

## **Geotechnik-Exkursion nach Venedig**

Projekt M.O.S.E.: Schutz vor „Acqua Alta“ – Hochwasser in der Stadt

### **Exkursionsbericht**



Abbildung 1: Acqua Alta am Markusplatz

(<http://suitcasejournal.com/wp-content/uploads/2013/10/AcquaAlta.jpg>)

Karin Mostbauer, Daniela Riechl

Wien, November 2014

# Inhalt

---

<b>1</b>	<b>Reiseroute und Ablauf</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Venedig und die Lagune</b>	<b>4</b>
2.1	Die Lagune	4
2.2	Venedig – die Stadt, die man in seinem Leben einmal sehen muss	5
<b>3</b>	<b>Hochwasser-Problematik (Acqua alta)</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Projekt M.O.S.E. Eckdaten</b>	<b>8</b>
4.1	Bauzeitplan	8
4.2	Bauherr und Bauleitung	8
4.3	Kosten	8
4.4	Geologie	9
<b>5</b>	<b>Projektübersicht im Detail</b>	<b>9</b>
5.1	Sperrwerk	9
5.2	Vorfertigung der Caissons	11
5.3	Umweltauflagen	12
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>13</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>13</b>

# 1 Reiseroute und Ablauf

Ziel der Exkursion nach Venedig war die Besichtigung des in Bau befindlichen Hochwasserschutzprojekts für Venedig. MO.S.E. (steht für **mod**ulo **s**perimentale **e**lettromeccanico) soll das historische Zentrum vor dem immer wiederkehrenden Hochwasser – acqua alta – schützen.

Kostensparend und umweltfreundlich erfolgte in der Nacht vom 20.10. auf 21.10.2014 die Anreise der Exkursionsteilnehmer über Wien – Salzburg – Villach – Venedig Santa Lucia. Der Vormittag wurde für eine erste Besichtigung Venedigs genutzt, wobei wir neben den für Venedig so typischen Kanälen, vielen kleinen Brücken und Gassen, Gondeln und Booten vor allem die großen Brücken über den Canale Grande gleich in unser erweitertes Exkursionsprogramm aufnahmen; allen voran die moderne Ponte della Costituzione.

Am teilweise überschwemmten Markusplatz drängten sich Touristenmassen auf den eigens dafür aufgestellten Stegen. Glücklicher gestaltete sich das vorhandene Wasser für eine Möwe, die die Gelegenheit nutzte, eine der vielen Tauben zu fangen und in einer Lacke zu ertränken.



Abbildung 2: Überschwemmung am Markusplatz (Foto Karin Mostbauer)

Nach dem gemeinsamen Mittagessen mit Prof. Wu und Prof. Simonini, letzterer Professor für Geotechnik an der Universität Padua, ging es per Schiff zum Arsenal, ein östlicher Stadtteil Venedigs, der früher als Schiffswerft und Flottenbasis der ehemaligen Republik Venedig diente. Im Zuge des MOSE-Projekts wurden diverse verfallene Gebäude renoviert und werden,

gestaltet mit einer gelungenen Mischung aus alt und modern, als Steuerzentrum für das Großprojekt verwendet.

Im Infozentrum erfolgte eine Präsentation des Projekts; da es sich um eine unterirdische Konstruktion handelt, sind viele Bauteile ja nicht sichtbar. Anschließend fuhren wir mit dem Schiff zu zwei der drei Öffnungen, die die Lagune vom Meer abgrenzen (Bocca di Lido, Bocca di Molamocco), wo alle oberirdischen Bauteile besichtigt werden konnten.

Der Heimweg zum Hotel führte uns über die am Vormittag noch nicht besichtigte Rialtobrücke und in viele dunkle schmale Gässchen.

Der zweite Exkursionstag stand zur freien kulturellen Verfügung und wurde von uns für die Besichtigung von der Glasbläserinsel Murano, des farbenfrohen Burano sowie der historischen Insel Torcello genutzt. Durch den instabilen Untergrund (siehe Geologie), waren etliche schiefe Kirchtürme zu sehen, deren Neigung sich durchaus der des schiefen Turms von Pisa annähert. (schiefer Turm von Pisa:  $3,97^\circ$ , Chiesa di San Martino z.B. ca.  $2^\circ$ ).



Abbildung 3: Chiesa di San Martino, Burano (Foto Karin Mostbauer)

Die Abreise erfolgte vom 22.10. zum 23.10.2014 wie bei der Hinfahrt mit dem Nachtzug.

## 2 Venedig und die Lagune

### 2.1 Die Lagune

118 Inseln – darunter eine Inselgruppe von 6 Inseln, die man landsläufig als „Venedig“ kennt – liegen in der Lagune, ein durch Landzungen und Inseln abgetrennter Bereich des adriatischen Meeres. Sie entstand vor etwa 4000 v.Chr. durch Ablagerungen verschiedener Flüsse. 8% der Fläche bestehen aus Inseln, 11% sind von Wasser bedeckt, der Rest besteht aus Fischgründen sowie ökologisch sehr wertvollem Watt- und Marschland.

Der Erhalt der Salzsümpfe und des Watts wird auch im Rahmen des MOSE-Projekts forciert; z.B. durch die künstliche Stabilisierung von Sandbänken („Not Just Mose“).

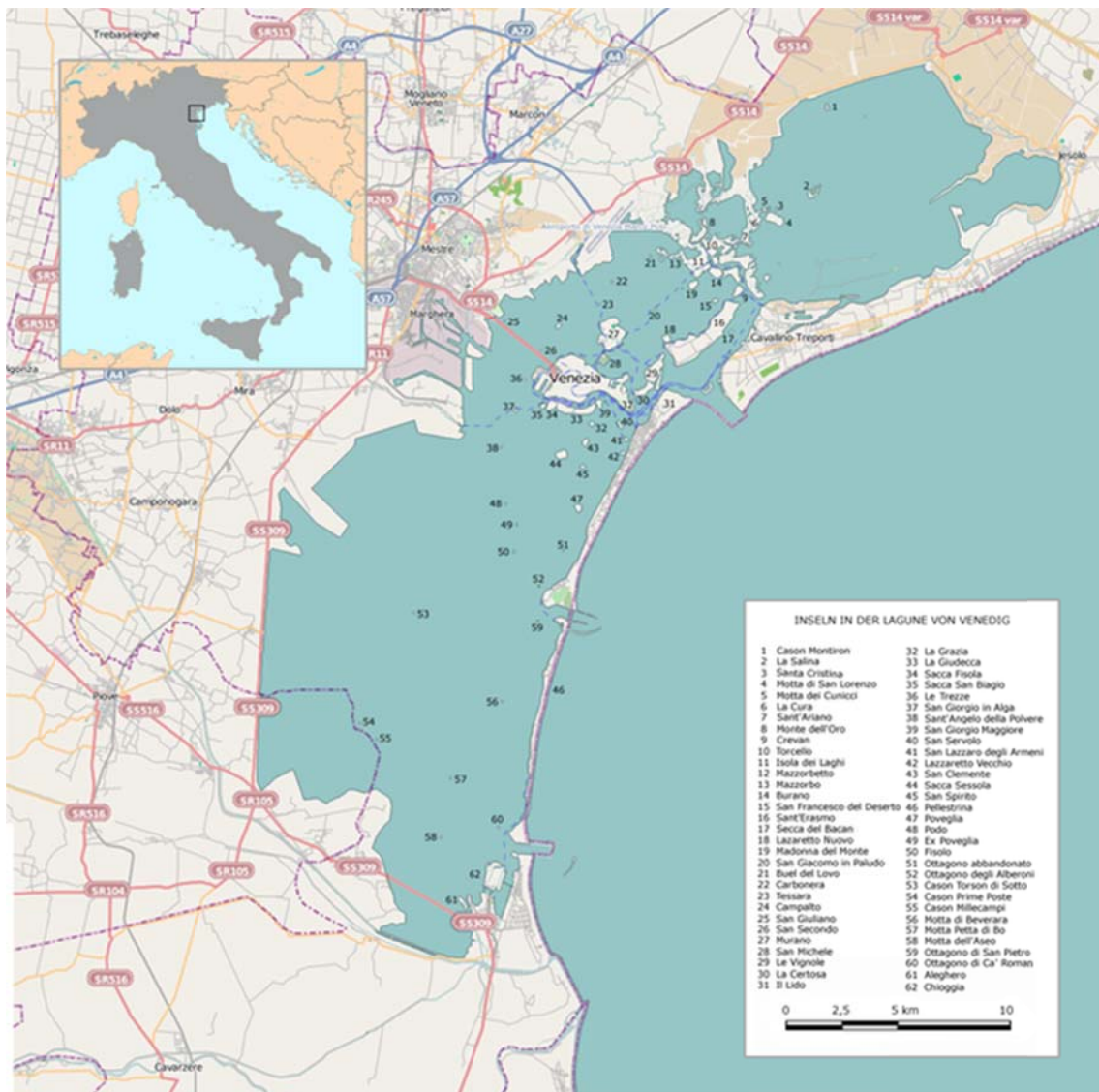


Abbildung 4: Lagune mit Inseln ([http://de.wikipedia.org/wiki/Lagune\\_von\\_Venedig](http://de.wikipedia.org/wiki/Lagune_von_Venedig))

Durch die Verbindung mit dem Meer an den drei Öffnungen Bocca di Lido, Bocca di Molamocco und Bocca di Chioggia wird in einem Großteil der Lagune der Wasserstand von den Gezeitenwechseln beeinflusst. Der vom Meer beeinflusste Bereich erstreckt sich vom südlichen Teil bis nach etwa Torcello (Teil der ca. horizontalen Inselgruppe über Venedig) und heißt laguna viva („lebende Lagune“). Dieser notwendige Wasseraustausch wird durch das MOSE-Projekt im Regelfall nicht beeinflusst.

Der nördlichste Teil enthält vorwiegend Süßwasser und wird von den Gezeiten kaum erreicht (laguna morta „tote Lagune“).



Abbildung 5: Watt- und Marschland in der Lagune (<https://www.mosevenezia.eu>)

## 2.2 Venedig – die Stadt, die man in seinem Leben einmal sehen muss

Die Inseln von Venedig waren erstmals in der Antike zwischen 800 und 100 v. Chr. besiedelt. Ab etwa 540 bildeten sie den westlichsten Außenposten des Byzantinischen Reichs, welches eine eigene Herrschaftsstruktur mit Tribunen und einem Dogen an der Spitze entwickelte.

Die Lagunenstadt war eine wichtige und wohlhabende Handelsstadt, wichtige Quelle für den Reichtum war das Salzmonopol. Lange Zeit war Venedig mit über 180.000 Einwohnern eine der größten europäischen Städte.

Mit 264.534 Einwohnern (2012) in der ganzen Lagune ist die Bevölkerung inzwischen moderat gestiegen, drastisch gestiegen sind jedoch die Touristenströme, welche mit 30 Millionen Besuchern pro Jahr die Zahl der Touristen in Rom dreifach übersteigt. Seit 1987 zählt Venedig und seine Lagune zum UNESCO-Weltkulturerbe.

### 3 Hochwasser-Problematik (Acqua alta)

Immer wieder wird Venedig von Acqua alta (= hoher Wasserstand durch Meer) heimgesucht, wobei klar von einem Hochwasser, das durch einen Fluss verursacht ist (= reißender Strom), unterschieden werden muss.

Besonders betroffen ist das historische Zentrum, allen voran der Markusplatz, der den tiefsten Punkt Venedigs darstellt. Die von der Stadt angegebenen Wasserstände verwenden einen Referenzpunkt, der etwa 80 cm unter dem niedrigsten Punkt der Stadt liegt.

Wasserstand	Wasserstand Markusplatz	überschwemmtes Stadtgebiet	Maßnahmen
+ 100 cm	20 cm	3,5 %	
+ 110 cm	30 cm	ca. 10 %	Alarm wird ausgerufen
+125 cm	45 cm	ca. 50 %	
+ 140 cm	60 cm	90 %	Notstand wird ausgerufen

Abbildung 6: Wasserstände und überschwemmtes Gebiet

(eigene Abbildung, Datengrundlage: [http://it.wikipedia.org/wiki/Acqua\\_alta](http://it.wikipedia.org/wiki/Acqua_alta))

Acqua alta entsteht hauptsächlich im Winter, wenn bei besonders starker Flut und niedrigem Luftdruck der Scirocco (Wind aus Süden) das Wasser landeinwärts in die Lagune drückt. Besonders häufig ist das Hochwasser im November und Dezember zu beobachten.

Monat	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
<b>Anzahl der Hochwässer ≥ 140cm (1923-2013)</b>		3		1						1	7	6

Abbildung 7: Hochwasser ≥ 140cm im Jahreszeitenverlauf

(eigene Abbildung, Datengrundlage: [http://it.wikipedia.org/wiki/Acqua\\_alta](http://it.wikipedia.org/wiki/Acqua_alta))

Da die Dauer der Ebbe bzw. Flut jeweils 6 Stunden 12,5 Minuten beträgt, ist das Hochwasser zeitlich auf einige wenige Stunden begrenzt. Pro 24 Stunden kann zwei Mal eine Hochwasserspitze erreicht werden, wobei sich der Gezeitenwechsel kontinuierlich um 50 Minuten pro Tag verschiebt.

Die Bewohner sind gegen niedrige Hochwässer mit mobilen Sperrwänden an Außentüren sowie Gummistiefeln gerüstet; jedoch treten auch immer wieder Hochwässer auf die über eine bloße Belästigung hinausgehen. In den letzten Jahren sind vermehrt Hochwässer zu beobachten.

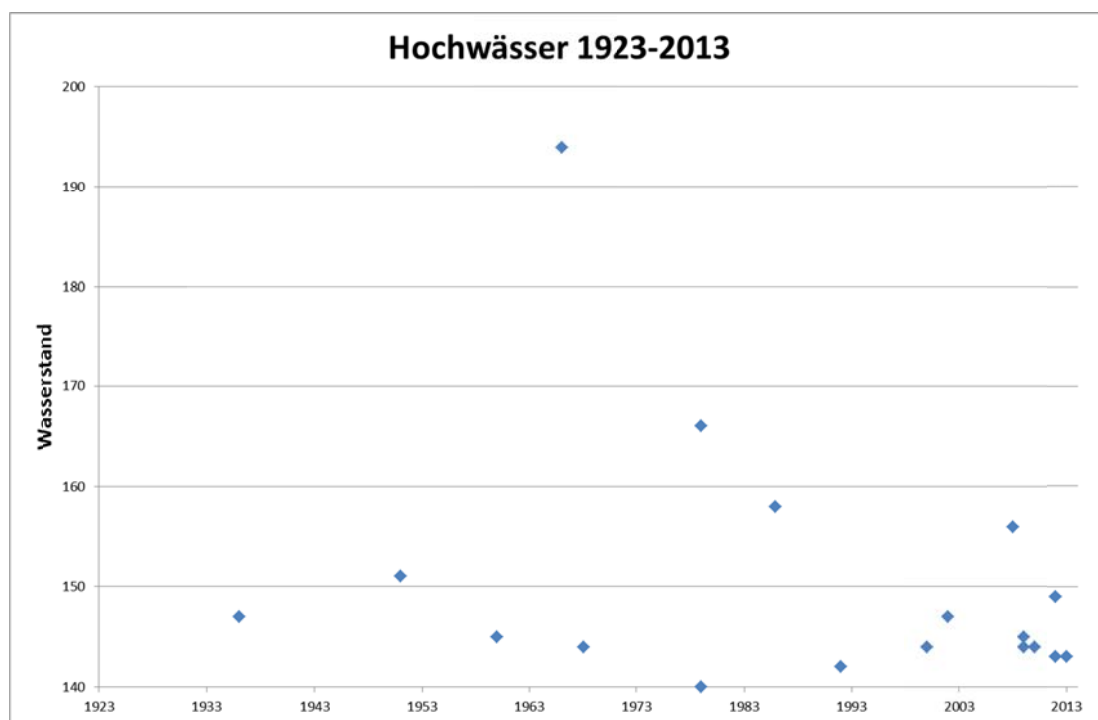


Abbildung 8: Hochwässer  $\geq 140$  cm zwischen 1923 und 2013

(eigene Abbildung, Datengrundlage: [http://it.wikipedia.org/wiki/Acqua\\_alta](http://it.wikipedia.org/wiki/Acqua_alta))



---

## 4 Projekt M.O.S.E. Eckdaten

Bei dem Hochwasserschutzprojekt werden an den drei Öffnungen der Lagune von Venedig zum Meer Flutschutzwehre installiert. An den drei Lagunenzufahrten, die Bocca di Lido, die Bocca di Molamocco und die Bocca di Chioggia werden mit insgesamt 78 beweglichen aufschwimmenden Barriereelementen die Lagunenzufahrten verschlossen. Dies geschieht ab einer Hochwassermarken über 110cm.

### 4.1 Bauzeitplan

1984 wurde die erste Machbarkeitsstudie erstellt und ein Hydraulisches Wasserbaumodell an der Universität Padua zur Untersuchung des Wasserkreislaufes erstellt.

1996 wurde das Projekt durch die Regierung verabschiedet und 2003 mit Bau des Projekts MOSE begonnen. 2016 soll trotz politischem Widerstand und mehrerer Baustopps das Großprojekt fertiggestellt sein.

### 4.2 Bauherr und Bauleitung

Ausgeführt wird der Bau durch die Firmengemeinschaft Consorzio Venezia Nuova, einem Zusammenschluss der 30 größten Baufirmen Italiens.

Diese Firmengemeinschaft unterliegt der Venezianischen Wasserbehörde, welche für politische, kontrollierende und überwachende Tätigkeiten im Projekt zuständig ist.

### 4.3 Kosten

Die Kosten für das Projekt basieren auf einem Vertrag von 2005 zwischen der Venezianischen Wasserbehörde und der Firmengemeinschaft Consorzio Venezia Nuova.

Die Gesamtkosten belaufen sich auf 5.493 Millionen Euro, wobei diese auch eine Reihe von Forderungen Dritter Parteien und damit verbundenen Aktivitäten aus vergangenen Jahren beinhalten.

Die Finanzierung des Projektes wird durch staatliche Gelder aus Rom, einem Darlehen bei der Europäischen Investitionsbank, Mitteln Venedigs, der UNESCO und zahlreichen Stiftungen aufgebracht.

Hinzukommen die jährlichen Wartungsarbeiten in Höhe von 20 Millionen Euro.

## 4.4 Geologie

Der Lagunenuntergrund besteht bis in eine Tiefe von 28 m aus unverfestigten Sedimenten, welche hauptsächlich aus Schluff bestehen (95% der Komponenten aus Ton- und Feinsanden mit einer Korngröße von 0,002 mm bis 0,063 mm).

## 5 Projektübersicht im Detail

### 5.1 Sperrwerk

Das Sperrwerk der Lagunenzufahrten besteht insgesamt aus 78 beweglichen Elementen, 18 bei Chioggia, 19 bei Malamocco und 41 an der Bocca di Lido. Diese gigantischen Fluttore werden auf einer Gesamtlänge von 8,5 km installiert.



Abbildung 9: Drei Öffnungen der Lagune (<https://www.mosevenezia.eu>)

Bei Bocca di Lido sind zwischen den beiden Ufern eine künstliche Insel in der Lagunenöffnungsmitte gebaut worden. Dabei sind in der Öffnung Lido-Treporti 20 und in der Öffnung Lido - San Nicolo 21 Fluttore montiert.



Abbildung 10: Bocca di Lido mit der künstlichen Insel (<https://www.mosevenezia.eu>)

Das Prinzip bei dem Hochwasserschutz ist ähnlich dem der Schiffdocks. Die Klappen sind Stahlkästen, welche 5 m dick, 20 m breit und 30 m lang sind. Die 250 t schweren Klappen sind innen randvoll mit Wasser gefüllt und liegen in ihren Schächten am Meeresboden; beim Aufstellen der Klappen wird mit Pressluft das Wasser herausgedrückt. Das Aufrichten erfolgt in Abschnitten von 4 Klappen vom Ufer aus beginnend und dauert 30 Minuten, das Absenken ist nach 15 Minuten beendet.

Da die auftretenden Kräfte sehr groß sind muss die Bewegung der Kästen präzise ablaufen und kann auch einzeln gesteuert werden. Um ein Berühren und Verkeilen der einzelnen Elemente zu verhindern werden diese in 10 cm Abständen im Betonfundament verankert. Die Lagerung ist mittels 3,2 m hohen und 24 t schweren Scharnieren ausgeführt, welche in Caissons gelagert sind. Die Caissons sind aus Stahlbeton, 14 m hoch und 50 x 60 m in der Grundfläche, an solchen werden 3 Sperrklappen montiert. Für die Wartung des Hebemechanismus und der Pressluftstränge werden auf der Vorderseite Inspektionsgänge eingerichtet.

In Ruhelage sind die Klappen vollständig in den Caissons versteckt. Wird ein Wasserspiegel von 1 m über Normal gemessen, wird computergesteuert Luft in die Kästen gepresst. In aufgerichteter Stellung wird eine Schräglage mit 45 Grad erreicht, wobei eine Wasserspiegeldifferenz zwischen Lagune und Adria von 2 m hergestellt werden kann.

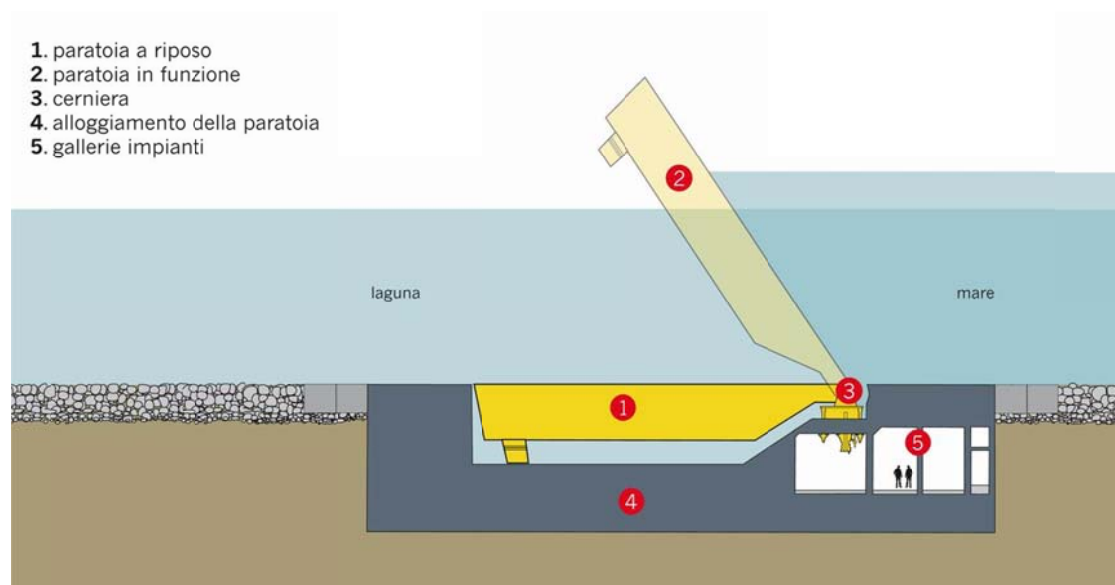


Abbildung 11: Funktionsschema der MOSE- Klappe (<https://www.mosevenezia.eu>)

- 1: Stau-Tor (abgesenkt: Bodenplatte)
- 2: Stau-Tor (aufgerichtet)
- 3: Lager
- 4: Caisson Stahlbetonfundament
- 5: Inspektionsgänge

Bei dem Einlass Malamocco wird eine Schleuse (370 m lang) errichtet um auch in der Hochwassersituation die Lagune für den Schiffsverkehr zugänglich zu machen (für Schiffe bis zu 280 m Länge und einen Tiefgang von 12 m). An den beiden anderen Einlässen werden kleinere Häfen und Schleusen vorgesehen.

## 5.2 Vorfertigung der Caissons

Die Caissons werden in einem kleinen, späteren Schleusen- und Hafenbecken an der Bocca di Lido vorgefertigt. Dieser Hafen ist trockengelegt und im CSM-Verfahren ((Cutter-Soil-Mixing) abgedichtet worden, damit er als dichte Baugrube für die Vorfertigung der Stahlbetonteile dienen kann. Darin wurden riesige Stelenfelder angelegt. Die Schalung kommt auf Betonsäulen zu liegen, damit die Betonfertigteile von unten zugänglich sind. Nach dem Betonieren werden die fertigen 20.000 t schweren Caissons mit Hydraulikpressen angehoben und mittels Rollen zur Verladung gezogen. Mit einem Schwerlastaufzug werden die Fertigteile am Hafenanrand zu Wasser gelassen. Mittels Schlepper werden die Segmente schwimmend zu ihren späteren Standorten gezogen, hierfür notwendig ist die Ausstattung mit zahlreichen Luftkammern um genug Auftrieb zu erreichen.



Abbildung 12: Transport der Fertigteile bis zum fixen Standort (<https://www.mosevenezia.eu>)

Anschließend werden sie mit Hilfe von GPS ausgerichtet und langsam mittels Flutung der Luftkammern abgelassen. Um nach dem Absenken Stabilität zu gewährleisten, wird in einzelne Hohlräume Ballast (Schotter oder Eisenschrott) eingebracht.

Vor der Verschiffung der Caissons mussten die Rinnen hergestellt und die Aufstellflächen durch 40 m lange Rammpfähle verstärkt werden.

### 5.3 Umweltauflagen

Um den natürlichen Wasserkreislauf zwischen Lagune und Adria nicht zu behindern, müssen die Einbauten komplett im Meeresboden verschwinden. Dies macht Gräben, welche quer zu Fahrinne und 14 m tief und 50 m breit sind, erforderlich. Bei der Herstellung musste Sand und Schlick in großen Mengen ausgebagert und die Gräben verfestigt werden. Um den Sedimenteintrag durch Strömung in den Laguneneinfahrten zu verhindern, wurde links und rechts der Gräben auf dem Meeresboden Geotextilien aufgebracht.

## Literaturverzeichnis

1. **Conorzio Venezia Nuova:** <https://www.mosevenezia.eu>

2. **Wikipedia-Artikel:** [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

MO.S.E.-Projekt, Acqua Alta, Venedig, Lagune, Arsenale

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Acqua Alta am Markusplatz ( <a href="http://suitcasejournal.com/wp-content/uploads/2013/10/AcquaAlta.jpg">http://suitcasejournal.com/wp-content/uploads/2013/10/AcquaAlta.jpg</a> ).....	i
Abbildung 2: Überschwemmung am Markusplatz (Foto Karin Mostbauer).....	2
Abbildung 3: Chiesa di San Martino, Burano (Foto Karin Mostbauer) .....	3
Abbildung 4: Lagune mit Inseln ( <a href="http://de.wikipedia.org/wiki/Lagune_von_Venedig">http://de.wikipedia.org/wiki/Lagune_von_Venedig</a> ).....	4
Abbildung 5: Watt- und Marschland in der Lagune ( <a href="https://www.mosevenezia.eu">https://www.mosevenezia.eu</a> ) .....	5
Abbildung 6: Wasserstände und überschwemmtes Gebiet (eigene Abbildung, Datengrundlage: <a href="http://it.wikipedia.org/wiki/Acqua_alta">http://it.wikipedia.org/wiki/Acqua_alta</a> ) .....	6
Abbildung 7: Hochwasser im Jahreszeitenverlauf (eigene Abbildung, Datengrundlage: <a href="http://it.wikipedia.org/wiki/Acqua_alta">http://it.wikipedia.org/wiki/Acqua_alta</a> ) .....	6
Abbildung 8: Hochwässer $\geq 140$ cm zwischen 1923 und 2013 (eigene Abbildung, Datengrundlage: <a href="http://it.wikipedia.org/wiki/Acqua_alta">http://it.wikipedia.org/wiki/Acqua_alta</a> ) .....	7
Abbildung 9: Drei Öffnungen der Lagune ( <a href="https://www.mosevenezia.eu">https://www.mosevenezia.eu</a> ).....	9
Abbildung 10: Bocca di Lido mit der künstlichen Insel ( <a href="https://www.mosevenezia.eu">https://www.mosevenezia.eu</a> ) .....	10
Abbildung 11: Funktionsschema der MOSE- Klappe ( <a href="https://www.mosevenezia.eu">https://www.mosevenezia.eu</a> ) .....	11
Abbildung 12: Transport der Fertigteile bis zum fixen Standort ( <a href="https://www.mosevenezia.eu">https://www.mosevenezia.eu</a> ) .....	12