

Die Macht des Wassers

Ein Stausee in der Halle? Kein Problem für die Forscher der TUM. Mit ihren Untersuchungen helfen sie Stauwehre sicher zu machen, Naturflüsse zu bändigen – und vielleicht sogar ein wenig Frieden zu stiften

Link
www.wb.bv.tum.de



Foto: istockphoto

Wasserknappheit ist in weiten Teilen der Welt eines der größten Probleme. Forscher der TUM arbeiten eng mit Kollegen aus der MENA-Region (Middle East and North Africa) zusammen, um die knappen Wasservorräte dort bestmöglich auszunutzen

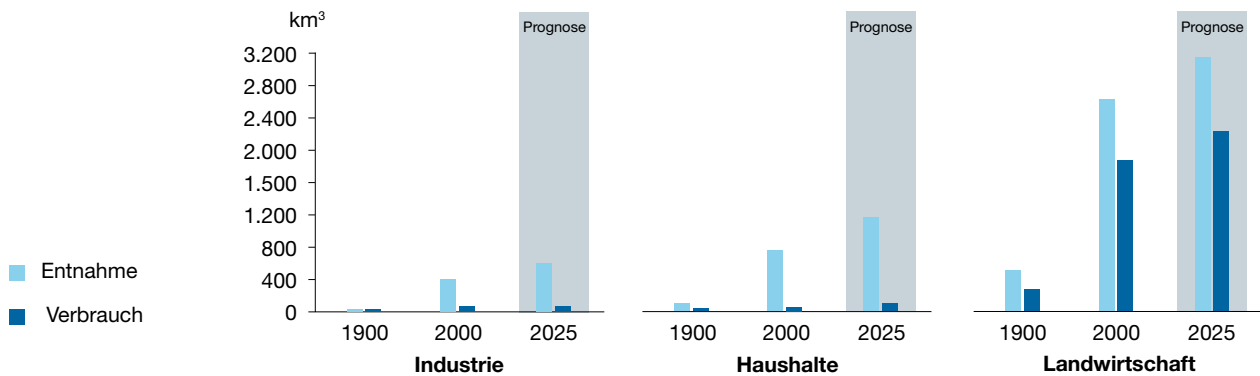
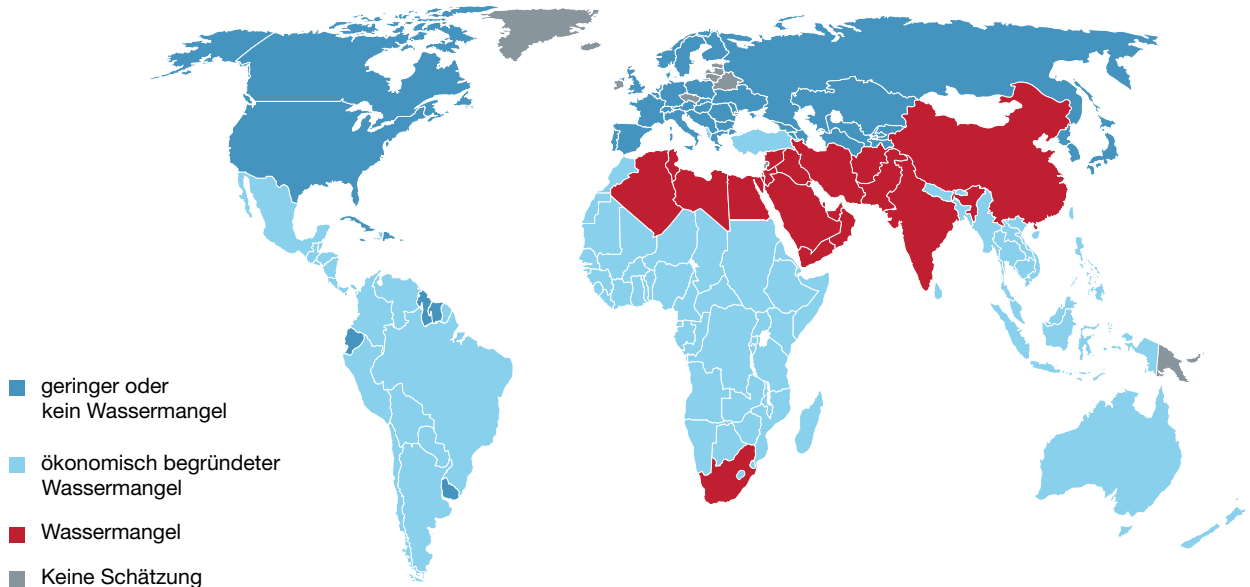
Foto: Fotolia



Heiß brennt die Sonne auf die modernen Gebäude der jordanischen Technischen Hochschule, kurz JUST, in Irbid. Es ist Herbst, aber trotzdem hat es mehr als 30 Grad. Studenten ziehen sich in die begrünten, schattigen Innenhöfe der Universität zurück, in denen Brunnen plätschern. Auch die Hauptstraße des Campus ist gesäumt von Grün: von Palmen, Büschen, Blumen und Rasenflächen, dazwischen Bänke und Springbrunnen. Die grüne Pracht ist nicht selbstverständlich. Das zeigt der Blick über den Universitätszaun: Nur wenige Meter

weiter beginnt die Wüste. Um ihr solch üppige Parkanlagen abzutrotzen, braucht man vor allem eines: Wasser. Aber der Rohstoff ist knapp in Jordanien. Wie man mit den schmalen Ressourcen am besten umgeht, um Industrie, Landwirtschaft und Bevölkerung zu versorgen, ist das Thema der Forscher am Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TUM. Drei Jahre lang haben die Münchner Experten rund um Prof. Peter Rutschmann zusammen mit der JUST das Thema erforscht und Erfahrungen mit Wissenschaftlern aus anderen Ländern der Region ausgetauscht, haben ▶

Entwicklung des globalen Wasserverbrauchs



Wasser – Segen und Fluch

Wassermangel und Wasserüberfluss bedrohen die Menschheit. Weltweit hat mehr als eine Milliarde Menschen keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser, die Wüstenbildung schreitet voran, aber gleichzeitig wächst die Gefahr von Sturmfluten und Überschwemmungen. Der Klimawandel verschärft die Situation.

Besonders viel Wasser schluckt die Landwirtschaft: rund 70 Prozent des gesamten Süßwasserverbrauchs. 20 Prozent fließen in die Industrie, 10 Prozent in die privaten Haushalte. Und der Durst der Landwirtschaft nimmt schneller zu als die Bevölkerung wächst. Weltweit ist der Wasserverbrauch in den vergangenen 50 Jahren doppelt so schnell gestiegen wie die Bevölkerung wuchs. Und mit den Ansprüchen der Menschen an eine hochwertige Ernährung mit Fleisch wächst auch der Wasserbedarf der Landwirtschaft. Zahlreiche Wissenschaftler suchen daher nach Wegen, mehr Nahrungsmittel mit weniger Wasser zu erzeugen. Sei es bei der Zucht von Pflanzen, die mit weniger Wasser mehr Ertrag bringen, oder der Entwicklung neuer Bewässerungsmethoden, die das

Nass schneller an die Wurzeln bringen, ohne dass der Großteil verdunstet.

Nur den Wenigsten ist bewusst, welcher Wasserverbrauch hinter alltäglichen Dingen wie einer Tasse Kaffee oder dem Kauf eines Computers steckt. Um dies transparent zu machen, hat der Wasserexperte John Anthony Allan den Begriff des virtuellen Wassers eingeführt. Mithilfe einer umfassenden Bilanz verdeutlicht er die Wassermenge, die während der gesamten Produktionskette eines bestimmten Produktes verbraucht oder verschmutzt wird und verdunstet. Neben dem Wasserverbrauch bei der Herstellung von Produkten prägt der Lebensstil den Wasserbedarf jedes Einzelnen. Im Schnitt sind 1000 Liter virtuelles Wasser nötig, um eine tägliche Überlebensration zu erzeugen. Ein Vegetarier nimmt bei ausgewogener Kost schon 2600 Liter virtuelles Wasser zu sich, dagegen braucht es 5000 Liter, wenn täglich Fleisch und Wurst auf den Teller kommen. Und die Tasse Kaffee? Sie „kostet“ 140 Liter Wasser.

Alexandria

Nildelta

Nil

Kairo

Luxor

Assuan

1

2

3

4

5

Merowe
Staudamm

Shereik
Staudamm

Grafik: edlundsepp

Ausbildungsinitiativen gestartet und Labors eingerichtet. Nun fassten die 28 Teilnehmer ihre Ergebnisse auf einem Kolloquium zusammen.

Ganz bewusst wählten die Forscher Irbid als Veranstaltungsort. Die Universitätsstadt 85 Kilometer nördlich von Amman ist geprägt vom Wassermangel: Unter blauem Himmel weiße Häuser, staubige Ölbäume und knochentrockener Boden. Das Straßenbild wird bestimmt von den Studenten, die vor allem abends die Bars und Döner-Läden bevölkern. Es ist eine aufstrebende Stadt; die leeren, mit Müll bedeckten Grundstücke werden allmählich weniger. Bars, Videoläden oder Restaurants wachsen aus dem Boden – glanzvolle kleine Paläste aus Naturstein, dunklem Glas und Bronzetüren. Die Armut ist auf dem Rückzug. Was aber immer noch – oder eigentlich mehr denn je – fehlt, ist Wasser.

Nicht nur diskutieren, sondern handeln

Jordanien ist nicht der einzige Staat mit gravierenden Wasser-Versorgungsproblemen; auch Länder wie Ägypten, Sudan, Algerien, Irak und Iran sind betroffen. Peter Rutschmann steht mit seinem Team deshalb schon seit Jahren mit einer ganzen Reihe von Behörden, Firmen und Kollegen in diesen Ländern in Verbindung und arbeitet mit ihnen zusammen, um dort wasserbauliche Projekte auf den Weg zu bringen. So untersuchte er 1980 an der ETH Zürich die Stauanlage von Mosul im Irak. Später an der Universität Innsbruck leistete er Vorarbeiten zum Nil-Staudamm in Merowe. Dieser wird zurzeit im Sudan gebaut. Die Baustelle liegt unterhalb des vierten Kataraktes, knapp 400 Kilometer nördlich der sudanesischen Hauptstadt Khartoum, wo der Weiße und der Blaue Nil zusammenfließen. Die Elektrizität, die in dem Kraftwerk bald gewonnen wird, soll vor allem die Verhältnisse in Khartoum verbessern. In der Stadt leben mehr als acht Millionen Einwohner, die ihren Strombe-

Peter Rutschmann und sein Team an der TUM beteiligen sich mit Modellversuchen und Computersimulationen an der Planung des Nil-Staudamm-Projekts Shereik im Sudan, das aus einem 3 Kilometer langen, 45 Meter hohen Damm und einem 369-Megawatt-Kraftwerk bestehen wird

darf meist mit kleinen Dieselgeneratoren decken. Daraus entsteht eine gewaltige Luftverschmutzung, die man verringern will, indem man den Strom stattdessen durch saubere Wasserkraft in Merowe erzeugt.

20-mal so stark wie die Isar

Jetzt, als Lehrstuhlinhaber an der TUM, führt Rutschmann die Untersuchung einer weiteren Nil-Staustufe in Shereik durch, die ebenfalls im Sudan, oberhalb des Merowe-Damms geplant ist. Das Großprojekt wird voraussichtlich eine halbe Milliarde Euro kosten und aus einem drei Kilometer langen, 45 Meter hohen Damm und einem 369 Megawatt-Kraftwerk mit sechs Turbinen bestehen. „Wenn es fertig ist, werden dort jede Sekunde 2100 Kubikmeter Wasser hindurchjagen, das entspricht etwa der 20-fachen Wassermenge der Isar“, erläutert der 54-jährige Bauingenieur, während er in einer Nachbildung des Stausee-Beckens im Maßstab 1: 35 steht. Das Modell befindet sich in einer der Experimentierhallen der Versuchsanstalt Oberrach, die sein Lehrstuhl nahe dem Walchensee seit über 80 Jahren als Außenstelle betreibt.

Den gesamten Stausee hier als Modell abzubilden, ist nicht möglich. Dazu ist selbst diese Halle zu klein. Deshalb haben die Forscher die wichtigsten Komponenten der Anlage von Shereik in zwei Ausschnitts-Modellen nachgebaut: das Kraftwerk und die Hochwasserentlastung. Nun stehen sie als rote PVC-Nachbildungen in riesigen Becken auf dem modellierten Sandboden. Ein Kilometer realer Breite entspricht rund 30 Metern im Modell, und Bauwerke, die in der Wirklichkeit einmal 15 Meter hoch sein werden, sind hier als 50 Zentimeter hohe Elemente nachgebaut, mit vielen Details und allen wichtigen, auch beweglichen Teilen. Dazu gehört das Kraftwerksgebäude mit den Einläufen zu den Turbinen und den so genannten Spülschützen. Sie dienen dazu,

Sand, die der Nil womöglich vor den Einläufen ablagert, wegzuspülen. Die Wasserbauer nennen das „Geschiebe“. Damit bezeichnen sie Material, das ein Fluss in seinem Bett mit auf die Wanderschaft nimmt. Es verursacht große Probleme, wenn es sich gerade dort ablagert, wo man es am wenigsten brauchen kann, etwa vor den Turbineneinläufen. Da die Anlage im Maßstab 1:30 verkleinert wurde, musste nun natürlich auch das Geschiebe feiner sein. Die Forscher suchten nach geeigneten Materialien und entschieden sich schließlich für feinen Isarsand. „Wir wussten, dass der immer noch viel zu grob ist“, räumt Dr. Arnd Hartlieb ein, Betriebsleiter der Versuchsanstalt Oberrach. „Aber wenn wir zeigen können, dass man verhältnismäßig grobe Körner durchspülen kann, dann kann man feinere eben auch durchspülen. So sind wir auf der sicheren Seite.“

Mehr Fallhöhe für das Wasser

Die Münchner Wasserbauer haben anhand eines numerischen Modells die Form der Turbineneinläufe optimiert, und so schaffen sie es, mehr an Fallhöhe für das Wasser herauszuholen. „Dadurch gelingt es, die zur Verfügung stehende Energie besser auszunützen“, so Peter Rutschmann. „Wenn man den zusätzlichen Energiegewinn bilanziert, macht das viel Geld aus. Allein mit dieser Optimierung haben die Kraftwerksbetreiber unsere Studien innerhalb eines Jahres schon wieder refinanziert.“ Und sein Betriebsleiter ergänzt: „Außerdem haben wir noch untersucht, ob es irgendwelche Stellen gibt, an denen sich Wirbel bilden können und Luft eindringt. Man will ja auf keinen Fall auf den Turbinen Luft haben. Wir konnten tatsächlich zeigen, dass es zwar kleinere Wirbel gibt, dass es aber nie zu Lufteinzug kommt.“

Im zweiten Modell in der Halle ist die so genannte Hochwasserentlastung des Shereik-Staudamms nachge- ▷

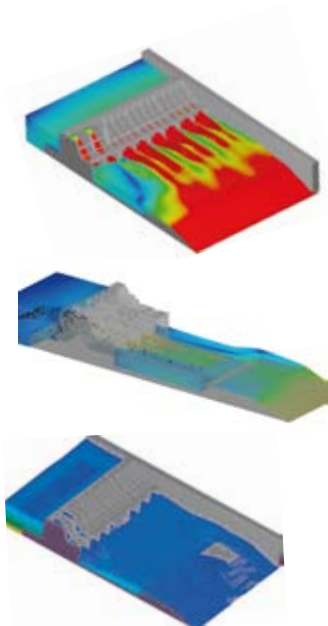
Rechenreinigung

Portalkräne für Ein- / Ausbau
der Turbinen

Einlauf

Turbinenlaufrad (vertikale Achse)

Saugschlauch

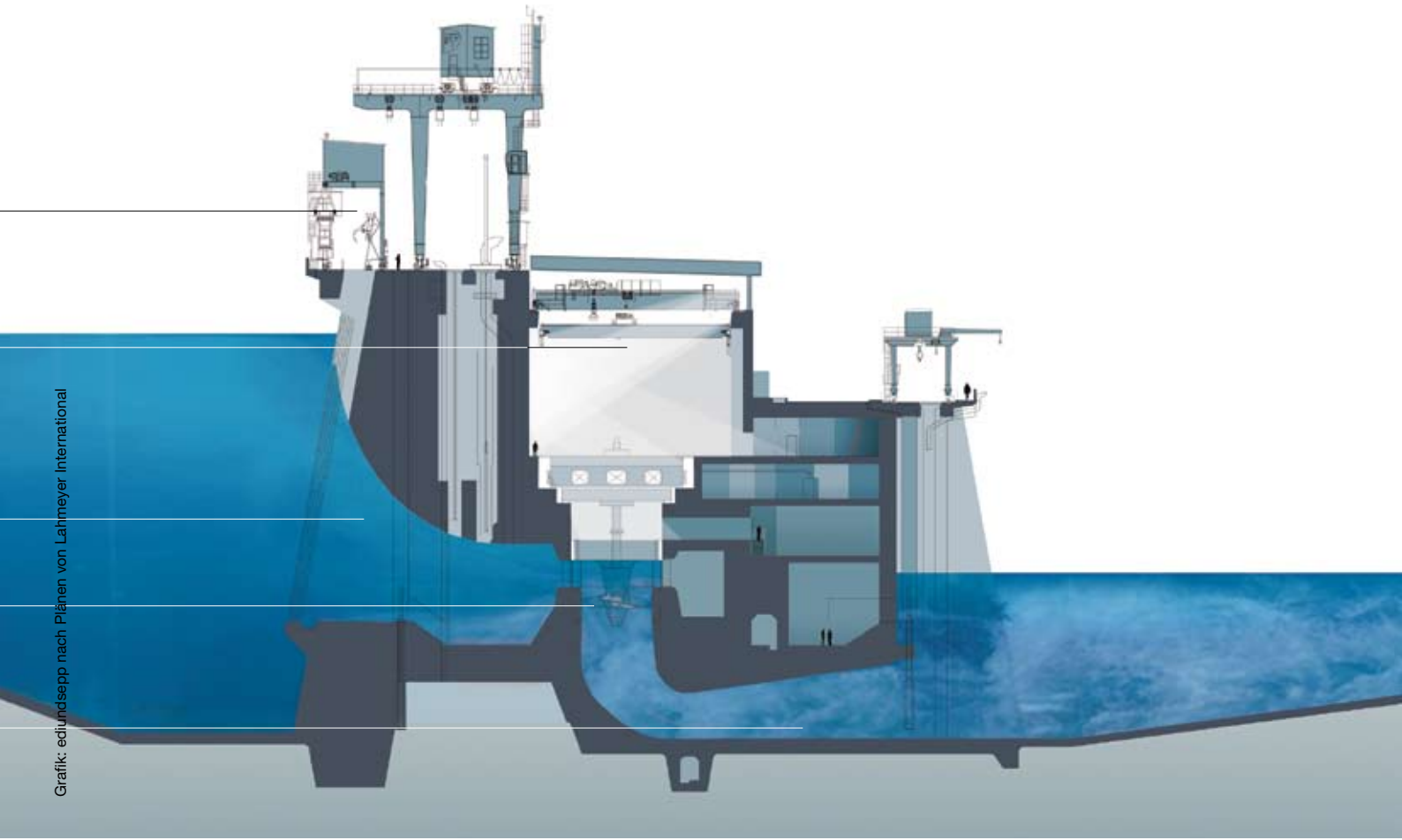


Hier sind drei Momentaufnahmen aus der virtuellen Strömungssimulation rund um den Staudamm zu sehen. Die Farben zeigen die Wassergeschwindigkeit an (blau bedeutet langsam, rot schnell)

baut. Wenn in der Regenzeit mehr Wasser ankommt, als die Turbinen abarbeiten können, werden Abflüsse im Damm geöffnet. Würde man dies nicht tun, flösse das Wasser über die Dammkrone und würde den Damm beschädigen oder gar zum Bersten bringen. Als kontrollierte Abflüsse gibt es einerseits Überfallwehre, über die das Wasser nach Öffnen einer Schütze hinwegfließt, und Tiefauslässe, die sich unter Wasser befinden und ebenfalls durch eine Schütze geöffnet werden.

Tosendes Wasser im Modell

Auf Knopfdruck lassen sich die Modelle mit Wasser füllen. Innerhalb weniger Minuten rauschen ein paar hundert Kubikmeter in die Becken, gespeist aus einem Reservoir außerhalb der Halle. Riesige Pumpen mit einer Kapazität von 650 Litern pro Sekunde befördern eine genau kontrollierte Menge in den Modell-Stausee und pumpen sie nach dem Ablauf wieder ab. Sobald ein gewisser Wasserstand erreicht ist, öffnet Arnd Hartlieb die Klappen des Mini-Staudamms, und tosend stürzen die Wassermassen durch die Wehre. Selbst hier, im Maß-



Den Aufbau des Nil-Kraftwerks Shereik kann man in diesem Schnittbild erkennen. Das Nilwasser kommt von links und wird am Damm aufgestaut. Es fließt dann durch die Einläufe ins Kraftwerk und treibt sechs Turbinen an

stab 1:35, kann man eine Vorstellung davon gewinnen, welche Gewalt das Wasser entwickelt, wenn es unten auftrifft. Damit sie nicht zerstörerisch wirkt, muss das Bauwerk richtig gestaltet sein. Die hierfür am besten geeignete Form zu finden, ist eine der Aufgaben dieser Versuche.

An allen wichtigen Punkten des Modells sind Messpunkte angeordnet, über die man den Druck des Wassers ermitteln kann. Das Problem ist dabei nicht ein zu hoher Druck, sondern ein Unterdruck. Löst sich aufgrund der hohen Geschwindigkeit der Wasserstrom von der Unterlage ab, entsteht an dieser Stelle ein Unterdruck, da ein Druckausgleich von außen nicht erfolgen kann. An solchen Stellen beginnt das Wasser augenblicklich zu verdampfen, denn bei starkem Unterdruck genügt schon die Außentemperatur, um den Siedepunkt zu erreichen. Es entstehen Dampfblasen, die dann bei ihrer Implosion Wasserstrahlen auslösen, die mit rasender Geschwindigkeit auf die Betonteile des Bauwerks treffen und die Oberfläche wie ein Presslufthammer zerhacken können. Diese so genannte Kavitation ist

ein gefürchtetes Phänomen im Wasserbau. Sie kann nicht nur Turbinen, sondern ganze Stauwehre zerstören. Um das zu verhindern, hat man bei den aktuellen Versuchen in Oberrach unterschiedliche Formgestaltungen erprobt und experimentiert gerade mit Betonelementen, die im „Tosbecken“ das herabstürzende Wasser möglichst gründlich verwirbeln und seine Kraft entschärfen.

Turbulenzen im Computer

Die Wasserspiele im Saal sind nur ein Teil der Untersuchungen an Peter Rutschmanns Lehrstuhl. Sie gehen Hand in Hand mit Computer-Simulationen, die all das, was im Experiment gemessen wird, durch Berechnungen zu erhärten suchen. Kaum vorstellbar, wie man das wirbelnde Wasser in mathematische Formeln fassen soll, aber mit den heutigen leistungsfähigen Computern eröffnen sich neue Möglichkeiten. Insbesondere numerische Simulationen, in denen die Wassermassen in kleine Zellen eingeteilt werden, in denen der Lauf der Strömung in winzigen Zeitschritten berechnet wird, versprechen Erfolg. Die Vielzahl der Zellen und die Ab- ▶



Im Maßstab 1:35 erproben die TUM-Forscher, wie das Wasser über das Wehr stürzt und unten im Tosbecken ankommt. Damit es dort keine Schäden anrichtet, testen die Forscher unterschiedliche Betonelemente, die die Gewalt des Wassers brechen sollen



Tosbecken mit optimierten Einbauten zur Verbesserung der Energieumwandlung

stimmung zwischen ihnen verursachen allerdings auch heute noch extrem lange Rechenzeiten. In der Tat gibt es Rechenmodelle, mit denen sich das Fließverhalten zuverlässig simulieren lässt. Eindimensionale für grobe Abschätzungen, zwei- und dreidimensionale für detailliertere Aufgaben. Aber sie haben ihre Grenzen, denn es gibt Fragestellungen, die auch heute nur schwer oder gar nicht mathematisch zugänglich sind.

Rechenmodelle zeigen Schwachstellen auf

„Die Turbulenzforschung hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht“, sagt Peter Rutschmann. „Um hochgenau turbulente Strömungen zu rechnen, muss man sich aber immer noch auf kleine Ausschnitte beschränken.“ Dennoch gehört sein Institut zu den Wenigen auf der Welt, die Modellversuche und Computer-Simulationen erfolgreich miteinander verbinden: „Was besser numerisch geht, machen wir numerisch, was besser physikalisch geht, machen wir physikalisch. Für ein großes Projekt wie den Sherek-Damm bieten wir den Auftraggebern an, dass wir zuerst numerisch rechnen. Das geht schnell: Nach zwei bis drei Wochen gibt



Stein für Stein bauten die Spezialisten in der Versuchsanstalt Oberrach den Verlauf der Isar maßstäblich nach, um zu erproben, welche Auswirkungen ihre Renaturierung im Münchener Stadtgebiet hat

es erste Resultate. Der Modellbau hingegen dauert mindestens drei Monate. Das heißt, wenn wir bei der numerischen Untersuchung Schwachstellen erkennen, können wir diese im Modellbau bereits vermeiden. So sparen wir Zeit, wenn wir Probleme nicht erst im Modell sehen und anschließend korrigieren müssen.“

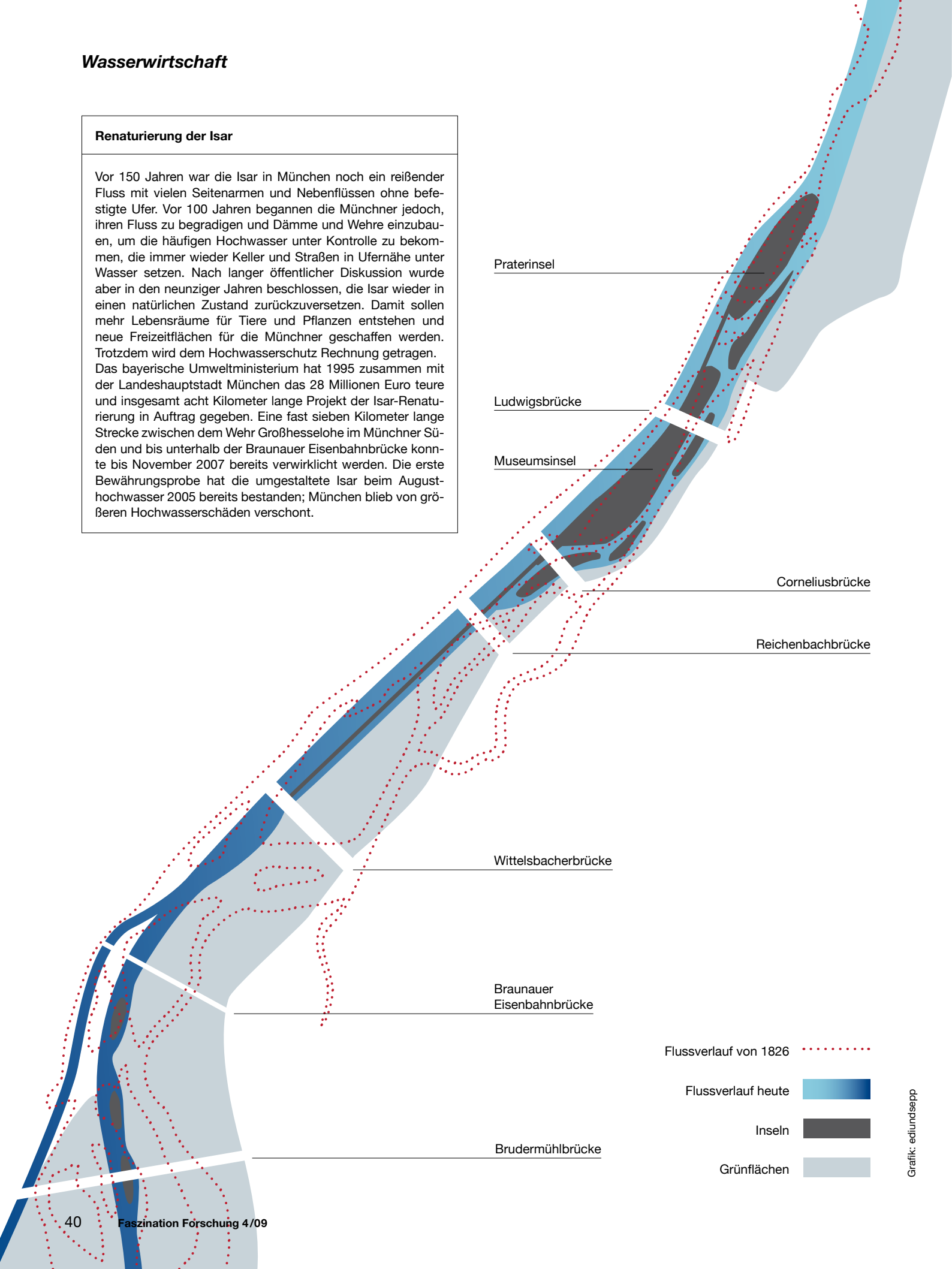
Was die Turbulenzmodelle schon können, steht bei der Simulation des Geschiebetransports noch ganz am Anfang. Bis heute kann man nicht zuverlässig beschreiben, wie sich ein Steinchen im Flussbett bewegt. „Wir haben in Innsbruck Einzelkörner beobachtet, wie sie sich in der Strömung verhalten“, sagt Peter Rutschmann, „aber die Ergebnisse lassen sich noch nicht in mathematische Formeln fassen.“ Wenn man aber nicht einmal die Bewegung eines einzelnen Kornes exakt beschreiben kann, wie soll das dann erst bei einer Milliarde davon gelingen? Doktorand Markus Grünzner ist gerade dabei, das Unmögliche möglich zu machen: Er entwickelt ein numerisches Modell für den Transport von Geschiebe. „Bisher ging man immer von stark vereinfachten Modellen aus“, sagt Peter Rutschmann „aber Grünzner ▶



Selbst die Isarkiesel wurden verkleinert. Die Forscher simulieren sie durch Sand. So sehen sie, wie sich das Flussbett verändert

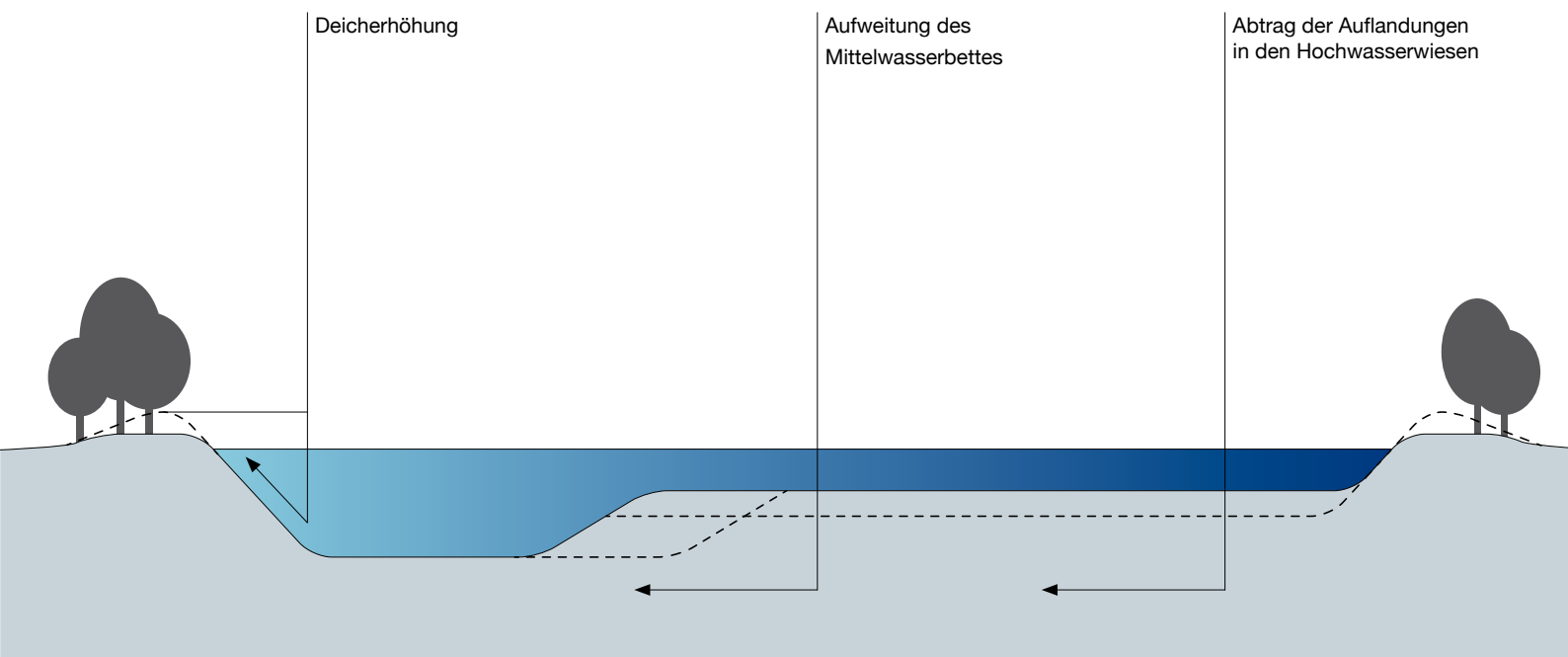
Renaturierung der Isar

Vor 150 Jahren war die Isar in München noch ein reißender Fluss mit vielen Seitenarmen und Nebenflüssen ohne befestigte Ufer. Vor 100 Jahren begannen die Münchner jedoch, ihren Fluss zu begradigen und Dämme und Wehre einzubauen, um die häufigen Hochwasser unter Kontrolle zu bekommen, die immer wieder Keller und Straßen in Ufernähe unter Wasser setzten. Nach langer öffentlicher Diskussion wurde aber in den neunziger Jahren beschlossen, die Isar wieder in einen natürlichen Zustand zurückzusetzen. Damit sollen mehr Lebensräume für Tiere und Pflanzen entstehen und neue Freizeitflächen für die Münchner geschaffen werden. Trotzdem wird dem Hochwasserschutz Rechnung getragen. Das bayerische Umweltministerium hat 1995 zusammen mit der Landeshauptstadt München das 28 Millionen Euro teure und insgesamt acht Kilometer lange Projekt der Isar-Renaturierung in Auftrag gegeben. Eine fast sieben Kilometer lange Strecke zwischen dem Wehr Großhesselohle im Münchner Süden und bis unterhalb der Braunauer Eisenbahnbrücke konnte bis November 2007 bereits verwirklicht werden. Die erste Bewährungsprobe hat die umgestaltete Isar beim Augusthochwasser 2005 bereits bestanden; München blieb von größeren Hochwasserschäden verschont.



- Flussverlauf von 1826
- Flussverlauf heute —————
- Inseln
- Grünflächen

Grafik: eclundsapp



Nach der Renaturierung soll man der Isar ihre Herkunft als voralpiner Wildfluss wieder ansehen. Dafür sorgen Maßnahmen wie die Erweiterung des Flussbettes, das Anlegen flacher, teilweise terrassierter Ufer und Kiesflächen

rechnet nun aus, welche Kräfte auf die unterschiedlich großen Körner wirken und wie sie sich bewegen. Außerdem können sie kollidieren. Eine solche numerische Untersuchung mit Tausenden von kollidierenden Geschiebekörnern ist vielleicht einzigartig auf der Welt.“

Mithilfe der Oberracher Miniflüsse untersuchen die Münchner Wasserbauer nicht nur Bauwerke in fernen Ländern. In über 400 Versuchen haben sie in den letzten Jahren viele, wenngleich in den Abmessungen kleinere Probleme auch für heimische Flüsse geklärt: In den Hallen oberhalb des Walchensees flossen schon Modelle der Salzach, des Inns und des Lechs in verschiedenen Abschnitten. Auch zurzeit strömt hier wieder ein bayerischer Fluss im Miniaturformat: Die Isar. Betriebsleiter Arnd Hartlieb erklärt, worum es geht: „Wir erproben im Auftrag des Wasserwirtschaftsamtes, wie sich die geplante Renaturierung der Isar auf Abfluss und Geschiebetrieb im Bereich des Deutschen Museums auswirkt.“ Der Abschnitt, nachgebaut im Maßstab 1:20, beginnt bei der Wittelsbacher Brücke und endet beim Deutschen Museum. Die Corneliusbrücke und die Reichenbachbrücke stehen da, exakt wie aus einem Modellbaukasten. Hintergrund für die Experimente ist, dass seit 1999 die Isar im Münchner Raum wieder in einen Zustand mit Nebenarmen und unregelmäßigen Ufern zurückversetzt wird.

Nun nähern sich die Arbeiten der letzten Bauphase. Hier handelt es sich um ein heikles Stück, weil sich der Fluss in die kleine und die große Isar verzweigt. „Entscheidend ist die Frage: Wie verändert sich durch die Baumaßnahmen die Flusssohle? Wo werden Anlandungen entstehen, wo Eintiefungen? Wie viel Geschiebe kommt in die kleine Isar, wie viel bleibt in der großen?“, so Hartlieb.

Sand im Modell

Um dies zu untersuchen, wurde auch das Geschiebe im Maßstab 1: 20 verkleinert. „Wir haben Sand genommen anstelle des Kieses in der Isar“, erläutert sein Chef, „das ist genau berechnet. Wenn man die Sandkörner 20-fach vergrößert, erhält man die Größenverteilung des Isarkieses.“ Wenn das Wasser – übrigens original Isarwasser aus dem Oberlauf, der die Versuchsanstalt versorgt – durch die Modell-Isar sprudelt, verhält sie sich also ziemlich exakt so wie der echte Fluss.

Es ist ein langwieriges Geschäft, die Bettgeheimnisse der Isar auszuforschen. Immer wieder lassen die Wissenschaftler das Wasser ab, vermessen die neu entstandene Form des Flussbetts mit Lasern und vergleichen sie mit dem Referenz-Zustand, der im Sommer 2007 aufgenommen wurde. „Die kleine Isar ent- ▷

Wasserwirtschaft

spricht fast dem Leitbild eines voralpinen Flusses“, so Rutschmann. „Seine Arme und Ablagerungen verändern sich immer wieder. Das will man so erhalten.“ Aber damit sich keine unerwünschten Überraschungen einstellen, braucht man eben die Expertise der TUM-Wasserbauer, die mit ihren Modellen in die Zukunft schauen können. Für die Zukunft erhofft sich Professor Rutschmann einen Erfolg im Nahen Osten: Er möchte Experten aus Jordanien, Israel und den palästinensischen Autonomiegebieten an seinen Lehrstuhl einladen, wo sie sich – auf neutralem Boden – über eines der wichtigsten Wasserprojekte der Region verständigen könnten: eine Pipeline zwischen

dem Toten und dem Roten Meer. Durch sie soll Wasser aus dem Roten Meer auf 170 Meter Seehöhe gepumpt werden und in das Tote Meer fließen, das sich 400 Meter unter dem Meeresspiegel befindet. Das Projekt hätte mehrere Vorteile: Es könnte den Wasserspiegel des Toten Meeres, der rund einen Meter pro Jahr sinkt, stabilisieren. Außerdem könnte Strom durch Wasserkraft gewonnen werden. Energie, die auch der Meerwasser-Entsalzung dienen und damit die Wasserversorgung der Region verbessern kann. Das Projekt hat nicht nur technische und wirtschaftliche Bedeutung – sondern auch eine friedenspolitische für die ganze Region. *Brigitte Röthlein*

In der Halle hatte die nachgebaute Isar noch den alten Verlauf – von der Corneliusbrücke aus gesehen. Anschließend wurden die Pläne zur Renaturierung hier im kleinen Maßstab erprobt

