

# WASSER UND UMWELT - EXKURSION 2003

09. JUNI BIS 14. JUNI

OBERITALIEN – KÄRNTEN



## Organisation / Leitung:



Institut für Hydromechanik



Fakultät BAU - GEO – UMWELT  
Universität Karlsruhe



## VORWORT

Die einwöchige technische Exkursion „Wasser und Umwelt“ ist eine Lehrveranstaltung im Hauptdiplom des Studienganges „Bauingenieurwesen“ der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften, die im zweijährigen Rhythmus alternierend vom Institut für Hydromechanik (IfH) bzw. Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik (IWK) organisiert wird. Ziel der Lehrveranstaltung ist, den Studierenden Einblicke in praktische Aspekte des Berufsbereichs Bau- und Umweltingenieur, wie Aufgabenstellungen, technische Herausforderungen und wirtschaftliche, umweltrelevante und gesellschaftspolitische Randbedingungen, ethische Fragen, etc. zu vermitteln.

Die diesjährige Exkursion wurde vom IfH geleitet und führte eine Gruppe von 45 Studierenden in der Woche 9. bis 14. Juni 2003 in den Raum Oberitalien und Südösterreich.

Der vorliegende Bericht wurde von den Studierenden geplant und verfasst. Dazu hatten sich die Studierenden in 15 Gruppen zu jeweils etwa ein bis vier Personen organisiert. Diese Gruppen hatten sich schon vor der Exkursion geformt und Material zu den technischen Zielen bzw. kulturell/historische Hintergrundinformationen gesammelt. Während der Exkursion selbst waren diese Gruppen als interne „Informationsressourcen“ zu einzelnen Projekten tätig und hatten so die Beiträge der einzelnen technischen Referenten eingeleitet bzw. erweitert.

An dieser Stelle sei allen Studierenden mein Dank und meine Anerkennung ausgesprochen für ihre große Initiative in der Vorbereitungsphase, ihre enthusiastische, interessierte und kritisch hinterfragende Teilnahme bei der Exkursion selbst und ihre beharrliche Nacharbeit zur Erstellung dieses Berichtes. Für die betreuenden Assistenten und für mich selbst war es eine große Freude und Genugtuung, mit dieser offen und positiv engagierten Gruppe unterwegs zu sein und ihnen die Berufswelt näher zu bringen.

Herzlicher Dank gebührt auch den Lehrassistenten, Herren Tobias Bleninger, Martin Detert und Gregor Kühn vom IfH, sowie Frank Seidel vom IWK für ihre Mitarbeit bei der anfänglichen Konzeption der Exkursionsthematik und -ziele und ihre ausgezeichnete Planung und organisatorische Abwicklung, die Garant war für einen problemlosen, hochinteressanten, manchmal etwas anstrengenden, aber immer erfreulichen Ablauf der Exkursion.

Den zahlreichen technischen Referenten und Fachkollegen und deren Trägerinstitutionen – sie sind alle namentlich im Bericht erwähnt – möchte ich im Namen aller Exkursionsteilnehmer für ihre engagierten und anspruchsvollen Vorträge, Ausführungen und Erklärungen sowie ihre Gastfreundschaft danken. Wir haben uns bei allen Projekten freudig aufgenommen und hervorragend betreut gefühlt!

Eine Exkursionsveranstaltung hat natürlich auch eine finanzielle Komponente. Wir bedanken uns beim Dekanat für einen Beitrag zur Abwicklung der Exkursion aus dem Fakultätshaushalt. Darüber hinaus haben eine Anzahl von Firmen bzw. Ingenieurbüros die Exkursion durch eine Spende an den „Verein zur Förderung der Ausbildung und Forschung in der Hydromechanik e.V.“ unterstützt. Auch ihnen sei im Namen der Studierenden und somit zukünftigen Absolventen herzlichst gedankt. Diese Beiträge ermöglichten es, die Exkursionsgebühr für die Studierenden gering zu halten bzw. einigen bedürftigen Studierenden ein Exkursionsstipendium zu gewährleisten.

Karlsruhe, 11. Juli 2003

Prof. Gerhard H. Jirka, Ph.D.



## INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT .....	1
Inhaltsverzeichnis.....	2
Venedig - Geschichte .....	3
Allgemeines .....	3
Politik.....	3
Wasserbau in der Lagunenstadt.....	3
Venedig – die Lagune .....	5
Die Adria: Klima und Ozeanographie .....	8
Sturmflut in Venedig.....	10
Ursachen der Überschwemmungen .....	10
Folgen und Schäden .....	10
MOSE.....	11
Kritik von Umweltschützern .....	11
Hochwasserschutz in Venedig.....	12
DAS SYSTEM MOSE .....	16
Baubetriebliches.....	16
Ökologisches.....	17
Gewässerqualität in der Lagune.....	18
Insel Pellestrina (1997 abgeschlossen): .....	20
Piazza San Marco (noch in der Planung): .....	21
University of Padua .....	22
History Tips of the University and Personalities. ....	22
Structure in Faculties of the University of Padua.....	22
Civil Engineering Area .....	22
Institutes .....	22
Research activity .....	23
Universität Padua - Lagunenmodelle .....	24
Meereslabor.....	24
Lisa Labor.....	24
Centro Voltabarozzo .....	24
Hydrauliklabor.....	25
Der Vajont Staudamm – Bau, Geschichte, Katastrophe .....	26
Sicherheit von Talsperren.....	28
Definition von Sperrenbauwerken .....	28
Auenverbund Obere Drau.....	30
Kraftwerk der Malta Hauptstufe Rottau im Mölltal.....	33
Kraftwerksgruppe Malta .....	33
Malta Hauptstufe.....	33
Kölnbreinsperre.....	35
Teilnehmer der Exkursion.....	37
Danksagung.....	38



## VENEDIG - GESCHICHTE

C. Delpino, S. Sawa

### Allgemeines

Venedig liegt in der nordwestlichsten Ecke der Adria in einer etwa 600 Quadratkilometer großen Lagune. Die Stadt besteht aus 118 Inselchen, die durch ca. 400, meist steinerne Brücken verbunden sind. Das historische Venedig ist mit der Stadt Mestre auf dem fast 4 Kilometer entfernten Festland über eine Dammstraße verbunden. Am Ende dieser Straße liegt der ‚Piazzale Roma‘ - dies ist der einzige Ort Venedigs, der mit dem Auto oder dem Bus zu erreichen ist. Heute hat die Stadt ca. 310000 Einwohner. Im Mittelalter nahm die Stadt einen gigantischen Aufschwung und war jahrhundertlang die mächtigste Seerepublik der bekannten Welt. Ein ungeheurer Reichtum breitete sich in Venedig aus, der bis heute in den Bauwerken der Stadt beispielsweise in der Basilica von San Marco und dem Dogenpalast sowie in den Museen zu erahnen ist. Weitere Berühmtheiten sind die Gondeln, die Glasereien von Murano, der Belcanto (Operngesang), der Karneval im Februar und das Filmfestival.



Bild 1: Canale Grande

### Politik

Nach der dauerhaften Besiedlung der Inseln blieben diese zunächst im Verwaltungsbereich des byzantinischen Exarchen von Ravenna, dem der für die ‚Provincia Venetiarum‘ zuständige Magister militum, seit 697 der Dux (der Doge) unterstand. Mit der Zurückdrängung des byzantinischen Einflusses im 8. Jh. gewann das Amt des nun von Adel und Klerus gewählten Dogen an Bedeutung.

Die Macht des Dogen wurde durch den Großen Rat, neben dem es auch den kleinen Rat gab, beschränkt. Verträge mit dem Ost- und Westreich sicherten Venedig im 9./10. Jh. die Handelsfreiheit.

Durch die Beschränkung des Großen Rats auf bestimmte Familien, die Einsetzung des Rats der Zehn (Consiglio die Dieci) und später der ‚Inquisitori di Stato‘ zur Wahrung der Staatssicherheit wurde die streng aristokratische Verfassung gefestigt. Von den vom Großen Rat eingesetzten Kommissionen mit richterlichen und politischen Befugnissen entwickelten sich ab dem frühen 13. Jahrhundert der Rat der Vierzig (Quarantia) und der Senat zu wichtigen Zentralbehörden. Anschläge auf die Verfassung, wurden geahndet. Ab Mitte des 15. Jahrhunderts begann der Niedergang.

1797 kam es nach der Besetzung durch Napoleon zur Abdankung des letzten Dogen. Entsprechend den Ver-

einbarungen des Friedens von Campoformio kam Venedig 1797 an Österreich, das es im Jahre 1805 dem napoleonischen Königreich Italien abtreten musste. Seit 1866, nach dem siebenwöchigen Krieg, ist Venedig nach einer Volksabstimmung Teil des neu geschaffenen Königreiches Italien. Trotzdem gibt es immer noch Anhänger der Idee, dass das nördliche Italien unabhängig werden soll, mit der Hauptstadt Venedig.

### Wasserbau in der Lagunenstadt

23 Zentimeter ist die Stadt im letzten Jahrhundert gesunken. Wenn man bei extremem Niedrigwasser die Fundamente sieht, kann einem Angst und Bange werden.

Aber es wird etwas gegen das Wasser getan, die Stadt ist von Baustellen übersät. In sieben Jahren sollen alle Fundamente erneuert sein. Das schützt zwar nicht vor den recht seltenen ganz hohen Fluten, aber es erhält die Bausubstanz. Etwa achtzig Mal im Jahr steht der Markusplatz unter Wasser.

Auf die verschiedenen Maßnahmen, die zum Schutz der Stadt vor Sturmfluten und katastrophale Hochwässer ergriffen werden, wird im Artikel ‚Hochwasserschutz in Venedig‘ eingegangen.

## VENEDIG - GESCHICHTE

452	Entstehung der Stadt Venedig aus Flüchtlingssiedlungen: Als die Hunnen unter Attila versuchten Italien zu erobern, flohen die Bewohner vieler Städte Norditaliens auf die Inseln der Lagune, um ihr Leben zu retten.
568	Dauerhafte Besiedlung infolge der Eroberung Oberitaliens durch die Langobarden.
697	Ausrufung der Republik unter der Regentschaft des Dogen: Von nun an entwickelte sich Venedig zu einem sehr wichtigen Handelszentrum.
774	Gründung des Bistums.
828	Raub und Überführung der Reliquien des hl. Markus in Alexandria (Ägypten) nach Rialto → Rialto wird Mittelpunkt von Venedig.
900	Befestigung der Stadt.
1202-1204	Eroberung dalmatinischer Küstengebiete und Konstantinopels.
13. Jh.	Auseinandersetzungen mit Genua, die mit dem Sieg über die genuesische Flotte bei Chioggia (1380, Chioggiakrieg) und dem Frieden von Turin (1381) die Anerkennung der venezianischen Vorherrschaft im Östlichen Mittelmeer brachten.
Mitte des 15. Jahrhunderts	Mit den einsetzenden türkischen Invasionen begann der Niedergang der venezianischen Vorherrschaft. Venedig musste seine Besitzungen im östlichen Mittelmeer an das Osmanische Reich abtreten. Dadurch schwand die Macht Venedigs, das zunehmend den Attacken fremder Angreifer und denen anderer italienischer Staaten ausgesetzt war.
1497/98	Die Entdeckung eines Seewegs nach Indien um das Kap der Guten Hoffnung durch den portugiesischen Seefahrer Vasco da Gama beschleunigte diesen Machtverfall.
1797	Die Republik Venedig wurde von Napoleon Bonaparte erobert, der sie Österreich übergab. Venedig verliert nach 1.100 Jahren seine Unabhängigkeit.

Tafel 1: zeitlicher Überblick über die Geschichte Venedigs



## VENEDIG – DIE LAGUNE

G. Hillebrand, J. – U. Hermann, D. Cayadi

Am nördlichen Rand der Adria gelegen, ist die Lagune von Venedig, die größte Italiens und eine der größten in Europa.

Die Lagune entstand dadurch, dass der Meeresspiegel durch das Schmelzen der kontinentalen Eisflächen vor 20000 Jahren bis vor 6000 Jahren fast bis auf das heutige Niveau stieg und am flachen Strand etwa 20 Kilometer vor der eigentlichen Küstenlinie Sanddünen mit nur wenigen Durchlässen aufgespült wurden. Die Sandbänke, die sich über eine Länge von 60 km erstrecken, schlossen eine Wasserfläche von 550 Quadratkilometern ein.

Durch drei schmale Pforten (Lido, 800 m breit; Malamocco, 400 m breit und Chioggia, 380 m breit), italienisch: „porti“, ist die Lagune mit dem Meer verbunden; die anderen wurden nach und nach verschlossen.

Die Lagune von Venedig ist, wie jede andere Lagune auch, sehr anfällig gegenüber größeren und kleineren und plötzlichen Veränderungen, dadurch ist ihr Gleichgewicht ständig instabil. Ohne die Befestigungsmaßnahmen an den beiden Sandbänken Lido und Pellestrina würde die Lagune sich natürlicherweise in eine Bucht entwickeln.



*Pflanzung von Dünen gras gegen Winderosion*

In der Lagune gibt es außer Venedig und Chioggia noch über 50 Inseln mit einer Gesamtfläche von 40 km<sup>2</sup>. Diese Inseln entstanden durch unterschiedliche Prozesse:

- Sedimente vom Lagunen grund und den Uferregionen häuften sich durch Wellen und Strömungen an sumpfigen Stellen an;
- Ablagerung von Treibgut aus Flüssen in der Region an Stellen mit langsamer Wasserströmung;
- Kombinationen von beiden Vorgängen. Zusätzlich hat der Mensch einen größeren Einfluss auf die Bildung von Inseln übernommen, indem er ganze Inseln aus Steinen, Pfählen oder Müllbergen schuf. Die größten Inseln heißen Murano, Burano und Torcello.

Ca. 70 km<sup>2</sup> der Lagune sind mit Salzsümpfen bedeckt; hier wächst fast ausschließlich halophytische, d.h. salzliebende Vegetation.

Die durchschnittliche natürliche Wassertiefe in der Lagune beträgt nur 1 bis 2 Meter. Durch die geringe Wassertiefe steht die photosynthesefähige Schicht in direktem Kontakt mit der Schicht der abbauenden Organismen. Dies beschleunigt den biogeochemischen Kreislauf der Nährstoffe zwischen Sediment und Wasserkörper, was zusammen mit der Nährstofffracht des Einzugsgebiets, des Seewasser und des Sediments, die höhere Produktion der Lagune an Biomasse als die des Meeres erklärt. Diese Produktion liegt in derselben Größenordnung wie die eines eutrophierenden flachen Sees.

Die alten Flussläufe, die früher direkt in die Lagune flossen, wurden ausgebaut und geräumig umgeleitet. Zum Teil

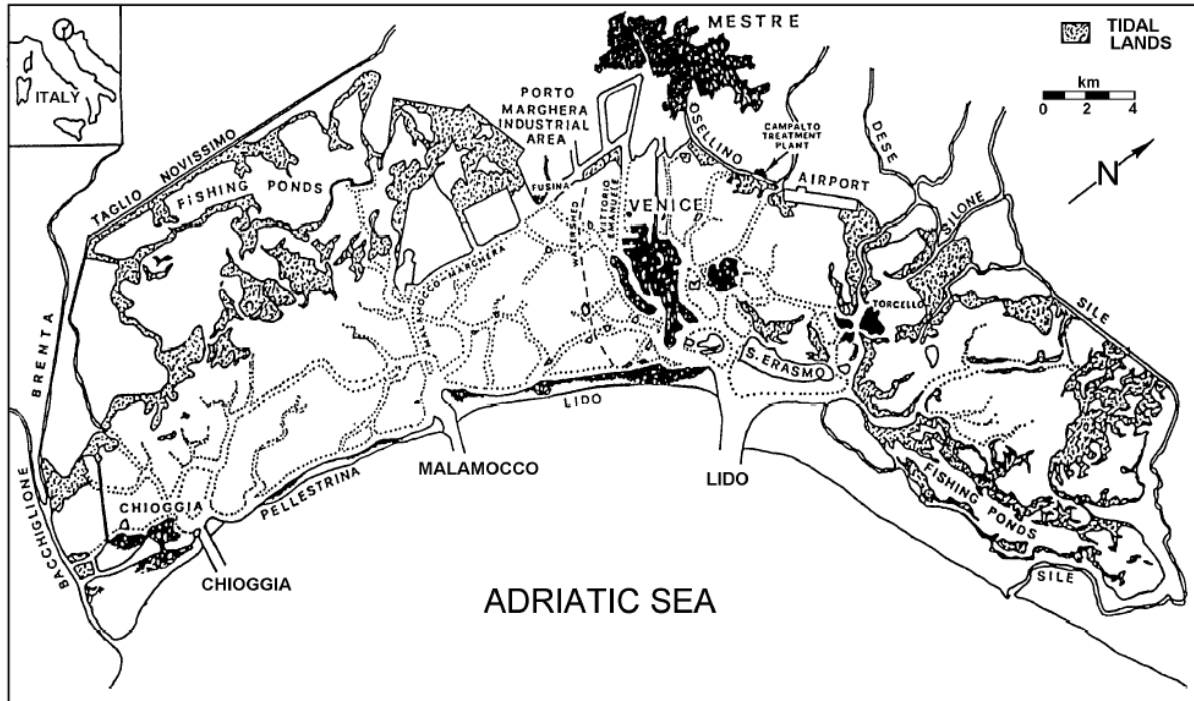
blieben sie als Kanäle (so auch der Canale Grande) erhalten. Ein 1580 km langes Netzwerk aus großen und kleinen Kanälen stellt den Wasseraustausch bis zu den Grenzen des Festlands sicher. Durch die Gezeiten wird das Süßwasser aus der Lagune mit Salzwasser der Adria ständig neu gemischt.



*Befestigungsmaßnahmen*

Dadurch wird das Wasser der Lagune und der Kanäle gereinigt und Sauerstoff eingetragen, was für aquatische Ökosysteme lebensnotwendig ist. Würde z.B. die Zeitdauer für den Austausch zwischen Lagunen- und Meerwasser beträchtlich ansteigen, hätten Regenfälle, Evaporation und die Wasserzuläufe aus den Einzugsgebieten einen stärkeren Einfluss auf den Salzgehalt der Lagune. Im Sommer würde die schnelle Zersetzungsrates von organischen Substanzen, mit dem entsprechenden Verbrauch an Sauerstoff, anoxische Zustände fast überall in der Lagune verursachen. Zusätzlich würden sich Nähr- und Giftstoffe akkumulieren. Die Wasserqualität würde sinken und die kombinierten Effekte

## VENEDIG – DIE LAGUNE



### Lagune von Venedig

dieser gefährlichen Schwankungen wären bald an der Pflanzen- und Tierpopulation sichtbar. Als Folge würden nur wenige anpassungsfähige Spezies überleben und sich vermehren. Sensitive Spezies würden verdrängt, die Artenvielfalt nimmt ab. Ein Einzugsgebiet von 1800 km<sup>2</sup> speist zusätzlich 2.8 Mio. m<sup>3</sup> Wasser täglich durch Flusszuläufe in die Lagune. Dasselbe 2500 km lange Netzwerk trägt aber auch an 27 verschiedenen Orten 15000 – 30000 m<sup>3</sup> Sedimente pro Jahr in die Lagune ein.

Die Lagune weist eine große Anzahl verschiedener Fischarten auf, von denen aber nur wenige kommerziell genutzt werden, z. B. Hering, Barsch, Meeräsche und Aal. Die Fische wandern im Frühjahr aus der Adria in die Lagune und verbringen dort wegen des reichlichen Nährstoffangebots den Sommer. Im Herbst wandern die erwachsenen Fische zur Fortpflanzung zurück ins Meer. Traditionell werden zu diesem Zeitpunkt die Fische

gefangen. Um die Produktion zu erhöhen, werden die Jungfische heutzutage in Fischfarmen gezüchtet. Diese Fischfarmen liegen im nördlichen und südlichen Gebiet der Lagune und haben eine Gesamtgröße von ca. 90 km<sup>2</sup>. Sie sind von der Lagune als Lebensraum abgeschnitten.

Stechmücken geprägt, die aber keine Malaria mehr übertragen wie zu Beginn der venezianischen Geschichte. Der Artenreichtum der Lagune geht allerdings etwa seit Mitte des letzten Jahrhunderts ständig zurück. Die Ursache dafür ist zum



Abgesehen vom Fisch stellen die zweischaligen Weichtiere eine weitere wichtige Ressource. In einigen Gebieten der Lagune gibt es Miesmuschelfarmen.

Das Leben in Venedig ist außerdem auf nicht zu vernachlässigende Weise von

Teil die fortschreitende natürliche Erosion der Sandbänke, die die periodischen Überflutungen verschärft. Dazu trägt auch der Bau des Hafens, die damit verbundene Aufweitung der Pforten und der Ausbau der Kanäle für

Öltanker bei. Durch Trockenlegungen für Industriegebiete oder auch den neuen Flughafen, Landwirtschaft und Fischzucht wird die Lagune immer kleiner. Zur Verringerung der Lagunenfläche kommt eine massive Verschmutzung hinzu, die hauptsächlich durch

umweltfeindliche Industrieabwässer entsteht, die bis vor kurzem noch ungeklärt eingeleitet wurden. Inzwischen werden etwa 80 Prozent der industriellen Abwässer geklärt. Das häusliche Abwasser wird bis heute ungeklärt in die Kanäle

eingeleitet und gelangt von dort in die Lagune. Paradoxe Weise wird das Mose-Projekt, das Venedig vor Überflutungen schützen soll, die ökologische Situation der Lagune noch verschlimmern, denn das Ausströmen der Giftstoffe ins Meer wird verringert.

## DIE ADRIA: KLIMA UND OZEANOGRAPHIE

A. Wetzel, S. Balchandran, H. Gärtner, S. Brinken

Als nördlicher Nebenarm des Mittelmeeres zwischen Balkan und der Apennin - Halbinsel , erstreckt sich die Adria von der Linie Kap Otranto - Kap Linguetta bei der Straße von Otranto 800 km nach NW, dabei ist sie bis zu 220 km breit und ihre Gesamtfläche beträgt 132000 km<sup>2</sup>. Die italienische Küste ist im allgemeinen flach und nur wenig gegliedert, im NW sumpfig und hinter zahlreichen Nehrungen (Lido) von Lagunen durchzogen.

mit Tiefen von 200 m sehr flach ist.

Das Klima der Adria ist mediterran mit milden Wintern, meist geringer Bewölkung und nur selten auftretenden Nebeln (ausgehend von den venezianischen und albanischen Sumpfniederungen) und regenarmen warmen Sommern. Die mittleren Lufttemperaturen betragen im Sommer im ganzen Seegebiet ca. 24°C, im Winter 4-8°C, von Süden nach Norden abnehmend. Charakteris-

co aus SW erreicht ebenfalls Sturmstärken. Er ist aber nicht böig und nur wegen des vor allem im Norden hohen Seeganges unangenehm.

Im Unterschied zu den Küsten des Atlantik und der Nordsee braucht man an den Mittelmeerküsten wenig auf die geringen Gezeitenbewegungen und Gezeitenströme Rücksicht zu nehmen. Die nördliche Adria weist hier eine Besonderheit auf. Im einzelnen sind die Hubhöhen und



Übersichtskarte u. Legende

Die Ostküste (Kroatien, Albanien) ist dagegen reich gegliedert in Inseln, Halbinseln und Buchten. Das adriatische Meer gliedert sich in zwei Becken, die durch eine schmale Schwelle mit einer Satteltiefe von 165 m nordöstlich von Monte Gargano mit daraus aufragenden kleinen Inseln voneinander getrennt werden. Das südliche Becken weist Tiefen von mehr von 1200 m auf, wobei der nördliche Teil

für die Adria sind die im Winter wochenlang anhaltenden Bora-Winde, die oft Sturmstärke annehmen und der Schifffahrt durch heftige Böen und ihr unvermitteltes Einsetzen gefährlich werden können. Die Bora-Winde sind trockene, kalte Fallwinde aus Nord-Osten, die an den Steilhängen des Karst und der dalmatischen und albanischen Gebirgen herabstürzen. Der warme und feuchte Sciroc-

stark von der Gestalt der Meeresbecken abhängig. Knotenpunkte, um die sich die Gezeitenwelle dreht, haben fast keinen Hub. Sie liegen in engeren Meeresstraßen, wo sich die Phasen umkehren, z.B. in der Adria zwischen Ancona und Zara. Bis Ancona reicht die gezeitenschwache südliche Adria, von dort an wächst die Hubhöhe. Es handelt sich dabei um Gezeiten, die nur

wenig von der Erdrotation bestimmt sind; sie sind deutlich auf die periodischen Impulse aus dem Ionischen Meer zurückzuführen, woraus sich eine einfache Schaukelbewegung um die Knotenlinie bei Ancona ergibt. Die Springfluthöhen liegen an den Halbinsel- und Inselküsten Italiens zwischen 20 und 30 cm, nur im äußersten Golf von Venedig erreichen sie dank der besonderen Eigenschaften des Adriabeckens 80 cm und mehr. Aber ein Windstau kann von Osten her für Venedig katastrophal wirkende Hochwasser bringen, wenn er mit

einem Tidenhochwasser zusammenfällt, wie das Anfang November 1966 der Fall war.

Wegen des erheblichen Süßwasserzuflusses ist in der nördlichen Adria der Salzgehalt mit 25‰ so niedrig wie nirgends sonst im Mittelmeer. Er nimmt nach Süden hin zunächst schnell (bei Ancona 34‰), dann langsamer zu.

Das tiefblaue, wegen der geringen Schwebstoffmengen transparente Wasser ist ein deutlicher Hinweis auf Nährstoffmangel. In den ober-

flächennahen Schichten fehlt es an Nitraten und Phosphaten, das Tiefenwasser ist sauerstoffarm.

Das vom Atlantik einströmende Wasser ist nährstoffreicher und erklärt den höheren Gehalt an Plankton und Kleintieren und den davon abhängigen höheren Fischereiertrag im Vergleich mit den Nährstoffquellen für die Adria sind der Po und die wasserreichen Alpenflüsse. Für die Fischerei bieten die zahlreichen Lagunen und Küstenseen weitere günstige Möglichkeiten.

## STURMFLUT IN VENEDIG

*N. Lüthi, O. Balkina*

Venedig oder auch Venezia ist eine Stadt und Hafen zugleich im Nordosten Italiens, sowie Hauptstadt der Provinz Venedig. Venedig liegt in einer flachen Lagune zwischen den 2 Mündungen Po und Piave. Sie erstreckt sich auf über 118 Inseln, welche von 175 Kanälen durchzogen sind.



*Hochwasserstege in Venedig*

Venedig, die Königin der Meere, säuft ab. Venedig, la Serenissima, stirbt – natürlich in Schönheit. Das Hochwasser macht der Stadt zu schaffen. Vor Hundert Jahren waren diese Überschwemmungen nur sehr selten, vielleicht einmal im Jahr. Doch die Situation hat sich dramatisch verschärft. An mehr als 80 Tagen war der Markusplatz im letzten Jahr überflutet. Gründe für diese dramatische Entwicklung gibt es viele.

### ***Ursachen der Überschwemmungen***

#### *Hausgemachte Fehler*

In den 50iger und 60iger Jahren pumpte die umliegende Industrie hemmungslos Grundwasser

unter der Lagune ab. Allein dadurch sanken die Fundamente der Stadt um 23 Zentimeter ab. Erst nach der Jahrhundertflut 1966 wurde das Abpumpen gestoppt. Trotzdem hat sich in den letzten Jahren die Problematik der Stadt verschärft.

#### *Ansteigen des Meeresspiegels*

Wenn das Klima sich erwärmt, dann schmilzt das Eis von den Polkappen und der Meeresspiegel steigt. Die Vorhersagen der Klimaforscher sind vage. Schätzungen sagen voraus dass in 50 Jahren das Wasser in der Lagune um 50 bis 100 Zentimeter ansteigen könnte – doch genau weiß das niemand. In diesem Fall würde Venedig schon jeden dritten Tag unter Wasser stehen und dies hätte gravierende Folgen für die Grundmauern der Stadt.

### ***Folgen und Schäden***

#### *Hochwasser zerstört das Fundament*

Wasser befindet sich nicht nur in den Kanälen, sondern auch

im Fundament der Stadt. Normalerweise stehen beide Wasserstände im Gleichgewicht zueinander. Nach einem Hochwasser gerät dieses Gleichgewicht aus den Fugen. In den Grundmauern fließt das Wasser langsamer ab als in den Kanälen. Starker Druck lastet dann auf der Innenseite der Mauern. Die andauernden Schwankungen des Wasserstands nagen an den Fundamenten der Palazzi und Kirchen und lassen Grundmauern zusammen brechen. Das Drama Venedigs spielt sich unter Wasser ab.

#### *Die Vergiftung der Lagune verschärft die Situation*

Früher badeten Kinder in den Kanälen. Heute ist das lebensgefährlich. Das Wasser der Lagune ist das dreckigste des Planeten. Ein giftiger Cocktail aus verschiedenen Schadstoffen. Von Venedig aus braucht man mit dem Boot nur ein paar Minuten bis Marghera. Seit vierzig Jahren hat der Chemieriese Montedison, größter Arbeitgeber der Region, die Lizenz zum Vergif-



*Überschwemmter Markusplatz*

ten: krebserregendes Dioxin gelangt mit den Abwässern in die Lagune. Hinzu kommt, dass die Zahl der Wasserpflanzen in der Lagune durch die Wasserverschmutzung stark zurückgegangen ist. Die für das biologische Gleichgewicht wichtigen Pflanzen wirken der Erosion entgegen, festigen den Untergrund und sichern so den Erhalt der Sandbänke.

Zum empfindlichen Ökosystem der Lagunenstadt gehört das Hochwasser. Diese periodischen Überflutungen sind für die Lagune lebenswichtig, denn sie schwemmen die Giftstoffe hinaus ins Meer.

### **MOSE**

Seit etwa 1900 ist Venedig um 23 Zentimeter abgesunken. Über Möglichkeiten, Venedig vor den regelmäßigen Überschwemmungen zu schützen, wird seit der Flut vom November 1966 intensiv diskutiert, als die berühmte Piazza San Marco mehr als einen Meter hoch unter Wasser stand. 1966 war das Jahrhunderthochwasser in Venedig: 194 Zentimeter über Normalnull zeigte der Pegel an. Und vor 37 Jahren kam auch die Idee von Deichen auf, die am Meeresgrund montiert

werden und sich heben, sobald der Wasserspiegel ansteigt. Um die Stadt zumindest vor dem schlimmsten Hochwasser zu bewahren, haben Ingenieure in jahrelanger Arbeit ein Hochwasserschutz-Projekt, genannt MOSE, entwickelt. 78 riesige Deichmodule sollen bei Bedarf die Lagune vor den Fluten schützen. Sie sind jeweils 20 Meter hoch, bis zu fünf Meter breit und zwischen 18 und 28 Meter lang. Im Normalfall liegen sie mit Wasser gefüllt auf dem Meeresgrund. Steigt der Hochwasserpegel, wird Luft in die Tanks hineingepresst, sie richten sich auf und versperren dem Wasser den Weg. Rund sechs Milliarden Euro soll das Projekt kosten.

Gegen das Deichprojekt, das "Mose" genannt wird, sprachen zunächst Zweifel an der Wirksamkeit der Schutzeinrichtung, die hohen Kosten und schließlich die Frage der Vereinbarkeit mit der Schifffahrt durch drei Öffnungen zwischen Lagune und offenem Meer.

### **Kritik von Umweltschützern**

Umweltschützer beobachten das Projekt ihrerseits mit Sorge. Sie befürchten, dass das Dammsys-

tem das prekäre ökologische Gleichgewicht in der bereits schwer verschmutzten Lagune kippen könnte. Wenn man die Klimaerwärmung berücksichtigt und die Daten, die man aus der Umweltarchäologie und Geologie kennt, kommen mindestens 30 Zentimeter zusammen. Mit dieser Vorhersage steht das spektakuläre MOSE-Projekt in einem ganz anderen Licht da. Denn man muss sehr viel häufiger mit Hochwasser rechnen als ursprünglich geplant. Statt die Tore allenfalls acht mal im Jahr zu schließen, muss die Schleuse vermutlich an achtzig bis hundert Tagen im Jahr dichtgemacht werden: Die Lagune wäre in den drei typischen Hochwassermonaten November, Dezember und Januar fast ständig vom Frischwasser abgeschnitten und die einmalige Wasserlandschaft könnte sich schnell in fauligen Morast verwandeln. Was genau geschehen würde, weiß niemand, weil dieses Szenario in den bisherigen Studien nicht berücksichtigt wurde.

## HOCHWASSERSCHUTZ IN VENEDIG

R. Izi, F. Krzikalla

Kann MOSE die Stadt vor dem Versinken retten?

„Aqua alta“ gehört in Venedig zum Alltag. Aber das ständige Auf und Ab des Wassers zerstört die Fundamente. Die Stadt versinkt zusehends im Meer. Ein mobiles Deichsystem soll die Meeresfluten in Schach halten und die Palazzi schützen.



Skizze der Lagune

Seit dem Bestehen der Stadt Venedig kennen ihre Bewohner das Acqua alta, das Hochwasser, welches Straßen und Plätze der nur wenige Meter über dem Meeresspiegel liegenden Lagunenstadt überschwemmt. Auf die dabei entstehenden Unannehmlichkeiten, sowie auf kleinere Schäden hat man sich mit der Zeit eingerichtet, hat die Gebäude in der Stadt bis in gefährdete Höhen weitgehend wassersicher gebaut, und die zu tief liegenden Marktplätze haben mit den Jahren immer wieder neue Pflasterungen erhalten.

Dies ist eine notwendige Reaktion auf das langsame Absinken des Deltagrundes sowie auf Schwankungen des Meeresspiegels. Im zwanzigsten Jahrhundert jedoch erhält diese Entwicklung bedingt durch menschliche Eingriffe eine völlig neue Qualität.

Am 4. November 1966, dem Tag der großen Flut, steigt das Wasser auf 1,94 m und damit auf einen noch nie erreichten Rekordstand. Weite Teile der Altstadt werden überschwemmt, es entstehen Milliarden Schäden in einer Stadt, die wie wenige andere reich ist an bedeutender

Architektur und zahllosen Kunstschätzen. Die Probleme der versinkenden Stadt treten hiermit erstmals ans Licht einer breiten Öffentlichkeit: Neben Gewässerverschmutzung und Erosion sind es auch die immer häufiger und immer stärker auftretenden Hochwasser, die Grundmauern korrodieren und die Bausubstanz schädigen. Die sich anbahnende Entwicklung ist bereits absehbar: Während in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts das Wasser zehn mal über die Marke von 80 cm stieg, waren es in der zweiten Hälfte bereits 40, und allein in den vergangenen fünf Jahren wurden sogar 60 solcher Fälle gezählt.

Als Reaktion auf diese Probleme beschließt das italienische Parlament im Jahre 1984 ein Sondergesetz zur Rettung der Stadt Venedig. Ein Konsortium aus 26 Firmen wird gebildet, mit dem Ziel, techni-



sche Lösungen auszuarbeiten und umzusetzen, die Stadt



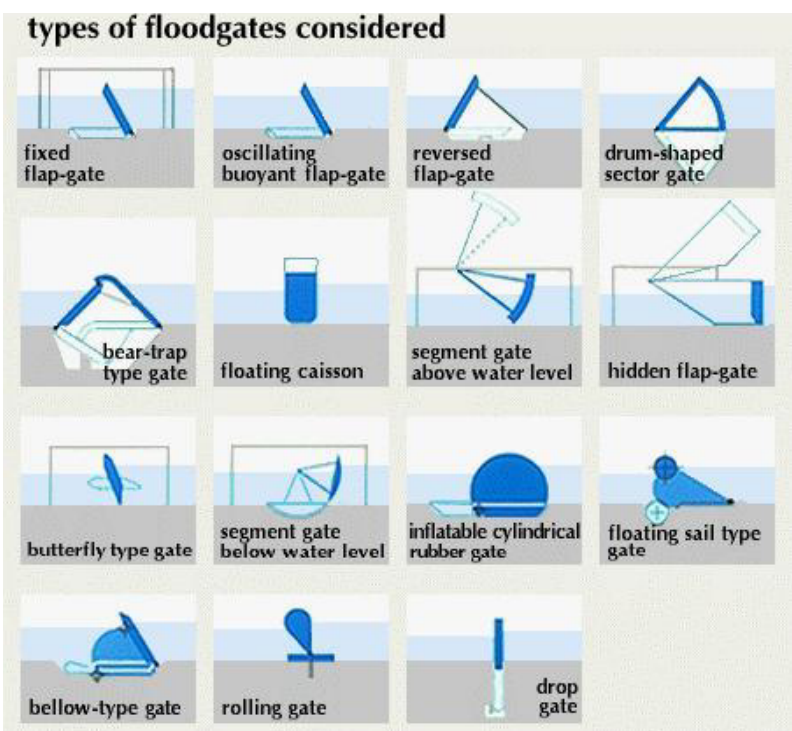
und Lagune vor den Fluten schützen sollen.

Einige Rezepte für den Hochwasserschutz sind aus der Vergangenheit bereits bekannt und hilfreich. Dazu gehören die Erhöhung von Ufermauern, überbauen von Plätzen und die Verwendung von wasserdichten Materialien in unteren Stockwerken. Diesen lokalen Maßnahmen sind jedoch praktische Grenzen gesetzt, denn zum Beispiel müssen anlegende Boote, in Venedig das vordringliche Verkehrsmittel, an den Mauern auch bei niedrigen Wasserständen noch anlegen und Waren ausladen können. Auch sind die Möglichkeiten eingeschränkt, grundlegende Umbauten an historischen Gebäuden vorzunehmen. Man hat Versuche angestellt, ganze Gebäude hydraulisch oder durch Einbringen von Material in den Untergrund zu heben und somit die Entwicklung der Vergangenheit zurückzudrehen, im Allgemeinen sind solche Verfahren aber nur bedingt wirksam und aufgrund von hohen Kosten allenfalls in Einzelfällen einsetzbar. Gegen außergewöhnliche Hochwasser können also lokale Maßnahmen keinen Schutz bieten.

Daher arbeiten Ingenieure seit Jahrzehnten an einem Deichsystem, welches die gesamte Lagune vor besonders starken Hochwassern schützen soll, indem die drei Öffnungen zum Meer für die Dauer eines Hochwasserereignisses geschlossen werden. Dies ist im Übrigen keine ganz neue Idee, denn aus dem siebzehnten Jahrhundert bereits findet sich der Vorschlag von Agosto Martinelli, die Lagune durch eine Mauer vom Meer zu trennen, um das ein- und ausströmende Wasser mit absenkenden Toren zu kontrollieren. Beispiele für ähnliche Wehranlagen sind in jüngerer Vergangenheit etwa an der

Hafeneinfahrt von Rotterdam oder an der Themse in England entstanden. Auch für Venedig

tungsraum besteht. Am günstigsten hat sich ein System erwiesen, für dessen Name



hat man eine Vielzahl von Wehrtypen untersucht, darunter Segment-, Klapp- und Schlauchwehre.

Welche Schwierigkeiten und Herausforderungen ein solches Vorhaben auch zu heutiger Zeit noch birgt, zeigt deutlich die große Zahl der Probleme, derer man sich in den beteiligten Ingenieurbüros und Forschungsinstituten zuwendet.

Da die Lagune von Venedig ein im besonderen Maße empfindliches Ökosystem darstellt, sind dem Entwurf von Anfang an enge Randbedingungen gesetzt. So sollten die Eingriffe in den Wasserhaushalt des Systems so gering wie möglich gehalten werden. Die Geometrien der Einlässe wurden zwar für den Schiffsverkehr in der Vergangenheit mehrmals künstlich verändert, sollen jedoch für die Zukunft in ihrer jetzigen Form erhalten bleiben. Das bedeutet, dass für neue Bauwerke an Land auf den schmalen Nehrungen zwischen Lagune und offener See nur wenig Gestal-

die Bibelfigur des Moses Pate stand. Unter dem Akronym MOSE steckt die Abkürzung „Modello sperimentale Elettromeccanico“ (elektromechanisches Experimentalmodell).

Bei diesem Projekt handelt es sich um die Installation eines Schleusensystems mit insgesamt 79 Flutschutztoren, die im Normalfall von Land aus unsichtbar auf dem Grund der Laguneneinlässe liegen. Diese 79 stählernen Elemente lassen sich so steuern, dass sie sich bei Bedarf aus dem Wasser emporheben. Dabei ist das Prinzip recht einfach: Jedes dieser Elemente ist etwa 20 Meter breit, 30 Meter hoch und hat einen Durchmesser von fünf Metern. Droht eine Sturmflut, werden die Riesenkästen mit Druckluft leergepumpt und aufgerichtet – ähnlich wie die Tauchtanks von U-Booten beim Auftauchen. Auf diese Weise entsteht eine Barriere gegen die heranströmende

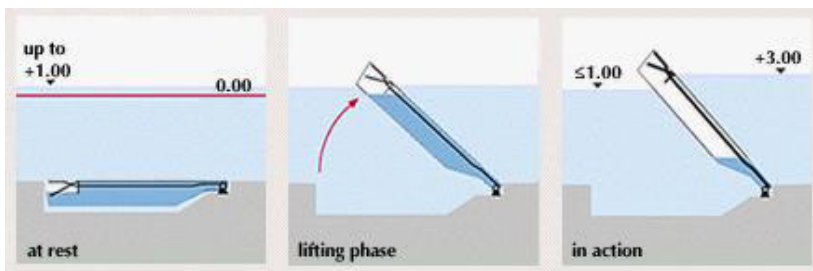
Flut. Während dieser Zeit ist die Zufahrt mit dem Schiff nur über ein Schleusensystem am Malamocco-Einlass möglich. Ist die Gefahr für Venedig vorbei, werden die Schleusentore wieder geflutet und kippen zurück auf den Grund. Die Vorteile dieses Wehrtyps liegen auf der Hand. Die Flutklappen lassen sich leicht in verschiedenen Höhen fertigen, so dass sie an unterschiedliche Fahrrinntiefen angepasst werden können. An den Ufern der Einlässe sind keine baulichen Veränderungen notwendig, und im regulären Betrieb verhalten sich die Laguneneinlässe so, als ob gar kein Wehr vorhanden wäre. MOSE hat sich deshalb trotz voraussichtlich hoher Aufwen-

ren, welche Kräfte am Fuße des Tores ins Fundament übertragen werden müssen, ob Resonanzerscheinungen auftreten, und wie diesen gegebenenfalls begegnet werden kann. Im Jahre 1988 wird der Prototyp für ein Schleusentor im Maßstab 1:1 im Kanal Treporti beim Lido-Einlass montiert, um ihn unter echten Bedingungen zu testen. Geprüft werden sollen Transport und Installation vor Ort, das Anheben und Abmontieren der Stahltanks. Insbesondere gilt es auch, den Mechanismus der Stauwandscharniere zu testen, sowie zu klären, welche Technik beim Herauspressen des Wassers aus den Elementen verwendet werden soll: Das Absaugen durch Saugpumpen oder das Einbla-

und Notwendigkeit der Maßnahme. Die Finanzierungsfrage ist ungeklärt. Auch Umweltschützer merken an, dass Auswirkungen auf das Gleichgewicht des Lagunenökosystems nicht genügend berücksichtigt werden.

Durch die Amtsübernahme der Regierung Berlusconi jedoch erhalten nationale Großprojekte im ganzen Land von politischer Seite wieder größere Unterstützung, wovon auch das MOSE Projekt betroffen ist. 4,13 Milliarden Euro öffentliche Mittel sind für den Bau der Anlage vorgesehen, um die Möglichkeit zu schaffen, bei Flutwarnung von mehr als 110 cm die Lagune innerhalb einer Stunde temporär abzusperrn. Dafür werden 18 solcher oben skizzierten Tore beim Chioggia-Durchlass benötigt, 20 beim Malamocco - Durchlass und beim doppelt so breiten Lido-Durchlass eine zentrale Anlage, von der sich beidseitig jeweils 20 Fluttore erstrecken. Auf diese Art und Weise hätte man dann insgesamt einen künstlichen Damm von ein- einhalb Kilometer Länge geschaffen.

Als Termin für die Fertigstellung ist das Jahr 2010 ins Auge gefasst worden, dann wird sich auch zeigen, ob diese Art von Sturmflutschutz der richtige Weg ist, dem Problem Venedigs zu begegnen.



dungen für Bau und Wartung gegen andere Wehrsysteme durchgesetzt.

Jahrzehntelang wurden dazu verschiedene Modelle berechnet, studiert und im Versuchszentrum für Hydraulikmodelle in Voltabarozzo bei Padua getestet. Es stellt sich etwa die Frage, wie die beweglichen Tore bei hohem Wellengang reagie-

sen komprimierter Luft. Schließlich lassen sich vor Ort Erfahrungen gewinnen in der Wartung durch U-Boote und im Betrieb der Anlage.

In den neunziger Jahre werden innerhalb der Bevölkerung und auch in politischen Kreisen Zweifel laut an der Wirksamkeit

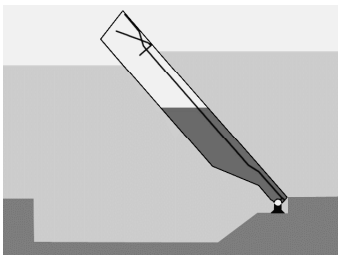
1672	Agostino Martinelli schlägt erstmalig vor, die Lagune von Venedig durch ein Bauwerk mit verschließbaren Toren vom Meer zu trennen
1966	Verheerende Sturmflut mit Rekordwasserstand von 1,94m
1984	Sondergesetz des italienischen Parlaments zur Rettung der Stadt Venedig
1988	Beginn der Modelluntersuchungen für das MOSE-Wehrsystem
1996	Projekt wird aus Geld- und aus Umweltverträglichkeitsgründen gestoppt
2002	Mit dem Plan der „Grandi opere“ stellt die Regierung Berlusconi über 84 Mrd. € für 21 Infrastrukturgroßprojekte in ganz Italien zur Verfügung, darunter 4,13 Mrd. für MOSE
2003	Grundsteinlegung, Baubeginn der Wehranlage
2010	Voraussichtlicher Termin der Fertigstellung

Tafel 2: Überblick über die zeitliche Abfolge der Ereignisse

## DAS SYSTEM MOSE

U. Merkel, J. Müller

Die Module sind hohle, mit Wasser gefüllte Stahlkörper, die nebeneinander in 15 Meter Tiefe verankert sind. Droht ein Hochwasser, werden die stählernen Hohlkörper mit Druckluft gefüllt. Wie ein Tor bewegen sich die einzelnen Module nach oben und stellen sich hochkant im Wasser auf. Die



Systemskizze

Stahltüren, die etwa 20 Meter breit, 30 Meter hoch und 5 Meter dick sind, bilden so eine Barriere gegen das Hochwasser. Insgesamt sollen 79 Module in den drei Öffnungen der Lagune zum Einsatz kommen.

### Baubetriebliches

Die Befestigung der Module erfolgt durch speziell entwickelte Gelenke an den Fun-

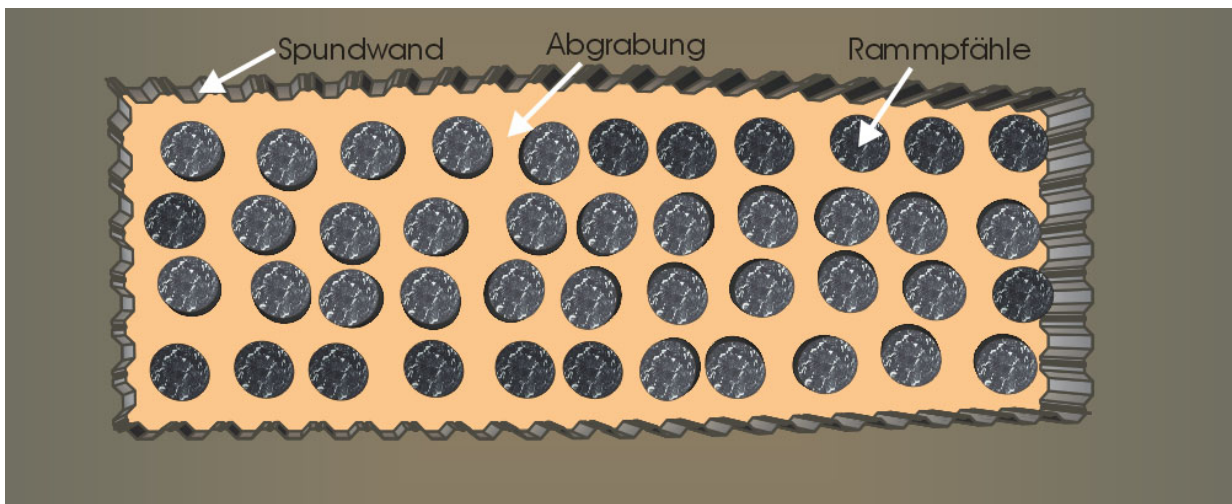
damentelementen. Diese Verbindungsart ermöglicht einen weitgehend automatisierten, schiffsgestützten Wechsel einzelner Klappen zur Revision oder Reparatur innerhalb von 120 Minuten. Weitere Anforderungen sind die Dichtheit gegen Versandung und die Durchführung der Druckluftleitung. Das Druckluftsystem wird von beiden Ufern durch jeweils 2 bis 3 Aggregate gespeist. Das gesamte System ist 2- bis 3-fach redundant ausgelegt, um Ausfällen vorzubeugen. Die einzelnen Klappen werden nicht parallel sondern seriell, d.h. eine Klappe nach der anderen, mit Luft gefüllt. Dies verlängert zwar die Verschlusszeiten der Anlage beträchtlich, senkt aber die Kosten, da die Kapazität des Kompressors geringer ausfallen kann. Die Verlängerung der Verschlusszeiten ist jedoch unkritisch, da die Einsatzentscheidung der Klappen von Wasserstandsprognosen abhängen, die mehrere Stunden Vorlaufzeit haben. Die Fundamentelemente aus Stahlbeton werden in bis zu

60 m langen Teilstücken für 3 einzelne Klappen an Land vorgefertigt.

Nach dem Einschwimmen werden die Hohlräume dieser Elemente zunächst mit Wasser gefüllt, versenkt und teilweise später mit Sand und Schlick verfüllt. Diese Variante wird noch geprüft. Als Alternative werden die massiven Fundamentplatten an Land gefertigt und auf Pontons eingeschwommen.

Bei der ersten Variante ist mit einer maximalen Spaltweite von 7 cm zwischen den einzelnen Klappen und 10cm zwischen je zwei 3er-Gruppen zu rechnen. Die Spaltverluste sind bei den heute prognostizierten Schließzeiten so gering, das Dichtungen vorerst nicht vorgesehen sind. Diese könnten später einmal notwendig werden, wenn der Meeresspiegel steigt und die Schließfrequenz zunimmt.

Die Fundamentplatten werden auf Pfahlgründungen befestigt.



Gründungsschema

Dazu werden zuerst einzelne rechteckige Parzellen mit Spundwänden abgeschlossen und teilweise ausgehoben. Die Rammpfähle aus Stahlbeton gehen bis in tiefe, stark verfestigte Schlickschichten und verpressen gleichzeitig den verbleibenden Schlick in der Parzelle. Auf der Pfahlkopfplatte aus Ortbeton wird die eigentliche Fundamentplatte befestigt.

Die erwarteten Setzungen sind gering. Darüber hinaus sind gleichmäßige Setzungen von wenigen Zentimetern irrelevant, da die Prognose der Wasserstandshöhe auf größeren Unsicherheiten beruht.

Dieses Konzept ist allerdings noch nicht endgültig, aber vielfach bewährt.

### **Ökologisches**

#### *Schadstoffanreicherung*

Zu unserer Überraschung sind die aufgefundenen Umweltstandards deutlich geringer als dies die ökologische Einmaligkeit der Lagune gebietet. Bis in die 70er Jahre hinein wurden Bauxit-Schlacken, Industrie-



müll und schwach radioaktive Stoffe in der Lagune deponiert. Erst heute werden diese künstlichen Inseln durch 14 m tiefe Spundwände umschlossen um ein Abbrechen der Ufer zu vermeiden. Eine Oberflächenversiegelung ist nicht vorgesehen.

Ein Ölhafen liegt mitten in der Lagune und ein Chemiekonzern darf ungeklärte Abwässer einleiten. Seit kurzem sind die umliegenden Gemeinden an Kläranlagen angeschlossen. Fäkalien und Hausabwässer werden nur noch aus Venedig selbst eingeleitet.

Für Sanierungen und bei Hotels und Gasthöfen in Venedig ist die Installation von Abwassertanks vorgeschrieben, die in regelmäßigen Abschnitten von Pumpschiffen abgesaugt werden.

Im Moment wird durch Ebbe und Flut das Wasser der Lagune regelmäßig ausgetauscht. Längere Verschlusszeiten durch das MOSE-System könnten zu einer verstärkten Agglomeration von Schadstoffen führen.

#### *Wasserstandsdynamik*

Die weitläufigen Salzwassermarschen beheimaten eine Vielzahl einmaliger Lebensgemeinschaften. Die dort ansässigen Pflanzen, Amphibien und Vögel haben sich auf ständig schwankende Wasserstände spezialisiert. Bei häufigeren, längerfristigeren Schließzeiten aufgrund eines gestiegenen Meeresspiegels in einigen Jahrzehnten würden durch die Dämpfung der Extreme im Ebbe und Flut –System die lokale Spezialisten durch Ubiquitäten verdrängt.



## GEWÄSSERQUALITÄT IN DER LAGUNE

*U. Rost, B. Butz, C. Braun*

Venedigs Todesurteil wurde im Jahr 1962 gefällt. Industrie und Politiker legten damals fest, dass sich am Hafen von Marghera Chemische Industrie ansiedeln durfte. Seitdem war Venedig Schauplatz einer selbst für Italien beispiellosen Serie ökologischer Katastrophen. Jährlich schleuderten die Industrieanlagen 240.000 Tonnen Schadstoffe in die Luft und verschmutzten rund zwei Milliarden Kubikmeter Wasser, das zumeist ungefiltert zurück in die Lagune floss.

ve Phosphorgipse und Dioxin, das vor allem aus den Produktionsanlagen für Chlorsoda, krebserregendes Vinylchlorid (CVM) und Dichloräthanol stammt.

Staatsanwalt Felice Casson beschuldigt die Firmen zudem, direkt für den Tod von etwa 100 in den CVM-Anlagen beschäftigten Arbeitern verantwortlich zu sein. Gabriele Bortozzolo, dessen Anzeige wegen der skandalösen Zustände in Porto Marghera die Ermittlungen auslöste, starb, bevor

werden aber trotzdem in einigen Restaurants der Stadt angeboten.

Seitdem die Ausmaße der Verschmutzungen bekannt wurden, laufen Projekte zur Verbesserung der Wasserqualität.

Seit dem Jahr 2000 ist CORILA die Koordinierungsstelle der Universitäten von Venedig und Padua für die Forschung in der Lagune. Dort werden spezielle Methoden zur Reinigung von Boden und Wasser erforscht und umgesetzt.



Die Behörden schwiegen bis Ende 1996, als der Staatsanwalt Felice Casson Ermittlungen gegen 29 Spitzenmanager der Firmen Montedison und Enichem einleitete. Den Angeklagten wurde die illegale Ablagerung von Giftmüll zur Last gelegt. Der ehemalige Umweltbeamte Dr. Gianni Moriani glaubt, dass in die Lagune etwa fünf Millionen Tonnen Giftmüll gekippt wurden, darunter Chlororganika und aromatische Chlorverbindungen, Phenole und Ammoniak, Blei, Zink, Cadmium, Quecksilber, Arsen, radioakti-

er an den Folgen seiner gefährlichen Arbeit erkranken konnte. Er wurde im September 1995 unter bis heute ungeklärten Umständen von einem Lastwagen überfahren.

Der Prozess um die Vergiftung der Lagune hat auch Auswirkungen auf den für Venedig so bedeutsamen Tourismus. Schlimmer ist die Lage allemal für die Einwohner Venedigs, die vermehrt unter Atemwegserkrankungen leiden. Fischbestände und Muschelbänke in der Lagune sind zwar hochgradig verseucht,

Zur selben Zeit wurde vom nationalen „Institut für Ozeanographie und Geophysik“ in Triest und vom „Istitutio per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse“ in Venedig ein Forschungsplan ausgearbeitet, um die relevanten Faktoren des Wasseraustausches zwischen der Lagune und dem Meer zu erforschen. Sinn der Sache ist es, zu erforschen, welchen Einfluss Hochwasser auf die Reinigung der Lagune hat und inwiefern das geplante MOSE-Projekt diesen Wasseraustausch behindert. Die Messungen sollten zwei Jahre lang an allen Lagunenein- und -ausläufen durchgeführt werden. Verwendet werden ADCPs (Acoustic Doppler Current Profilers) in jedem der drei Einläufe, um zeitabhängige Veränderungen der Strömungen und Austauschraten zu ermitteln. Weiterhin werden zu den Messungen CO-DAR (Coastal Ocean Dynamics Applications Radar) Geräte eingesetzt.

## STURMFLUTEN IN VENEDIG AM BEISPIEL DER FLUT 1966

J. Schulz

Venedig ist durch seine Lage auf dem Wasser den Einflüssen der Umwelt im besonderen Maß ausgesetzt. Die Existenz der Stadt ist auf Dauer nicht gesichert, sondern stark mit der Lagune verknüpft – eine Tatsache, der man sich erst nach der verheerenden Flut am 4. November 1966 bewusst wurde.

- Springfluten bei Voll- oder Neumond (bis zu 80 cm bei Venedig)
- ‚Seiche modes‘. Die durch den Wind an einem Ende angestauten Wassermassen können wie in einer gigantischen Badewanne im Adriabecken vor- und zurückschwappen, wenn der Wind und damit die Schubkräfte plötzlich nachlassen.

ser. Der Schaden in Italien belief sich auf ca. US\$ 2.000.000.000, etwa 5.000 Venezier verloren ihre Unterkunft, die Schienenverbindung von Nord nach Süd war unterbrochen, zahllose Kunstschätze in Venedig und vor allem Florenz gingen verloren im Schlamm.

Die Reaktionen auf die Flut waren vielfältig:

International:

- Sofortige Hilfeleistungen und Spenden aus ca. 35 Ländern
- Gründung von Organisationen zur Rettung der Stadt und deren Schätze unter dem gemeinsamen Dach der UNESCO, darunter z.B. „Arbeitsgruppe Venedig“ aus Deutschland, „Save Venice“ aus den USA und „Venice in Peril“ aus UK.

Ziel dieser Organisationen ist die Unterstützung bei der Restaurierung von Kunstschätzen, die Förderung der Wissenschaft mit Geldern und Fachleuten, der Austausch von Wissen. Zwischen 1999 und 2002 wurden über € 7.000.000 in 138 Projekte investiert, z.B. zur Renovierung und Erhaltung von Gebäuden und Kunstwerken, für die Forschung und für Öffentlichkeitsarbeit.

Auf nationaler Ebene wurde ebenfalls auf breitem Feld reagiert. Als Soforthilfe wurden u.a. für Betroffene billige Kredite zur Verfügung gestellt und die Benzinpreise und direkten Steuern für ein Jahr um ca. 10 % angehoben.



*Piazza San Marco am 4. November 1966*

Die Ursachen für die Fluten sind vielgestaltig:

- Ansteigen des Meeresspiegels (eustacy): 11 cm im letzten Jahrhundert
- Absinken des Grundes (subsidence): 12 cm im letzten Jahrhundert, wovon ein ca. 70% davon durch das starke Abpumpen des Grundwassers in den Jahren 1952 – 1969 verursacht wurden.
- Scirocco-Winde aus dem Süden, die Wellen vor sich her in Richtung Venedig schieben (bis zu 1 m bei 60 km/h Windgeschwindigkeit)

- Starke Schwankungen im Wasserspiegel bei großen Unterschieden im Atmosphärendruck über der Adria, angeblich bis zu 20 cm.
- Starke Regenfälle über einen langen Zeitraum.

Am 4. November 1966 überlagerten sich starke, langanhaltende Regenfälle über Nord- und Mittelitalien mit einem großen Tiefdruckgebiet und starken Scirocco Winden und führte zu dem bislang höchsten Wasserpegel von 1.94 m in Venedig und für Chaos in ganz Italien. Die Stadt stand für 22 Stunden ca. 1 m unter Was-

Zwei kleine Anekdoten am Rande: Der Papst gestattete den Verkauf von künstlerisch und historisch nicht wertvollen Votivgeschenken, um Geld zu sammeln und eine Tabakfabrik in der Toskana trockenete statt Tabakblätter mit Schlamm überzogene Bücher und Papiere aus den Bibliotheken von Florenz.

Ferner wurden nach zähen Verhandlungen 1973, 1984 und 1992 „Spezialgesetze“ für Venedig erlassen, die den Schutz Venedigs und der Lagune zur Priorität von nationalem Interesse machen. Es wurden konkret Schutzziele festgeschrieben und auf nationaler, regionaler und lokaler Ebene bestimmten Einrichtungen zugewiesen. Als Ausführungsorgan des Staates wurde 1987 das Consorzio Venezia Nuova (CVN) gegründet, in dem sich nationale und lokale Unternehmen und Kooperativen zusammenschlossen. Bis 1999 hat der Staat CVN mit 2.600 Milliarden Lire in CVN zur Planung, Ausführung und Kontrolle von Schutzmaßnahmen gegen Hochwasser, Sturmfluten und zur Wiederinstandsetzung von Venedig und der Lagune investiert. Das wohl bekannteste Projekt von CVN ist MOSE, eine Anlage von aneinandergereihten riesigen Klappen, die bei Gefahr von Hochwasser die Lagune von der Adria abtrennen soll. Auch nach zahlreichen Studien über Funktionsweisen und Einfluss auf das Ökosystem der Lagune ist es umstritten und die langwierige und sehr teure Ausführung noch keinesfalls gesichert.

Die acht grundlegenden Ideen bei der Ausarbeitung dieser Rettungsprojekte sind:

1. Entwurf und Planung von mobilen Flutentoren an den Hafeneingängen (MOSE)
2. Planungen für lokalen Schutz der Inseln für mittlere Hochwasser (z.B. Pellestrina)
3. Planungen zum Küstenschutz (z.B. Pellestrina)
4. Planungen zur Erneuerung der Molen
5. Planungen zur Wiederherstellung der Morphologie der Lagune
6. Planungen zum Stop und Rückführung der Schäden in der Lagune
7. Planungen zur Beurteilung der Sinnhaftigkeit und Machbarkeit, die Fischfarmen wieder an die Lagune und damit dem Ebbe/Flut Wechsel anzuschließen
8. Durchführungsstudie um den Verkehr der Öltanker aus der Lagune heraus in die Adria zu verlegen

Als Beispiele sollen nun zwei weniger bekannte, dafür aber bereits zum Teil schon abgeschlossene

Projekte vorgestellt werden:

### ***Insel Pellestrina (1997 abgeschlossen):***

- Erstellung eines 50 m breiten und 9 km langen Sandstrands, gelagert zwischen Bühnen mit insgesamt 4,600,000 m<sup>3</sup> Sand, der vom Meeresboden 20 km vor Venedig abgepumpt wurde.
- Erhöhung der Uferbefestigungen von 1.20 m auf 1.70 m. Dabei wurden außerdem Abwasserkanäle verlegt und mit dem Abwassersystem der Stadt verbunden und die Kanäle bis zu 2 m tief ausgebagert.

Auch hier noch kurz eine kleine Anekdote italienischer Weitsichtigkeit, die sich nicht direkt in Pellestrina, sondern weiter beim Wiederherstellen eines Strandes weiter nördlich abspielte: Der Sand, der ursprünglich zum Auffüllen



*Insel Pellestrina mit neuem Strand*



vorgeschlagen und akzeptiert wurde, hatte eine leicht gräuliche Farbe. Kaum lagen die ersten Ladungen vor Ort, hagelte es Beschwerden, der Sand sollte doch lieber goldener sein! Als Lösung wurde aus dem hinteren Bereich goldener Sand abgegraben, die Grube mit grauem Sand verfüllt und der Goldene vorn abgeladen. Dieser Sonderwunsch erhöhte die Kosten auf das Doppelte... [nach Angaben von Herrn Stocker während der Exkursion]

**Piazza San Marco (noch in der Planung):**

- Versiegelung des gesamten Platzes mit Bentonit gegen von unten durchdrückendes Wasser.
- Erhöhung der Uferpromenade auf 100 cm gegen das überlaufende Wasser.
- Renovierung und Füllen von alten Kanälen und gleichzeitig Verlegen von neuen Regenwasserkanälen.

Das Regenwasser soll in Zukunft über eine Pumpstation das Wasser in die Lagune geleitet werden. Dadurch soll das Austreten von Wasser aus Abflüssen verhindert werden.

*Quelle:  
CVN – with water and against water – Informations-CD*

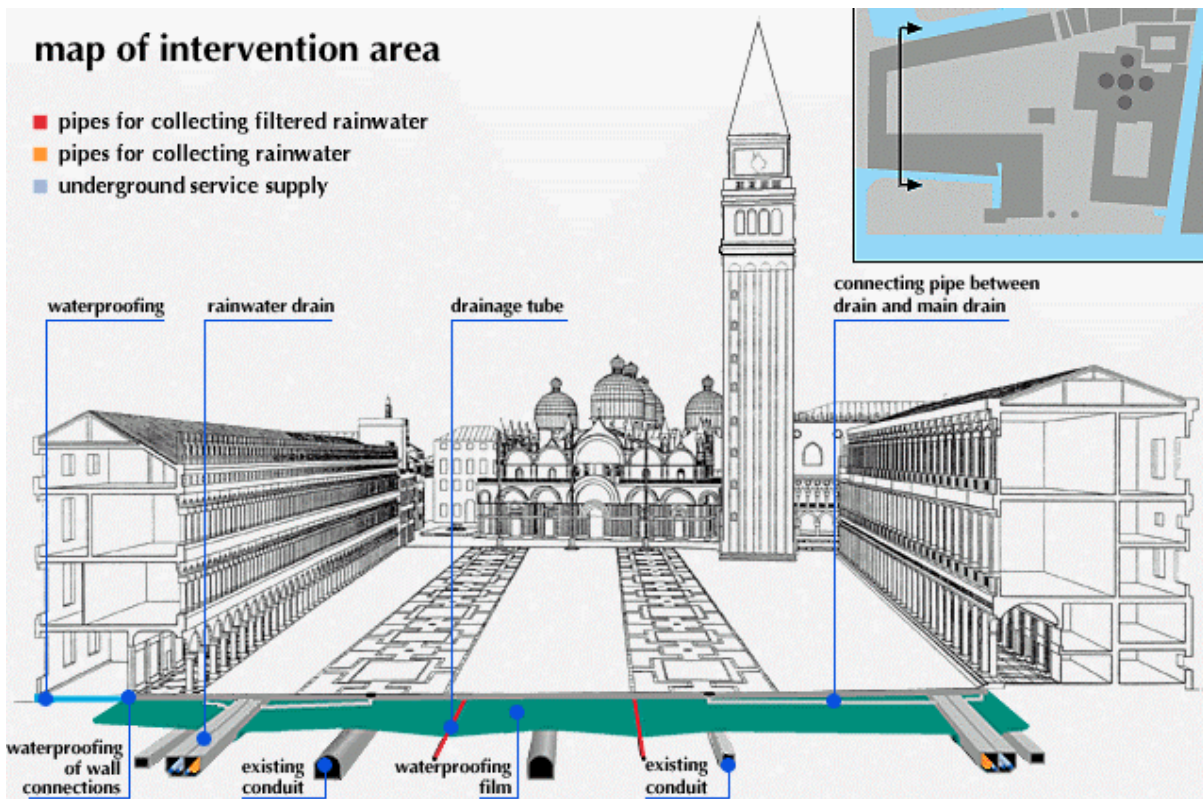


Abbildung 1: Planungen für Piazza San Marco [CVN CD]

## UNIVERSITY OF PADUA

*J. Galmes, I. Beltran Jauna*

### **History Tips of the University and Personalities.**

The year 1222 is very important for the city of Padova (Padua). The massive movement of scholars and university professors coming from Bologna leads to the necessity of having a university. In 1222 takes place the official opening of the "Università degli studi di Padova", second university of Italy.

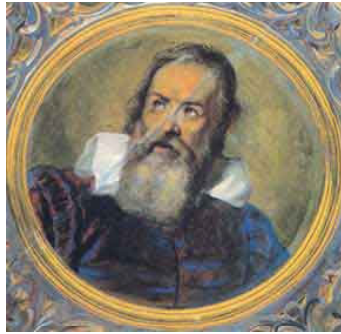
The University was in the very beginning a *Universitas Iuristarum*, what covered the studies of Civil and Canonical Law and Theology. Later on, under the auspices of Francisco II from Carrara, the University of the artists was created (*Universitas Artistarum*) including the studies of astronomy, philosophy, grammar, medicine and rhetorical. The students were as well as the University divided in *natio citramontana* (students coming from Italy) and the *natio ultramontane* (other students). The whole reunification of the university would not take place till 1813.



*Presidenza di Ingegneria*

Between the XV and the XVIII century the University stands out for the great completed progresses, in particular in the doctor-

scientific, astronomical and philosophical disciplines, and for the guaranteed climate of cultural opening of the Republic of Venice.



*Galileo Galilei*

The presence of Galileo Galilei in Padova, between 1592 and 1610 leads to a very successful time in scientific progresses. Some years later (1678) Elena Lucrezia Cornaro Piscopia becomes the first woman who achieves the bachelor in Philosophy. Because of these facts is in that time the University of Padua an international point of reference the world over.

Already in 1943, the chancellor Concetto Marchesi invites the students in public to fight against the fascism, action that forces him to escape towards Switzerland. For the activities of liberation from the nazi fascism the University of Padova has been the only one in Italy being awarded with the gold medal to the military courage.

During the post-war period, the University increases the contribution to the development by collaborating with scientific agencies of international level, which implies as

a consequence in the nineties a remarkable expansion also in the regional level, with the activation of new centers in order to accommodate bachelor courses.

### **Structure in Faculties of the University of Padua**

The faculties division is following:

- Faculty of Agronomy
- Faculty of Economy
- Faculty of Pharmacy
- Faculty of Jurisprudence
- Faculty of Engineering
- Faculty and Philosophy
- Medicine faculty and Surgery
- Medicine
- Faculty of Veterinary
- Faculty of Psychology
- Faculty of Sciences of the Formation
- Faculty of Mathematical, Physical and Natural Sciences
- Faculty of Political Sciences
- Faculty of Sciences Statistics

### **Civil Engineering Area**

The Civil Engineering Degree is located in the Faculty of Engineering and consists of following departments:

- Department of Constructions And Transports
- Department of Hydraulics, Marine Engineering, Environment and Geotecnica.
- Department of Architecture, Urban Planning and Survey.

### **Institutes**

Related to the previous departments:

- Laboratory of Hydraulics
- Laboratory of Sanitary and Environmental Engineering

Hydrology Laboratory  
Laboratory of Engineering  
Geotecnica  
Marine Laboratory

### **Research activity**

#### *Hydraulics*

- 1) Hydrodynamics: turbulence and mixing phenomena
- 2) Floods and inundation modelling
- 3) Fluvial and coastal morphology
- 4) Hydraulic measurements

#### *Hydraulic Constructions*

- 1) Sewer Systems
- 2) Natural Drainage Networks

- 3) Hydrometeorology  
Transport in Heterogeneous Porous Media
- 4) Hydraulic infrastructures

#### *Maritime Constructions*

- 1) Interaction between waves and coastal structures
- 2) Morphodynamics of coastal areas close to lagoon inlets
- 3) Soft measures for coastal protection
- 4) Geosynthetics in coastal engineering

#### *Geotechnical Engineering:*

- 1) Cohesive and granular soil mechanics: Modelling of soils of Venetian Lagoon, Experimental study on cohesive soils with inclusions and Ex-

- perimental research on residual strength
- 2) Mechanics of composite systems: Analytical and physical modelling of geosynthetic reinforced walls and Experimental study on the conductivity of soil-geosynthetic filters
- 3) Environmental geotechnics: Permeability of clayey soils and performance of low-hydraulic-conductivity and Subsidence in Venice and Ravenna.
- 4) Behaviour of shallow and deep foundations: single pile and pile groups and Dynamic response of foundations.
- 5) Tunnel engineering and earth retaining structures

## UNIVERSITÄT PADUA - LAGUNENMODELLE

S. Heller, O. Suaznabar Berrios

Am IMAGE\* Institut der Universität Padua wird unter anderem anhand verschiedener Modelle die Lagune Venedigs untersucht.

Das IMAGE Institut besitzt fünf bedeutende Laboratorien. Von diesen beschäftigen sich zwei unmittelbar, zusammen mit dem „Centro Voltabarozzo“ mit dem Schutz der Lagune von Venedig.

Meereslabor	In Zusammenarbeit mit Centro Voltabarozzo
Lisa Labor	
Hydrologisches Labor	
Hydraulisches Labor	
Geotechnisches Labor	

Da das Hauptthema der Exkursion in Venedig sich vor allem mit dem Schutz der Lagune befasst, wurden die anderen Laboratorien außer dem Hydrauliklabor nicht mehr besichtigt, aus diesem Grunde wird hier eine kurze Beschreibung von diesem Labor am Ende gegeben werden.

### **Meereslabor**

Hier werden verschiedene Experimente durchgeführt, die mit der Wasserqualität und dem Ökosystem in der Lagune zu tun haben.

Erste Untersuchung ist das Erscheinungsbild der Salzsümpfe und deren Einfluss auf das ökologische Gleichgewicht. Es wird unter anderem registriert :

- die Vegetation durch elektronische Strahlungen
- die verschiedenen Vegetationstypen durch Farb fotografie.
- die räumliche Anordnung der Vegetation in der Salzsümpfen und ihre Evolution.

Die Salzsümpfe besitzen kleine Kanäle zur Entwässerung bei Niedrigwasser, deren Netzwerk auf seine Struktur und Länge untersucht wird. Diese Untersuchung findet in Hinblick auf das Verhalten von Frischwasserzufluss und Altwasserabfluss statt, wobei beide jeweils von Regen, Flut und Verdunstung in den Kanälen beeinflusst werden.

### **Lisa Labor**

In diesem Labor werden auch Maßnahmen zum ökologischen Schutz der Lagune untersucht. Eine der wichtigsten ist die Messung des Sauerstoffes in der Lagune.

Es werden Wasser, Boden und Hausabfall auf die Belastung mit Schwermetallen untersucht, dazu wird ein Gaschromatograph und ein Respirometer verwendet. Das Respirometer misst den Sauerstoffverbrauch von homogenen Proben. Diese Proben befinden sich fünf Tage lang in Kisten. Während dieser Zeit wird der Druckabfall infolge des Sauerstoffverbrauchs durch Batterien aufgezeichnet. Außerdem wird Abwasser in drei Kategorien getrennt. Es wird die Reaktion mit verschiedenen Vegetationstypen untersucht.

Die oben erwähnte Zusammenarbeit mit dem Centro Voltabarozzo hat das Ziel, die Lagune von Venedig zu schützen. Die verschiedenen oben beschriebenen Untersuchungen der Labors zeigen, dass die Lagune sowohl vor Hochwasser als auch vor Umweltverschmutzung geschützt werden muss.

### **Centro Voltabarozzo**

Das Centro Voltabarozzo ist das bedeutendste Versuchszentrum seiner Art in Italien. Es wurde 1969 gegründet, um Experimente zum Schutz von Venedig und seiner Lagune durchzuführen. Es befindet sich in der Nähe von Padua und hat in seiner Arbeit eine starke Kooperation mit der Uni Padua aufgebaut.

Die Probleme der Lagune, mit denen sich das Centro und die Uni Padua befassen, bestehen hauptsächlich in der Bedrohung durch Hochwasser, Erosion und Verschmutzung.

Zur Untersuchung dieser Probleme wurden zunächst physikalische Modelle benutzt. Mittlerweile rücken allerdings immer mehr die mathematischen Modelle in den Vordergrund. So haben beispielsweise zweidimensionale mathematische Modelle das auf ca. 10000 m<sup>2</sup> realisierte Modell der gesamten Lagune im Maßstab 1:20 (vertikal) bzw. 1:250 (horizontal) abgelöst.

In der Vergangenheit wurden hier die Strömungen, der Sedimentfluss und der Wasseraustausch der Lagune untersucht. Der Zusammenhang zwischen diesen

Faktoren ist für den Hochwasserschutz zu berücksichtigen, da Eingriffe in den Wasserkreislauf auch die Sedimentation bzw. Erosion und das ökologische Gleichgewicht beeinflussen.

Am Centro untersuchte Maßnahmen haben demzufolge auch den Charakter eines Strömungshaushalts mit einer starken Vernetzung von Einflussfaktoren.

- So soll eine Veränderung der Einströmungsgeschwindigkeit in die Lagune durch Veränderungen im Boden bei den Zuflüssen erreicht werden.
- Parallel dazu sollen Salzsümpfe zu Gunsten des Gleichgewichts wiederaufgebaut werden.

Am Meereslabor der Uni Padua werden die Zusammenhänge zwischen den Strömungsverhältnissen und der Morphologie und Vegetation der Salzsümpfe untersucht. Währenddessen wird am Lisa Labor der Einfluss der Vegetation auf die Wasserqualität erforscht.

Beides, ökologisches Gleichgewicht und Stö-

mungsverhältnisse, korrelieren also miteinander und beeinflussen die Realisierbarkeit des MOSE Projekts, dessen Umsetzung ein zentrales Studiengebiet am Centro Voltabarozzo ist.

So ist in dem Meeresbecken (2) ein Modell von 5 Elementen und 2 Seitenelementen des MOSE Systems im Maßstab 1:10 aufgebaut. Die Anzahl der Elemente reicht genau aus um ihre Relativbewegungen zu reproduzieren, die durch Welleneinwirkung entstehen. Die Versuche mit diesem Modell geben Aufschluss über das Verhalten der Elemente in Abhängigkeit vom Grad ihres Aufstellwinkels und ihrer Eigenfrequenz.

In einem Modell des Chioggia Zuflusses (8) sind alle dort anzubringenden 18 Elemente in einem Maßstab von 1:60 aufgebaut. Das ermöglicht den Einfluss der Staumauer auf die allgemeinen Strömungs- und Wellenbrechungsverhältnisse zu untersuchen.

Neben dem Modell des Chioggia Zuflusses (8), dem Modell der Lagune (10) und dem Meeresbecken (3), gibt es im Centro Voltaba-

rozzo noch zwei Modelle des Malamocco Zuflusses im Maßstab 1:60 (links neben 7) bzw. 1:80 (11), ein Modell des Lido Zuflusses 1:64 (7), einen großen Strömungskanal (5) von 150m Länge und einen kleinen Strömungskanal (4) von 50 m Länge

### **Hydrauliklabor**

Im diesem Labor wird in 2 Strömungskanälen das Strömungsverhalten von Gerinne-strömungen untersucht. Im ersten Kanal erforscht man das Verhalten der Erosion eines Flussbodens und im zweiten wird das Verhalten einer Strömung durch eine Klappe untersucht.



*Versuchsrinne im Hydrauliklabor*

## DER VAJONT STAUDAMM – BAU, GESCHICHTE, KATASTROPHE

J. Figlus, J. Sinn

*„Was machen Geologen? Berichte. Das ist Geschwätz! Die Bauingenieure machen Berechnungen, das sind Zahlen, das sind Gelder! Die Bauingenieure in jenen Jahren tun es und sagen: „Wir sind die Diamantenspitze der politischen Führungsschicht.“*

*Nein, so sprach der Ingenieur Semenza sicherlich nicht, aber die Berichte der Geologen, wenn sie den Ingenieuren nichts nützen, landen in der Schublade. Und schlimmstenfalls werden sie einige Jahre später dort, genau in der Schublade, von den Richtern gefunden ...*

(Zitat aus: Marco Paolini, „Der fliegende See“)

Dieses Zitat erscheint uns natürlich etwas überspitzt, aber genau so lief es ab, als sich zwischen 1959 (Ende der dreijährigen Bauzeit) und 1963 verschiedene Geologen gegen den weiteren Einstau aussprachen. Keiner der Einwände wurde beachtet, bis es am 9. Oktober 1963, um 22.39 Uhr zu der Katastrophe kam, die 2000 Menschen innerhalb von vier Minuten das Leben kostete.



*Blick von Longarone auf die Schlucht des Vajont*

Doch zunächst von Anfang an: Der Bau des Vajont Staudammes in den südöstlichen Dolomiten Italiens und dem damit verbundenen Staubecken wurde 1940 von der SADE (Societa Adriatica di Eletticità) zur Wasserkraftnutzung beantragt. Der Vajont sollte aufgestaut werden und die so gewonnene Wasserkraft einen wesentlichen Teil zur Stromversorgung der schnell wachsenden Städte Milano, Modena und Turin beisteuern. Zu Baubeginn 1957 waren noch nicht alle Besitzfragen geklärt, und bei weitem noch nicht alle Genehmigungen erteilt. Den-

noch entschlossen sich die leitenden Ingenieure den ursprünglichen Plan einer 200 Meter hohen, doppelt gebogenen (Dom-) Kuppelstaumauer auf 261,6 Meter abzuändern. Dies bedeutete eine 2,6-fache Vergrößerung des Stauvolumens auf 150 Millionen Kubikmeter Wasser.

Schon beim ersten Einstauversuch zeichneten sich kleine Hangrutschungen ab, die aber als unwesentlich dargestellt wurden. Trotz aller Warnungen von verschiedenen Geologen wurde der Wasserspiegel bis 1963 ständig angehoben und bei zu großen Bewegungen wieder abgesenkt. Die Spalten, Klüfte und Risse waren nicht mehr zu übersehen, bis sich am 9. Oktober 260 Millionen Kubikmeter Gestein des Berg Toc als eine kompakte Masse in den See stürzten. Die 160 Meter hohe Flutwelle zerstörte zunächst die Orte Casso und Erto am gegenüberliegenden Berghang und stürzte dann mit 50 Millionen Kubikmeter Wasser über den Staudamm auf die Dörfer Longarone, Cadissago und Castellavazzo.

Noch heute steht die Stau-mauer, die das Unglück fast unbeschadet überstanden hat. Sie steht als Symbol der Verantwortung, die wir Ingenieure tragen, und als Mahnmahl für die Auswirkungen, die ein solcher Ein-

griff in die Natur bedeuten kann.

### Zahlen und Fakten

Ort: Vajont-Tal, südöstliche italienische Alpen, 2 km vor Longarone

Bauherr: SADE (Societa Adriatica di Eletticità)

Planung: Carlo Semenza

Bauzeit: Januar 1957 bis September 1959

Art des Damms: doppelt gebogene Dom- / Kuppelstaumauer

Abmessungen:

Höhe: 261,60 m

Kronenlänge: 190,15 m

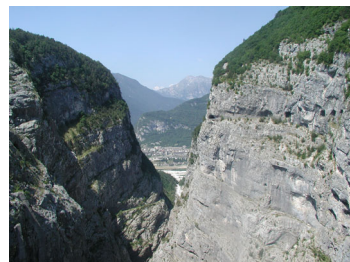
Basisdurchmesser: 22,11 m

Kronendurchmesser: 3,40 m

Sehnenlänge oben: 168 m

Betonvolumen: 360.000 m<sup>3</sup>

Stauvolumen: 150 Mio. m<sup>3</sup>



*Longarone – von der Mauerkrone aus gesehen*

### Katastrophe:

Datum: 9. Oktober 1963, 22.39 Uhr

Bergrutsch: 260 Millionen m<sup>3</sup> Gestein des Berg Toc stürzen als eine kompakte Masse mit 100 km/h in den Stausee

Ursache: Geologischer Aufbau des Berges (altes Rutschungsgebiet) und hydraulische Wirkung des Ein- und Abstauens

Flutwelle: Von der bis zu 160 m hohen Welle, die durch die Gesteinsmasse in zwei Teile getrennt wurde, gehen 50 Millionen m<sup>3</sup> über die Staumauer hinweg ins Tal

Opfer: 2000 Tote

### Unsere Eindrücke vor Ort

Am Donnerstag war es dann endlich so weit. Pünktlich um fünf vor acht saßen wir alle topfit, abfahrbereit und voller Erwartungen im Bus.



*Rutschung am Monte Toc*

Die nächste größere Etappe nach Norden zum Vajont – Staudamm stand an. Die mehrstündige Fahrt in Richtung Dolomiten verlief ausgesprochen geruhsam bis wir kurz vor Longarone für eine Einführung in die uns erwartende Thematik aus unserem Schlaf gerissen wurden.

Im Besucherzentrum der „Associazione Pro Locò“ bereitete Herr Lucio Carana noch einmal kurz die wichtigsten Fakten zum Damm und zum Unglück auf, ehe wir uns dann zusammen mit ihm und seiner Assistentin Lore Dana auf den Weg zur Staumauer machten. Beiden sei an dieser Stelle nochmals für ihren, trotz der bestehenden „Sprachbarriere“, äußerst engagierten Einsatz beim beantworten zahlreicher Fragen gedankt. Außerdem möchten wir auch Herrn Danielis Giovanni danken, der die Führung im Vorfeld organisiert hat.

Der Anblick des Dammes und des gesamten Rutschungsgebietes in natura war dann wirklich sehr beeindruckend.

Nur mit viel Phantasie konnte man die ursprünglichen Ausmaße des einstigen Stausees noch erahnen. Die Mauer selbst wurde eigentlich nie zur Stromerzeugung genutzt und erfüllt wirklich nur eine reine Mahnmalfunktion. Der Vajont plätschert als kleines Rinnsal noch aus einem kleinen unterirdischen Stollen und wird an der Mauer nicht mehr aufgestaut.



*Die Staumauer heute*

Die beim Unglück leicht beschädigte Dammkrone wurde durch einen Metallsteg wieder begehbar gemacht. Wir konnten also direkt vom Damm aus ins Tal nach Longarone schauen oder in die andere Richtung auf die riesige Erdrutschmasse des Toc, während uns ein Mitarbeiter der italienischen Elektrizitätsgesellschaft auf italienisch in weitere technische Details der Konstruktion einweichte.

Auf dem Rückweg ins Tal nach Longarone fuhren wir noch kurz an Erto und Casso vorbei. In beiden Orten konnte man noch gut die Zerstörung von damals an älteren Häusern erkennen.

Nach der üblichen Verabschiedung unserer „Reiseführer“ im Besucherzentrum und einer kurzen Verspätung wegen „Toilettenmangels“ ging es schließlich weiter Richtung Österreich und unser Tag am Vajont – Staudamm neigte sich dem Ende entgegen ...

## SICHERHEIT VON TALSPERREN

C. Sommer

Sperrenbauwerke sind Bauwerke in einer Größenordnung, bei der ein Versagensfall tausende Menschenleben gefährden, sowie riesige volkswirtschaftliche Schäden hervorrufen kann. Im Rahmen der Pflingstexkursion wurde der Vajont – Staudamm bei Longarone in Italien (Massenrutsch in das Staubecken), sowie die Kölnbreinsperre in Österreich (Sanierung wegen Rissen) besichtigt. Es sollen die aus Bauingenieursicht relevanten Aspekte und Problemfelder des Sperrenbaus dargestellt werden.

Zweck und Nutzung von Sperrenbauwerken ist die Speicherung von Wasser zum Ausgleich von Wasserangebot und -bedarf unter verschiedenen Nutzungsansprüchen:

*Hauptnutzungen:*

- Energieerzeugung und Stromversorgung
- Wasserregulierung, Trink- und Brauchwasserspeicher
- Hochwasserschutz
- Schiffbarmachung von Gewässern
- Löschwasserreserve, Geschiebesperre, Fischzucht, etc...

*Nebennutzungen:*

Resultieren aus der zusätzlichen Nutzungen des Bauwerks zum Beispiel als Auflager für andere Bauwerke. Verkehrswege über Dämme aber auch Tourismus am Staubecken sind Beispiele hierfür.

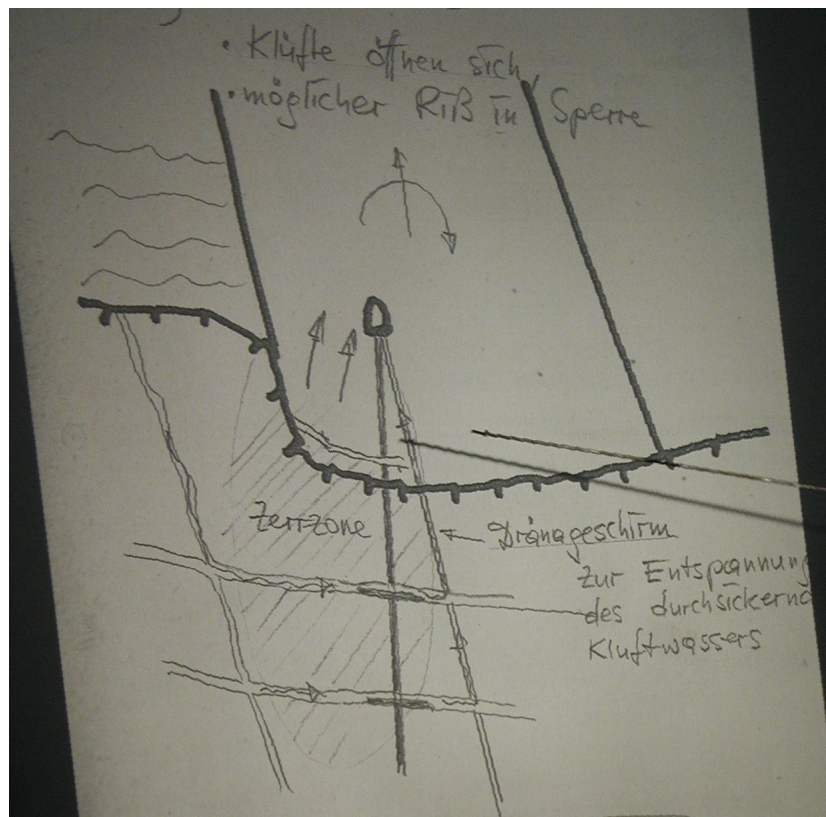
### **Definition von Sperrenbauwerken**

Sperrenbauwerke werden je nach Bauweise unterschieden in Staudämme und Staumau-

ern. Als Talsperrern werden Staumauern und -dämme bezeichnet, wenn sie den gesamten Talquerschnitt abschließen, wie dies häufig im Gebirgsraum der Fall ist. Gewichtstaumauern, Bogenstaumauern und Pfeilerstaumauern sind die gängigsten Bauweisen für Talsperrern. Die Bauweise ist abhängig von den Verhältnissen an der Sperrenstelle. (Untergrund, Hydrologie, Materialvorkommen der Baustoffe vor Ort...)

bau in homogene oder gegliederte Dämme. Die Lage der Dichtung ist ebenfalls ein Unterscheidungsmerkmal.

Zum Staubaubauwerk gehören verschiedene Einrichtungen zur Regelung des Abflusses und zur Gewährleistung der Betriebssicherheit, wie zum Beispiel Hochwasserentlastungsanlagen, Wehre und Betriebsablässe, Grundablässe, Notverschlüsse sowie Stauhaltungsdämme bzw. Dämme.



*Zustand nach Rissbildung am Fuß der Kölnbreinsperre*

Der überwiegende Teil der Sperrenbauwerke sind jedoch als Dämme ausgebildet. Meist sind sie als Deiche für den Hochwasserschutz oder als Speicherbauwerke im Flussbau konzipiert. Unterschieden werden Dämme in Erd- und Steindämme, sowie nach dem Auf-

Das Sicherheitskonzept von Talsperrern beruht auf 3 Säulen: Der Konstruktiven Sicherheit, der Überwachung und dem Notfallkonzept. Bei der Planung und Bemessung müssen alle hydrologischen, geologischen und topographischen



Daten erfasst und ausgewertet werden. Der Gesetzgeber schreibt vor, ein Grundlagen-dokument zu erstellen, in dem alle den Bau betreffenden Punkte festgehalten werden. Um der Konstruktiven Sicherheit gerecht zu werden, müssen den Einwirkungen besondere Sorgfalt erwiesen werden. Ständige, veränderliche und außergewöhnliche Einwirkungen und die maßgebenden Lastenkombinationen müssen hinsichtlich der Stabilität berücksichtigt werden. Aber nicht nur die Stabilität muss bei der Planung berücksichtigt werden. Schon während der Planung können Maßnahmen erarbeitet werden, um kritische Zustände des Bauwerks (=Gefährdungsbilder) zu verhindern. Die Dimensionierung der Drainageeinrichtung sei hier als exemplarisches Beispiel genannt. Maßnahmen während des Baus und während des Betriebs (z.B. Verstärkung des Bauwerks oder des Bodens mit Ankern, sowie eine ständige Überwachung), gehören genauso zum Sicherheitskonzept um Gefährdungsbilder zu verhindern, wie das Notfallkonzept um die gefährdeten Menschen zu warnen und gegebenenfalls zu evakuieren, falls ein strukturelles

Versagen droht. Nachdem bei Kontrollen an der Kölnbreinsperre während des Erstein-

transport und Ablagerungen, Erosion und Grundwasserschwankungen zu Problemen führen können. Soziale Kom-



*Kölnbreinsperre*

staus Risse an der Wasserseite entdeckt wurden, wurde sie mit Hilfe eines Stützkörpers saniert. Risse sind ein häufiger Grund für Schäden an Sperrenbauwerken, weshalb in der Studienarbeit darauf eingegangen wird.

Weiterführende Problemfelder beim Talsperrenbau finden sich bei der Ökologie der Staubecken. Trinkwasserspeicher besitzen kurz- bis langfristige Strategien der Bewirtschaftung, wobei Sediment-

ponenten sind die Umsiedlung von Menschen genauso wie die Zerstörung von Lebensraum für meist seltene Tiere. Beispiele für die Auswirkungen des Großdammbaus in Nachbarländern werden anhand der Hochwasserkatastrophe in Mosambik erläutert. Die aktuelle Situation des Staudammbaus lässt sich an dem Bau des umstrittenen „Three-Gorges-Project“ (Drei Schluchten Staudamm) in China darstellen.

## AUENVERBUND OBERE DRAU

*D. Harlacher, I. Müller*

Mit dem Beginn des 19. Jahrhunderts begann im größeren Umfang die Regulierung der Gewässer. Anlass für Baumaßnahmen waren der Schutz der Menschen vor Hochwasser, die Nutzung der Gewässer für die Schifffahrt und die Wasserkraft, sowie die Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion durch Melioration und erhöhten Hochwasserschutz der Nutzflächen.

Der Ausbau der Gewässer erfolgte überwiegend nach rein technischen Grundsätzen:

- Begradigung des Gewässerlaufes mit Unterbindung der Tendenz zur Laufverlagerung.
- Abgrenzung des Hauptflusses von seinen Nebenweigen.
- Ausbildung des Gewässerprofils als trapezförmiges Regelprofil.
- Herstellung kurzer steiler Ufer und deren Sicherung durch massive Bauweisen.
- Einbau von Querbauwerken mit Abstürzen zur Gefälleverringerung ohne Aufstiegsmöglichkeiten für Tiere.
- Absenkung hoher Grundwasserstände zur Verbesserung der landwirtschaftlichen Nutzung auch für die letzte Niederungsfläche.
- Abtrennung bzw. Verfüllung der natürlichen oder durch die Begradigung geschaffenen Altarme.

Die Drau liegt eingebettet zwischen den Gailtaler Alpen im Süden und der Kreuzeck- und Reißbeckgruppe im Norden und zieht damit eine tektoni-

sche Grenzlinie zwischen den südlichen Kalkalpen und den Zentralalpen.

Jährliche Hochwässer beherrschten einst das Tal des Flusses, welches weit verzweigt war und gewaltige Geröllmengen mit sich führte.



*Hochwasser im Jahr 1965, Raum Oberdrauburg*

Seit in den Wassergesetzen die Verpflichtung zur Berücksichtigung landschaftsästhetischer und ökologischer Gesichtspunkte enthalten ist, werden die Gewässer naturnäher gestaltet. Bei der naturnahen Umgestaltung müssen die wasserwirtschaftlichen Aspekte mit den ökologischen Komponenten in Einklang gebracht werden. Die ökonomischen Gesichtspunkte, die Bau- und Unterhaltungskosten, entscheiden auch bei der schwerpunktmäßigen Berücksichtigung der ökologischen Randbedingungen letztlich darüber, ob eine Umgestaltung durchgeführt wird oder nicht. Im Vergleich zu den herkömmli-

chen Verbauungsmaßnahmen bieten die Methoden des modernen Schutzwasserbaus auch ökonomische Vorteile: Sie sind weniger kostenintensiv in Durchführung und Erhaltung.

Das 1999 begonnene LIFE-Projekt "Auenverbund Obere Drau" ist das umfangreichste Flussrenaturierungs-Programm in der Geschichte Österreichs und eines der größten in ganz Europa. Voraussetzung für eine Unterstützung durch LIFE ist die Einstufung des Projektgebietes als besonders schützenswert, basierend auf den beiden EU-Naturschutz-Richtlinien, also die Ausweisung als Natura 2000-Gebiet. Die zwei Naturschutzrichtlinien der EU sind die 1979 beschlossene Vogelschutz-Richtlinie und die Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie aus dem Jahr 1992. Jeder Mitgliedsstaat der Europäischen Union hat die Verpflichtung

tung einen repräsentativen Querschnitt an für ihn charakteristischen Gebieten zu nominieren und in ein staatenübergreifendes Netzwerk zu integrieren. Finanziert werden in erster Linie Vorhaben, die auf den Erhalt und die Wiederherstellung natürlicher Lebensräume und seltener Tier- und Pflanzenarten abzielen.

Bis zum Jahr 2003 werden 86,5 Mio. Schilling (ca. 6 Mio. Euro) investiert, um die Drau auf einer Strecke von 52 km zwischen Oberdrauburg und Spittal wieder in ein naturnahes Flusssystem zu verwandeln, wobei die Schwerpunktgebiete in Dellach im Drautal, Kleblach/Lind und Spittal liegen. In Summe beträgt die Länge der geplanten Baumaßnahmen ca. 4 km.

und durch Abgrenzung des Hauptflusses von seinen Nebenäzweigen wurde die Drau in ein gerades Bett gezwängt. Die dadurch resultierende Abnahme der Geschiebe- und Überschwemmungsdynamik führte zu einer Flusseintiefung und letztendlich zur Absenkung des Grundwasserspiegels.

Ziel des Flussrückbaus ist es, die weitere Sohleintiefung der Drau zu verhindern, das Flussbett aufzuweiten, ehemalige Seitenarme wieder anzubinden und damit Raum für neue Augewässer zu schaffen, um neben guter Wasserqualität auch naturnahe Strukturen und Dynamik der Gewässer sicher- und wiederherzustellen. Wesentliche Aufgabe der naturnahen Umgestaltung von

den u.a.m.. Hierzu wurden Nebengewässer wieder verstärkt mit dem Hauptfluss vernetzt, Hindernisse für den Fischzug beseitigt, Amphibienlaichgewässer angelegt und Nisthilfen angebracht. Damit die biologische Wirksamkeit der Biotope erhalten bleibt, sollen sie möglichst großflächig angelegt und untereinander vernetzt werden. Die Verfügbarkeit über ausreichend breite Flächen ist die Grundvoraussetzung für alle Umgestaltungen, die ein naturnahes Gewässer als Regelungsziel anstreben. Um dies zu gewährleisten, werden Flächen für mehr Überflutungsraum angekauft und die extensive Nutzung von flussnahe Land gefördert. Besonders wichtig hierfür ist die Einbeziehung



*Kleblacher Totarm im Vergleich 1999 und 2002: Auf einer Länge von 1,5 km sieht man deutlich eine Aufweitung des Flusses, die zur Reduktion der Sohleintiefung geführt hat, sowie eine 3 ha große Insel infolge der Errichtung eines 500 m langen Seitenarmes.*

Durch Flussregulierung hat das einst so lebhaftes Gewässersystem viel von seiner ursprünglichen Dynamik verloren. Mit dem harten Ausbau der Ufer

Gewässern ist die Erhaltung und Wiederherstellung naturnaher Standorte mit ihrem Biotopgefüge von Altarmen, Feuchtwiesen, Gehölzbestän-

der Öffentlichkeit, um das Verständnis bei den Grundeigentümern und Gemeinden zu fördern und eine höhere

Toleranz für die Durchführung zu erzielen.

Je vielfältiger das Gewässer gestaltet ist, desto artenreicher und stabiler ist die Flora. Dies gilt auch für die naturnahe Umgestaltung eines Gewässers, die nur dann auf Dauer Bestand haben kann, wenn möglichst viele Elemente des natürlichen Gewässers übernommen werden.

Fliessgewässer mit ihren Auen sind von Natur aus multifunktional. Die Auen sind natürliche Überschwemmungsflächen entlang der Flüsse, welche beachtliche Wassermengen aufnehmen können und dadurch die Hochwasserspitzen kappen. Sie sind die artenreichsten Lebensräume Mitteleuropas, biologische Kläranlagen und die besten natürlichen Hochwasserschutzgebiete, sie produzieren sauberes Grundwasser und bieten für Menschen wichtige Erholungsräume. Der Wiederanschluss der Auen an die Flüsse ist der beste, umweltverträglichste und zugleich preiswerteste Hochwasserschutz.

Um den Erfolg des Projektes zu kontrollieren, laufen parallel zu den Bauarbeiten Monito-

ringprogramme. Dabei werden die abiotischen und biotischen Verhältnisse vor und nach den Revitalisierungsmaßnahmen genau untersucht und dokumentiert. Erste Ergebnisse belegen vor allem aus gewässerökologischer Sicht den durchschlagenden Erfolg der Maßnahmen.

Das flussmorphologische Monitoring betrifft die Aufnahme von Geometriedaten des Flussbettes, die Messung von Fliessgeschwindigkeiten, sowie des Sohlsubstrates (Volumetrische Proben, Unterwasservideokamera).

Die Ziele dieses Monitoringprogrammes liegen dabei in:

- Erfassung der morphologischen Veränderungen im Zuge der Baumaßnahmen
- Vergleich der Sohlentwicklung unmittelbar vor und nach Umsetzung der Maßnahme
- Vergleich der Entwicklung der Fliessgeschwindigkeiten an charakteristischen Punkten
- Vergleich der Entwicklung des Sohlsubstrates an charakteristischen Punkten

- Messung und Analyse der Sohlentwicklung drei Jahre nach Umsetzung
- Diskussion der kurzfristigen Auswirkungen derartiger Maßnahmen auf die Flussmorphologie

Das fischökologische Monitoring betrifft die Verbesserung der Habitatbedingungen für Flora und Fauna dieses Gebietes.

Bei der Besichtigung der Drau bei Spittal hat uns das Wetter einen Wolkenbruch beschert, mit dem auch Stephan Schober und Peter Mayr von der BOKU, sowie Christian Ragger von Revital ecoconsult nicht gerechnet haben. Trotz der durchnässten Unterlagen konnten sie uns einen kleinen, sehr interessanten Überblick über ihre Arbeit geben.

Die Entwicklung von einem naturfernen zu einem naturnahen Zustand erfordert längere Zeit. Bei Revitalisierungen existieren deshalb noch keine Langzeitstudien, somit kann man von dem Projekt nur profitieren.

## KRAFTWERK DER MALTA HAUPTSTUFE ROTTAU IM MÖLLTAL

*C. Burkardt, C. Rekus, R. Rupprecht, M. Schütz*

Am Freitagvormittag stand die Besichtigung des Kraftwerkes der Malta Hauptstufe Rottau im Mölltal, Kärnten auf dem Programm. Nach einer erholsamen Nacht im Spittaler 3-Sterne-Hotel und einem ausgewogenen Frühstück mit endlich wieder richtigen Semmeln ging es mit dem Bus gegen acht Uhr los.

In der Eingangshalle der Malta Hauptstufe erwartete uns Herr Rinnofner, der leitende Elektroingenieur des Kraftwerkes. Herr Rennhofer stellte uns die Kraftwerksgruppe sowie das mit 25 Jahren noch relativ junge Kraftwerk Rottau vor:



*Blick auf das Kraftwerk der Malta Hauptstufe*

### **Kraftwerksgruppe Malta**

Die an der Südflanke der Hohen Tauern angeordnete Kraftwerksgruppe Malta ist eine der größten und leistungsfähigsten Speicherkraftwerksgruppen Österreichs. Sie setzt sich aus der Malta Oberstufe, der Hauptstufe in Rottau und der Unterstufe (Kraftstation Möllbrücke) zusammen.

Die gesamte Kraftwerksgruppe verfügt über eine installierte Turbinenleistung von

891000 kW und über eine Pumpleistung von 406000 kW. Die Jahreserzeugung beträgt rund eine Milliarde kWh (zum Vergleich: die mittlere Jahreserzeugung der Staustufe Ifezheim am Rhein beträgt 685 Mio. kWh).

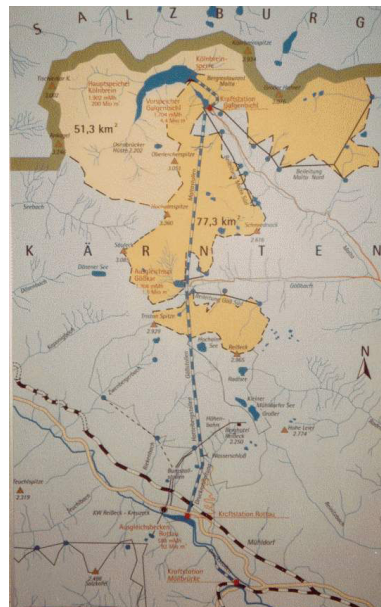
Der Hauptspeicher der Malta Ober- und Hauptstufe ist der Kölnbreinspeicher (die Besichtigung der Kölnbreinsperre erfolgte am Nachmittag). Er fasst bei Vollstau rund 200 Millionen m<sup>3</sup> Wasser und ist der tiefste See Kärntens. Das im Kölnbreinspeicher zurückgehaltene Wasser wird im Turbinenbetrieb zuerst im Kraftwerk Galgenbichl der Malta Oberstufe genutzt, welche sich direkt unterhalb des Kölnbreinspeichers befindet. Danach gelangt es in den Vorspeicher Galgenbichl, der ein Volumen von 4,4 Millionen m<sup>3</sup> fasst.

Dort wird dieses bereits genutzte Wasser des Kölnbreinspeichers zusammen mit Zuleitungen hochalpiner Bäche gesammelt. Der weitere Weg des Wasser führt über insgesamt 21 km durch den Berg ins Mölltal: zunächst durch den 9,4 km langen Malastollen zum Speicher Gößkar, dann weiter durch die 9,7 km langen Göß- und Hattelbergstollen und schließlich in einer 1850 m langen, zwei-strängigen Druckrohrleitung zum eigentlichen Kraftwerk der Malta Hauptstufe Rottau. Die nutzbare Fallhöhe beträgt 1106 m.

### **Malta Hauptstufe**

Das Pumpspeicherkraftwerk Malta Hauptstufe wurde 1978 fertiggestellt. Es nutzt das Wasser aus dem Vorspeicher

Galgenbichl und dem Ausgleichsbecken Gößkar. Die vier Maschinensätze mit vertikaler Welle in der Kraftstation Rottau haben eine Turbinennennleistung von zusammen 730000 kW und erzeugen jährlich mehr als 700 Millionen kWh elektrische Energie. Zwei Maschinensätze sind Pumpenturbinen und bestehen aus je einer 6-düsigen Pelton turbine sowie einer vierstufigen Speicherpumpe, zwei weitere Maschinensätze besitzen dagegen je ein Peltonlaufrad und einen Generator.

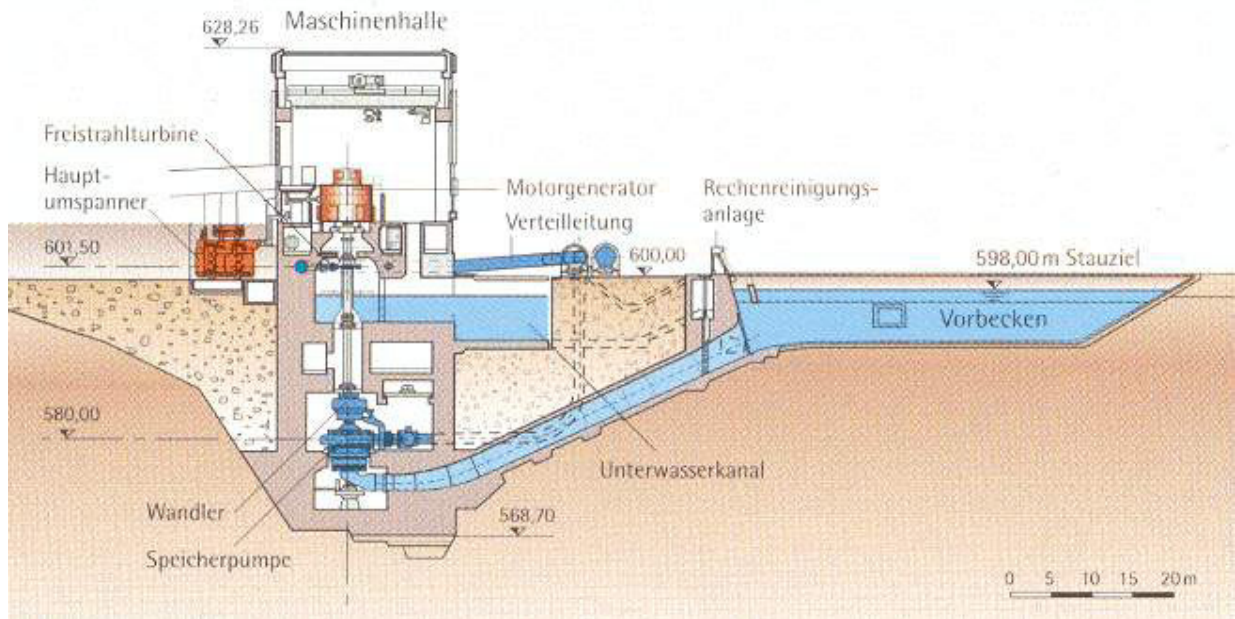


*Übersicht Kraftwerksgruppe Malta*

Sofern sich das Kraftwerk im Turbinenbetrieb befindet, wird das Wasser nach der Nutzung zusammen mit dem Zufluss der Möll im Kraftwerk Möllbrücke (Malta Unterstufe) nochmals energiewirtschaftlich genutzt, bevor es in die Draufließt. Im Pumpenbetrieb (vorwiegend nachts) wird es zurück in den Speicher Galgenbichl gepumpt.

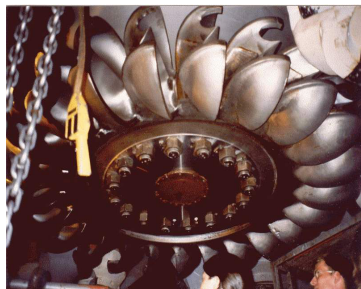
Nach umfangreichen Informationen anhand eines Modells,

## KRAFTWERK DER MALTA HAUPTSTUFE ROTTAU IM MÖLLTAL



*Schnitt durch einen Maschinensätze in der Malta Hauptstufe*

welches das Relief, die Standorte der einzelnen Kraftwerke, die Positionen der Rohrleitungen und die Lage der Stauseen verdeutlichte, wurden wir ins Herz des Kraftwerks, den Maschinenraum, geführt. Nachdem wir die riesigen Pumpenturbinen bestaunt hatten, wartete Herr Rinnofer mit einer besonderen Überraschung auf. Eine der Pelton-turbinen befand sich in Revision und so durften wir direkt in die Turbinenkammer, um das Peltonlaufrad (Durchmesser: > 3 m) aus nächster Nähe zu betrachten. Das Laufrad ist an



*Blick auf ein Peltonlaufrad*

einer vertikalen Welle befestigt. Gut sichtbar war der Düsenstock mit sechs Düsen, aus denen im Betriebsfall jeweils ein Wasserstrahl von 17 cm Durchmesser mit einer Ge-

schwindigkeit von 140 m/s herausschießt.

Anschließend konnten wir noch einen Blick auf den Generator, ein Ansichtsexemplar der Pumpe und in die Schaltzentrale, welche den gesamten Kraftwerksverbund steuert, werfen.

Herr Rinnofer hat sich für seine informative und engagierte Führung durch die Malta Hauptstufe die üblichen Karlsruher Mitbringsel redlich verdient. Der Vormittag war kurzweilig und sehr interessant.

<i>Kraftwerkstyp</i>	Speicherkraftwerk
<i>Durchschnittl. Jahreserzeugung</i>	715,0 Mio kWh
<i>Max. Leistung</i>	730.000 kW
<i>Maschinensätze</i>	4 mit vertikaler Welle
<i>Turbinen, Pumpen</i>	4 Pelton-turbinen mit 2 Speicher-pumpen
<i>Mittlere Rohfallhöhe</i>	1.106 m
<i>Ausbau-durchfluss</i>	80 m <sup>3</sup> /s
<i>Speicher Galgenbichl</i>	Vorspeicher
<i>Nutzinhalt</i>	4,4 Mio m <sup>3</sup>
<i>Speicher Gößkar</i>	Ausgleichsspeicher
<i>Nutzinhalt</i>	1,8 Mio m <sup>3</sup>

*Technische Daten zum Kraftwerk der Malta Hauptstufe*

## KÖLNBREINSPERRE

*F. Ehrlich, N. Ringel*

Die von 1973 bis 1977 erbaute 200 m hohe Kölnbreinsperre ist das Kernstück der Kraftwerksgruppe Malta und zudem mit 1900 m die höchstgelegene Österreichs. Neben der Energiegewinnung dient der Kölnbrein-Stausee als Rückhaltebecken, um bei starkem Regen die Hochwassergefahr zu minimieren.

Bei der Kölnbrein-Staumauer handelt es sich um eine horizontal und vertikal gekrümmte Gewölbemauer. Das Betonvolumen von 1,6 Mio m<sup>3</sup> – entspricht etwa dem von 3200 Reihenhäusern - ist im Vergleich zu ähnlichen Bauwerken sehr gering, diese Maßnahme wurde getroffen, um einerseits die Baukosten gering zu halten, und andererseits ein filigranes Bauwerk zu erstellen, welches bei Vollstau eine Belastung von 5,5 Mio t abträgt. Die Krone besitzt eine Länge von 626 m und die größte Dicke der Staumauer beträgt 41 m, welche am Fuß zu finden ist, und mit steigender Mauerhöhe kontinuierlich abnimmt. Das Fundament der Mauer steht auf einer Granit-Gneiß-Schicht, und steht damit in einem Gebiet mit häufig auftretenden Schiefer auf einer soliden Schicht.



*Die Sperre - frontal*

Das Stauvolumen des Sees beträgt 200 Mio m<sup>3</sup>, dieser Wert wird im Herbst erreicht. Aufgrund von geringerem

Niederschlag in den Wintermonaten ist der Wasserstand im April am niedrigsten, dadurch bildet der See bezüglich der Hochwassergefahr eine Schutzmaßnahme.



*Abstieg zum Grundablass*

Da es sich hier um einen Speicher für Spitzenstrom handelt, sind große Energien mit sehr kurzen Vorlauf verfügbar. Neben der Nutzung durch die eigenen zwei kleineren Turbinen wird das Wasser durch einen Druckstollen mit anschließender freiliegender Druckleitung in das 1100 m tiefer gelegene Rottau zur Kraftstation geleitet. Von diesem Kraftwerk wird ein Teil des Wassers mit billigerem Strom wieder zurück gefördert.

Die natürlichen Zuflüsse können den Jahresspeicher nur zu 50 Prozent füllen, aus diesem Grunde werden andere Bäche und kleine Flüsse in Vorseichern gefasst und dem Kölnbreinspeicher unter anderem mittels Pumpen zugeführt.

Da aber diese Bäche und kleinen Flüsse häufig durch Wasserfälle und Wildbäche einen reizvollen Anblick bieten, wird

im Sommer zu Tageszeiten weniger Wasser gefasst.

Die Ausweisung des Malta-Tals 1943 als Naturschutzgebiet wurde 1964 für den Bau einer Talsperre wieder aufgehoben. Dieser große Eingriff in die Natur hatte starke Folgen für Flora und Fauna, was sich zum Beispiel in ausgetrockneten Flussläufen widerspiegelt.

Während des ersten Aufstaus im Jahre 1978 traten bei einer Staukote von 1860 m ü. A. (42 m unter Vollstau) unvorhergesehen große Sickerwasserverluste von 200 l/s auf, dadurch erfuhr die Aufstandsfläche enorm hohe Sohlwasserdrücke, die annähernd 100 Prozent Staudruck erreichten. Die Kräfte, die über das Fundament abgetragen werden sollten, wurden nun teilweise durch die Schalenwirkung in die Seitenlager abgetragen.



*Grundablass mit Kuh*

Da bei der damaligen Berechnung einfachere Verfahren als heute angewandt werden mussten, wurde die Staumauer vereinfachend in horizontalen Bögen und vertikalen Kragträgern modelliert. Durch diese Modellierung konnten

## KÖLNBREINSPERRE

nicht alle Verformungen und Spannungen genau berechnet werden.

Bei Vollstau stellten sich damals auf der Wasserseite der Mauer Risse mit einer von bis zu 30 mm Öffnungsweite ein, andererseits traten bei niedrigem Wasserspiegel Risse auf der luftzugewandten Seite von bis zu 2 mm auf. Die Risse schlossen sich allerdings wenn die Belastung ab- bzw. zunahm, so dass meistens nur Risse auf einer Seite der Staumauer gleichzeitig auftraten.

Infolge der aufgetretenen Schäden erhielt die Österreichische Draukraftwerke AG (ÖDK) als Betreibergesellschaft für den Betrieb der Sperre die Auflage, das Stauziel um 10 Prozent von der geplanten Stauhöhe abzusenken. Dies bedeutete eine Verringerung des nutzbaren Speichervolumens um etwa ein Viertel, was einen hohen wirtschaftlichen Verlust für die Betreibergesellschaft darstellte.

Als erste aus einer Reihe von Sanierungsmaßnahmen wurde mittels Drainagebohrungen, die unter dem Fundament

hindurchführten, versucht das Sickerwasser zu sammeln und so abzuführen, dass die Sohlwasserdrücke auf ein ertragbares Maß reduziert werden sollten. Bei dieser Maßnahme stellte sich allerdings nicht der erhoffte Erfolg ein.



*Kontrollgang zwischen Mauer und Stützbauwerk*

Als nächste Maßnahme wurde bei abgesenktem Wasserspiegel ein Vorbau auf der Wasserseite aus Beton gegossen, der nur zur reinen Minimierung der Sickerströmungen als Dichtschirm und nicht zur Verbesserung der statischen Eigenschaften gedacht war. Des Weiteren wurde die Mauerwand mit Folie abgedichtet.

Da auch diese Maßnahme nicht die gewünschte Wirkung erzielte, erarbeitete daher die ÖDK mit Dr. Lombardi (Locar-

no, Schweiz) ein Sanierungsprojekt, bei dem ein 65 m hohes Stützbauwerk luftseitig vor der Sperre errichtet werden sollte. Da die Staumauer sich immer noch in Abhängigkeit von der Stauhöhe in Bewegung befindet, konnte das Stützbauwerk nicht direkt an Mauer gebaut werden. Damit keine plötzliche Belastung für die Stützkonstruktion bei Kontakt mit der Staumauer entsteht, wurden 630 Elastomergelager in der Fuge verteilt angebracht. Diese Vielzahl von Lagern bewirkt, dass die Belastung auf das Stützbauwerk kontinuierlich bis zum Vollstau zunimmt. Wenn Vollstau erreicht wird, werden 1,1 Mio t über die Stützkonstruktion abgetragen, was etwa einem Fünftel der Gesamtbelastung entspricht.

Ein einzelnes Lager ist ca. 1 m hoch, 1 m breit, 30 cm dick und kann 16 MN, also 1600 t aufnehmen.

Durch diese nachträgliche Sanierung ist zu erklären, dass in dieser Talsperre 6400 Messstellen eingerichtet sind, um das Bauwerk überwachen zu können, dies sind ca. 10 mal mehr als normalerweise installiert sind.



## TEILNEHMER DER EXKURSION

### **Leitung:**

Bleninger	Tobias
Detert	Martin
Jirka	Gerhard H., Prof.
Kühn	Gregor
Seidel	Frank

### **Studentische Teilnehmer:**

Balachandran	Sageetha
Balkina	Oksana
Baum	Nicole
Beltran Jauna	Ivy Eliana
Braun	Clemens
Brinken	Stefan
Burkhardt	Claudia
Butz	Björn
Cahyadi	Dax
Delpino	Cristina
Ehrlich	Florian
Figlus	Jens
Fritz	Marion
Galmés Giralt	José Luis
Gärtner	Helga
Glotko	Anna
Hahn	Andreas
Harlacher	Dennis
Heller	Sven
Herrmann	Jens-Uwe
Hillebrand	Gudrun
Imiela	Manfred
Izi	Ridvan

Knobloch	Axel
Krzikalla	Fabian
Lüthi	Nadine
Merkel	Uwe
Müller	Jan
Müller	Inga
Negretti	Eletta
Rekus	Christina
Riegger	Tobias
Ringel	Nicola
Rost	Ulrich
Rupprecht	Rebekka
Sawa	Silvia
Schier	Michael
Schulz	Judith
Schütz	Matthias
Sinn	Jochen
Sommer	Christoph
Suaznabar Berrios	Oscar
Wetzel	Andrea
Wildhagen	Jörn
Zhang	Panyue



## DANKSAGUNG

### DANKSAGUNG

An die technischen Referenten und deren Trägerinstitutionen (in alphabetischer Reihenfolge):

Lucio	Carana	Associazione Pro Loco
Stocker	Johann, Ing.	Consorzio Venezia Nuova (CVN)
Campostrini	Pierpaolo, Dott. Ing.	CORILA
Di Silvio	Giampaolo, Prof.	Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Marittima, Ambientale e Geotecnica, Università di Padova
Mayr	Peter, Dr. nat. techn.	Ingenieurgemeinschaft Mayr & Sattler
Schober	Stephan, Dipl.-Ing.	Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Konstruktiven Wasserbau
Nadalini	Fabio, Dott.-Ing.	Voltabarozzo Experimentation Centre for Hydraulic Models
Ragger	Christia, Dipl.-Ing.n	Revital Ecoconsult
Grillitsch	Johannes, Dipl.-Ing.	VERBUND-Austrian Hydro Power AG
Rinnofner	Peter, Ing.	VERBUND-Austrian Hydro Power AG

Für die finanzielle Unterstützung durch eine Spende an den "Verein zur Förderung der Ausbildung und Forschung in der Hydromechanik e.V.":

Björnsen Beratende Ingenieure GmbH	Koblenz
Ingenieurbüro Rapsch und Schubert	Würzburg
Lahmeyer International GmbH	Bad Vilbel
L.I.-Consult GmbH	Neuhausen
Dr.-Ing. Karl Ludwig	Karlsruhe
Sparkasse Karlsruhe	Karlsruhe
wat (Wasser- und Abfalltechnik)	Karlsruhe
wave GmbH	Stuttgart