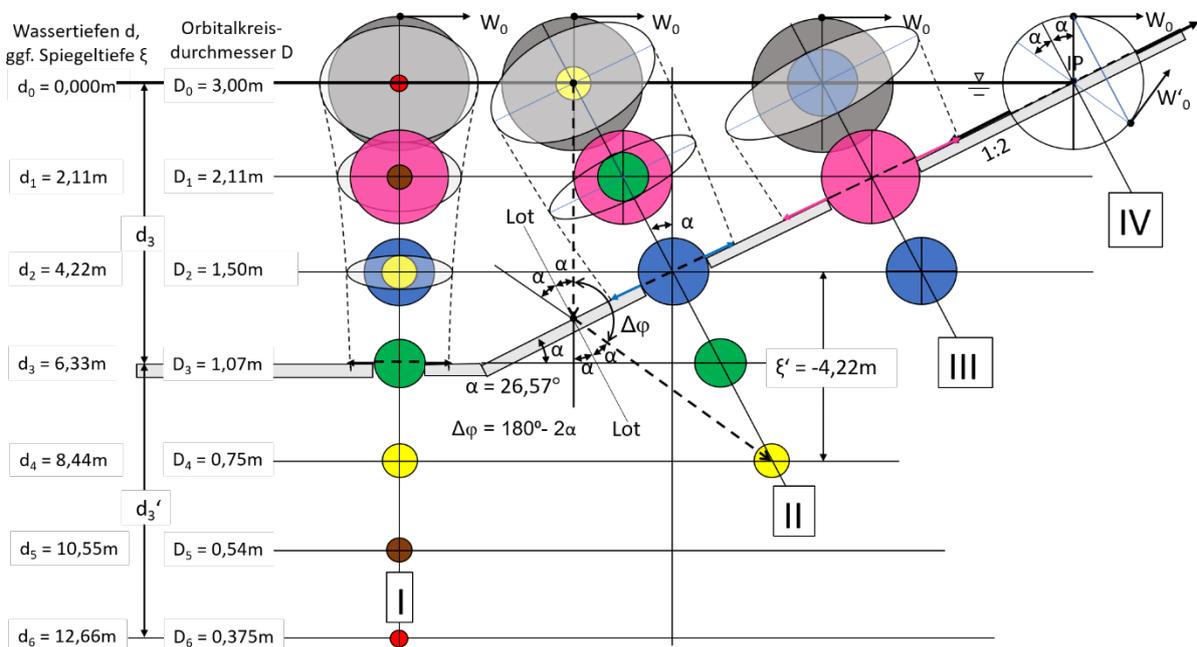


## Einfluss der Seegrundneigung auf die Orbitalbewegung im Bereich abnehmender Wassertiefe - Ein neuer theoretischer Ansatz -

Die bisher vornehmlich von Ingenieuren verwendete lineare Wellentheorie nach Airy-Laplace (1842) beschränkt sich einerseits auf die Annahme eines *ebenen Seegrundes* und verletzt andererseits den *Satz von der Erhaltung der Masse* (Kontinuitätsbedingung).

Mit dem neuen Ansatz des Autors, der eine *Erweiterung* des von Schulejkin (1956) auf *ebenen* Boden beschränkten *Spiegelungsverfahren* nunmehr auf Bodenneigungen  $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$  beinhaltet, ist dies nicht mehr der Fall. Danach interferieren die mit zirkularen Orbitalbewegungen behafteten Tiefwasserwellen mit ebenfalls zirkularen Orbitalbewegungen *geringeren* Durchmessers, welche den vom geneigten Seegrund *exponentiell reduziert reflektierten* Wellen zugeordnet sind. Unter Berücksichtigung des von der Bodenneigung abhängigen Phasensprunges  $\Delta\varphi = \pi - 2\alpha$  (Büsching 2019) zwischen einfallenden und reflektierten Wellen entstehen über geneigtem Seegrund elliptische Orbitalbahnen, deren lange Hauptachsen um den Neigungswinkel  $\alpha$  rotiert sind. Mit zunehmender Annäherung an den Boden einerseits und an den Schnittpunkt IP der Böschungsneigung mit dem Ruhewasserspiegel andererseits nehmen bezüglich einer Schichttiefe die langen Achsen der Ellipsen auf Kosten der kurzen Achsen zu bis letztere am Boden vollständig verschwinden. Dafür nehmen die örtlichen langen Achsen den doppelten Betrag der initialen Orbitalkreisdurchmesser an und im Wellenzyklus wird eine linear polarisierte Teilchenschwingung ausgeführt, vergl. Abbildung.



Prinzip der bei Anwesenheit von Wasserwellen an einer geneigten Ebene vorhandenen elliptischen Bahnen der Wasserteilchen, basierend auf der Theorie der „Exponentiell reduzierten Reflexion“ (ERR).

Analog zur *optischen* Spiegelung mit gleichgroßen Einfalls- und Ausfallswinkeln  $\alpha$ , wird hier exemplarisch bezüglich der Spiegelungsachse II von einem **vertikalen** Einfallsstrahl ausgegangen, der die geneigte Oberfläche des Seegrundes trifft und von dort auf das Lot bezogenen Ausgungswinkel  $\alpha$  reflektiert wird. Dabei wird in der negativen Spiegeltiefe ( $\xi' = -4,22\text{m}$  entsprechend

$d_4 = 8,44\text{m}$ ) der gemäß  $D = D_0 e^{-2\pi\frac{d}{L}}$  auf  $D_4 = 0,75\text{m}$  **reduzierte** Orbitalkreis-Durchmesser erhalten, vergl. Abbildung.

Da der horizontale Orbitalgeschwindigkeitsvektor  $W_0$  des *Wellenberges* auf dem Umfang des Orbitalkreises als Bezugspunkt vorausgesetzt ist, tritt der Phasensprung  $\Delta\varphi$  hier zwischen einfallendem und ausfallendem Strahl als Drehwinkel  $\Delta\varphi = 180 - 2\alpha$  auf. Werden die den betreffenden *exponentiell reflektierten* virtuellen Orbitalkreisen zuzuordnenden Geschwindigkeiten (nach Betrag und Richtung) denjenigen der betreffenden einfallenden zirkularen Orbitalbewegungen der initialen Tiefwasserwellen überlagert, resultieren die dargestellten um den Winkel  $\alpha$  rotierten elliptischen Orbitalbahnen. Analog der optischen Reflexion wurde dabei berücksichtigt, dass die Orbitalgeschwindigkeitsvektoren auf ihren Orbitalkreisen einander *entgegengesetzte* Drehrichtungen aufweisen. Das erhaltene Ergebnis ist hier prinzipiell für eine Welle der Höhe  $H = 3,0\text{m}$  und einer Länge  $L = 38,00\text{m}$  bezüglich der vorgegebenen Randbedingungen dargestellt.

Die auf die Abmessungen der zugehörigen *Modelluntersuchungen* bezogenen Darstellungen der übrigen Parameter ist der Ursprungsarbeit Büsching, Fritz (2019): „Schwingungs-Interferenzen im abgegrenzten Orbitalfeld von Meereswellen in Theorie und physikalischem Modell“ zu entnehmen: <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-201912201126-0>.

Es sei angemerkt:

Die Akzeptanz der gefundenen Ergebnisse scheint vorläufig dadurch beeinträchtigt, dass der Autor für die Analyse unregelmäßiger Wellen in seinen Modelluntersuchungen eine von ihm entwickelte relativ aufwendige spektrale Methode verwendet hat, vergl. seine früheren Veröffentlichungen. Diese ist von anderen Forschern noch kaum nachvollzogen worden.

Ein praktisch wichtiges Ergebnis, das auch den Kern der neuen Theorie widerspiegelt, besteht in der Definition des komplexen Reflexionskoeffizienten  $\Gamma = C_r e^{i\Delta\varphi}$ .

Dieser besagt, dass die Reflexion bei Wasserwellen nicht wie bisher nur allein durch das Höhenverhältnis der  $C_r = H_r / H_i$  bestimmt ist, sondern dass dabei auch noch die von der Seegrundneigung  $\alpha$  abhängige Phasenverschiebung  $\Delta\varphi$  (Phasensprung) zwischen der einfallenden und der reflektierten Welle auftritt, vergl. <http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00047022>. Für die Fourier-Komponenten  $i$  (bzw. Partialwellen) eines Energiespektrums unregelmäßiger Wellen verwendet der Autor als Betrag des Reflexionskoeffizienten den Ausdruck

$$C_{r,i} = \frac{\sqrt{E_{\max,i}} - \sqrt{E_{\min,i}}}{\sqrt{E_{\max,i}} + \sqrt{E_{\min,i}}}$$

Auch diese Besonderheit ist offenbar noch nicht hinreichend von anderen Forschern nachvollzogen worden. Da die neue Theorie mit der Kontinuitätsbedingung in Einklang ist und da der *Phasensprung*  $\Delta\varphi$  in physikalischen Modellen reproduziert werden konnte, dürfte sein Nachweis als ein Glied angesehen werden, das bisher fehlte. Gegebenenfalls könnte eine zukünftige Berücksichtigung des Phasensprungs  $\Delta\varphi$  auch bei nichtlinearen Theorien einen Paradigmenwechsel in der Brandungs-Forschung einschließlich des Tsunami-Problems bedeuten.

---

Verfasseranschrift: Prof. Dr.-Ing. Fritz Büsching, HYDROMECH, Dießelhorststr. 01, 38116 Braunschweig; <http://www.hollow-cubes.de>, Email: [buesching@hollow-cubes.de](mailto:buesching@hollow-cubes.de)  
Emeritus der Fachhochschule Bielefeld, davor habilitierter Oberingenieur der Technischen Universität Braunschweig. 16.09.2020.