

BAUEN IM GEWÄSSERRAUM

Zwischen hartem und weichem Verbauungsgrad

Bauvorhaben an Schweizer Seeufern sind situativ unterschiedlich – hier dicht besiedelter Raum, dort schützenswerte Moore. Oft ist den Orten aber eines gemeinsam: Sie sind nicht mehr natürlich. Die Uferzone wird zur Aufgabe für Ingenieure, die sich mit den Wellen- und Windverhältnissen auseinandersetzen.

Text: Clementine Hegner-van Rooden



Morgens am 11. November 2018, am Ufer des Vierwaldstättersees im Zentrum von Brunnen. Die Pegelstation misst den Wasserstand: ca. 433.5 m ü.M. Dieser kann bis zu 2.21 m schwanken.

Viele Schweizer Seeufer sind nicht mehr natürlich. Sie wurden in den letzten Jahrhunderten aufgeschüttet, um für Uferpromenaden, Bahntrassen und Strassen Land zu gewinnen. Naturufer – insbesondere mit flachem Verlauf – wurden in harte Verbauungen mit Geländesprüngen umgebaut. So geschehen beispielsweise um 1880 am Zürichsee oder am Vierwaldstättersee in Brunnen um 1870. Aquatisch und

ökologisch wertvolle Wasserwechselzonen gingen unwiderruflich verloren. Solche künstlich erschaffene Uferzonen rückzubauen, wie es der Naturschutz verlangt, oder zu renaturieren und die aquatischen Lebensräume der Flachwasserzonen wiederherzustellen, ist in Siedlungsgebieten oft nicht ohne Weiteres bzw. nur von der bestehenden Ufermauer her möglich. Denn mittlerweile stehen auf den Aufschüttungen Bauwerke. Ausserdem sind viele Seen inzwischen reguliert, und

die natürlichen Prozesse haben sich grundlegend verändert. Jedes Projekt am geschützten Seeufer bedingt eine Ausnahmebewilligung. Diese einzuholen bedarf meist eines jahrelangen Planungsprozesses, der städtebauliche oder landschaftsarchitektonische, ökologische und technische Aspekte zu berücksichtigen hat. Solche oft kontrovers diskutierten Projekte kann die öffentliche Hand nur dann angehen, wenn der Nutzungsdruck der Bevölkerung hoch ist, wenn sie als Naherholungsgebiete von grosser Bedeutung sind und wenn ein kompetentes Planungsteam dahintersteht.

Ähnliche Einwirkung – ungleiche Konzepte

Im naturgetreuen Zustand bildet sich am Ufer eines Flachwasserbereichs ein stabiler Seegrundverlauf aus, der sich dynamisch verändert. Harte Verbauungen stören dieses dynamische Gleichgewicht des Grundverlaufs, sodass heute an diesen Bauwerken ungewöhnlich hohe Wellen brechen und reflektieren – vergleichbar mit einer felsigen Küste. Die Bauten sind teilweise immensen Aufschlagbelastungen ausgesetzt, die vor allem in den Bauwerksfugen grosse Schäden anrichten und Kolklöcher verursachen. An vielen Orten wird der Seegrund vor den Uferbauten durch Wellenbewegungen erodiert, und es kommt zu Unterspülungen von Konstruktionen. Zahlreiche Uferbauten sind daher instandsetzungsbedürftig und müssten umgestaltet werden. Eine diffizile Aufgabe.

In der Instandsetzung oder Renaturierung von Uferbauten verflochten sich ökologische, architektonische, politische und technische Themen. Exemplarisch zeigen dies die Seeufergestaltung im Zentrum von Brunnen (vgl. «Die Promenade am See», S. 26). und die ökologischen Aufwertungsmassnahmen am Seeufer im Moorgebiet Hopfräben (vgl. «Ein schmaler Pfad für mehr Natur», S. 28). Die beiden Standorte in der Gemeinde Ingenbohl, Kanton Schwyz, unterscheiden sich – hier der dichte Siedlungsraum, da ein schützenswertes, aber eingezwängtes Flachmoor. Dennoch sind sie landschaftlich eng verbunden. Ihre Ufer sind nach Süd-Südwesten ausgerichtet und den Wellen ausgesetzt. Die lange Streichlänge (freie Anlaufstrecke des Winds) von Süden und Westen her über den See mit starken, über Stunden konstanten Winden führt zu beachtlich hohen Wellen, und es können grosse Schwemmholzmassen auftreten.

Es ist die Aufgabe des Bauingenieurs, diese Prozesse im Wasser zu analysieren, daraus realistische Belastungsszenarien abzuleiten und die Bauwerke entsprechend zu dimensionieren – nicht nur die Trag-, sondern auch die Ermüdungssicherheit muss nachgewiesen werden (Bestimmung der Dimensionierungswellen, Risikoanalyse und daraus Ableitung sinnvoller Lastkombinationen). Neben den Nutzlasten sind Wellen und Strömungen weitaus die grössten Einwirkungen. Wellen erzeugen keine kontinuierlichen Kräfte, sondern Spitzenlasten, die durch Extremereignisse wie einen Sturm entstehen (wie bei Naturgefahren üblich unterscheidet man die Auftretenswahrscheinlichkeit – 30-, 100-, 300-jährliches Wellenereignis und Extremereignis).

Strömungen wirken hingegen ständig und belasten Bauwerke dauerhaft. Die Bauten im und am Wasser müssen beiden dynamischen Belastungen langfristig standhalten (vgl. «Wellen als Belastung», unten). Nur so können wirtschaftliche Bauwerke entstehen, die den hohen gestalterischen, ökologischen und technischen Anforderungen am Seeufer gerecht werden. •

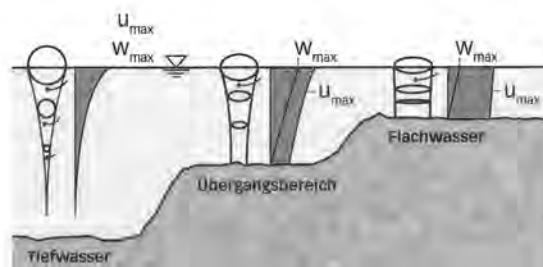
Clementine Hegner-van Rooden, Dipl. Bauing. ETH, Fachjournalistin BR, clementine@vanrooden.com

Wellen als Belastung

Die durch Wind induzierte Welle ist eine periodische Bewegung des Wasserkörpers. In Abhängigkeit von Winddauer und Streichlänge wird durch die Reibung an der Wasseroberfläche Energie eingetragen. Im Tiefwasser bewegen sich die Wasserteilchen auf kreisförmigen Bahnen (Orbitalbahnen). Der Durchmesser der Kreise und die Geschwindigkeit der Teilchen nehmen mit der Tiefe exponentiell ab. Näher am Ufer beeinflusst die Reibung am Seegrund die Wellenbewegung, und es finden unterschiedliche Flachwasserprozesse statt, die zu Erosion, Verlandung und Verfrachtungen führen. Ab einem Verhältnis von Wellenhöhe zu Wassertiefe von etwa 0.8 oder beim Auftreffen auf harte Bauwerkskanten beginnen Wellen zu brechen. Brechende Wellen können lokal und für sehr kurze Dauer einen extrem hohen Aufschlagsdruck von bis zu 1000 t/m² verursachen.

Ein Bauwerk kann entweder auf die rechnerischen Wellenbelastungen dimensioniert oder dann so konstruiert und ausgebildet werden, dass die anlaufenden Wellenenergien und Strömungen, ohne auf das Bauwerk zu treffen, vernichtet oder umgelenkt werden (vgl. «Die Promenade am See», S. 26). In jedem Fall betrachten die Bauingenieure die Belastungssituation und die Interaktion zwischen Bauwerk und dynamischer Wellenlast differenziert. Je nach zu berechnendem Bauwerksteil und abhängig von der örtlichen Situation mit ihren topografischen und klimatischen Rahmenbedingungen – beispielsweise ein Föhnsturm in Brunnen – fallen die Lasten auf ein Tragelement infolge der Wellen unterschiedlich aus. Verbindungsmittel müssen zum Beispiel häufig auftretenden Druckschlägen standhalten (Ermüdung), andere Bauteile lediglich hydrostatische Kräfte aufnehmen. Daraus ergeben sich viele Belastungskombinationen, die im Rahmen einer sorgfältigen Risikoanalyse eruiert und in einer Projektbasis dokumentiert werden müssen. •

*Richard Staubli, dipl. Bauing. dipl. Ingenieur ETH/SIA, Geschäftsleitung Staubli, Kurath & Partner;
Stephanie Matthias, dipl. Bauing., MSc ETH Bau-Ing., Staubli, Kurath & Partner*



Änderung der maximalen horizontalen und vertikalen Orbitalgeschwindigkeit beim Übergang vom tiefen ins flache Wasser.