

350 times the altitude of the wave, in the case of sand it is the height of the wave itself that determines the maximum depth to which the movement penetrates. This may indeed be observed with the naked eye in the smallest variety of sand-waves (namely ripple-marks) when the wind blows strongly, for the ripple-marks then move onwards in the direction of the wind. The same thing is true of dunes and dune-accumulations, the only difference being that the periodic interval increases with the mass. Whereas the movement of the aqueous wave is orbital, all its molecules partaking simultaneously in the movement, the movement of the dune is a rolling or revolving mass-movement, in which each particle of sand participates in its due turn according to its position in the mass; but before the periodic interval is completed, every individual particle that constitutes the mass has had its turn in the revolution, just as every molecule of the water participates in the orbital movement of the aqueous wave. With regard to the depth to which movement is perceptible, I would observe, that this is greater in sand than in the sea or deep lakes. In the Lake of Geneva the greatest depth to which ripple-marks have been observed is, according to Forel, 9 m. below high-water level. In the great oceans the depth to which wave-movement is propagated has theoretically no limit, although the amplitude decreases rapidly; but practically the depth to which such movement is observable cannot be especially great. In sand there is but one amplitude; for the entire mass, no matter how high it may be, takes part in the periodic movement — assuming that the circumstances are the same as those which obtain in the Desert of Tschertschen, where the depth of the wave-movement is equivalent to the general mass of the medium, that is to say it goes down to the clay foundation. In the case of sand the period is inconceivably longer, but the height of the wave is very much greater, than in the case of water; this again being dependent upon the aggregational properties. The waves of the sea reach an altitude of 15 m.; sand-waves, to speak only of those that are affected by constant winds, ascend ten times as high, and it is only such that can be compared with ordinary oceanic waves. The differences in the movement of sand and the movement of water are great, because there exist extremely great differences in the aggregational properties of the two.* Let us take a substance the aggregational properties of which

* With regard to the difference between water-waves and sand-waves O. Baschin makes the following remarks: »Ein gewaltiger Unterschied gegenüber den Wasserwellen bleibt natürlich bestehen, das ist derjenige, der seine Ursache in der Verschiedenheit des Materials hat. So leicht beweglich auch der feine Sandstaub sein mag, so hat er doch lange nicht die gleiche leichte Beweglichkeit wie eine Flüssigkeit, und dies hat zur Folge, dass nach dem Aufhören der wirkenden Ursache die in Wellenform gelegte Sandoberfläche sich nicht wieder glättet, wie das Wasser, sondern dass die einmal gebildeten Unebenheiten bestehen bleiben und nun allerdings als Hindernisse wirken und zur Wirbelbildung und dadurch verursachter weiterer Sandanhäufung führen können. Eine weitere Wirkung dieser Verschiedenheit des Materials aber besteht darin, dass die Sandwellen sich, so lange sie noch klein sind, mit dem Winde ziemlich schnell vorwärts bewegen, ähnlich wie Wasserwellen, dass dies aber aufhört, sobald sie eine beträchtliche Grösse erreicht haben. Der Grund dieses eigentümlichen Verhaltens ist darin zu suchen, dass die Fortbewegung der Sandwellen einen Massentransport bedeutet, der nur so lange mit einiger Geschwindigkeit vor sich gehen kann, als es sich um unbeträchtliche Massen handelt, während bei den Wasserwellen die einzelnen Wasserteilchen keinen translatorischen Bewegungen unterliegen, sondern nur Orbitalbewegungen an Ort und Stelle ausführen. Während bei ganz kleinen Sandrippeln noch beinahe die ganze Sandwelle in ihrer Gesamtheit sich vorwärts bewegt, besteht die langsame Vorwärtsbewegung der Dünen darin, dass die vom Wind vorwärts getriebenen Sandkörner den sanften der Luvseite zugewendeten Abhang bis zur Kammlinie hinaufgetrieben werden, um an der steilen Leeseite