

**Zeitschrift:** Tec21  
**Herausgeber:** Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein  
**Band:** 141 (2015)  
**Heft:** 1-2: Stehende Flusswellen handgemacht

**Artikel:** Von Cunovo lernen  
**Autor:** Bauer, Josef  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-514942>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 17.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

SHEET FLOW

# Von Cunovo lernen

Bei Bratislava wurde die weltweit erste und einzige kommerzielle Surfzelle in einem Fließgewässer installiert. Nach zwei Jahren Planung wurde die beplankte Stahlkonstruktion in nur drei Monaten errichtet. Der Planer, selbst Surfer, schildert seine Sicht der Dinge.

Text: Josef Bauer



Ein Wasserabfluss von 10 m<sup>3</sup>/s, über eine gegenläufige Rampe geleitet, erzeugt die stehende Surfzelle.

Wellenreiten auf Flüssen hat in den vergangenen Jahren einen rasanten Aufschwung erlebt. An schönen Tagen wird es bereits eng auf den konstant laufenden und gut erreichbaren Wellen in Mitteleuropa. Völerorts gründen sich Welleninitiativen, um den Bau von Flusswellen voranzutreiben (vgl. Kasten «Schweizer Wellenprojekte», S. 28). Erfolgreiche Beispiele sind bisher allerdings Mangelware. In Österreich scheiterten mehrere Projekte – eine Katastrophe für den Sport, da die Entscheidungsträger zunehmend die technische Machbarkeit anzweifeln und sich die Finger nicht verbrennen wollen. Die Fehler wären aber mit fachmännischer Planung und

Ausführung vermeidbar gewesen. Der Grundstein für den Misserfolg wird bereits in der Konzeption mit der Wahl des Standorts und der Bauweise gelegt. Während der Standort noch mit vergleichsweise einfachen Mitteln überprüft werden kann, herrscht bei der Bauweise Uneinigkeit. Technisch aufwendige und kostenintensive Baumaßnahmen können neben der Finanzierbarkeit auch am Widerstand der Öffentlichkeit scheitern, und das ist durchaus nachvollziehbar. Die Erfahrungen aus dem Bau der Welle in Cunovo haben zur Entwicklung einer allgemein anwendbaren, vergleichsweise einfachen Wellenbaumethode in Fließgewässern geführt. In Anlehnung an die NÖT (Neue Österreichische Tunnelbauweise) wurde diese Wellenbaumethode AWM



(Austrian Wavebuilding Method) genannt. Hintergrund ist die Analogie zwischen Gebirge und Fließgewässer als komplexes, nicht vollständig beherrschbares Medium. Ziel der AWM ist die möglichst ressourcen- und umweltschonende Umsetzung von Wellenprojekten.<sup>1</sup>

## Möglichst viele Surftage pro Saison

Grundlage eines erfolgreichen Wellenprojekts ist eine ausreichend genaue Kenntnis der hydrologischen Verhältnisse, um ein Bemessungswasserstandsspektrum festlegen zu können. Dabei sind auch sicherheitstechnische (Nutzersicherheit), hygienische (Wasserqualität) und betriebswirtschaftliche Überlegungen relevant. Die Frage ist, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Wasserstand vorherrscht, der innerhalb des Bemessungswasserstandsspektrums und der gewünschten Jahreszeit liegt. Vereinfacht: Wie viele Surftage pro Saison sind möglich? Eine Baumassnahme, die nur an wenigen Tagen im Jahr eine Welle erzeugt, ist eine Fehlplanung.

Der Vorteil am Projekt Cunovo ist der konstante, wenn auch geringe, aber weitgehend sedimentfreie Zufluss aus einem grossen Staubecken im Oberwasser. Als nachteilig zu bezeichnen sind der vom Oberwasser entkoppelte und stark variierende Unterwasserstand, die nicht ebene Gerinnesohle und das eingestaute Bauwerk. Ein Unterschied zum Bauen im natürlichen Fließgewässer ist zwar vorhanden, aber er ist kleiner, als man auf den ersten Blick vermuten würde.

## Hydraulik der Welle

In Cunovo war es erforderlich, die am Kanalende – der bevorzugten Lage – fehlende Fallhöhe durch ein Wehr zurückzugewinnen. Der Wehrrücken dient der Umwandlung von potenzieller in kinetische Energie und ist ein Kompromiss aus wirtschaftlicher Bauweise (Trä-



Cunovo liegt im Dreiländereck Österreich–Ungarn–Slowakei.

gerlänge) und hydraulischen Anforderungen (Neigung des Geschwindigkeitsvektors). Am Fusspunkt strömen die Wassermassen über eine veränderliche Länge horizontal, um anschliessend durch ein Rampenbauwerk wieder hangaufwärts gerichtet zu werden (vgl. Schema S. 36). Es kommt zu einer Rückumwandlung von kinetischer in potenzielle Energie und Druckhöhe (Wassertiefe) bei gleichzeitiger Reduktion der Fließgeschwindigkeit. Der Satz von Bernoulli liefert dafür die theoretischen Grundlagen. Das Rampenbauwerk gibt die Strömungsrichtung vor, bestimmt die Form der Welle und entkoppelt sie weitgehend vom Unterwasser. Mit zunehmender Höhe des Unterwassers wird die Welle bis hin zu einer kritischen Höhe positiv beeinflusst (steilere Welle), darüber hinaus ist der Einfluss aufgrund der Potenzialreduktion negativ und führt bei weiterem Anstieg zum Zusammenfallen der Welle. Während der Oberwasserspiegel der Welle von der Stellung des Wehrs abhängt, wird die Höhe des Unterwassers von einem ungarischen Kraftwerksbetreiber bestimmt (Ober- und Unterwasser ist entkoppelt).



Derzeit kostet die Benutzung der Anlage in Cunovo acht Euro pro Tag. **Die Sportler surfen auf einer 7.5 m breiten Welle.** Die Wasserfilmdicke beträgt 40 bis 45 cm. Die Schwächen von Anlagen mit relativ niedrigem spezifischem Abfluss können ein erhöhtes Verletzungsrisiko und abgebrochene Finnen sein.

## Von Walze zu Welle

Der instationäre Zustand (veränderlicher Abfluss über die Zeit) beginnt in Cunovo mit dem Öffnen der Einlaufschütze im Staubecken. Die Wassermassen schiessen durch den Kanal und treffen an dessen Ende auf das Wehr der Wellenkonstruktion, werden aufgestaut, beginnen über den Wehrrücken in das Wellenbecken zu strömen und füllen dieses vollständig auf. Nach etwa zehn Minuten ist im Oberwasser ein stationärer Zustand erreicht, während im Wellenbecken starke Turbulenzen vorherrschen, die als instationärer Abflusszustand oder Weisswasserwalze bezeichnet werden können. Es dauert rund zehn weitere Minuten, bis sich langsam ein zunehmend stationärer Zustand einstellt, der plötzlich, durch das sogenannte Ausspülen der Welle, in eine stationäre grüne Welle übergeht. Einmal erreicht, erweist sich dieser Zustand als überraschend stabil. Sogar erhebliche Energieentnahmen (Bewegung eines oder mehrerer Surfer) und Turbulenzen durch Störströmungen (z.B. Kehrwasser, steigender Unterwasserspiegel, seitliche Einfahrten von Kanuten) sind für die Aufrechterhaltung der Welle bis zu einem gewissen Mass verkraftbar. Werden die Störeinflüsse zu gross, kommt es teilweise oder ganz zum Zusammenfallen der Welle.

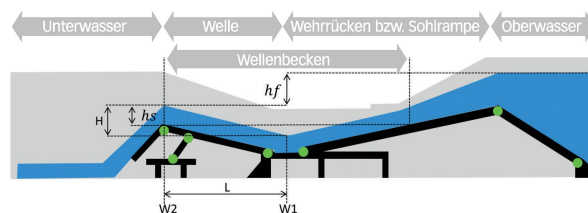
### Die Stabilität und Qualität der Welle ist abhängig von ihren Abflusskennwerten:

- spezifischer Abfluss  $q$  [ $\text{m}^3/\text{sm}$ ]  
(Durchfluss je Meter Wellenbreite)  $q = v h_s$  [ $\text{m}^3/\text{sm}$ ]
- Fallhöhe  $h_f$
- Fließgeschwindigkeit  $v = \sqrt{2gh_f}$  [ $\text{m/s}$ ]
- Wassertiefe  $h_s$
- Rauigkeit

Grundsätzlich gibt es zwei unterschiedliche Ansätze, um surfbare Wellen zu erzeugen. Ein Ansatz beruht auf der Annahme, dass eine Surfswelle am Wechselsprung auftritt. Die Froude-Zahl dient in der Literatur zur Beschreibung des Übergangs und der damit einhergehenden Welle bzw. Walze. Für den Autor dient der Wechselsprung im Wasserbau einzig der Energievernichtung, sorgt für gefährliche Turbulenzen und kann nur mit viel Glück eine surfbare Welle von – im Verhältnis zu der zur Verfügung stehenden Energie – geringer Qualität erzeugen. Möglich ist dies nur in Verbindung mit hohen spezifischen Abflüssen, die in der Regel nur bei Hochwasser erreicht werden. Der zweite Ansatz, jener von Cunovo, basiert auf einer baulichen Anlage, die die Grundform der Welle vorgibt. Die Froude-Zahl ist dabei keine relevante Bemessungsgrösse mehr (vgl. «Surfbarer Wechselsprung», S. 29).

## Was darf eine Welle kosten?

In der Bauwirtschaft orientieren sich die Preise üblicherweise an der Energie (Lohn, Material und Gerät), die zur Herstellung benötigt wird. Geht man davon aus, dass eine Welle ähnlich wie ein Kleinwasserkraftwerk konzentrierte Energie (Wasserkraft) zur Verfügung stellt, kann man die Wirtschaftlichkeit einer Investition unter



Schema der Anlage in Cunovo (oben) und Foto der beplankten Stahlkonstruktion (darunter). Künftig soll die Anlage auf Knopfdruck aktivierbar sein. Die Planung läuft gerade.

Berücksichtigung der hydraulischen Randbedingungen und der Lebensdauer berechnen – oder anders herum, eine wirtschaftliche Investitionssumme unter gewählten Randbedingungen festlegen. Betrachtet man die Welle in Cunovo mit ihrer Jahresleistung von 170 MWh bei einer reinvestitionsfreien Laufzeit von geschätzten zehn Jahren, kann man unter Ansatz eines fiktiven Energiepreises (z.B. 0.05 €/kWh) eine wirtschaftliche Erstinvestitionssumme errechnen. Zugegebenermassen ist dieser Ansatz vereinfacht und berücksichtigt keine Umwegerentabilitäten oder Risiken. Er soll aber veranschaulichen, dass wirtschaftlich vertretbare Investitionen bei Wellenanlagen je nach Jahresleistung in einer Grössenordnung von 100000 bis 200000 Euro liegen und nicht beim Zehnfachen davon. Vergessen werden darf auch nicht, dass hohe Investitionskosten in der Regel mit hohen Rückbaukosten verbunden sind, die den Errichtungskosten zugeschlagen werden müssen. Ziel der AWM ist es, finanzierbare Wellenbauwerke auch in kleineren Kommunen möglich zu machen. Dies kann nur gelingen, wenn der negative Einfluss auf die Umwelt und die Kosten in vertretbarem Rahmen bleiben. •

Josef Bauer hat Kulturtechnik und Wasserwirtschaft an der Universität für Bodenkultur Wien absolviert. Er ist Planer der Surfswelle in Cunovo, Bratislava (Slowakei).

### Anmerkungen

1 Die Planungsgrundsätze der AWM finden sich auf [www.espazium.ch](http://www.espazium.ch)

2 Mit «eingestaut» ist gemeint, dass das Baufeld, auch wenn der Kanal ausgeschaltet ist, geringfügig unter Wasser liegt. Dies führte dazu, dass ein Trockendock gebaut werden musste – was Erschwernisse beim Bau und Kostensteigerungen nach sich zog.



## SCHNETZER PUSKAS INGENIEURE

### Dipl. Bauingenieur/in ETH/FH

Sie sind ein/e leidenschaftliche/r und kreative/r Tragwerksplaner/in und bestrebt, technisch zukunftsweisende Konzepte zu entwickeln.

Die Planung von anspruchsvollen Bauvorhaben in der Schweiz wie auch in einem internationalen Umfeld gehört zu unseren wesentlichen Tätigkeiten. Das zentrale Aufgabengebiet ist die Entwicklung von Tragwerken, vom Wettbewerb bis zur Realisierung im Team mit Architekten, Fachplanern und Unternehmern.

Für neue und spannende Aufgaben suchen wir zur Verstärkung unseres Teams am Hauptsitz in **Basel** eine/n engagierte/n

### Projektleiter/in oder Projektingenieur/in

Sie verfügen idealerweise über eine dreijährige praktische Berufserfahrung als Projektleiter/in mit vertieften Kenntnissen im Bereich des konstruktiven Ingenieurbaus. Alternativ möchten Sie sich vom Projektingenieur/in zum/r Projektleiter/in in verantwortlicher Position weiterentwickeln.

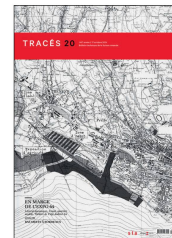
Sie können auf die Erfahrung und das Fachwissen von einem eingespielten Team zurückgreifen. Bei uns finden Sie ein kollegiales und modernes Arbeitsumfeld an zentraler Lage in Basel. Bei internationalen Projekten können Sie Ihre Fremdsprachenkenntnisse einsetzen. Wir unterstützen und fördern Ihre berufsbezogene Weiterbildung.

Gerne stehen wir Ihnen für weitere Informationen zur Verfügung und freuen uns auf Ihre Bewerbung.

Schnetzler Puskas Ingenieure AG, Herr Tivadar Puskas, Aeschenvorstadt 48, Postfach, 4010 Basel, Tel. 061 367 77 77  
info@schnetzlerpuskas.com, www.schnetzlerpuskas.com, Basel, Zürich und Bern

## Geballtes Fachwissen für die Schweiz: die Publikationen der Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Abos bestellen unter [abonement@staempfli.com](mailto:abonement@staempfli.com)  
oder [www.espazium.ch](http://www.espazium.ch)



espazium.ch

#### Adresse der Redaktion

TEC21 – Schweizerische Bauzeitung  
Staffelstrasse 12, Postfach 1267, CH-8021 Zürich  
Telefon 044 288 90 60, Fax 044 288 90 70  
E-Mail [tec21@tec21.ch](mailto:tec21@tec21.ch),  
[www.espazium.ch/tec21](http://www.espazium.ch/tec21)  
[www.baugedaechtnis.ethz.ch](http://www.baugedaechtnis.ethz.ch)

#### Redaktion

Judit Solt (js), Chefredaktorin  
Nathalie Cajacob (nc), Redaktorin  
Tina Cieslik (tc), Architektur/Innenarchitektur  
Daniela Dietsche (dd), Bauingenieurwesen/Verkehr  
Nina Egger (ne), Gebäudetechnik  
Thomas Ekwall (te), Bauingenieurwesen  
Danielle Fischer (df), Architektur  
Susanne Frank (sf), Architektur  
Rudolf Heim (rh), Bauingenieurwesen  
Paul Knüsel (pk), Umwelt/Energie  
Denise Neukom, Redaktionssekretärin  
Christof Rostorf (cr), Abschlussredaktor  
Marko Sauer (ms), Architektur/Wettbewerbe  
Anna-Lena Walther (alw), Layout (Stämpfli AG)

E-Mail-Adressen der Redaktionsmitglieder:  
[Nachname@tec21.ch](mailto:Nachname@tec21.ch)

#### TEC21 online

[www.espazium.ch/tec21](http://www.espazium.ch/tec21)

#### Korrespondenten

Charles von Büren, Bau/Holz,  
[bureau.cvb@bluewin.ch](mailto:bureau.cvb@bluewin.ch)  
Lukas Denzler, Umwelt/natürliche Ressourcen,  
[lukas.denzler@bluewin.ch](mailto:lukas.denzler@bluewin.ch)  
Hansjörg Gadiant, Architektur/Landschafts-  
architektur, [hj.gadiant@bluewin.ch](mailto:hj.gadiant@bluewin.ch)  
Dr. Lilian Pfaff, Architektur/USA,  
[lpfaff@gmx.net](mailto:lpfaff@gmx.net)  
Clementine Hegner-van Rooden,  
Bauingenieurwesen, [clementine@vanrooden.com](mailto:clementine@vanrooden.com)  
Markus Schmid, Bauingenieurwesen,  
[mactec21@gmail.com](mailto:mactec21@gmail.com)  
Ruedi Weidmann, Baugeschichte/Stadtentwicklung,  
[weidmann@haeuslerweidmann.ch](mailto:weidmann@haeuslerweidmann.ch)

#### Redaktion SIA-Seiten

Frank Peter Jäger (fpj), Geschäftsstelle,  
Selnastrasse 16, Postfach, 8027 Zürich,  
Telefon 044 283 15 47, Fax 044 283 15 16,  
E-Mail [frank.jaeger@sia.ch](mailto:frank.jaeger@sia.ch)

#### Herausgeberin

Verlags-AG der akademischen technischen Vereine/  
SEATU Société des éditions des associations  
techniques universitaires  
Staffelstrasse 12, CH-8045 Zürich  
Telefon 044 380 21 55, Fax 044 380 21 57  
Walter Joos, Präsident, E-Mail [joos@walterjoos.ch](mailto:joos@walterjoos.ch)  
Katharina Schober, Verlagsleitung  
E-Mail [k.schober@seatu.ch](mailto:k.schober@seatu.ch)  
Hedi Knöpfel, Assistenz  
E-Mail [h.knoepfel@seatu.ch](mailto:h.knoepfel@seatu.ch)

Erscheint wöchentlich, 40 Ausgaben pro Jahr  
ISSN-Nr. 1424-800X  
141. Jahrgang, verbreitete und verkaufte Auflage:  
11 144 (WEMF-beglaubigt)

Nachdruck von Bild und Text, auch auszugsweise,  
nur mit schriftlicher Genehmigung der Redaktion  
und mit genauer Quellenangabe. Für unverlangt  
eingesandte Beiträge haftet die Redaktion nicht.

#### Abonnementspreise

[www.espazium.ch](http://www.espazium.ch)

#### Abonnements

SIA-Mitglieder  
Adressänderungen: SIA, Zürich  
Telefon 044 283 15 15, Fax 044 283 15 16  
E-Mail [mutationen@sia.ch](mailto:mutationen@sia.ch)  
Nicht-SIA-Mitglieder  
Stämpfli AG, Bern  
Telefon 031 300 62 53, Fax 031 300 63 90  
E-Mail [abonement@staempfli.com](mailto:abonement@staempfli.com)

#### Einzelbestellungen

Stämpfli AG, Bern, Telefon 031 300 62 53  
[abonement@staempfli.com](mailto:abonement@staempfli.com), Fr. 12.– | Euro 8.–  
(ohne Porto)

#### Druck

Stämpfli AG, Bern

#### Inserate

Zürichsee Werbe AG, Seestrasse 86, CH-8712 Stäfa  
Telefon 044 928 56 11, Fax 044 928 56 00  
E-Mail [info@zs-werbeag.ch](mailto:info@zs-werbeag.ch), [www.zs-werbeag.ch](http://www.zs-werbeag.ch)

#### Grafisches Konzept

Raffinerie AG für Gestaltung, Zürich

#### Beirat

Anna Ciari, Zürich, Bauingenieurwesen  
Heinrich Figli, Chur, Bauingenieurwesen  
Markus Friedli, Frauenfeld, Architektur  
Markus Hubbuch, Zürich, Energie  
Dr. Roland Hürlimann, Zürich, Baurecht  
Daniel Meyer, Zürich, Bauingenieurwesen  
Dr. Ákos Moravánszky, Zürich, Architekturtheorie  
Daniel Niggli, Zürich, Architektur  
André Olschewski, St. Gallen, Umwelt/Raumplanung  
Tivadar Puskas, Basel, Bauingenieurwesen  
Reto Schlatter, Luzern, Journalistische Qualität  
Martin Tschanz, Winterthur, Architektur  
Ariane Widmer Pham, Lausanne, Architektur/  
Stadtplanung

#### HLK-Beratung

Rüdiger Külpmann, Horw, Gebäudetechnik

#### Trägervereine

Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein,  
SIA – [www.sia.ch](http://www.sia.ch)

TEC21 ist das offizielle Publikationsorgan des SIA.

Die Fachbeiträge sind Publikationen und  
Positionen der Autoren und der Redaktion.  
Die Mitteilungen des SIA befinden sich jeweils  
in der Rubrik «SIA».

Schweizerische Vereinigung Beratender  
Ingenieur-Unternehmungen, usic –  
[www.usic-engineers.ch](http://www.usic-engineers.ch)

ETH-Alumni, Netzwerk der Absolventinnen und  
Absolventen der ETH Zürich – [www.alumni.ethz.ch](http://www.alumni.ethz.ch)

Bund Schweizer Architekten, BSA –  
[www.architekten-bsa.ch](http://www.architekten-bsa.ch)

Fondation ACUBE –  
[www.epflalumni.ch/fr/prets-dhonneur](http://www.epflalumni.ch/fr/prets-dhonneur)