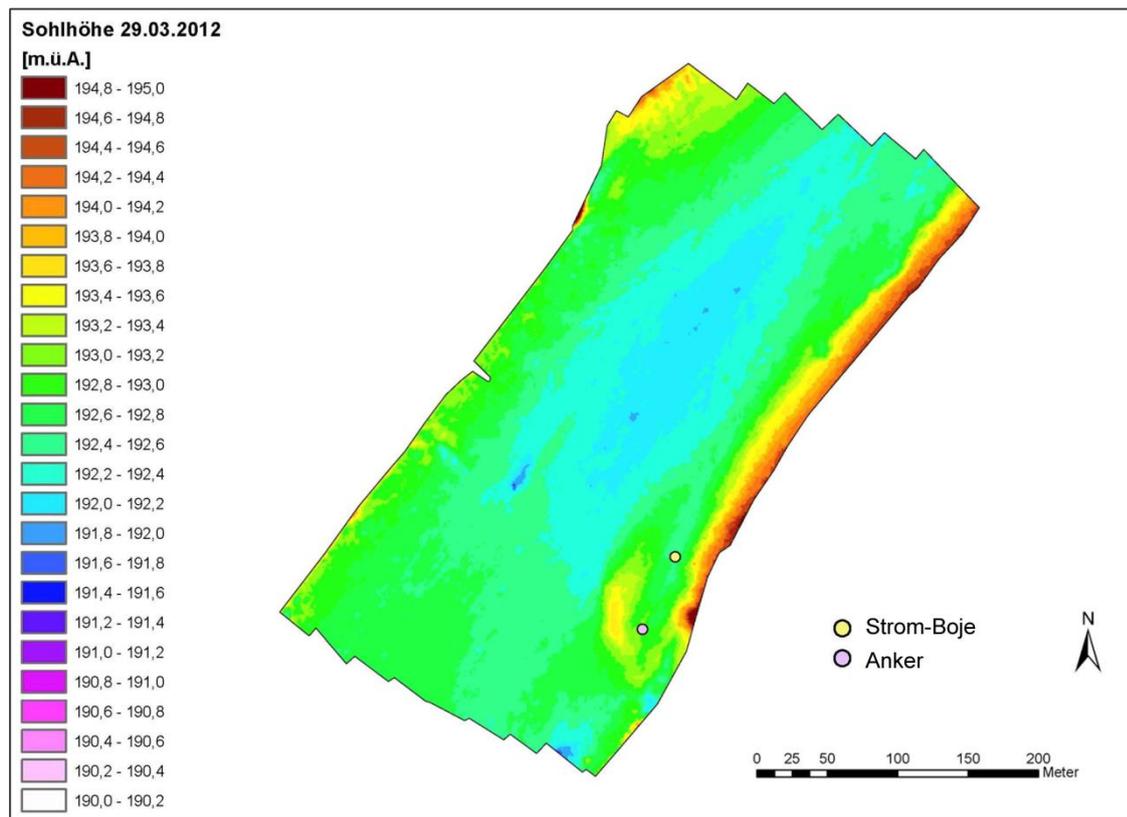


Abb. 2. Höhenmodell der Sohle vom 29. 3. 2012 mit eingezeichneten Positionen des Ankers und der Strom-Boje.

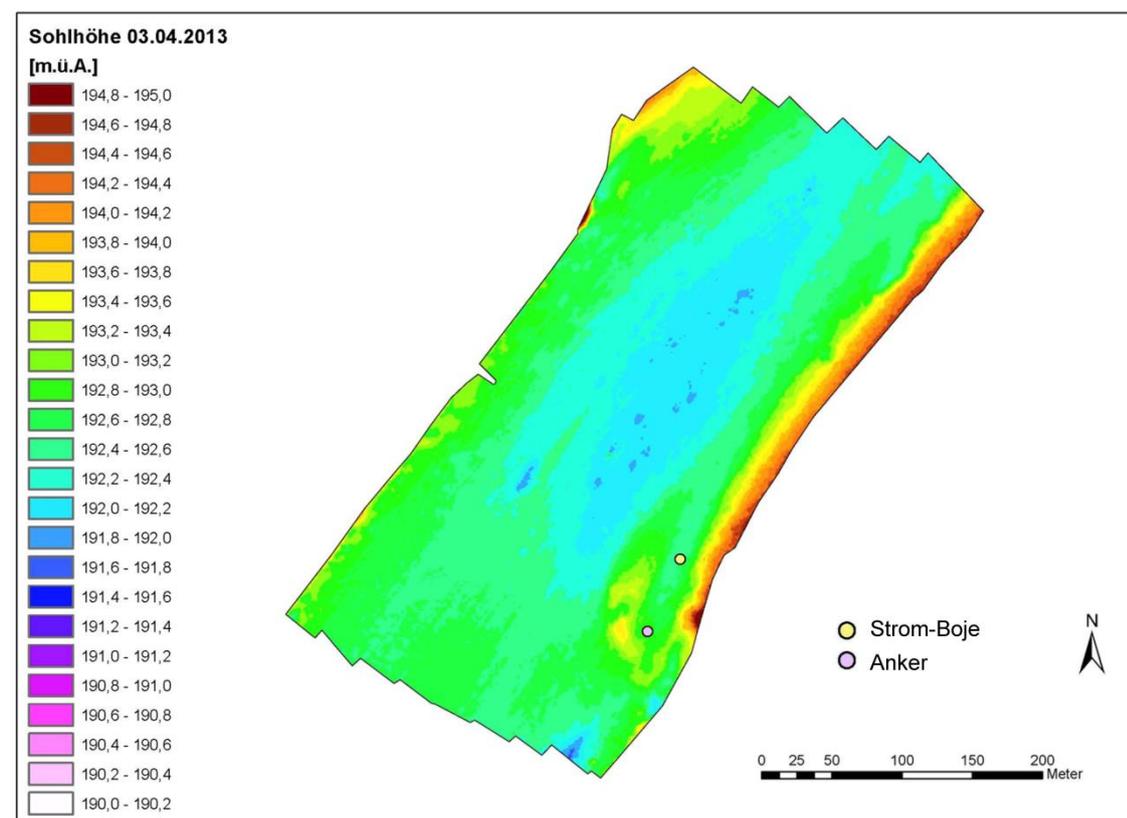


Abb. 3. Höhenmodell der Sohle vom 3. 4. 2013 mit eingezeichneten Positionen des Ankers und der Strom-Boje.

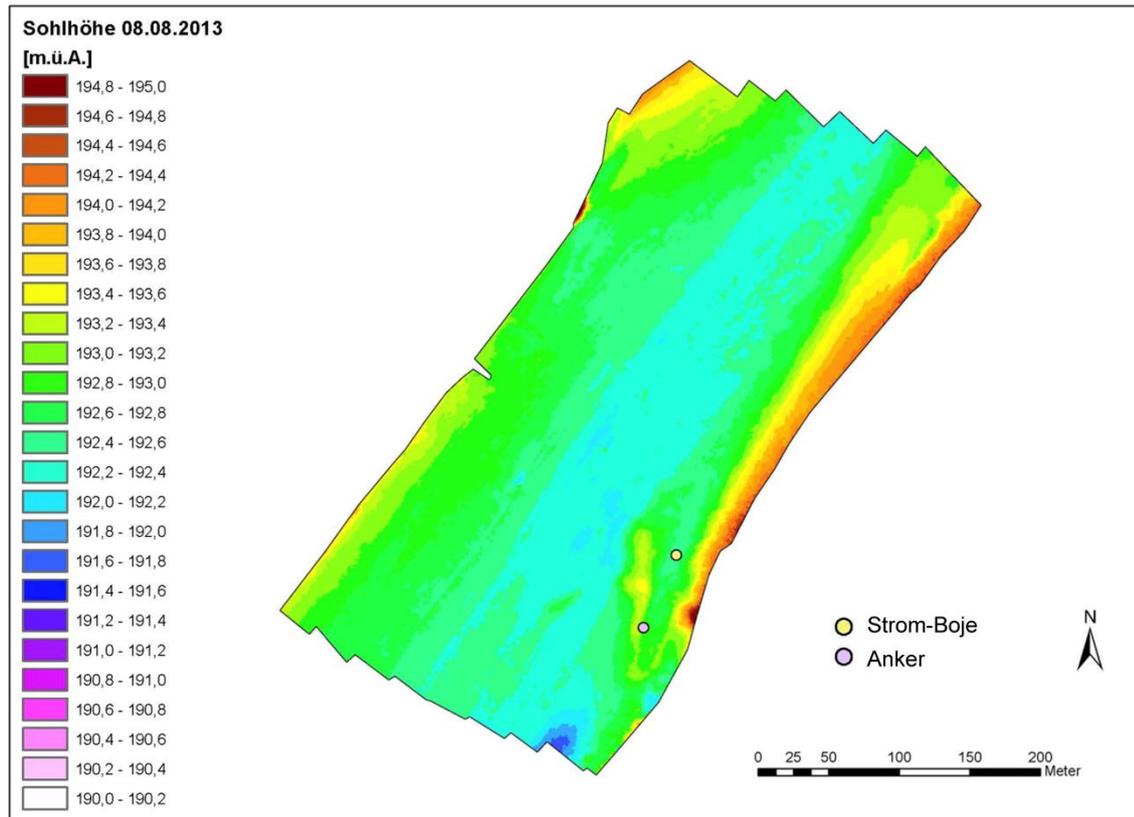


Abb. 4. Höhenmodell der Sohle vom 8. 8. 2013 mit eingezeichneten Positionen des Ankers und der Strom-Boje.

Leichter erkennbar sind die Sohlhöhenänderungen in den Differenzkarten in Abb. 5 und Abb. 6. Im ersten Zeitraum (29. 3. 2012 bis 3. 4. 2013) ist lediglich in der Nähe der Ankerposition eine größere Sohlhöhenänderung erkennbar, die aber auf die Baggerung zurückgeführt werden kann. Im zweiten Zeitraum zwischen 3. 4. 2013 und 8. 8. 2013 bewirkte das Hochwasserereignis größere Sohlhöhenänderungen, die aber nicht auf eine Wirkung der Strom-Boje selbst zurückzuführen sind. Im Verhältnis zu umliegenden Sohländerungen mit Anlandungen bzw. Eintiefungen von bis zu über 1 m sind jene in der Nähe der Strom-Boje mit Maximalwerten unter 0,3 m gering. Auffällig sind jedoch größere Sohlhöhenänderungen flussauf der Strom-Boje in der Nähe des Ankers. Die in Nord-Süd-Richtung ausgerichtete Sohlhöhe dürfte während des 100-jährlichen Hochwassers mobilisiert worden sein, wobei ein Einfluss der Baggerung oder des Ankers auf die beobachteten Sohländerungen nicht ausgeschlossen werden kann. Eine Verschiebung dieser Sohlhöhe in Richtung flussab bewirkte Anlandungen von bis zu 0,74 m als auch Eintiefungen von bis zu 1,19 m.

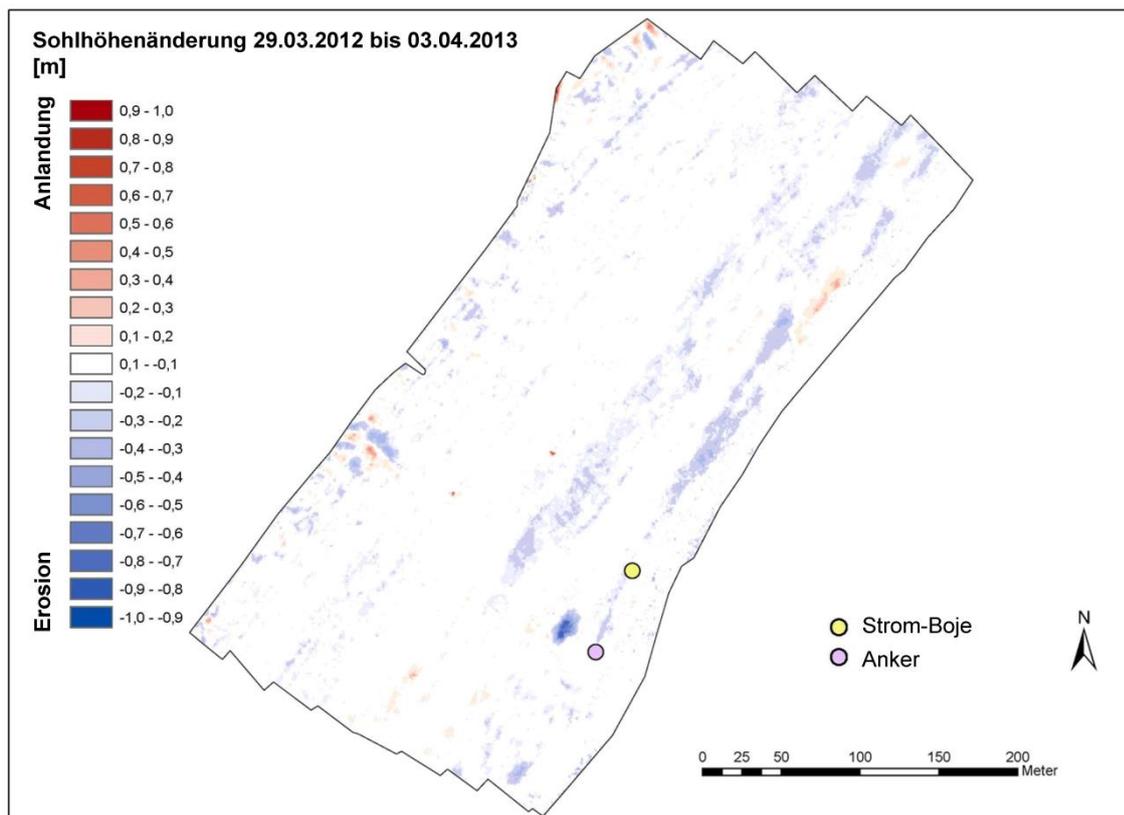


Abb. 5. Sohlhöhenänderungen im Zeitraum zwischen 29. 3. 2012 und 3. 4. 2013 mit eingezeichneten Positionen des Ankers und der Strom-Boje.

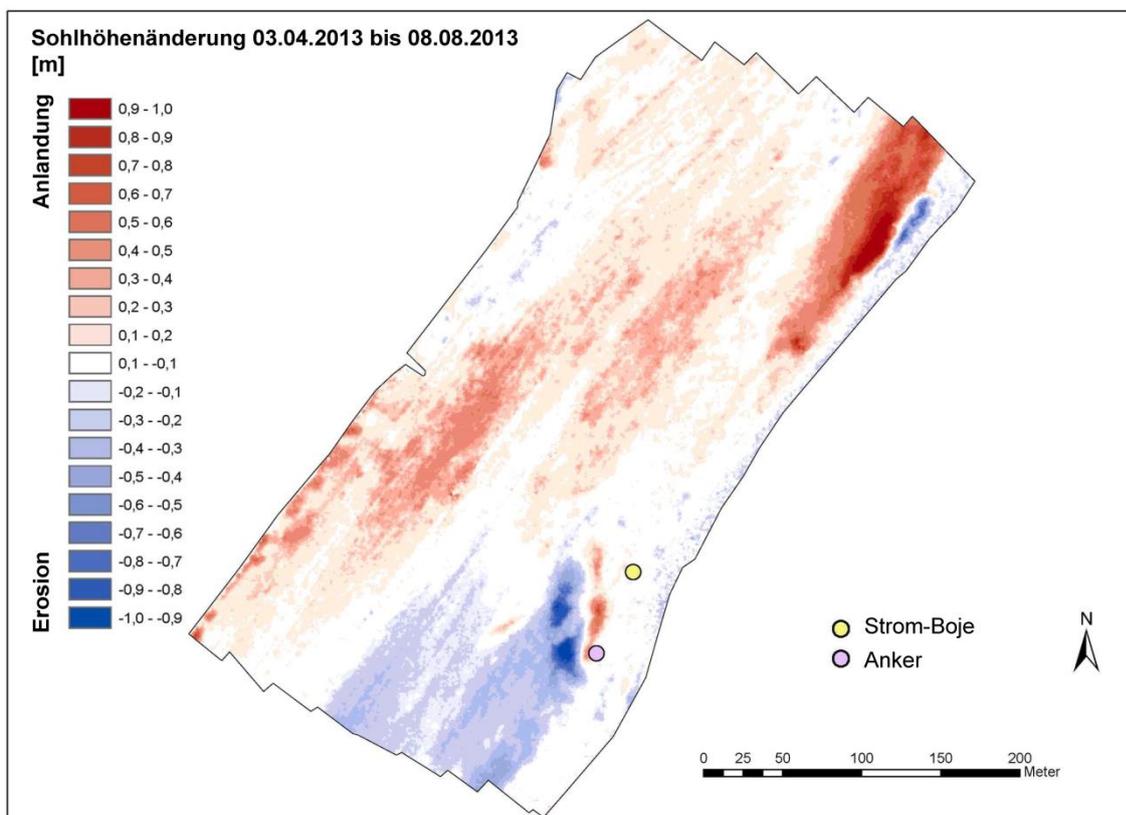


Abb. 6. Sohlhöhenänderungen im Zeitraum zwischen 3. 4. 2013 und 8. 8. 2013 mit eingezeichneten Positionen des Ankers und der Strom-Boje.

3 3D hydrodynamische numerische Modellierung

Um die Auswirkung mehrerer Strom-Bojen auf die hydraulischen Kennwerte abschätzen zu können, wurde eine hydrodynamisch numerische Modellierung mit einem dreidimensionalen Strömungsmodell durchgeführt. Dabei wurde in die bestehende Geometrie eine Reihe von 5 Strom-Bojen eingebaut und die hydraulischen Parameter wurden für 3 charakteristische Durchflüsse (RNQ, MQ und HSQ) modelliert. Der Vergleich mit der unbeeinflussten Geometrie soll Aufschluss über die Auswirkung der 5 Strom-Bojen liefern.

3.1 Kalibrierung

Im Zuge der Kalibrierung wird die äquivalente Sandrauigkeit des Modells so angepasst, dass die kennzeichnenden Wasserstände der Donau (KWD) erreicht werden und dabei der Durchfluss über das gesamte Untersuchungsgebiet gleich bleibt. Neben der Kornrauigkeit der Sohle fließen auch die Formrauigkeit und die Oberflächenrauigkeit in die äquivalente Sandrauigkeit ein. Dieser Umstand führt dazu, dass für jeden Durchfluss eine eigene Kalibrierung notwendig ist. Allerdings wird dabei nur die äquivalente Sandrauigkeit des Hauptstromes verändert, wobei die Rauigkeit für Einbauten (z. B.: Bühnen) bei allen Durchflüssen gleich bleibt. Die folgenden Tabellen Tab. 3.1 – Tab. 3.3 zeigen die Differenz der Wasserspiegellagen zwischen den Werten der KWDs und den Simulationsrechenläufen bei unterschiedlichen Sandrauigkeiten im Hauptstrom.

Die äquivalente Sandrauigkeit im Hauptstrom bei Regulierungsniederwasser von $930 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ beträgt 45 mm (Tab. 3.1).

Tab. 3.1: Kalibrierungsergebnisse RNQ $930 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$

Referenzdaten	Unterer Modellrand	Stromkilometer 2014	Stromkilometer 2015
(-)	(m ü. A.)	(m ü. A.)	(m ü. A.)
KWD 2010	194.96	195.13	195.6
Äquivalente Sandrauigkeit	Differenz der WSP-lagen zur Referenz		
	Unterer Modellrand	Stromkilometer 2014	Stromkilometer 2015
(mm)	(cm)	(cm)	(cm)
40	+2	-2.5	+1
45	+1	-2	+1
60	+1	-1.5	+5

Die äquivalente Sandrauigkeit im Hauptstrom bei Mittelwasser von $1875 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ beträgt 65 mm (Tab. 3.2).

Tab. 3.2: Kalibrierungsergebnisse MQ 1875 m³s⁻¹

Referenzdaten	Unterer Modellrand	Stromkilometer 2014	Stromkilometer 2015
(-)	(m ü. A.)	(m ü. A.)	(m ü. A.)
KWD 2010	196.46	196.92	197.06
Äquivalente Sandraugigkeit	Differenz der WSP-lagen zur Referenz		
	Unterer Modellrand	Stromkilometer 2014	Stromkilometer 2015
(mm)	(cm)	(cm)	(cm)
40	+0.5	-6.5	-2
50	0	-5	-1
65	0	-2.5	0

Die äquivalente Sandraugigkeit im Hauptstrom bei einem Durchfluss von 4870 m³s⁻¹ (HSQ) beträgt 100 mm (Tab. 3.3).

Tab. 3.3: Kalibrierungsergebnisse HSQ 4870 m³s⁻¹

Referenzdaten	Unterer Modellrand	Stromkilometer 2014	Stromkilometer 2015
(-)	(m ü. A.)	(m ü. A.)	(m ü. A.)
KWD 2010	199.52	199.77	200.1
Äquivalente Sandraugigkeit	Differenz der WSP-lagen zur Referenz		
	Unterer Modellrand	Stromkilometer 2014	Stromkilometer 2015
(mm)	(cm)	(cm)	(cm)
60	+1	-5	-7
95	+2	-2	-3
100	0	-1	+1
110	0	-1	+1.5

Die Rauigkeiten der Uferböschungen, der Schotterinsel sowie der weiteren Einbauten sind bei allen Durchflüssen gleich und wurden wie folgt festgelegt:

Uferböschung links (Steinschichtung + Rasen)	50mm
Uferböschung rechts (Steinschichtung)	100mm
Bühne 1+2	300mm (gelb in Abb.)
Bühne 3	450mm (rot in Abb.)
Insel	30mm + 100mm oben
Bereich hinter Insel	30mm
Badebucht	10mm

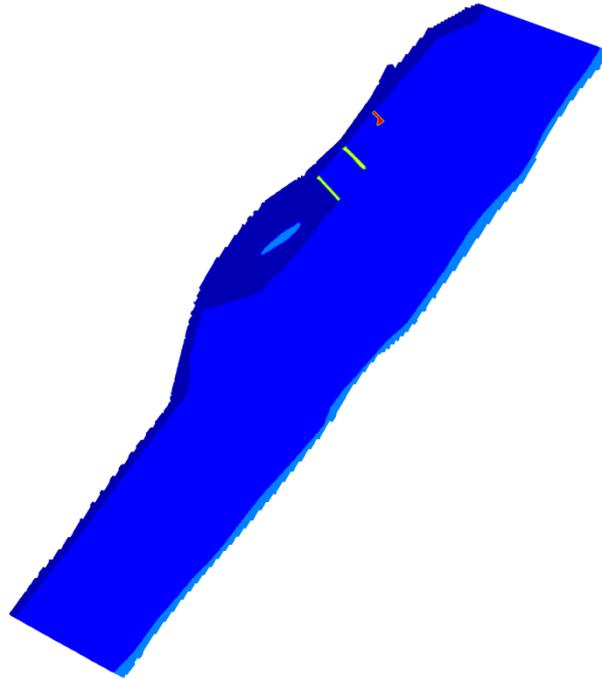


Abb. 3.1 Rauigkeiten – Übersicht.

3.2 Regulierungsniederwasser RNQ 930 m³s⁻¹

3.2.1 Wasserspiegellage RNQ

In Abb. 3.2 sind die Wasserspiegellagen bei Regulierungsniederwasser von 930 m³s⁻¹ dargestellt, wobei die Abbildung (a) den Referenzzustand zeigt und in Abbildung (b) der Zustand nach dem Einbau der Bojen zu sehen ist. Der Wasserspiegelverlauf ist in beiden Abbildungen nahezu ident und unterscheidet sich nur kleinräumig an den unmittelbaren Standorten der fünf eingesetzten Strom-Bojen.

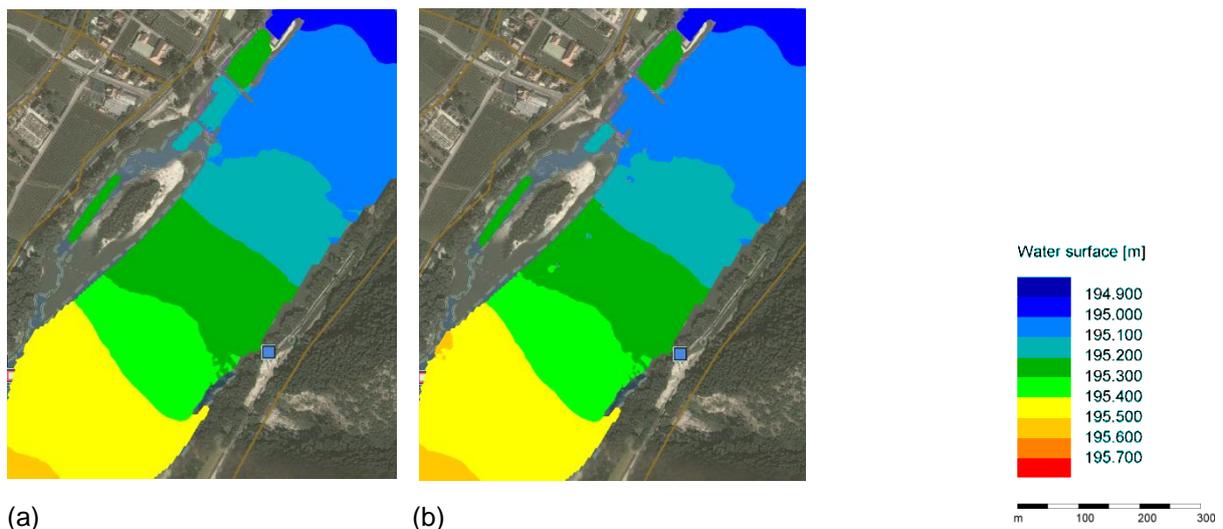


Abb. 3.2 Wasserspiegellagen – RNQ – Referenzzustand (a) – Einbau der Bojen (b).

Die Differenzkarte der Wasserspiegellagen (Abb. 3.3) zwischen der Variante mit Einbau der Bojen und dem Referenzzustand bestätigt den Eindruck, dass nur lokal im Bereich der Strom-Bojen mit

Veränderungen der Wasserspiegellagen zu rechnen ist. Flussauf der Strömungselemente beträgt der Aufstau rund 5-10 cm und stromab ergibt sich eine Absenkung von rund 5-10 cm.

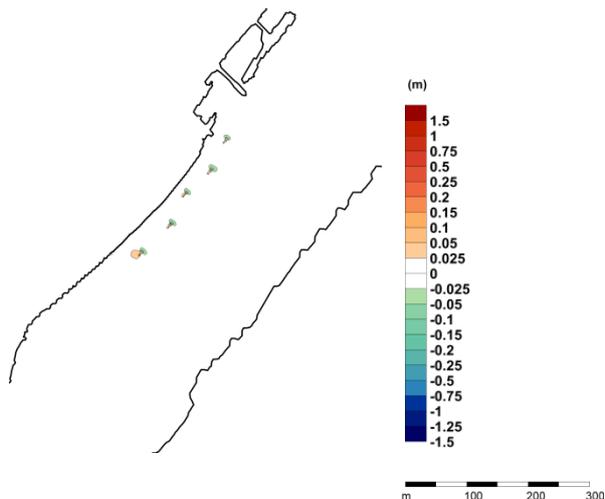


Abb. 3.3 Differenzkarte der Wasserspiegellagen – RNQ.

3.2.2 Fließgeschwindigkeiten RNQ

Die Fließgeschwindigkeiten in einer mittleren Wassertiefe werden bei einem Durchfluss von $930 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (RNQ) in Abb. 3.4 gezeigt. Die vorhandene Insel am linken Ufer bewirkt eine Einengung der Donau, und in weiterer Folge die hohen Fließgeschwindigkeiten von rund 2.2 ms^{-1} in der Flussmitte. Eine großräumige Veränderung des Strömungsbildes durch die Strom-Boje kann nicht ausgewiesen werden.

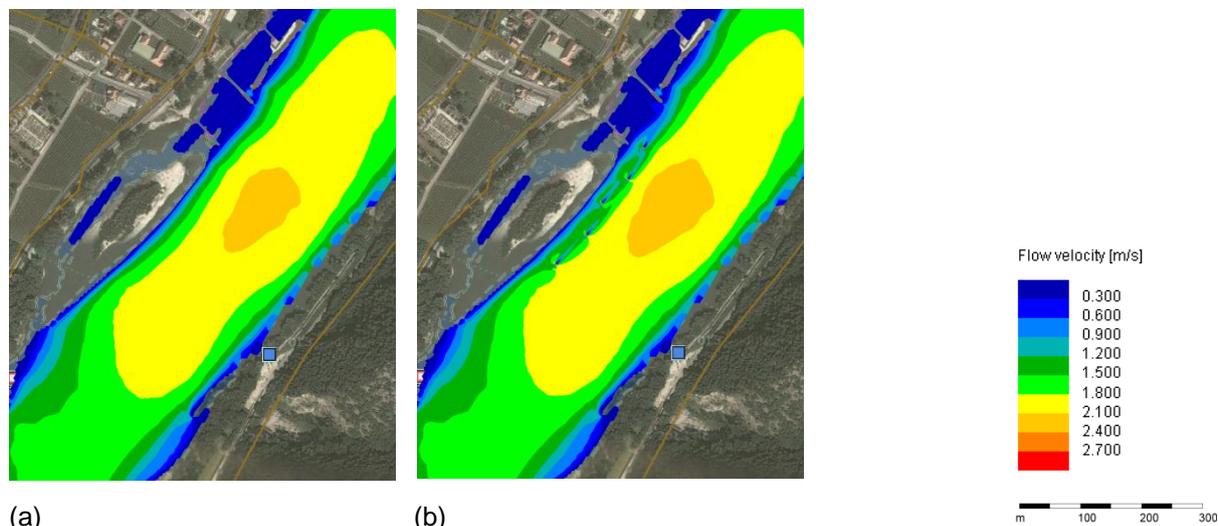


Abb. 3.4 Fließgeschwindigkeiten (mittlere Wassertiefe) – RNQ – Referenzzustand (a) – Einbau der Bojen (b).

Abb. 3.5 zeigt, dass die hydrokinetischen Elemente am linken Ufer eine lokale Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten von rund 0.1 bis 0.2 ms^{-1} verursachen. Stromab der Strom-Bojen kommt es zu einer deutlichen Reduktion der Fließgeschwindigkeiten (~ 1.0 - 1.5 ms^{-1}), die auf die bremsende Wirkung der Strömungselemente zurückzuführen ist. Eine Beeinflussung der Fließgeschwindigkeiten von mehr als 10 Prozent (bzw. $\sim 0.1 \text{ ms}^{-1}$) ist bis zu 250 m flussab der letzten Strom-Boje festzustellen.

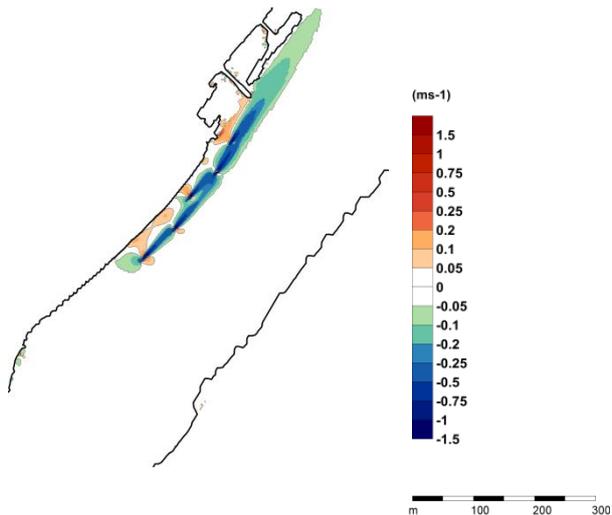
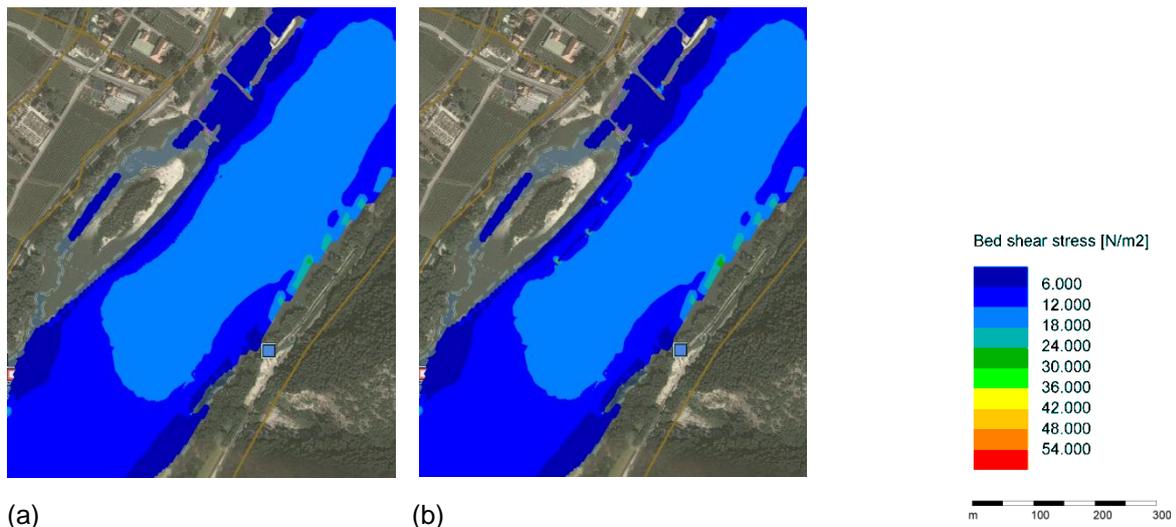


Abb. 3.5 Differenzkarte der Fließgeschwindigkeiten (mittlere Wassertiefe) – RNQ.

3.2.3 Sohlschubspannungen RNQ

Ein Vergleich der Sohlschubspannungen bei Regulierungsniederwasser von $930 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ wird in Abb. 3.6 dargestellt. Auf Höhe der Insel kommt es sowohl im Referenzzustand als auch bei der Variante mit Einbau der Boje zu Sohlschubspannungen von rund 15 Nm^{-2} . Großräumige Veränderungen durch den Einsatz der Strom-Bojen sind im Betrachtungsgebiet nicht zu erwarten.



(a)

(b)

Abb. 3.6 Sohlschubspannungen – RNQ – Referenzzustand (a) – Einbau der Bojen (b).

Allerdings kommt es seitlich der hydrokinetischen Elemente zu einer Erhöhung der Sohlschubspannungen um bis zu 20 Nm^{-2} (Abb. 3.7). Durch die Bremswirkung der hydrokinetischen Elemente verringern sich die Sohlschubspannungen flussab der Strom-Bojen um rund 10 Nm^{-2} . Eine Reduktion der Sohlschubspannungen $\geq 1 \text{ Nm}^{-2}$ ist bis zu 150 m flussab der letzten Strom-Boje erkennbar.

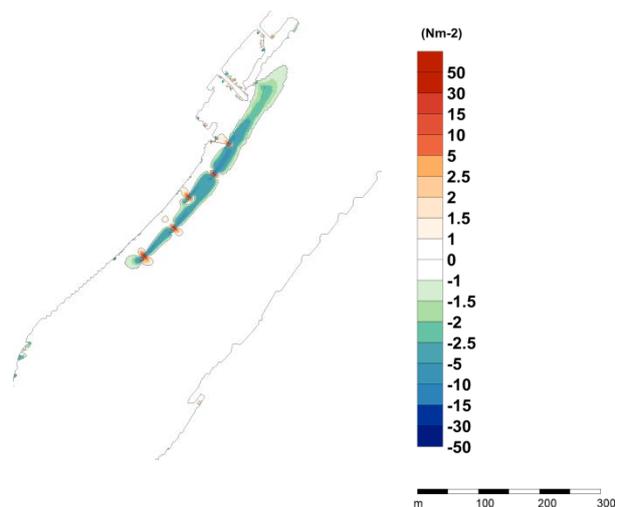


Abb. 3.7 Differenzkarte der Sohlschubspannungen – RNQ.

3.3 Mittelwasser MQ 1875 m³s⁻¹

3.3.1 Wasserspiegellage MQ

Die Wasserspiegellagen bei Mittelwasser von 1875 m³s⁻¹ werden in Abb. 3.8 gezeigt, wobei in Abbildung (a) der Referenzzustand dargestellt ist und in Abbildung (b) der Zustand nach dem Einbau der Bojen zu sehen ist. Der Wasserspiegelverlauf der Referenz gleicht jenem der Variante mit Einbau der Bojen und unterscheidet sich nur kleinräumig am linken Ufer im unmittelbaren Einflussbereich der fünf eingesetzten Strom-Bojen.

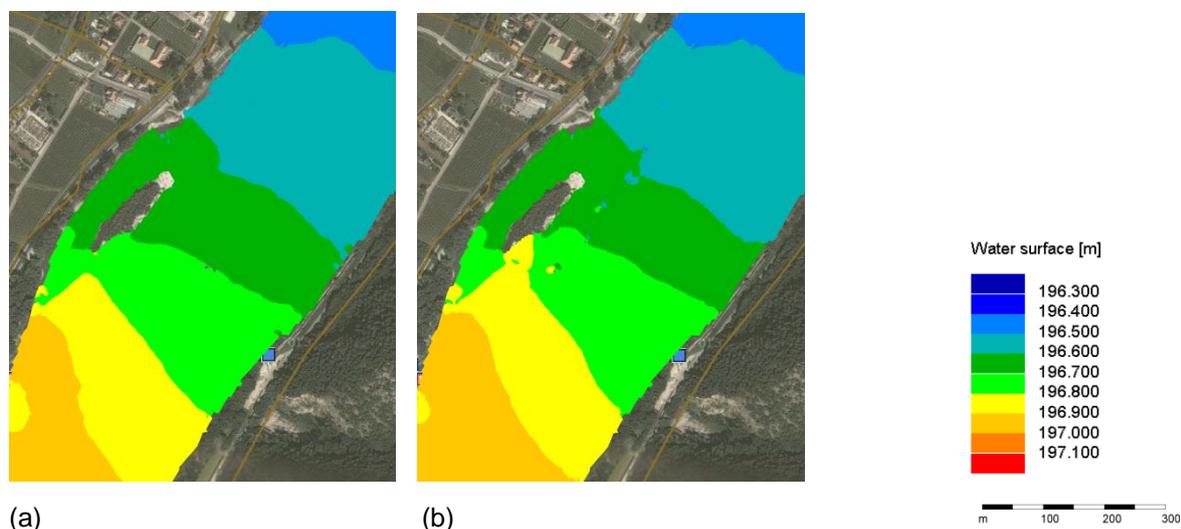


Abb. 3.8 Wasserspiegellagen – MQ – Referenzzustand (a) – Einbau der Bojen (b).

Die Differenzkarte der Wasserspiegellagen zwischen der Variante mit Einbau der Bojen und dem Referenzzustand ist in Abb. 3.9 dargestellt. Flussauf der Strömungselemente beträgt der Aufstau lokal rund 5 cm und stromab ergibt sich eine Absenkung von rund 10 cm. Eine großflächige Auswirkung der Bojen auf die Wasserspiegellage ist somit nicht erkennbar.

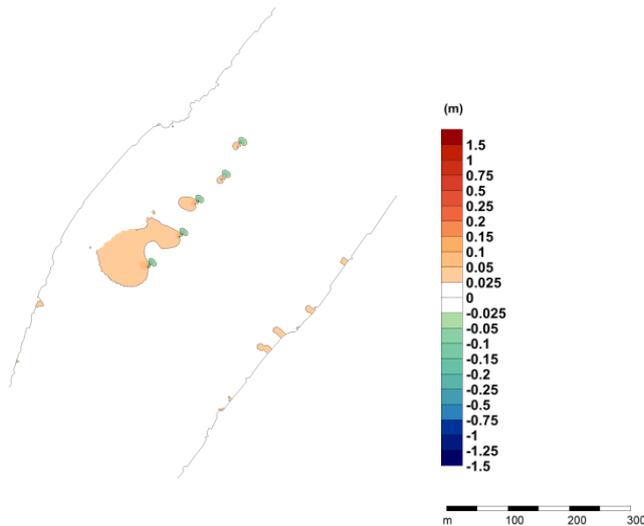


Abb. 3.9 Differenzkarte der Wasserspiegellagen – MQ.

3.3.2 Fließgeschwindigkeiten MQ

Die Abb. 3.10 stellt die Fließgeschwindigkeiten in einer mittleren Wassertiefe bei einem Durchfluss von $1875 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (MQ) dar. Der Einbau der Strom-Bojen bewirkt zusätzlich zur vorhandenen Insel eine Einengung der Donau, die folglich zu einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten führt. Dadurch ist der Bereich mit einer Geschwindigkeit von rund 2.4 ms^{-1} bei der Variante mit Einbau der Strom-Bojen deutlich stärker ausgeprägt als beim Referenzzustand. Eine Senkung der Fließgeschwindigkeiten stromab der Strom-Bojen ist durch den deutlich größeren grünen Wertebereich ($1.5\text{-}1.8 \text{ ms}^{-1}$) zu erkennen.

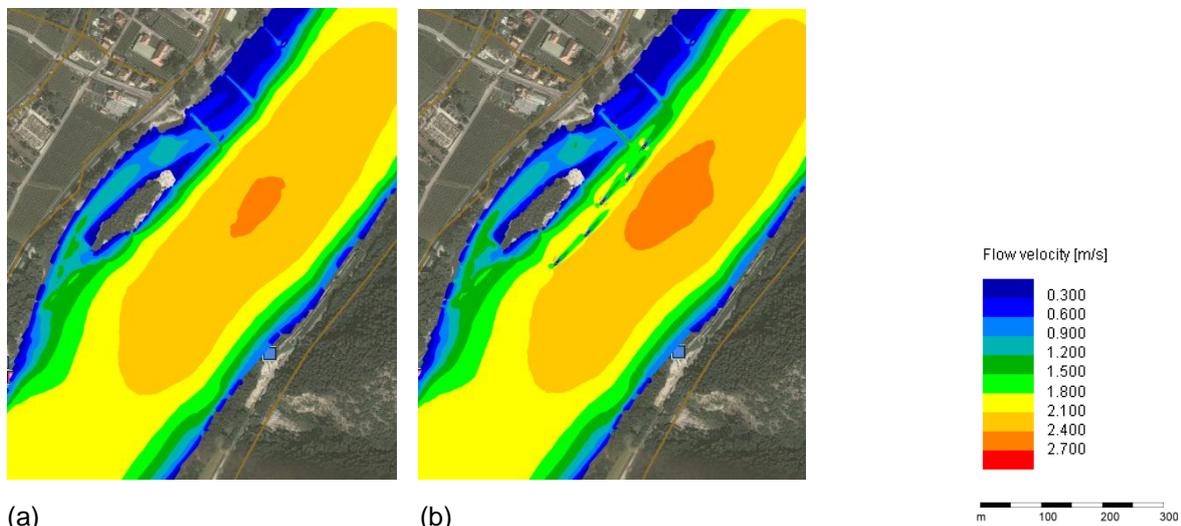


Abb. 3.10 Fließgeschwindigkeiten (mittlere Wassertiefe) – MQ – Referenzzustand (a) – Einbau der Bojen (b).

Die Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten durch den Einsatz der Strom-Bojen ist in der Flussmitte der Donau an dem orangenen Wertebereich ($\sim 0.05 \text{ ms}^{-1}$) der Differenzkarte zu sehen (Abb. 3.11). Außerdem bewirken die eingesetzten Strom-Bojen eine Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten um rund 0.1 ms^{-1} zwischen der Insel und den Strömungselementen. Zusätzlich führt der Einsatz der Strom-Bojen zu einer stärkeren Ablenkung der Strömung hinter die Insel, die ebenfalls eine leichte Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten von rund 0.1 ms^{-1} nach sich zieht. Stromab der Strom-Bojen kommt es zu einer deutlichen Reduktion der Fließgeschwindigkeiten ($\sim 0.5\text{-}1.0 \text{ ms}^{-1}$), die auf die bremsende Wirkung der Strömungselemente zurückzuführen ist. Eine Beeinflussung der Fließgeschwindigkeiten von mehr als 10 Prozent (bzw. $\sim 0.2 \text{ ms}^{-1}$) ist bis zu 200 m flussab der letzten Strom-Boje festzustellen.

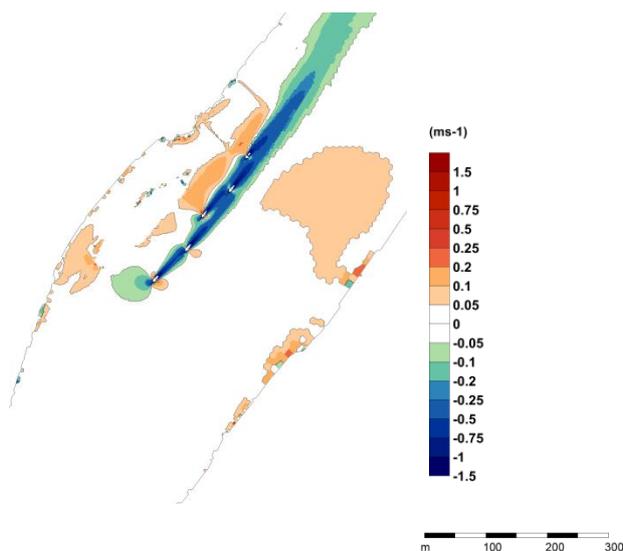


Abb. 3.11 Differenzkarte der Fließgeschwindigkeiten (mittlere Wassertiefe) – MQ.

3.3.3 Sohlschubspannungen MQ

Ein Vergleich der Sohlschubspannungen bei Mittelwasser von $1875 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ wird in Abb. 3.12 dargestellt. Auf Höhe der Insel kommt es sowohl im Referenzzustand als auch bei der Variante mit Einbau der Boje zu Sohlschubspannungen von rund 20 Nm^{-2} . Großräumige Veränderungen durch den Einsatz der Strom-Bojen sind im Betrachtungsgebiet nicht zu erwarten.

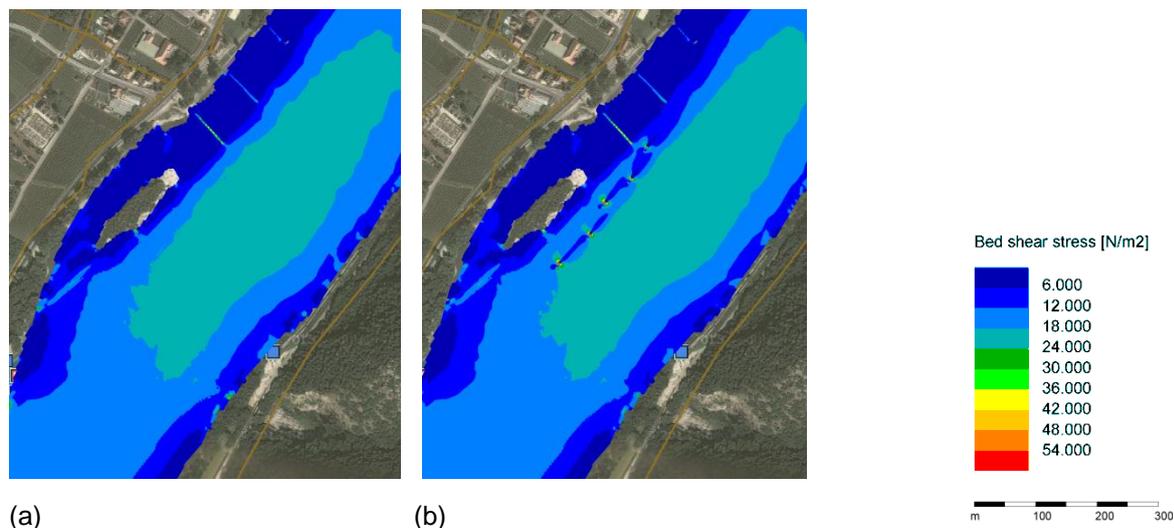


Abb. 3.12 Sohlschubspannungen – MQ – Referenzzustand (a) – Einbau der Bojen (b).

Der Einsatz der hydrokinetischen Elemente führt zu einer lokalen Erhöhung der Sohlschubspannungen um bis zu 25 Nm^{-2} (Abb. 3.13) seitlich der Strom-Bojen. Durch die Bremswirkung der Strömungselemente verringern sich die Sohlschubspannungen flussab der Strom-Bojen um rund 10 Nm^{-2} . Eine Reduktion der Sohlschubspannungen $\geq 2 \text{ Nm}^{-2}$ ist bis zu 250 m flussab der letzten Strom-Boje erkennbar.

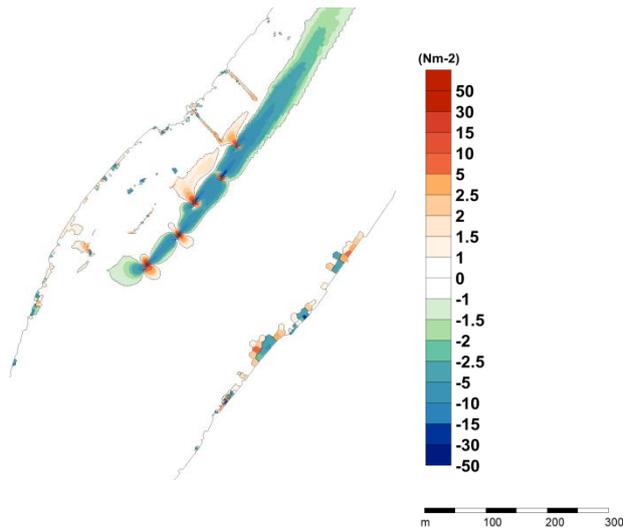


Abb. 3.13 Differenzkarte der Sohlschubspannungen – MQ.

3.4 Höchster schiffbarer Wasserstand HSQ 4870 m³s⁻¹

3.4.1 Wasserspiegellage HSQ

Die Wasserspiegellagen beim HSQ von 4870 m³s⁻¹ werden in Abb. 3.14 gezeigt, wobei in Abbildung (a) der Referenzzustand dargestellt ist und in Abbildung (b) der Zustand nach dem Einbau der Bojen zu sehen ist. In beiden Varianten ist die Insel vollständig überströmt und der Wasserspiegelverlauf ist nahezu ident. Kleinräumige Veränderungen sind im unmittelbaren Einflussbereich der fünf eingesetzten Strom-Bojen zu erkennen.

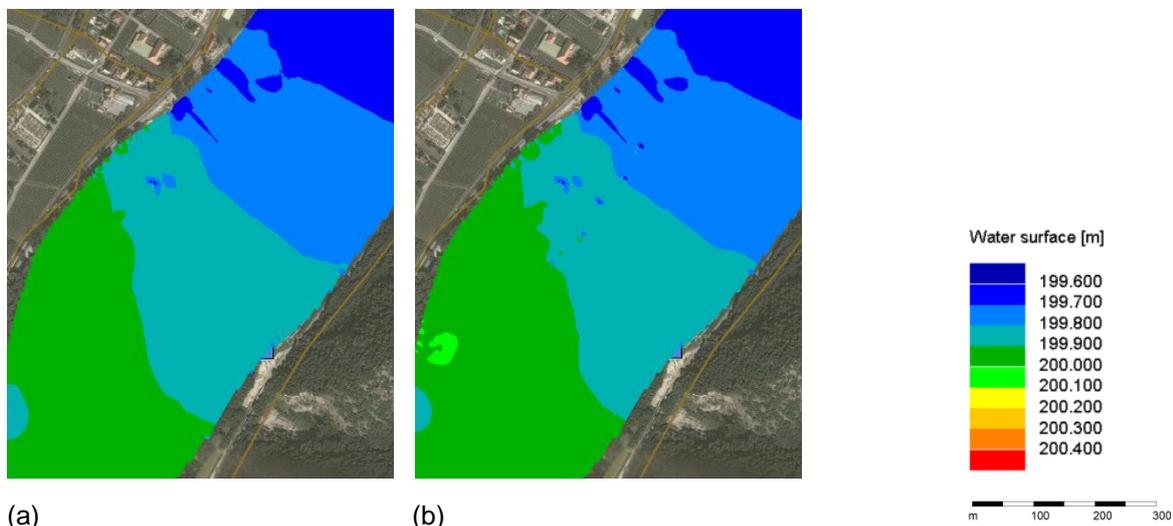


Abb. 3.14 Wasserspiegellagen – HSQ – Referenzzustand (a) – Einbau der Bojen (b).

Abb. 3.15 zeigt die Differenzkarte der Wasserspiegellagen zwischen der Variante mit Einbau der Bojen und dem Referenzzustand. Lokal verursachen die Strom-Bojen einen Aufstau bis zu 10 cm, wobei sich stromab der Strömungselemente eine Absenkung bis zu 10 cm im Modell ergibt. Weiträumige Veränderungen der Wasserspiegellagen sind im gesamten Untersuchungsgebiet nicht zu erwarten.

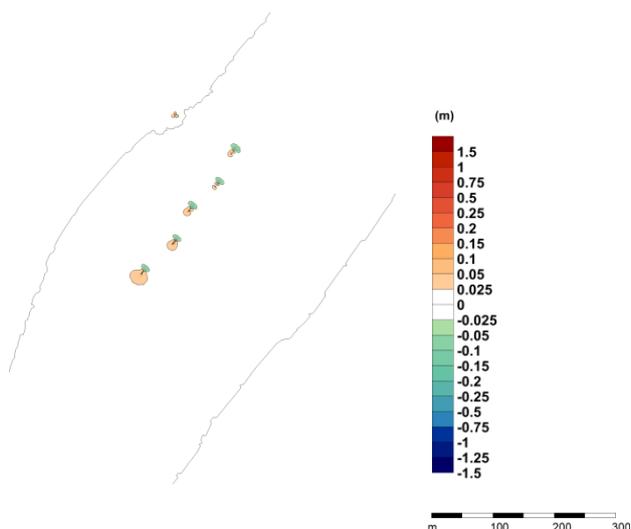


Abb. 3.15 Differenzkarte der Wasserspiegellagen – HSQ.

3.4.2 Fließgeschwindigkeiten HSQ

Die Fließgeschwindigkeiten in einer mittleren Wassertiefe bei einem Durchfluss von $4870 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (HSQ) werden in Abb. 3.16 dargestellt. Durch den Einbau der Strom-Bojen kommt es zu einer lokalen Senkung der Fließgeschwindigkeiten. Folglich erhöht sich die Ausdehnung des roten Wertebereichs ($\geq 2.7 \text{ ms}^{-1}$) in der Flussmitte bei der Variante mit Einbau der Strom-Boje (b). Außerdem ist zu erkennen, dass sich bei der Variante mit Strom-Bojen die Fließgeschwindigkeiten stromab der Strömungselemente verlangsamen und bei rund $2.1\text{-}2.4 \text{ ms}^{-1}$ liegen. Im Vergleich dazu treten im Referenzzustand Fließgeschwindigkeiten von $2.4\text{-}2.7 \text{ ms}^{-1}$ auf.

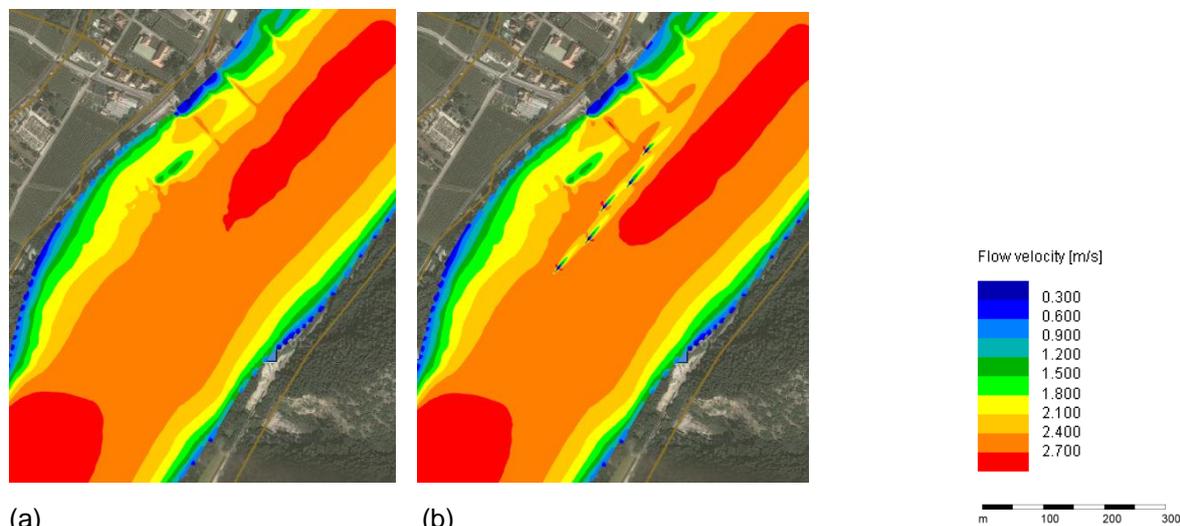


Abb. 3.16 Fließgeschwindigkeiten (mittlere Wassertiefe) – HSQ – Referenzzustand (a) – Einbau der Bojen (b).

Durch den Einsatz der Strom-Bojen ergibt sich eine seitliche Ablenkung der Strömung, die zu einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten in den Buhnenfeldern um rund 0.05 ms^{-1} führt (Abb. 3.17). Stromab der Strom-Bojen kommt es zu einer deutlichen Reduktion der Fließgeschwindigkeiten ($\sim 1.0\text{-}1.5 \text{ ms}^{-1}$), die auf die bremsende Wirkung der Strömungselemente zurückzuführen ist. Die Beeinflussung der Fließgeschwindigkeiten von mehr als 10 Prozent (bzw. $\sim 0.3 \text{ ms}^{-1}$) reicht bis zu 100 m flussab der letzten Strom-Boje.

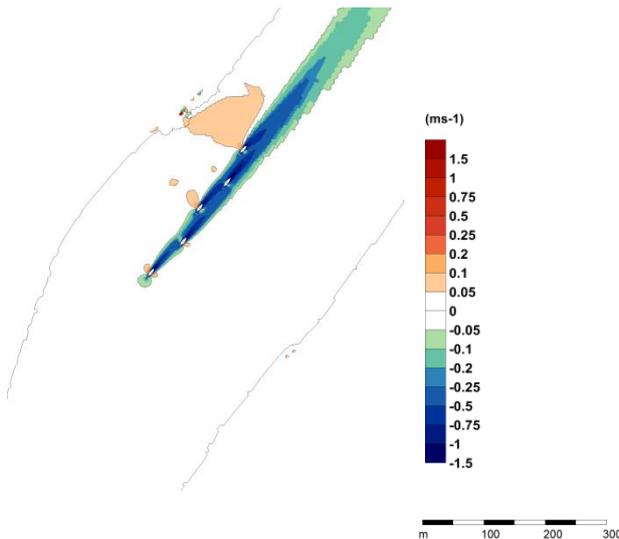


Abb. 3.17 Differenzkarte der Fließgeschwindigkeiten (mittlere Wassertiefe) – HSQ.

3.4.3 Sohlschubspannungen HSQ

Abb. 3.18 zeigt einen Vergleich der Sohlschubspannungen bei einem Durchfluss von $4870 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (HSQ). In der Mitte des Flussschlauchs treten in beiden Simulationen Sohlschubspannungen von rund 25 Nm^{-2} auf. Durch den Einsatz der Bojen kommt es zu punktuellen Erhöhungen der Sohlschubspannungen unter den Bojen auf über 60 Nm^{-2} . Außerdem ist eine Senkung der Sohlschubspannungen stromab der Strömungselemente auf $12\text{-}24 \text{ Nm}^{-2}$ zu erkennen. Im Vergleich dazu liegen die Werte im Referenzzustand bei $24\text{-}36 \text{ Nm}^{-2}$.

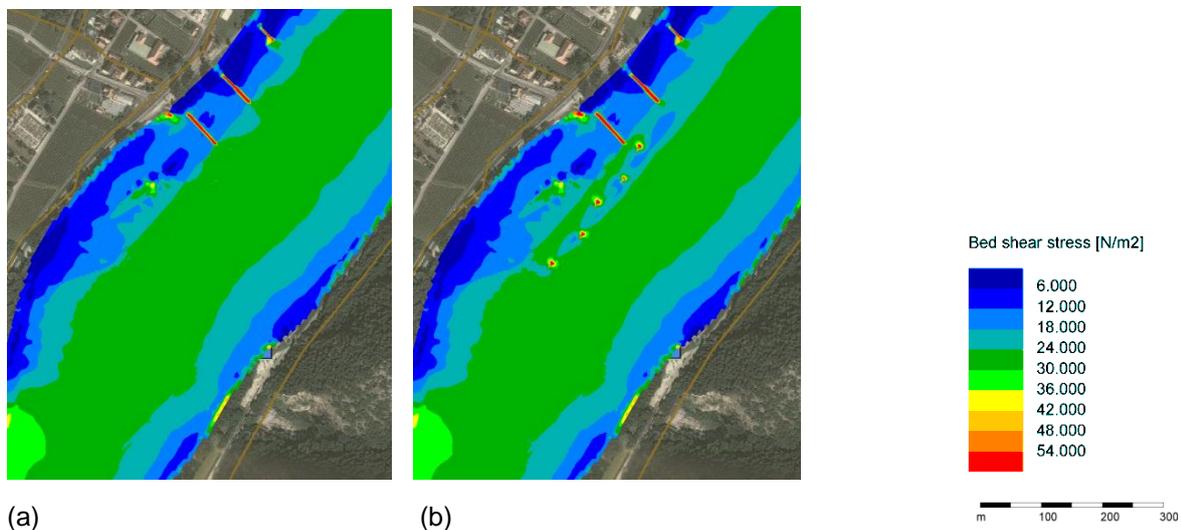


Abb. 3.18 Sohlschubspannungen – HSQ – Referenzzustand (a) – Einbau der Bojen (b).

Unterhalb der Strom-Bojen kommt es zu einer punktuellen Erhöhung der Sohlschubspannungen um bis zu 35 Nm^{-2} Abb. 3.19. Die Bremswirkung der Strömungselemente führt zu einer Verringerung der Sohlschubspannungen flussab der Strom-Bojen um rund $10\text{-}15 \text{ Nm}^{-2}$. Eine Reduktion der Sohlschubspannungen $\geq 2 \text{ Nm}^{-2}$ ist bis zu 300 m flussab der letzten Strom-Boje erkennbar.

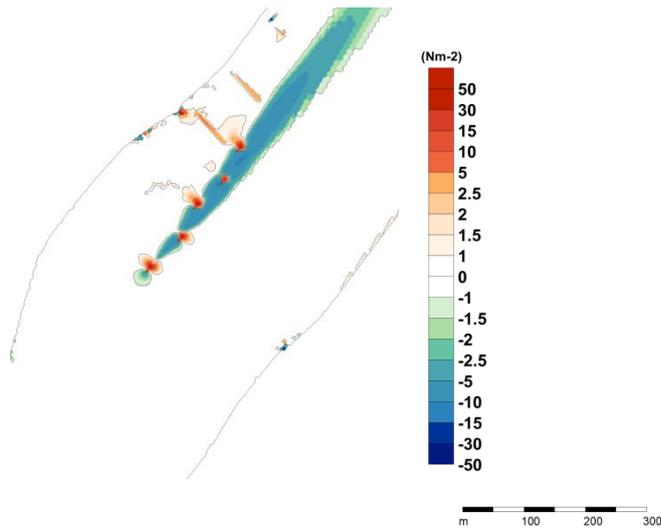


Abb. 3.19 Differenzkarte der Sohlschubspannungen – HSQ.

4 Interpretation und Schlussfolgerung

4.1 Monitoring der Sohländerungen

Abgesehen von der durch eine Baggerung im Jahr 2012 ($\sim 200 \text{ m}^3$) künstlich verursachten Stromsohlenänderung traten im Bereich der Strom-Boje selbst nur Sohlveränderungen in der Größenordnung der natürlichen Sohldynamik (Beobachtungszeitraum: 2012 – 2013, eine Strom-Boje bei km 2014,75) auf.

Die lokalen Änderungen in der Umgebung des Ankers sind wahrscheinlich auf die Umlagerungen einer schon davor vorhandenen Sohlerrhöhung und nicht direkt auf die Ankerwirkung zurückzuführen.

4.2 3D hydrodynamische numerische Modellierung

Der Einsatz der Strom-Bojen hat bei Regelniederwasser (RNQ) von $930 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ nur sehr kleinräumige Auswirkungen von 5-10 cm auf die Wasserspiegellage. Linksufrig kommt es zu einer lokalen Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten ($0.1\text{-}0.2 \text{ ms}^{-1}$) und der Sohlschubspannungen (bis zu 20 Nm^{-2}). Senkungen der Fließgeschwindigkeiten ($1.0\text{-}1.5 \text{ ms}^{-1}$) und der Sohlschubspannungen (10 Nm^{-2}) stromab der Strömungselemente sind ebenfalls zu erwarten. Eine zehnpromzentige Beeinflussung der Fließgeschwindigkeit ($\sim 0.1 \text{ ms}^{-1}$) ist bis zu 250 m flussab der letzten Strom-Boje festzustellen. Bei der Sohlschubspannung reicht die zehnpromzentige Beeinflussung ($\sim 1.0 \text{ Nm}^{-2}$) rund 150 m stromab.

Ähnlich wie beim Regelniederwasser treten bei einem mittleren Durchfluss (MQ) von $1875 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ nur lokale Veränderungen der Wasserspiegellage (5-10 cm) auf. Durch den Einsatz der Strom-Boje kommt es zu einem stärkeren Durchfluss im Seitenarm der Insel, der zu einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten (0.1 ms^{-1}) im Nebenarm führt. Zusätzlich führt die Querschnittsverengung durch die Strom-Boje zu einer Steigerung der Fließgeschwindigkeiten (0.05 ms^{-1}) in der Flussmitte der Donau. Außerdem erhöhen sich die Fließgeschwindigkeiten (0.1 ms^{-1}) zwischen der Insel und den eingebauten Strom-Bojen. Die Reduktion der Fließgeschwindigkeiten ($0.5\text{-}1.0 \text{ ms}^{-1}$) und Sohlschubspannungen (10 Nm^{-2}) stromab der Strömungselemente resultiert aus der bremsenden Wirkung der Bojen. Eine Beeinflussung der Fließgeschwindigkeiten von mehr als 10 Prozent (bzw. $\sim 0.2 \text{ ms}^{-1}$) ist bis zu 200 m flussab der letzten Strom-Boje festzustellen. Bei der Sohlschubspannung reicht die zehnpromzentige Beeinflussung ($\sim 2 \text{ Nm}^{-2}$) rund 250 m stromab.

Beim Durchfluss des höchsten schiffbaren Wasserstands (HSQ) von $4870 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ergeben sich lokal Wasserspiegellagenänderungen von $\pm 10 \text{ cm}$ zwischen dem Referenzzustand und der Variante mit Einbau der Strom-Bojen. Die seitliche Ablenkung durch die Strömungselemente führt zu einer Steigerung der Fließgeschwindigkeiten (0.05 ms^{-1}) in den Bühnenfeldern. Zusätzlich kommt es zu einer lokal sehr begrenzten, stärkeren Erhöhung (35 Nm^{-2}) der Sohlschubspannungen unterhalb der Strom-Bojen. Die kaskadenartige Anordnung der Strömungselemente führt zu einer bremsenden Wirkung in Strömungsrichtung, sodass eine Reduktion der Fließgeschwindigkeiten ($1.0\text{-}1.5 \text{ ms}^{-1}$) und Sohlschubspannungen ($10\text{-}15 \text{ Nm}^{-2}$) auftritt. Die Senkung der Fließgeschwindigkeiten um mehr als 10 Prozent ($\sim 0.3 \text{ ms}^{-1}$) ist bis zu 100 m stromab der letzten Boje zu erkennen. Hingegen ist die zehnpromzentige Auswirkung ($\sim 2 \text{ Nm}^{-2}$) bei der Sohlschubspannung bis zu 300 m stromab feststellbar.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Wasserspiegellagenänderungen durch den Einsatz der Strom-Bojen aufgrund deren kleinräumigen Ausdehnung zu vernachlässigen sind. Von den geringfügigen Steigerungen der Fließgeschwindigkeiten im Hauptstrom dürften keine maßgeblichen Auswirkungen auf die Ökologie oder die Schifffahrt zu erwarten sein. Die relativ hohen Änderungen der Sohlschubspannungen könnten jedoch lokal zu Veränderungen der Morphologie führen, die allerdings mit Hilfe einer Sedimenttransportmodellierung erst näher untersucht werden müssen. Dieser Aspekt ist daher vorerst als vorläufiges Ergebnis anzusehen, weitere Modellierungen (speziell Sedimenttransport), die mit Messdaten kalibriert werden, werden hier noch durchgeführt.