

Funktionsweise unterschiedlicher Dichtungssysteme in Deichen

Dipl.-Ing. Petra Fleischer

Dr.-Ing. Jörg Franke

Der gemeinsame Fachunterausschuss WW 7-3 der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), der Hafenbautechnischen Gesellschaft (HTG) und der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) hat aus aktuellem Anlass einen Bericht zur Thematik „Dichtungssysteme in Deichen“ erarbeitet, der im Frühjahr 2005 als Arbeitsthema der DWA veröffentlicht wird. In dem vorliegenden Beitrag werden ausgewählte Empfehlungen aus diesem Fachbericht anhand der Funktionsweise unterschiedlicher Dichtungssysteme in Deichen erläutert. Es werden verschiedene Anordnungen von Dichtungen im Deichkörper und Untergrund diskutiert. Da in der Praxis eine Anbindung der Deichdichtung an gering durchlässige Schichten im Untergrund meist nicht möglich ist, werden insbesondere die Auswirkungen dieser „unvollkommenen“ Dichtungen auf die Durchströmung von Deich und Untergrund im Hochwasserfall dargestellt.

1 Allgemeines

Die außergewöhnlichen Hochwasserereignisse in den letzten Jahren haben sehr drastisch die Bedeutung funktionsfähiger Deiche für den Hochwasserschutz der angrenzenden Gebiete gezeigt. Vielerorts ist hoher volkswirtschaftlicher Schaden durch Deichbrüche entstanden. Die Ursachen für lokale Deichversagen liegen unter anderem darin, dass mit den aufgetretenen extremen Hochwassern vielfach das Bemessungshochwasser der Deiche nicht nur hinsichtlich Wasserstand, sondern auch Zeitdauer überschritten wurde. Außerdem entspricht der aktuelle Zustand der zum Teil sehr alten Schutzbauwerke nicht überall den heutigen technischen Anforderungen. In großem Umfang sind aus diesen Gründen Sanierungsmaßnahmen an bestehenden Deichanlagen und zum Teil auch ein Neubau von Deichen erforderlich.

Die Standsicherheit der Deiche hängt maßgebend von den Strömungsverhältnissen in Deichkörper und Untergrund im Hochwasserfall ab. Eine

Möglichkeit der Verringerung der Beanspruchung der Deiche infolge Sickerströmung besteht in der Anordnung von Dichtungen im Deich bzw. Untergrund. Die anwendbaren Dichtungssysteme sind hinsichtlich Art und Anordnung sehr vielfältig, in Abhängigkeit von den jeweils vorhandenen Randbedingungen unterschiedlich in ihrer Wirkungsweise und deshalb auch nicht in jedem Fall sinnvoll. Um dem planenden Ingenieur bei der Sanierung und beim Neubau von Deichen zur Problematik von Dichtungen eine Hilfestellung zu geben, wurde von einer Arbeitsgruppe innerhalb des Gemeinschaftsausschusses von DGGT, HTG und DWA, Arbeitskreis 5.4 bzw. Fachausschuss WW-7 „Dichtungssysteme im Wasserbau“ ein Bericht [DWA-ARBEITSTHEMA, Entwurf 2004] zum Thema „Dichtungssysteme in Deichen“ erarbeitet. Dieser Bericht wird in einem weiteren Beitrag dieses Kolloquiums in einer Übersicht vorgestellt [HEYER, 2005]. Im vorliegenden Beitrag wird auf einen besonderen Aspekt des Berichtes, der die Anordnung von Dichtungen im Deich und Untergrund behandelt, näher eingegangen. Insbesondere die Auswirkungen „unvollkommener“ Dichtungen auf die betreffenden Strömungsverhältnisse und auf die Standsicherheit des Deiches werden erläutert.

2 Besonderheiten von Dichtungen in Deichen

Im Gegensatz zu den ständig eingestauten Dichtungen in Stauhaltungsdammen werden Dichtungen in Deichen nur im Hochwasserfall beansprucht. Die überwiegende Zeit liegen Deiche quasi „trocken“. Erst im Hochwasserfall müssen sie als Staubauwerke fungieren und das Hinterland vor Überflutung schützen. Eine Schwächung der Dichtungswirkung durch mögliche Austrocknung, Frosteinwirkung bzw. Beeinflussung durch Tiere oder Wurzeln zwischen zwei Hochwassern muss ausgeschlossen werden. Dementsprechend sind in dieser Hinsicht besondere Anforderungen an Art und Konstruktion der Dichtungen für Deiche zu stellen [DWA-ARBEITSTHEMA, Entwurf 2004].

Ein wesentlicher Aspekt bei der Beurteilung der Sicherheit von Deichen ist die Entwicklung der Aufsättigung des Deichkörpers. Bei einer relativ kurzzeitigen Einwirkung des Hochwassers kann sich bei entsprechenden Randbedingungen ein stationärer Strömungszustand im Deich und Untergrund gar nicht ausbilden. Das kann zum Beispiel der Fall sein, wenn Deich und Untergrund relativ undurchlässig sind. Die Sickerströmungsbelastung bleibt dann unter der maximal möglichen. Bestehen Deich und Untergrund jedoch überwiegend aus Sanden oder Kiesen, muss auch bei kurzzeitigen Hochwassern bereits von stationären Zuständen ausgegangen werden [FRANKE, STEIN 2003]. Durch

den Einbau von Dichtungen kann bei entsprechenden Randbedingungen erreicht werden, dass sich stationäre Strömungszustände verzögert ausbilden.

Die größte Wirksamkeit der Dichtung könnte erreicht werden, wenn Deich und Untergrund einschließlich einer möglichen Verbindung zum Flussbett vollständig abgedichtet würden. Dies ist in der Praxis jedoch meist nicht zu realisieren. Aus wasserwirtschaftlichen Gründen ist es oft nicht zu zulässig, dass durch eine Abdichtung der natürliche Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser unterbunden wird. Deshalb werden in den überwiegenden Fällen „unvollkommene“ Dichtungen ausgeführt, die den Untergrund nur teilweise abdichten. Das bedeutet jedoch, dass im Hochwasserfall eine Unterströmung der Dichtung erfolgen kann, bei entsprechenden Randbedingungen kann das auch eine Durchströmung des Deichkörpers zur Folge haben.

Beim Hochwasserrückgang sind Dichtungen in Deichen der Beanspruchung durch Wasserspiegelabsenkungen ausgesetzt. Erfolgt der Hochwasserablauf schnell, kann insbesondere bei natürlichen Oberflächendichtungen die Standsicherheit der wasserseitigen Böschung durch das Auftreten von Porenwasserüberdrücken in der Dichtung herabgesetzt werden. Außerdem können zeitweise Wasserüberdrücke hinter der Dichtung im Deichkörper auftreten.

Die in Deutschland vorhandenen Deiche sind vielfach sehr alte Bauwerke. Sie wurden im Laufe der Zeit immer wieder nach Hochwassern saniert und an neue Randbedingungen angepasst. Der Aufbau ist häufig inhomogen und oft nicht genau bekannt. Das bedeutet, dass vor einer Sanierung in ausreichendem Maß eine Erkundung von Deich und Untergrund erfolgen muss. Das gilt insbesondere dann, wenn vorgesehen ist, nachträglich Dichtungen einzubauen.

3 Dichtungssysteme

Als Dichtungssysteme in Deichen können innenliegende Dichtungen – Dichtwände bzw. Kerndichtungen oder Oberflächendichtungen im Bereich der wasserseitigen Böschung und gegebenenfalls zusätzlich im Deichvorland zur Anwendung kommen. Oft ist eine Kombination aus beiden sinnvoll. Beispiele für mögliche Anordnungen von Dichtungen in Deichen sind:

- Oberflächendichtung mit einem Dichtungsteppich im Vorland,
- Oberflächendichtung mit einer Dichtungswand am Böschungsfuß,
- Dichtungswand im Deichinneren.

Als Oberflächendichtungen werden in der Regel rein mineralische Dichtungen - zum Beispiel Tondichtungen oder geosynthetische Tondichtungsbahnen - angewendet. Diese müssen mit entsprechenden Deckschichten vor Austrocknung und Frosteinflüssen sowie Wurzeln und Tierbefall geschützt werden. Als Dichtwände sind Schlitz- und Schmalwände sowie Spundwände zu nennen. Einige Dichtwände können zusätzlich zur Dichtungsfunktion statische Belastungen aufnehmen – etwa im Fall einer luftseitigen Böschungsrutschung. Mögliche Erosionskanäle im Deichkörper oder Untergrund können mit einer Dichtwand unterbrochen werden. Anwendbar ist auch eine Bodenvermörtelung [DWA-ARBEITSTHEMA, Entwurf 2004].

4 Wirksamkeit unterschiedlich angeordneter Dichtungssysteme

Durch die Anordnung von Dichtungen im Deich und Untergrund kann die Sickerströmungsbelastung des hinter der Dichtung liegenden Deichkörpers verhindert bzw. vermindert oder verzögert werden. Neben der Reduzierung der Durchflussmengen wird der hydraulische Gradient nach Betrag und Richtung verändert. Dabei ist zu beachten, dass durch den Einbau einer Dichtung lokal auch erheblich größere hydraulische Gradienten auftreten können - z.B. am Fuß einer Dichtwand.

Mit „vollkommenen“ Dichtungen kann die größte Wirksamkeit hinsichtlich der Deichsicherheit erreicht werden. Diese dichten Deich und Untergrund vollständig ab. Wesentlich häufiger müssen aus vorgenannten Gründen „unvollkommene“ Deichdichtungen angewendet werden. Dabei wird zwar meist der Deich, nicht aber der durchlässige Untergrund vollständig abgedichtet. Beispiele für unvollkommene Dichtungen sind Oberflächendichtungen mit wasserseitigem Dichtungsteppich im Vorland oder mit einer am Dammfuß angeschlossenen Dichtwand, die nicht in undurchlässige Schichten im Untergrund einbindet. Möglich sind auch innenliegende Dichtwände, die bereits im Grundwasserleiter enden. Eine Unterströmung der Dichtung ist dementsprechend möglich. Die Wirksamkeit einer solchen Dichtung besteht in einer Verlängerung des Sickerweges und damit in einer Verringerung der Sickerströmungsbelastung des Deichkörpers hinter der Dichtung. Es muss jedoch in der Regel der Nachweis geführt werden, dass mit der erzielten Sickerwegsverlängerung die Standsicherheit der luftseitigen Böschung ausreichend gegeben ist, ein hydraulischer Grundbruch auf der Luftseite ausgeschlossen werden kann und Materialtransport (Suffosion und Erosion) im Deich und Untergrund verhindert wird. Ansonsten sind zusätzliche konstruktive

Maßnahmen wie beispielsweise das Anordnen von Auflastfiltern im Bereich der landseitigen Deichböschung bzw. Deichvorlandes erforderlich. Hinsichtlich eines möglichen Materialtransports ist zu berücksichtigen, dass bei Einbau einer Dichtwand im Untergrund aufgrund der lokalen Querschnittseinengung des Grundwasserleiters lokal größere Strömungsgeschwindigkeiten auftreten können als vorher.

Eine Einbindung der Deichdichtung in eine vielfach vorhandene oberflächennahe Auelehmschicht (Abb. 1) bildet auch nur eine „unvollkommene“ Dichtung, wenn unter der Auelehmschicht durchlässige Böden vorhanden sind, die mit dem Fluss korrespondieren. Im Hochwasserfall erfolgt dann eine schnelle Unterströmung der Deiche; hohe Wasserdrücke unter dem Deich können auftreten [KÄRCHER, 1997, 2001]. Der Deich kann so trotz Oberflächendichtung durch Auftrieb und hydraulischen Grundbruch gefährdet sein. Ist die Auelehmschicht durch Wurzeln oder Wühltiere örtlich durchlässig, können sich leicht Erosionskanäle unter dem Deich bilden, die sich bis zur Wasserseite fortsetzen und zu einem Durchbruch führen können.

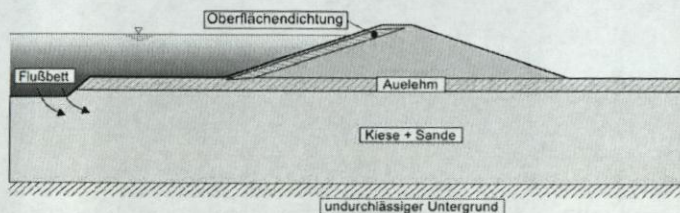


Abbildung 1: Deich mit Oberflächendichtung, die in Auelehmschicht einbindet

Die Wirksamkeit von Dichtungen in Deichen hängt bei unvollkommenen Dichtungen in großem Maße von den Durchlässigkeitsbeiwerten des Deichkörpers und des Untergrundes ab. Diese Randbedingungen müssen bei der Planung von Dichtungen in Deichen sehr sorgfältig berücksichtigt werden. Nicht in jedem Fall ist es sinnvoll, unvollkommene Dichtungen anzuwenden. Ist der Untergrund sehr wenig durchlässig, kann eine Dichtung, die lediglich im Bereich des Deichkörpers angeordnet ist, durchaus wirkungsvoll sein. Besteht der Untergrund dagegen überwiegend aus durchlässigen Sanden bzw. Kiesen, die mit dem Flussbett in Verbindung stehen, hat eine ausschließliche Dichtung im Deichkörper selbst auch mit örtlich begrenztem Dichtungsteppich im Vorland keine nennenswerten Auswirkungen auf die Durchströmung des Deiches. Dementsprechend kann auch das nachträgliche Aufbringen einer Oberflächendichtung, z.B. einer Folie, auf der wasserseitiger Deichböschung als Havariemaßnahme im Hochwasserfall in der Regel nicht den gewünschten

Erfolg bringen, da aufgrund der praktischen Schwierigkeiten beim Einbau unter Hochwasserbedingungen keine dichten Überlappungen und keine sorgfältige Anbindung an gering durchlässigen Untergrund zu erreichen sind [BRAUNS 2003].

Im Folgenden soll anhand einiger ausgewählter einfacher Beispiele die Wirksamkeit verschiedener Dichtungssysteme bei unterschiedlichen Durchlässigkeiten von Deich und Untergrund verdeutlicht werden. Dazu wurde ein Deichquerschnitt entsprechend Abb. 2 gewählt. Deich und Untergrund wurden vereinfachend als homogen angenommen.

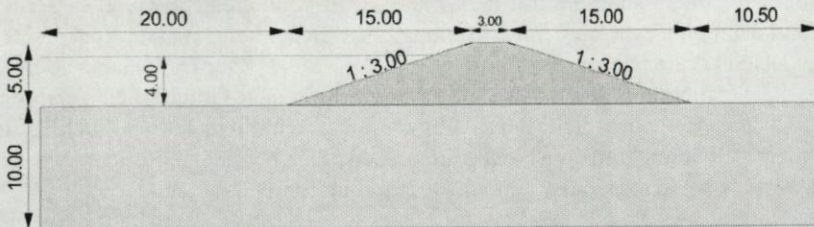


Abbildung 2: Deichquerschnitt

Untersucht wurden vier verschiedene Fälle:

- Deich ohne Dichtung (zum Vergleich),
- Deich mit Oberflächendichtung und Dichtwand am Böschungsfuß, die in undurchlässigen Untergrund einbindet (vollkommene Dichtung),
- Deich mit Oberflächendichtung und Dichtungsteppich (unvollkommene Dichtung),
- Deich mit Oberflächendichtung und Dichtungswand am Böschungsfuß, die nicht in undurchlässigen Untergrund einbindet (unvollkommene Dichtung).

Es wurden beispielhaft drei verschiedene Varianten der Durchlässigkeiten von Deich (k_D) und Untergrund (k_U) berücksichtigt:

Fall 1: gleiche Durchlässigkeiten von Deich und Untergrund

$$(k_D = k_U = 10^{-4} \text{ m/s})$$

Fall 2: Verhältnis der Durchlässigkeiten von Deich und Untergrund von 100

$$(k_D = 10^{-4} \text{ m/s}, k_U = 10^{-6} \text{ m/s})$$

Fall 3: Verhältnis der Durchlässigkeiten von Deich und Untergrund von 0,01

$$(k_D = 10^{-6} \text{ m/s}, k_U = 10^{-4} \text{ m/s})$$

Die Dichtung wurde mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von $k=10^{-9}$ m/s angenommen. Berechnet wurde mit Hilfe des FE-Programms „GGU-SS-Flow 2D“ (Version 7.58) jeweils der stationäre Strömungszustand im Deichquerschnitt einschließlich Untergrund, Vor- und Hinterland. Die Randbedingungen berücksichtigen, dass der Untergrund mit dem Fluss hydraulisch in Verbindung steht (ähnlich Abb. 1). Vor dem Deich wurde ein Wasserstand von 4 m angenommen bei einem Freibord von 1 m. Im Ergebnis sind die Äquipotentiallinien dargestellt. Der Strömungsverlauf im Deich und Untergrund ist qualitativ anhand der Strömungsgeschwindigkeitsvektoren erkennbar.

Durch Anordnung einer vollkommenen Dichtung mit $k=10^{-9}$ m/s in Deich und Untergrund wird der Deich selbst erwartungsgemäß nicht mehr durchströmt (Abb. 3). Der Potentialabbau erfolgt nahezu vollständig in der Dichtungsschicht. Das Verhältnis der Durchlässigkeiten von Deich und Untergrund spielt hier eine untergeordnete Rolle.

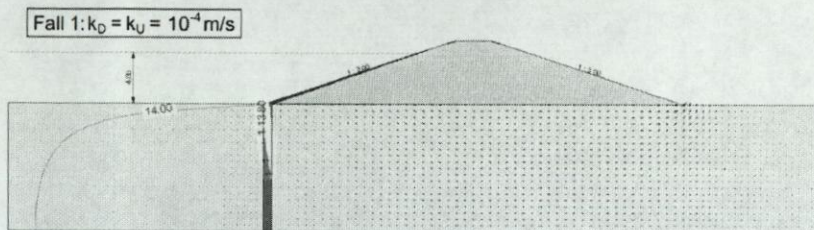


Abbildung 3: Deich mit vollkommener Dichtung (Oberflächendichtung mit Fußdichtwand)

In Abb. 4 sind die Ergebnisse für einen Deich ohne Dichtung für die verschiedenen Durchlässigkeiten (Fälle 1, 2 und 3) dargestellt. Sie zeigen, dass hier das Verhältnis der Durchlässigkeiten von Deich und Untergrund für die Lage der Sickerlinie im Damm erwartungsgemäß eine entscheidende Rolle spielt. Die niedrigste Lage der Sickerlinie wird erreicht, wenn der Untergrund durchlässiger ist als der Deich (Fall 3).

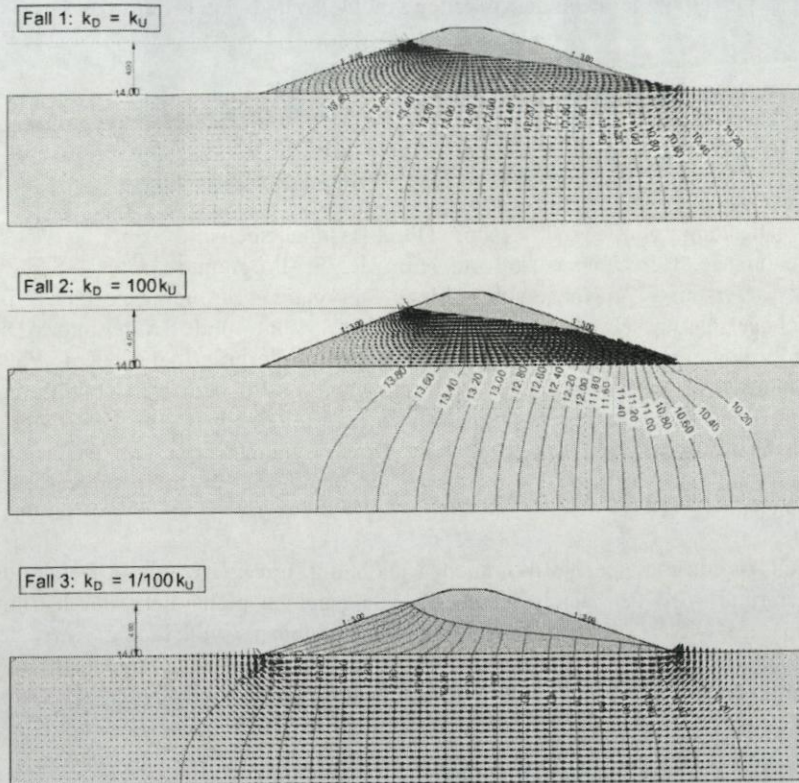


Abbildung 4: Deich ohne Dichtung

In Abb. 5 ist der stationäre Strömungszustand eines Deiches dargestellt, der eine wasserseitige Oberflächendichtung und einen begrenzten Vorlandteppich mit einer Länge von 10 m besitzt, in der Abb. 6 der eines Deiches mit einer wasserseitigen Oberflächendichtung und einer Fußdichtung, die nicht in undurchlässigen Untergrund einbindet.

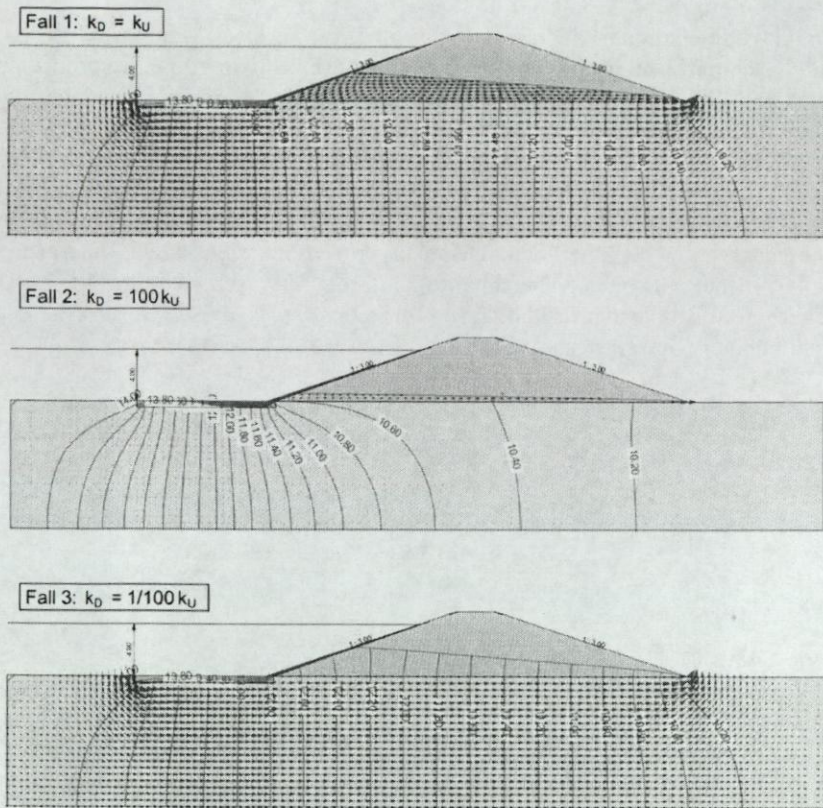


Abbildung 5: Deich mit Oberflächendichtung und Vorlandteppich (unvollkommene Dichtung)

Ein Vergleich der Abb. 4, 5 und 6 zeigt deutlich, wie sich durch die Anordnung der Dichtungen der stationäre Strömungszustand verändert. Die Ergebnisse bestätigen, dass durch die unvollkommenen Dichtungen die Strömungsbelastung im Deich insgesamt reduziert wird. Eine Durchströmung des Deichkörpers wird jedoch in allen untersuchten Fällen nicht verhindert. Die Wirksamkeit der beiden Dichtungsvarianten – mit Dichtungsteppich (Abb. 5) und Dichtungswand (Abb. 6) – sind unter den hier gewählten gleichen Randbedingungen hinsichtlich der Lage der Sickerlinie im Deich etwa identisch. Die größte Veränderung infolge Dichtungsanordnung erfolgt erwartungsgemäß dann, wenn der Untergrund gegenüber dem Deich geringer durchlässig ist (Fall 2). Bei dem hier betrachteten Verhältnis der

Durchlässigkeiten von 1:100 wird der Deich selbst nur noch wenig durchströmt. Sind Deich und Untergrund ähnlich durchlässig (Fall 1), liegt die Sickerlinie im Deich mit Dichtung zwar etwas niedriger als im Deich ohne Dichtung, aber die Unterschiede sind nicht so signifikant wie im Fall 2. Das bedeutet, dass die Nachweise der Standsicherheit der luftseitigen Böschung, der Sicherheit gegenüber Materialtransport und hydraulischen Grundbruch genau wie für einen Deich ohne Dichtung erfolgen müssen. Die Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass bei gegenüber dem Deichkörper sehr durchlässigem Untergrund (Fall 3) in der luftseitigen Deichhälfte kaum ein Unterschied in der Lage der Sickerlinie mit oder ohne Dichtung festzustellen ist. In dieser Hinsicht ist die Dichtung hier wirkungslos.

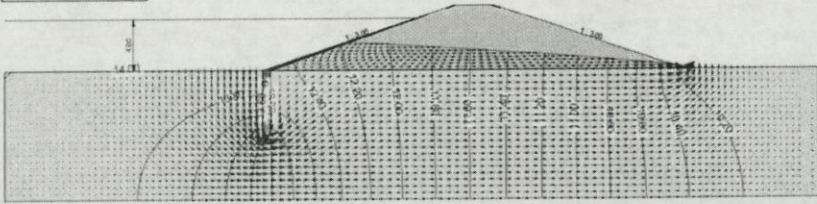
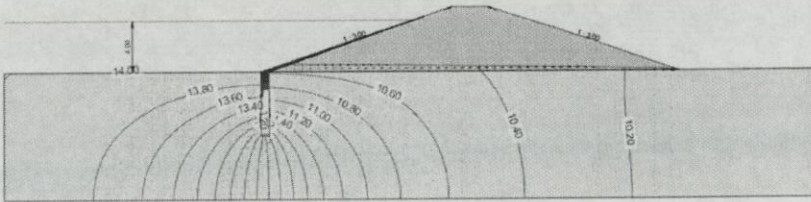
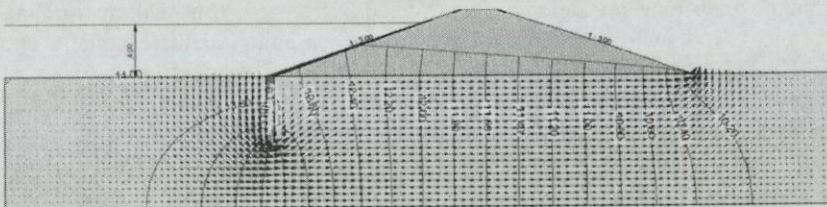
Fall 1: $k_D = k_U$ Fall 2: $k_D = 100k_U$ Fall 3: $k_D = 1/100k_U$ 

Abbildung 6: Deich mit Oberflächendichtung und Fußdichtwand (unvollkommene Dichtung)

Zum Vergleich erfolgten weitere Berechnungen für den Fall, dass oberflächennah unter dem Deich eine geringmächtige Auelehmschicht ansteht (Abb. 1). Diese Verhältnisse sind in der Praxis relativ oft anzutreffen. Das Berechnungsmodell entspricht dem der obigen Berechnungen (Abb. 2), lediglich die Auelehmschicht wurde in einer Dicke von 0,5 m und einem k -Wert von 10^{-6} m/s ergänzt. Abb. 7 zeigt die Ergebnisse analog zur Abb. 6 (Deich ohne Auelehmschicht). Untersucht wurden auch hier die o.g. unterschiedlichen Verhältnisse der Durchlässigkeiten von Deich und Untergrund (Fälle 1 bis 3).

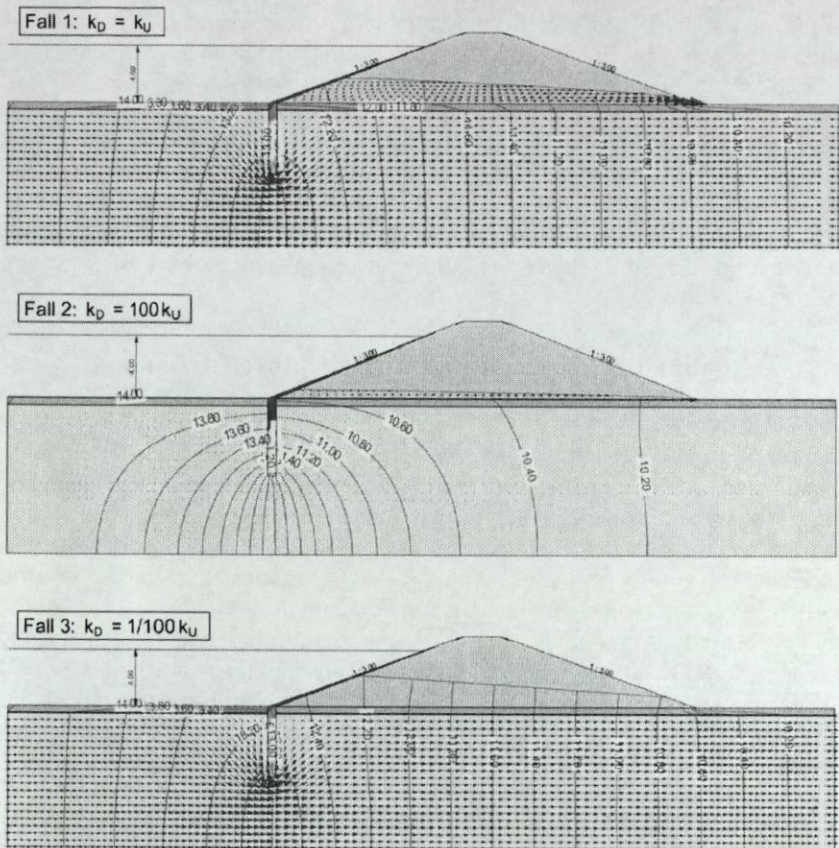


Abbildung 7: Deich mit Oberflächendichtung und Fußdichtwand und zusätzlicher Auelehmschicht (unvollkommene Dichtung)

Die Strömungsbilder zeigen, dass die Auelehmschicht mit $k = 10^{-6}$ m/s im Fall 1 ($k_D = k_U = 10^{-4}$ m/s) wie eine Vorlanddichtung wirkt. Die Durchströmung erfolgt

überwiegend über den durchlässigen Untergrund vom Flussbett her. An der Lage der Äquipotentiallinien ist außerdem zu erkennen, dass unter der Auelehmschicht unterhalb des Deichkörpers höhere Wasserdrücke vorhanden sind als im Deichkörper selbst. Dies hat entsprechende Auswirkungen auf die Standsicherheit der landseitigen Böschung und die Gefahr des hydraulischen Grundbruchs unmittelbar hinter dem Deich. Im Fall B ist die Durchlässigkeit von Auelehm und Untergrund gleich groß (10^{-6} m/s). Die Auelehmschicht hat dann so gut wie keine Auswirkungen auf den stationären Strömungszustand. Im Fall C mit durchlässigem Untergrund unter dem Auelehm wird im Vergleich zur Abb. 4 deutlich, dass die Sickerlinie im landseitigen Deichbereich sogar etwas höher liegt als ohne Dichtung.

Die Ergebnisse der Beispielrechnungen zeigen sehr anschaulich, dass bei sehr durchlässigem Untergrund unter dem Deich bzw. unter einer oberflächennah anstehenden Auelehmschicht, der hydraulisch mit dem Fluss in Verbindung steht, die Anordnung von unvollkommenen Dichtungen hinsichtlich der Verringerung der Strömungsbelastung im Deich im stationären Zustand wenig wirkungsvoll ist.

5 Zeitabhängige Betrachtung der Deichdurchströmung

Entsprechend der DIN 19712 (1997) „Flussdeiche“ sind beim Entwurf und der Planung von Deichen mit und ohne Dichtungen stationäre Strömungsverhältnisse – so wie hier bisher betrachtet – zugrunde zu legen. Damit wird der ungünstigste Fall betrachtet. Durch den Einbau von Dichtungen können sich stationäre Strömungsverhältnisse im Deich in Abhängigkeit der Durchlässigkeitsbeiwerte der Dichtung und der Anordnung im Deichquerschnitt mit zeitlicher Verzögerung einstellen. Bei kurz andauernden Hochwassern könnten sie gegebenenfalls gar nicht erreicht werden. Für die untersuchten Deiche wurden deshalb zusätzlich instationäre Berechnungen mit dem zweidimensionalen FE-Programm HYDRUS 2D durchgeführt, um den Einfluss der unvollkommenen Dichtungen auf die zeitliche Deichaufsättigung zu quantifizieren.

Berechnet wurden analog zu den Randbedingungen im Gliederungspunkt 4

- ein Deichquerschnitt mit einer Oberflächendichtung und einer Fußdichtwand bei gleichen Durchlässigkeiten von Deich und Untergrund ($k_D = k_U = 10^{-4}$ m/s) - entspricht Fall 1 in Abb. 6 - und zum Vergleich ohne Dichtung - entspricht Fall 1 in Abb. 4 - und

- ein Deichquerschnitt mit Oberflächendichtung und einer Fußdichtwand unter Berücksichtigung einer Auelehmschicht für verschiedene Durchlässigkeiten von Deich und Untergrund – entspricht den Fällen 1, 2 und 3 in Abb. 7.

Die Dichtung wurde wieder mit $k = 10^{-9}$ m/s und die Auelehmschicht mit $k = 10^{-6}$ m/s berücksichtigt. Es wurde ein Hochwasseranstieg von 3 m innerhalb von 2 Tagen simuliert, bei dem der Wasserstand vor dem Deich von 1 m auf 4 m ansteigt. Der Wasserstand wurde nach Erreichen des Höchstwertes konstant gehalten, um rechnerisch in jedem Fall die stationären Strömungszustände zu erreichen.

In den Diagrammen der Abb. 8 und 9 ist die zeitabhängige Deichaufsättigung beispielhaft am Punkt „P1“ dargestellt. Dieser Punkt befindet sich in der Deichaufstandsfläche 12 m vom wasserseitigen Deichfuß entfernt. Er liegt damit genau unterhalb des Schnittpunktes des im Endzustand erreichten Flusswasserspiegels mit der Deichböschung.

Die Abb. 8 zeigt, dass unter der Annahme gleicher Durchlässigkeiten in Deich und Untergrund ($k = 10^{-4}$ m/s) die Aufsättigung des Deiches sehr schnell erfolgt. Mit Erreichen des höchsten Flusswasserstandes sind ohne Dichtung, aber auch mit der unvollkommenen Dichtung (siehe Abb. 6), stationäre Verhältnisse im Deich erreicht. Der Einbau der Dichtung führt unter diesen Bedingungen zu keiner Verzögerung.

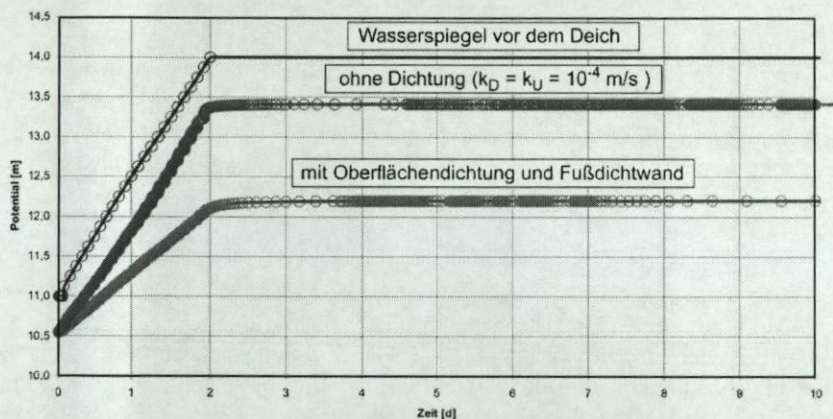


Abbildung 8: Zeitabhängige Deichaufsättigung am Punkt P1 Deich ohne und mit Dichtung ($k_D = k_U = 10^{-4}$ m/s)

In Abb. 9 sind die Ergebnisse für den gleichen Deichquerschnitt mit einer zusätzlichen oberflächennahen Auelehmschicht dargestellt. Auch unter diesen Verhältnissen werden – wenn Deich und Untergrund einen k -Wert von 10^{-4} m/s oder der Untergrund 10^{-4} m/s und der Deich 10^{-6} m/s besitzen – stationäre Verhältnisse bereits etwa mit dem Erreichen des höchsten Flusswasserstandes erzielt. Ist der Untergrund deutlich geringer durchlässig (10^{-6} m/s), tritt eine merkbare Verzögerung auf. Bei einem nur ein bis zwei Tage andauernden Hochwasser würden stationäre Verhältnisse in diesem Fall nicht auftreten.

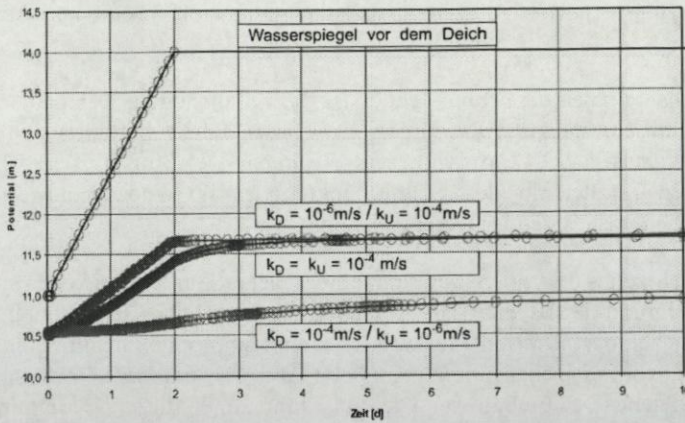


Abbildung 9: Zeitabhängige Deichaufsättigung am Punkt P1 Deich mit Oberflächendichtung und Fußdichtwand und Auelehmschicht

Die erreichten Potentialhöhen im stationären Zustand im Untersuchungspunkt bestätigen die Ergebnisse der unter Gliederungspunkt 4 durchgeführten Berechnungen. Geringe Abweichungen können sich aufgrund der in den FE-Programmen unterschiedlichen Netzgestaltung und Berechnungsarten ergeben.

6 Zusammenfassung

Eine Methode, die Standsicherheit von Deichen bei Hochwasserbelastung zu erhöhen, ist der Einbau von Dichtungen. Die Strömungsbelastung des Deiches kann in Abhängigkeit von der Art und Anordnung der Dichtungen im Deich und Untergrund verhindert bzw. vermindert und gegebenenfalls verzögert werden. Die größte Wirkung wird mit vollkommenen Dichtungen erreicht. Gleichzeitig können bestimmte Dichtungsarten - wie beispielsweise

Spundwände - mögliche Erosionskanäle im Untergrund unterbrechen und so fortschreitende Erosion verhindern.

Meistens können aufgrund der örtlichen Randbedingungen jedoch nur „unvollkommene“ Dichtungen angewendet werden, die nicht in undurchlässigen Untergrund einbinden. Bei Hochwasser erfolgt eine Unterströmung der Dichtung. Nur unter bestimmten Randbedingungen – z.B. bei gegenüber dem Deichkörper deutlich geringer durchlässigem Untergrund - wird eine Durchströmung des Deichkörpers selbst weitestgehend verhindert und das Eintreten stationärer Verhältnisse im Deich merkbar verzögert. Bei sehr durchlässigem Untergrund ist die Wirksamkeit unvollkommener Dichtungen hinsichtlich einer Verminderung der Deichdurchströmung eher als gering einzuschätzen. Die Sicherheit gegenüber Böschungsbruch, hydraulischem Grundbruch und Materialtransport ist häufig ohne zusätzliche konstruktive Maßnahmen nicht nachzuweisen. Unter dementsprechenden Randbedingungen ist die Anordnung solcher Dichtungen wenig wirkungsvoll. Eine sorgfältige Planung auf der Grundlage einer Wahl von geeigneten Dichtungssystemen und deren sinnvollen Anordnung im Deich bzw. Untergrund ist deshalb besonders wichtig. Dabei müssen die konkreten Randbedingungen – insbesondere die Baugrundverhältnisse, aber auch die hydrologischen und hydraulischen Umstände - in jedem Anwendungsfall genau untersucht und beachtet werden. Nur aufgrund präziser Planungsdaten kann eine Deichertüchtigung im Hinblick auf die Verbesserung der Sicherheit und die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme beurteilt werden.

7 Literatur

- DWA-Arbeitsthema (Entwurf 2004) „Dichtungssysteme in Deichen“, DWA - Fachausschuss 7-3, Gemeinschaftsausschuss von DWA, DGGT und HTG, Veröffentlichung voraussichtlich Frühjahr 2005
- Heyer, D., Schmutterer, C. (2005) Dichtungssysteme in Deichen. Wasserbaukolloquium TU Dresden 2005
- Franke, J., Stein, P. (2003) Prognose der Qualmwasserbildung bei extremen Hochwasserereignissen an ausgewählten Flussdeichkonstruktionen mittels instationärer FEM-Berechnungen. Sicherung von Dämmen und Deichen. Handbuch für Theorie und Praxis, Universitätsverlag Siegen 2003
- Kärcher, K., Gottheil, K., Klaiber, D., Santo, J. (1997) Zur Standsicherheit, Auftriebssicherheit und Erosionsstabilität von Flussdeichen“. Geotechnik 20 (1997) Nr.4
- Kärcher, K., Santo, J., Gottheil, K., Weihnacht, U., Neher, M., Eble, I. (2001) Parameterstudie zur Größe der Wasserdrücke unter Deichen bei Hochwässern. Geotechnik 24 (2001) Nr.3
- Brauns, J., Bieberstein, A., Scheuermann, A., Reith, H. (2003) Folien als Notsicherung bei durchsickerten Deichen – nützlich oder vergeblich? Wasserwirtschaft 3/2003
- DIN 19712 (1997) Flussdeiche. Beuthverlag Berlin

Autoren:

Dipl.-Ing. Petra Fleischer

Bundesanstalt für Wasserbau
Kussmaulstraße 17
D 76187 Karlsruhe

Tel.: ++49 – 721 – 9726 – 3570

Fax: ++49 – 721 – 9726 – 4830

E-Mail: petra.fleischer@baw.de

Dr.-Ing. Jörg Franke

IGB Ingenieurgesellschaft mbH
Heinrich-Herz-Straße 116
D 22083 Hamburg

Tel.: ++49 – 3501 – 796 490

Fax: ++49 – 3501 – 796 108

E-Mail: Franke@igb-ingenieure.de