



Dichtungssysteme in Deichen

Dr.-Ing. Dirk Heyer
Dipl.-Ing. Christian Schmutterer

Nach den verschiedenen großen Hochwasserereignissen in den vergangenen Jahren werden zur Verbesserung des Hochwasserschutzes in den betroffenen Bundesländern Deichertüchtigungsmaßnahmen mit der Anlage von Dichtungssystemen durchgeführt. Für die Auswahl und Bemessung von Dichtungssystemen ist eine detaillierte geotechnische Erkundung des Altdeiches einschließlich des Untergrundes notwendig. In Abhängigkeit von den gegebenen Randbedingungen können wasserseitige oder innenliegende Dichtungen zum Einsatz kommen, die unterschiedliche technische und wirtschaftliche Vor- und Nachteile aufweisen. Das in diesem Beitrag vorgestellte DWA-Arbeitsthema soll eine Hilfestellung bei der Auswahl, Planung und Ausführung von derartigen Dichtungssystemen geben.

1 Einleitung

Innerhalb des Gemeinschaftsausschusses von DGGT und ATV-DVKW, Arbeitskreis 5.4 bzw. Fachausschuss WW-7 "Dichtungssysteme im Wasserbau", wurde durch eine Arbeitsgruppe ein Bericht zum speziellen Thema der Dichtungssysteme in Deichen erarbeitet (DWA-AT, 2005), der Anfang 2005 als DWA-Arbeitsthema veröffentlicht werden soll. Ziel des DWA-Arbeitsthemas ist es, eine Hilfestellung bei der Planung und Ausführung von Deichbaumaßnahmen im Rahmen des Hochwasserschutzes an den Fließgewässern in Deutschland zu geben. Im Arbeitsbericht werden deichbauspezifisch die erforderlichen geotechnischen Erkundungen sowie die Auswahl und die Bemessung von Dichtungssystemen erläutert. Es werden die Sickerwasserströmungen im Deich in Abhängigkeit von der Anordnung der verschiedenen Dichtungselemente und der Untergrundeigenschaften sowie ggf. erforderliche Maßnahmen bei hydraulisch ungünstiger Bodenbeschaffenheit beschrieben. Es werden Vor- und Nachteile bezüglich der Ausführung der Dichtungen sowie in Hinblick auf die Wirksamkeit erläutert. Anhand von Fallbeispielen werden in der Praxis ausgeführte Deichertüchtigungsmaßnahmen vorgestellt.

Bei der Aufstellung des Arbeitsberichtes haben die folgenden Arbeitsgruppenmitglieder mitgewirkt: Dipl.-Ing. Ekehard Bielitz, Pirna, Dipl.-Ing. Jens Breitenstein, München, Dipl.-Ing. Petra Fleischer, Karlsruhe, Dr.-Ing. Jörg Franke, Hamburg, Dipl.-Ing. Ronald Haselsteiner, München, Prof. Dr.-Ing. Georg Heerten, Lübbecke, Dr.-Ing. Dirk Heyer, München (Sprecher), Prof. Dr.-Ing. habil. H.-B. Horlacher, Dresden, Dr.-Ing. Frank Kleist, München, Dipl.-Ing. Christian Schmutterer, Pirna, Dr.-Ing. Barbara Tönnis, Bad Vilbel.

2 Geotechnische Erkundung, Erfassung des Deich-Ist-Zustandes

Zur Planung von Dichtungssystemen in Deichen sind hinreichende Informationen über den Deich sowie den Untergrund erforderlich. Insbesondere sind Kenntnisse zum Bodenaufbau, zu den Grundwasserverhältnissen, zur Deichgeometrie sowie zu vorhandenen Sicherungselementen von entscheidender Bedeutung. Bei Altdeichen muss teilweise von einem sehr heterogenen Deichaufbau ausgegangen werden, der mit den geplanten Erkundungsmaßnahmen hinreichend genau zu erfassen ist.

Zunächst sind Altunterlagen dahingehend zu bewerten, ob die zur Verfügung stehenden Informationen für die zu planende Maßnahme ausreichen. Anderenfalls sind zusätzliche Baugrundaufschlüsse wie Schürfe, Bohrungen und Sondierungen auszuführen [DIN 4020, DIN 4094]. Mit Hilfe von Bohrungen können Schichtungen im Boden zuverlässig erkannt werden. Maßgebende bodenmechanische Kennwerte wie Durchlässigkeitsbeiwert, Scherparameter oder Steifemodul sind im Labor anhand von Bodenproben [DIN 4021] zu bestimmen. Sondierungen können zur Beurteilung der Lagerungsdichte/Konsistenz sowie zur Bestimmung von Schichtgrenzen herangezogen werden. Für Voruntersuchungen sowie für die Planung von punktuellen Aufschlüssen können auch geophysikalische Verfahren, wie z.B. Geoelektrik, Georadar oder Seismik, angewendet werden. Hinsichtlich der für die Planung wichtigen Erkundungsziele ist im DWA-AT (2005) ein Fragenkatalog enthalten.

3 Einwirkungen auf Dichtungselemente, Anforderungen und Auswahlkriterien für Dichtungen

Für die Bemessung von Dichtungen in Deichen sind alle relevanten Einwirkungen und die daraus resultierenden Lastfälle nach DIN 19712 zu betrachten.

Zu den Einwirkungen gehören Verkehrslasten, Eigenlast, Bemessungshochwasserstand (BHW), fallender Wasserspiegel, ggf. Versagen der Dichtung oder Dränen, Sackungen sowie Windwurf und Durchwurzelung.

Ein maßgebender Faktor für die Dimensionierung von Deich und Dichtung ist die Begrenzung der durchsickernden Wassermenge. Die Wirksamkeit verschiedener Dichtungselemente lässt sich dabei mit Hilfe der Permittivität ψ (Gl.1) bewerten.

$$\Psi = k/d = q / \Delta h \quad (1)$$

mit k	Durchlässigkeitsbeiwert	[m/s]
d	Dicke der Dichtung	[m]
q	Flächenbezogener Durchfluss	[m ³ / (s·m ²)]
Δh	Potenzialdifferenz	[m]

Neben der Permittivität sind an die Dichtungssysteme weitere Anforderungen bezüglich Erosions- und Suffosionssicherheit sowie Langzeit- und Witterungsbeständigkeit (Frost, UV-Strahlung) zu stellen. Relevante Anforderungen können sich auch hinsichtlich der Beständigkeit gegen mechanischen (z.B. Wellen, Steinschlag), chemischen und biologischen (Mikroorganismen, Wühltiere, Durchwurzelung, usw.) Angriff sowie der Festigkeit und Verformbarkeit (ohne Nachteile für die Materialeigenschaften) ergeben.

Für die Auswahl eines geeigneten Dichtungssystems sind technische und wirtschaftliche Gesichtspunkte zu betrachten. Wesentliche technische Kriterien sind u.a. die Anforderungen an das Dichtungselement (statische und hydraulische Wirksamkeit), der Aufbau und die Beschaffenheit des Deichkörpers und des Untergrundes sowie die Herstellbarkeit. Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit ist neben den Bauaufwendungen insbesondere die Verfügbarkeit geeigneter Böden sowie ggf. der Aufwand zur Entsorgung von Aushubmassen zu betrachten.

4 Dichtungen in Deichen

Dichtungen in Deichen vermindern eine Strömungsbelastung des hinter der Dichtung liegenden Deichkörpers und erhöhen damit die Standsicherheit des Deiches.

4.1 Anordnung von Dichtungen

Zur Sanierung und Ertüchtigung können an Deichen prinzipiell wasserseitige Oberflächendichtungen aufgebracht oder innenliegende Dichtungselemente eingebaut werden. Dabei können die Dichtungen als so genannte „vollkommene“ Dichtungen ausgebildet werden. Bei der Anordnung vollkommener Dichtungen muss jedoch der Einfluss auf die natürliche Grundwasserströmung in Zeiten normaler Wasserstände beachtet werden. Häufig ist aus diesem Grund nur die Anwendung „unvollkommener“ Dichtungen zulässig, bei der zwar der Deich, nicht aber der Untergrund vollständig abgedichtet wird. Beispiele für unvollkommene Dichtungen sind z.B. Oberflächendichtungen mit wasserseitigem Dichtungsteppich im Vorland. Die Wirksamkeit einer solchen Dichtung besteht in der Verlängerung des Sickerweges und damit in einer Verringerung der Strömungsbelastung des Deichkörpers hinter der Dichtung. Bezüglich der Dichtungswirksamkeit bei unterschiedlichen Dichtungsanordnungen wird auf den Tagungsbeitrag „Funktionsweise unterschiedlicher Dichtungssysteme in Deichen“ von Frau Fleischer und Herrn Dr. Franke verwiesen, in dem die Problematik ausführlich behandelt wird.

4.2 Wasserseitige Oberflächendichtungen an Deichen

Als wasserseitige Oberflächendichtungen werden in der Regel mineralische Dichtungen (Lehm und Ton) oder geosynthetische Tondichtungsbahnen (Bentonitmatten) verwendet. Die Oberflächendichtungen werden auf der wasserseitigen Böschung (Neigung 1:3 oder flacher) des durchlässigen Deichstützkörpers aufgebracht und müssen über den Bemessungswasserstand hinaus reichen.

Als mineralische Oberflächendichtungen werden natürliche, gering durchlässige Böden verwendet. Es lassen sich auch künstlich zusammengesetzte Dichtungsstoffe einsetzen, die vor Ort (mixed-in-place) oder in Mischanlagen (mixed-in-plant) hergestellt werden. Im eingebauten Zustand sollte der Boden eine Permittivität von $\psi=1 \cdot 10^{-8}$ 1/s oder kleiner aufweisen. Der Durchlässigkeitsbeiwert k des Dichtungsmaterials sollte mindestens zwei Zehnerpotenzen kleiner als der des Stützkörpers sein. Die mineralische Dichtung ist insbesondere aufgrund der Empfindlichkeit mineralischer Dichtungen gegenüber Frost- und Tauwechsel sowie Austrocknung durch eine Deckschicht zu schützen. Bei der Planung einer mineralischen Dichtungsschicht ist zu beachten, dass sich durch Wühltiere, Durchwurzelung oder Windwurf die Dichtungswirkung verringern kann und ggf. konstruktive

mit Einsatz von GTD zeigt die Abbildung 3. Im dargestellten Fall war die Ertüchtigung mit einer mineralischen Oberflächendichtung aufgrund der Kosten für den Antransport unwirtschaftlich, da für die Dichtung geeigneter Lehm oder Ton in der näheren Umgebung nicht verfügbar war. Das Material für die Deckschicht über der GTD aus Kiessand wurde direkt aus der angelandeten Kinzigsohle gewonnen.



Abbildung 3: Verlegte GTD-Bahnen mit Deckschicht, Sanierung der Kinzigdeiche
(Quelle: Ingenieurbüro BBG, Lemförde)

4.3 Innenliegende Dichtungselemente

Als innenliegende Dichtungselemente in Deichen können Spundwände, Einphasenschlitzwände, Schmalwände oder Bodenvermörtelungen zum Einsatz kommen.

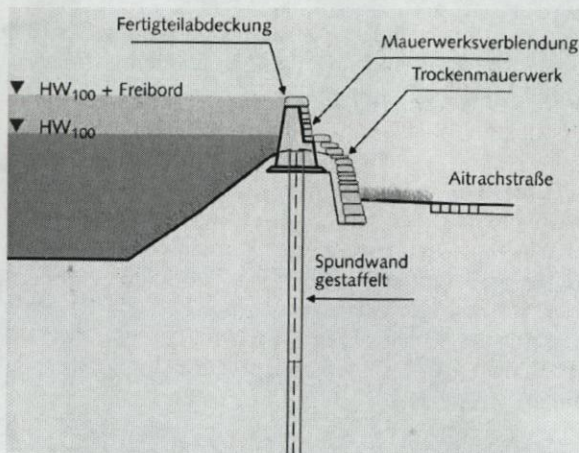


Abbildung 4: Deichertüchtigung/-erhöhung mittels Spundwand und aufgesetzter Betonmauer, Hochwasserschutz Aiterbach, Bayern (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Deggendorf)

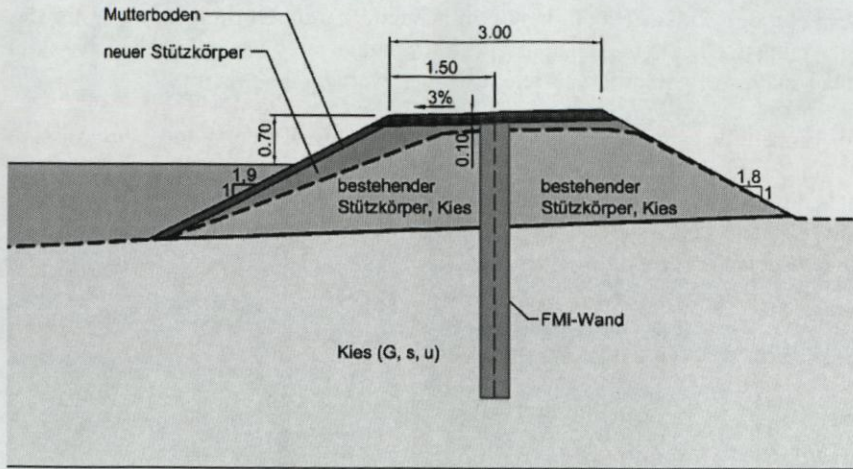
Spundwände können in nahezu alle Böden bis in Tiefen von 30 m eingebracht werden. Die Wahl des Einbringverfahrens (Rammen, Rütteln oder Einpressen, ggf. Vorbohren) ist von den anstehenden Bodenarten abhängig. Zur Herstellung der Spundwand ist für das schwere Trägergerät ein tragfähiger Untergrund als Arbeitsebene erforderlich. Ein Vorteil von Spundwänden ist die vergleichsweise einfache Anschlussmöglichkeit von weiteren permanenten oder temporären Dichtungselementen. Abbildung 4 zeigt ein Beispiel für den Einsatz einer Spundwand in Kombination mit einer aufgesetzten Betonwand zur Deichertüchtigung/-erhöhung. In dem dargestellten Anwendungsfall war eine erdbautechnische Lösung aufgrund der beengten Platzverhältnisse durch die angrenzende Siedlungsbebauung nicht möglich.

Bei einer Einphasenschlitzwand wird entlang der Deichachse der Boden in Schlitzen ausgehoben und mit einer Bentonit-Zement-Suspension gefüllt. Die Herstellung von Einphasenschlitzwänden ist mit Ausnahme von sehr eng gestuften Kiesen in nahezu allen Lockergesteinen ausführbar. Im Deichbau werden hierzu zwei Verfahren angewendet. Bei geringeren Tiefen bis ca. 7 m werden die Schlitze mit einem Tieflöffelbagger von der Stirnseite des Schlitzes von der Deichkrone aus errichtet. Für größere Tiefen werden Seilbagger eingesetzt, die vom Fuß des Deiches arbeiten. Die Herstellung erfolgt im Pilgerschrittverfahren. Für die Abtragung von Lasten können Spundbohlen oder Stahlträger in die noch nicht abgebundene Suspension eingestellt werden.

Zur Herstellung von Schmalwänden wird der Boden durch das Einbringen von Doppel-T-Stahlprofilen vollständig verdrängt. Während des anschließenden Ziehens der Profile wird eine Suspension (Zement, Bentonit und Steinmehl) über Injektionsleitungen in den entstandenen Hohlraum eingepresst. Durch Überschneiden der Flansche entsteht eine Wand mit Dicken von 8 bis 30 cm. Schmalwände können bis in Tiefen von ca. 30 m eingebracht werden. Die Herstellung von Schmalwänden ist insbesondere in Kiesen und Grobsanden möglich. Eine Weiterentwicklung dieser Technologie zur Anwendung in Feinsanden und bindigen Böden stellt die düsenstrahlunterstützte Schmalwand dar.

Innenliegende Dichtungen in Deichen können auch durch Bodenvermörtelung hergestellt werden. Unter dem Begriff der Bodenvermörtelung werden Verfahren zusammengefasst, bei denen das Korngefüge des Bodens in-situ vollständig zerstört und mit einer Zementsuspension versetzt wird. Die verschiedenen Verfahren [u.a. mixed-in-place (MIP), soil mixing wall (SMW), Fräs-Misch-Injektion (FMI), cutter soil mixing (CSM)] unterscheiden sich in den maschinentechnischen Verfahren der Vermörtelung des Bodens. Der Großteil des Bodens verbleibt bei allen Verfahren im Untergrund. Die Bodenvermörtelung kann in nahezu allen Böden zum Einsatz kommen. Durch eine gezielte Einstellung der Rezeptur kann das Spannungs-Verformungsverhalten an das Verformungsverhalten des umgebenden Bodens angepasst werden. Durch das Einstellen von Stahlträgern in die frisch hergestellte Wand sind ebenfalls das Abtragen statischer Lasten und der Anschluss von permanenten oder temporären Dichtungselementen an der Deichkrone möglich.

Abbildung 5 zeigt die Deichertüchtigung mittels einer FMI-Wand. In dem dargestellten Beispiel erfolgte die Ertüchtigung im Rahmen einer Unterhaltungsmaßnahme (keine Erfordernis für Genehmigungsverfahren). Die ursprüngliche Geometrie des Deiches konnte dabei weitgehend erhalten bleiben. In der Planung wurde aus diesem Grund eine Überströmung des Deiches im Katastrophenfall bzw. ein teilweiser Stützkörperverlust berücksichtigt. Um ein plötzliches Versagen des Deiches ausschließen zu können, sollte die einzubauende Dichtwand statisch wirksam ausgebildet werden. Für die geforderte statische Wirksamkeit wurden im Abstand von 2,40 m Stahlträger IPE 160 eingestellt.



Seeton (T, g, s)

Abbildung 5: FMI-Dichtwand, Deichinstandsetzung an der Mangfall, Aiblinger Au, Bayern (Quelle: Ingenieurbüro SKI, München)

4.4 Maßnahmen bei hydraulisch ungünstiger Untergrundbeschaffenheit

Eine ungünstige Untergrundbeschaffenheit stellen beispielsweise stark durchlässige Schichten im Untergrund des Deichkörpers dar. Im Hochwasserfall kann es im Deichhinterland aufgrund des geringen Druckabbaus zu Sohlaufbrüchen kommen. Liegen derartige Untergrundverhältnisse vor, sind entsprechende Sicherungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen anzuwenden.

Eine mögliche, zumeist kostengünstige Maßnahme sind landseitig aufgebrachte Auflastfilter. Hierbei ist jedoch auf eine Vermeidung der Verlagerung der Problembereiche zu achten.

Eine andere Möglichkeit, die Druckhöhe im Deichhinterland zu vermindern, kann durch die Anlage eines Dichtungsteppichs im Vorland (Verlängerung des Sickerweges) erreicht werden.

Neben der Abdichtung des Vorlandes besteht auch die Möglichkeit, durch vertikale Dichtungselemente den Sickerweg wirkungsvoll zu verlängern. Um einen Zufluss des Grundwassers zum Gewässer zu erhalten, werden diese in der Regel nicht bis in die undurchlässigen Stauer geführt (unvollkommene

Abdichtung). Es ist jedoch darauf zu achten, dass durch die Einschnürung der Strömungsfläche keine unzulässigen Strömungsgeschwindigkeiten und somit lokal suffosionsgefährdete Bereiche erzeugt werden.

In Einzelfällen reicht es zur Verbesserung des Untergrundes aus, dessen Durchlässigkeit zu reduzieren. In Abhängigkeit von den Randbedingungen kann dies durch das Einmischen von entsprechenden Körnungen, ggf. in Verbindung mit Bindemitteln sowie bei nicht zu tief anstehenden Schichten durch Bodenaustausch erreicht werden.

5 Literatur

DWA – Arbeitsthema (DWA-AT) : Dichtungssysteme in Deichen (Veröffentlichung Anfang 2005).

Autoren:

Dr.-Ing. Dirk Heyer

Dipl.-Ing. Christian Schmutterer

Zentrum Geotechnik
TU München
Baumbachstraße 7
D 81245 München

Landestalsperrenverwaltung des
Freistaates Sachsen (LTV)
Bahnhofstraße 14
D 01796 Pirna

Tel.: ++49 – 89 – 28927134

Tel.: ++49 – 3501 – 796 490

Fax: ++49 – 89 – 28927189

Fax: ++49 – 3501 – 796 108

E-Mail: d.heyer@bv.tum.de

christian.schmutterer@ltv.smul.sachsen.de