

Deichverstärkung und Baugrund

Von Ernst Dittmer

Die durch den Krieg zum Erliegen gekommenen ersten Arbeiten für die Erhöhung der Seedeiche beziehungsweise für die Verbesserung ihrer Profile wurden nach dem Kriege in verstärktem Maße wieder aufgenommen. Durch die Sturmflutkatastrophe vom 1. Februar 1953 in den Niederlanden und in England rückten auch die Deiche unseres Landes stärker in den Vordergrund öffentlichen Interesses, so daß die im Gang befindlichen Deicherhöhungen in größerem Umfange als bisher in Angriff genommen werden konnten. Neue Berechnungen, die sich bemühen, den größtmöglichen Windstau, den Wellenaufwurf, den vermutlichen Betrag der positiven Niveauveränderung und andere örtlich wirksame Faktoren zu ermitteln, haben für die Deichhöhen Werte ergeben, denen die meisten Deiche an der Nordseeküste nicht entsprechen. Die Fortschritte in der Berechnung der höchstmöglichen Wasserstände bei dem Zusammentreffen aller ungünstigen Umstände haben zu den früher gültigen Richthöhen erhebliche Zuschläge erforderlich gemacht. Außerdem waren Veränderungen der Tideverhältnisse, die infolge wasserbaulicher Maßnahmen und dadurch bedingter morphologischer Umgestaltungen eintraten, zu berücksichtigen. So wurden z. B. unabhängig von den meteorologischen und hydrographischen Verhältnissen des Nordseeraums durch die Abdämmung der Eider und deren weitreichende Folgen Deichverstärkungen in diesem Gebiet notwendig. Viele Deiche haben durch Eigensetzung und Setzung des Untergrundes nicht mehr ihre ursprüngliche Sollhöhe, so daß ihre Verstärkung und Erhöhung aus mehreren Gründen erfolgen muß.

Die angestrebten Deichhöhen werden nach menschlichem Ermessen für die nächsten Jahrzehnte Sicherheit bieten. Die zur Zeit errechneten Deichhöhen mit einem weiteren Zuschlag für absolute Sicherheit zu versehen, wäre aus wirtschaftlichen Gründen kaum tragbar und würde die technischen Schwierigkeiten, die ohnehin bereits vielfältig in Erscheinung treten, weiter vergrößern. Denn der Deichverstärkung sind auch vom Boden her Grenzen gesetzt. Der Baugrund soll nicht nur tragfähig sein, nicht nur bei normalen Tiden die erhöhte Auflast, sondern auch bei höchsten Sturmfluten die zusätzlich waagrecht und senkrecht wirksamen Kräfte aufnehmen können. Als Baustoff für die Deiche muß möglichst in wirtschaftlich tragbarer Nähe genügend Boden und vor allem auch geeigneter Boden vorhanden sein.

Die Tragfähigkeit des Bodens wird in erster Linie von der geologischen Entwicklung bestimmt. Die marinen Sedimente Dithmarschens, Eiderstedts, von Teilen von Pellworm und Nordstrand sowie der Wiedingharde sind unter einer mehr oder weniger starken, verdichteten Kleidecke meist schluffig-feinsandig. Sie erleiden unter der Auflast der Deiche zwar gewisse Setzungen, die Bruchlast wird jedoch nie erreicht. Wesentlich schwieriger liegen die Verhältnisse auf den meisten Strecken in den Elbmarschen, besonders in der Wilstermarsch mit ihrem tiefgründigen, weichen Baugrund, auf einigen Strecken auf den Inseln Pellworm und Nordstrand, auf Föhr und an der Festlandsküste zwischen Husum und Südwesthörn. In allen diesen Gebieten sind am geologischen Aufbau weitgehend, zum Teil ausschließlich Brackwasserabsetze, nämlich Torfe, Faulschlamm in allen möglichen Übergängen sowie fette und sehr weiche Kleiböden beteiligt. Alle diese Sedimente verhalten sich gegenüber Belastungen außerordentlich verschieden. Reine Schilftorfe pflegen sich bei langsam steigender Auflast verhältnismäßig schnell und je nach dem bereits vorhandenen Grad der Verdichtung erheblich zu setzen. Die Verdichtung und damit die Tragfähigkeit nimmt im allgemeinen schon mit dem Baufortschritt bedeutend zu. Zu Grundbrüchen kommt es bei langsamer Bauweise nicht. Die faserige Struktur der Schilftorfe, die die Wasserabgabe begünstigt, führt bei starker Belastung zu sehr festen Böden, die an Tragfähigkeit schließlich die meisten anderen holozänen Sedimente übertreffen.

Alle als Darg bezeichneten Schilftorfe mit hohem Tonanteil setzen sich viel langsamer. Von Einfluß ist der Zersetzungsgrad der als Drainröhrchen wirksamen Schilfrhizome. Mit zu-

nehmendem Tonanteil steigt die Neigung, unter stärkerer Auflast seitlich auszuweichen. Derartige Sedimente können erstmalig mit höchstens 0,2 bis 0,3 kg/cm² belastet werden.

Die Tragfähigkeit stark zersetzter Torfe sowie von Fein- und Grobdetritusgytten und anderen Faulschlammarten mit hohem organischen Anteil, die sich häufig in alten Flußstälern aus vorflandrischer Zeit finden, ist sehr gering. Sie setzen sich zwar sichtbar im Laufe der Bauzeit, also mit zunehmender Belastung, aber meist entsprechend dem Baufortschritt nicht schnell genug und führen häufig zu spontan verlaufenden Grundbrüchen. Unter alten Deichen können solche Ablagerungen jedoch einen hohen Grad der Verfestigung angenommen haben. Sie können dann die Last einer weiteren Erhöhung ohne Gefahr aufnehmen.

Weit verbreitet und meist in engster Verbindung mit Schilftorfen sind tonige, ungeschichtete Brackwasserabsätze, die oft eine Mächtigkeit von mehreren Metern haben. Ihr Tonanteil liegt oft mit 70 bis 90 % sehr hoch, der Wassergehalt steigt häufig auf über 80 %, die Verdichtung hat trotz des teilweise beträchtlichen Alters von 4000 bis 6000 Jahren erst einen sehr geringen Grad erreicht. Auch unter Belastung verlaufen die Setzungen außerordentlich langsam. Diese Kleiböden, die größtenteils während des Verlandungsvorgangs am Ende der ausgehenden Flandrischen Transgression entstanden sind, teilweise aber auch ehemalige, während der mittelalterlichen Sturmflutkatastrophen entstandene Priele, Tiefs und Wehlen ausfüllen, sind die häufigsten Ursachen für Grundbrüche und daher besonders gefürchtet. In nahezu allen Fällen, in denen Ausquetschungen zunächst auf Torfe zurückgeführt wurden, hat es sich erwiesen, daß die Grundbrüche durch weichen Klei verursacht worden waren. Auch in den Fällen, in denen dieser Klei Torf überlagerte, war der Torf unberührt geblieben und unbeteiligt gewesen.

Als Beispiel mag ein Vorgang angeführt werden, der zu Beginn des ersten Bauabschnitts einer Deichverstärkung auf der Strecke westlich Untjehörn im Westerkoog auf Pellworm im Sommer 1953 in Erscheinung trat. Die Ausquetschung wurde dadurch begünstigt, daß die Innenberme an einen ausgedehnten Späting¹⁾ grenzte und ein Widerlager also fehlte. Während der Deich nahezu die verlangte Höhe erreicht hatte, kam es plötzlich zu einer örtlich begrenzten Rutschung. Die ganze innere Hälfte des Deichkörpers sank an einer fast senkrechten Scherfläche in die Tiefe. Die liegenden weichen Kleischichten von 2 bis 3 m Stärke wichen zum Teil seitlich aus und drückten die bereits erhöhte Innenberme und die angrenzenden Teile des Spätingbodens halbkreisförmig heraus und preßten diese durch breite Zerrungsrisse zerklüfteten Bodenmassen bis nahezu 2 m hoch. Die Abbildungen 1 und 2 veranschaulichen den Zustand nach der Rutschung. Die Grenzfläche der Ausquetschung verlief auf der einen Seite an der Grenze des verstärkten und nicht verstärkten Deiches, auf der anderen Seite führte die scharfe Begrenzung des weichen Kleis gegen sandigen Baugrund zu einer senkrecht zum Deichverlauf stehenden Scherfläche. Die Verstärkung der anschließenden Deichstrecke über dem weichen Baugrund führte im folgenden Jahr zu einer weiteren Rutschung.

Alle setzungsfähigen Böden nehmen im Laufe der Zeit an Tragfähigkeit derart zu, daß sie erhöhte Deichlasten aufzunehmen imstande sind, sofern sie langsam aufgebracht werden. Es besteht also bei gleichem geologischen Aufbau ein wesentlicher Unterschied im Verhalten des Baugrundes gegenüber Verstärkungen und Deichneubauten, besonders bei dem heute üblichen schnellen Baufortschritt.

Bei Baugrund jedoch, der aus dem beschriebenen weichen Klei besteht, nimmt die Verdichtung auch unter starker Belastung Zeiträume von Jahrhunderten und Jahrtausenden in Anspruch. Derartige Baugrundvorkommen setzen der gewünschten Deichhöhe absolute Grenzen, die bisher mit einer brauchbaren und wirtschaftlichen Methode noch nicht überwunden werden können. Die in torfigem Untergrund im Dammbau mit gutem Erfolg angewandte Methode der Sandpfahldrainage ist in dichten Kleiböden noch nicht erprobt. Sie dürfte zwar zu einer

¹⁾ Späting: eine bei früheren Deichverstärkungen an der Innenseite des Seedeichs entstandene Bodenentnahmestelle, heute meist mit dichtem Schilfbestand.

Erhöhung der Tragfähigkeit führen, aber nicht die gleiche Wirksamkeit wie in gut setzungsfähigen Böden erreichen.

Die Grenze der Belastbarkeit wurde auf der Insel Pellworm nach zuverlässigen Berichten bereits bei Deichverstärkungen zu Beginn des 19. Jahrhunderts, auf der Insel Föhr durch die Verstärkungen nach den Oktobersturmfluten des Jahres 1936 überschritten. An diesen Stellen kann von vornherein angenommen werden, daß weitere Verstärkungen zu erneuten



Abb. 1 und 2
Grundbruch infolge Ausquetschung weicher Kleinschichten bei der Deichverstärkung im Westerkoog auf Pellworm

Aufn. GERDES, 1953

Rutschungen führen. An anderen Stellen wird die Belastbarkeit durch die heutige Deichhöhe erreicht sein, sofern nicht inzwischen die Tragfähigkeit erheblich zugenommen hat, und es werden auch auf solchen Strecken Grundbrüche auftreten können, die sie bisher nicht zeigten. Selbst wenn aber, etwa auf der Grundlage bodenmechanisch ermittelter Werte, die äußerste Belastbarkeit in der Voraussicht in Anspruch genommen würde, daß die Tragfähigkeit langsam zunimmt, so sind doch die Kräfte, die durch Höchstwasserstände und Erschütterungen durch Brandung einwirken, zu berücksichtigen.

An der schleswig-holsteinischen Westküste ist im allgemeinen der Baugrund mit seinen

Eigenschaften in großen Zügen gut bekannt. Vielfach kann bei geplanten Deichverstärkungen auf vorhandene Unterlagen zurückgegriffen und dann auf besondere Untersuchungen verzichtet werden. In vielen Fällen lassen sich mit einfachen Mitteln sichere Voraussagen sowohl positiver als auch negativer Art über das Verhalten des Baugrundes machen. In Gebieten mit nicht einwandfreiem Untergrund aber empfehlen sich vorherige Baugrunduntersuchungen, deren Kosten in einem winzigen Verhältnis zu den Gesamtbaukosten stehen und auf Grund besserer Planung und vermeidbarer Fehlschläge vielfachen Gewinn bringen.

Außer der Tragfähigkeit des Baugrundes ist aber auch die Beschaffung und die Beschaffenheit des einzubauenden Bodens vielfach zu einem ernstem Problem geworden, das nicht nur die Zuverlässigkeit des zu erstellenden Deichkörpers beeinflusst, sondern zuweilen in erheblichem Maße die Baukosten. Die Anforderungen, die dabei an den Boden gestellt werden, sind durchaus nicht immer dieselben. Wenn die Außenböschung nicht den heutigen Erfahrungsgrundsätzen entspricht, wird man eine Deichverstärkung mit einer Verbesserung des Besticks verbinden und eine Außenverstärkung bevorzugen. Sehr sandige Böden, die gegen Wellenschlag nicht widerstandsfähig genug sind, sowie sehr fette Kleiböden, die bei anhaltender Trockenheit stark schrumpfen und bei starker Nässe erweichen, sind hier unerwünscht. Am besten eignet sich ein halbfetter, bröckeliger und schon verdichteter Kleiboden, der außerdem möglichst frei von pflanzenschädlichen Stoffen sein soll, damit eine möglichst schnelle Durchwurzelung stattfinden kann. Derartige Kleiböden gibt es im Vorland und in der bedeckten Marsch, jedoch in beiden Gebieten nicht überall. Die Mächtigkeit guter Vorkommen ist meist auf 0,75 bis 1,50 m begrenzt. Da man aber im allgemeinen bestrebt sein wird, Entnahmeflächen in der wertvollen Marsch aus Gründen einer rationellen Betriebsweise so klein wie möglich zu halten, werden auch die tieferen Schichten, die gewöhnlich einen ganz anderen Charakter haben, in Anspruch genommen. Leider sind sie oft für denselben Zweck nicht brauchbar. Getrennter Ausbau und getrennte Verwendung aber lassen sich selten technisch durchführen. Torfe und Faulschlammbildungen scheiden ganz aus, die Vermischung von sandigen Schichten mit fetterem Klei ist sehr schwer zu erreichen, weiche und fette Kleiarten lassen sich schwer verarbeiten, sie bedingen starke Differenzen zwischen Rohbau- und Fertigmaßen und erheblich höheren Aufwand an Arbeits- und Transportleistung. Zudem enthalten sie fast immer stark giftige Schwefelverbindungen und sind zumindest für Ansaat ganz ungeeignet. Alle dadurch bedingten Schwierigkeiten werden nicht in allen Fällen zu umgehen sein, wenn nämlich kein anderer und besserer Boden zur Verfügung steht. Zuweilen wird jedoch zu überlegen sein, ob nicht ein längerer Transport besseren Bodens rationeller ist als die Betriebsweise, die bei Einsparung an Baustelleneinrichtungs- und Transportkosten erhebliche Aufwendungen für Schrumpfungen, Rutschungen und sonstige Betriebserschwerungen erforderlich macht, den Baufortschritt hemmt und das Erreichen des Bauziels vor Anbruch der ungünstigen Jahreszeit oft unmöglich macht. Eine Untersuchung der zu verwendenden Böden und Entnahmeflächen sollte unter allen Umständen stets erfolgen. Sowohl der verantwortlichen Bauleitung als auch dem ausführenden Unternehmer müssen die Eigenschaften des Bodens bekannt sein, wenn es nicht zu meistens vermeidbaren Mißerfolgen und Auseinandersetzungen kommen soll.

Für Innenverstärkungen werden meistens weniger hohe Ansprüche gestellt. Magere Kleiböden lassen sich besonders gut verarbeiten. Selbst schluffige und schluffig-feinsandige Böden können eingebaut werden. Eine abdeckende Schicht guten Mutterbodens ist allerdings immer erwünscht. Sehr wenig geeignet sind aber gerade hier fette, weiche Kleiböden, da sie abgesehen von den Verarbeitungsschwierigkeiten und hohen Schrumpfmäßen bei dem auf der Innenseite der Höhe nach meist stärkeren Baufortschritt schlecht austrocknen, deswegen leicht zu Betriebserschwerungen oder häufigen Rutschungen führen, die wegen des erheblich größeren Böschungswinkels an der Innenböschung besonders begünstigt werden²⁾. Da an der Innenseite eine Soden-

²⁾ Die unter Berücksichtigung der Bodenverhältnisse günstigste Neigung der Außen- und Innenböschung ist Aufgabe wasserbaulicher und bodenmechanischer Untersuchungen. Siehe den Aufsatz von M. PETERSEN in diesem Heft.

abdeckung meistens nicht vorgenommen werden kann, sollten nur Böden eingebaut werden, die kalkreich sind und aus denen gegebenenfalls vorhandene pflanzenschädliche Stoffe schnell ausgeschwemmt werden können.

Es ist selbstverständlich, daß außer den qualitativen Eigenschaften des Bodens auch die jeweils wirksamen klimatischen Verhältnisse berücksichtigt werden müssen. Ein Boden, der in den Monaten April bis Juli noch mit bestem Erfolg eingebaut werden kann, kann zu einem späteren Zeitpunkt, wenn die Niederschläge die Verdunstung übersteigen, unüberwindliche Schwierigkeiten bereiten.

Der Fortschritt in der Entwicklung des Deichbaus hat dazu geführt, daß an die Stelle des mit seiner Scholle verwachsenen Marschbauern, der nach jahrhundertelanger Tradition und Erfahrung seinen Deich mit Spaten, Störte und Karre baute, der technische Großeinsatz getreten ist, dessen Leistung nach Menge und Zeit zwar überlegen ist, der aber ohne geologische, bodenkundliche und biologische Überlegungen keinen Deich zustande bringt, dessen Beschaffenheit allen geforderten Ansprüchen genügt.