

Die Durchströmung von Dämmen und Deichen

Seepage in dams and dikes

Ronald Haselsteiner

Abstract

Dams with constant water level are commonly loaded by steady state seepage flow. At dikes the estimation is allowed whether unsteady state seepage flow can be applied for loading conditions. For the determination of those loading conditions among other aspects the possibility of the failure of sealing elements or the occurrence of precipitation and their influence on steady or unsteady state seepage flow should be respected.

Zusammenfassung

Talsperrendämme mit Dauerstau werden in der Regel stationär durchsickert. Im Unterschied dazu kann bei Deichen abgeschätzt werden, inwiefern instationäre Durchsickerungsverhältnisse angesetzt werden dürfen. Bei der Festlegung der Lastfälle sollten unter anderem die Möglichkeit des Ausfalls einer Dichtung oder das Eintreten von Niederschlagsereignissen und deren Auswirkung auf die stationären oder instationären Durchsickerungszustände bedacht werden.

1 Einleitung

Unsicherheiten bei der Annahme von Belastungsszenarien für die Bemessung von Ingenieurbauwerken werden mit der Annahme von auf der „sicheren Seite“ liegenden Randbedingungen kompensiert. Hierzu können ungünstige Einwirkungen und Sicherheitsklassen (Bauwerkszustände) zu Lastfällen nach DIN 1054 [1] überlagert werden.

Ob stationäre oder instationäre Durchsickerungszustände bei Erdbauwerken anzusetzen sind, hängt in erster Linie davon ab, ob das Bauwerk dauerhaft oder temporär eingestaut ist. Bei Talsperren mit Dauerstau treten i. d. R. stationäre Durchsickerungsverhältnisse auf. Es müssen aber auch, z. B. bei „schnellstmöglicher Wasserspiegelsenkung“ (Lastfall 2 nach [3] Teil 11), instationäre Durchsickerungszustände betrachtet werden. Gewässer begleitende Hochwasserschutzdeiche erfahren ihre hydraulische Beaufschlagung aus dem Wasserstand des angrenzenden Gewässers und dessen Abflussverhalten. Von der Dauer und absoluten Höhe des Einstaus sowie von der Durchlässigkeit und von dem Aufbau des Deiches hängt ab, wie sich die Durchsickerung ausbilden kann.

2 Talsperrendämme und Hochwasserschutzdeiche

2.1 Allgemeines

Die Unterscheidung von Hochwasserschutzdeichen und Talsperrendämmen kann anhand unterschiedlicher Gesichtspunkte, wie z. B. Größe, Art und Dauer der Belastung, Querschnittsgestaltung, Überwachung und Unterhaltung, erfolgen. Prinzipiell können kleinere Absperr-

bauwerke, z. B. für kleine Hochwasserrückhaltebecken, wie Deiche gestaltet und behandelt werden und große Deiche wie Talsperrendämme. In DIN 19712 [2] wird die Möglichkeit, in „Einzelfällen Lastfälle und die weitergehenden Anforderungen, die in den Grundsätzen zur Standsicherheitsuntersuchung der DIN 19700... für Dämme aufgeführt sind, zu beachten“, *expressis verbis* eingeräumt.

2.2 Dämme nach DIN 19700

Dämme nach DIN 19700 [3] sind unter anderen Erdbauwerke in und an Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken und Stauhaltungsdämme an Staustufen.

Die Unterscheidung von Talsperren der Klasse 1 und 2 erfolgt nach DIN 19700 [3] Teil 10 und 11 anhand der Bauwerkshöhe, des Gesamtstauraumes und weiteren Aspekten, wie z. B. dem Gefährdungspotential. Hochwasserrückhaltebecken werden nach DIN 19700 [3] Teil 12 anhand der Höhe des Absperrbauwerks und des Rückhalteraaumes klassifiziert. Die Klassifizierung von Staustufen richtet sich nach der Fallhöhe bei Mittelwasserabfluss ([3] Teil 13).

Anhand der Klassifizierungsmöglichkeiten werden den Bemessungsabflüssen Wiederkehrintervalle zugeordnet. Je nach zu betrachtendem Bauwerk können die Wiederkehrintervalle Werte von $T = 20$ bis $1\ 000$ a bei Stauhaltungsdämmen, von $T = 200$ bis $10\ 000$ a bei Hochwasserrückhaltebecken und von $T = 100$ bis $10\ 000$ a bei Dämmen für Talsperren annehmen. Bei der Bemessung wird hierbei unterschieden, ob es sich um die Festlegung der Hochwasserschutzwirkung, die Sicherheit der Anlage selbst oder die Dimensionierung der Hochwasserentlastung handelt [3].

Talsperren werden für den Einstau bei Vollstau (Lastfall 1), bei Stauziel 1 infolge Bemessungshochwasser 1 (Lastfall 2) und Stauziel 2 infolge Bemessungshochwasser 2 (Lastfall 3) bemessen. Darüber hinaus sind die Wasserspiegelsenkung nach Vollstau (Lastfall 2), Erdbebenbelastungen und andere außerplanmäßige Zustände zu berücksichtigen. Bei Hochwasserrückhaltebecken nach DIN 19700 [3] Teil 12 sind aufgrund der spezifischen Beanspruchung Vereinfachungen erlaubt und eine analoge Herangehensweise zu anderen DIN-Normen möglich. Stauhaltungsdämme im Bereich von Flusssperren werden in DIN 19700 [3] Teil 13 ähnlich wie Deiche nach DIN 19712 [2] behandelt.

2.3 Hochwasserschutzdeiche nach DIN 19712

Deiche werden definitionsgemäß temporär eingestaut. Deshalb kann abgeschätzt werden, inwiefern für die Bemessung stationäre Durchsickerungsverhältnisse angesetzt werden müssen und unter welchen Randbedingungen instationäre Durchsickerungszustände angenommen werden dürfen. Hinweise hierzu bietet Haselsteiner [4].

Hochwasserschutzdeiche können kleine Erdbauwerke darstellen, die Umwelteinflüssen verhältnismäßig stark ausgesetzt sind. Deshalb ist nach DIN 19712 [2] „mit der Möglichkeit der vollständigen Durchsickerung“ zu rechnen. Bei der Ermittlung der Standsicherheit der wasserseitigen Böschung können jedoch instationäre Verhältnisse in Betracht gezogen werden [2]. Meist wird aufgrund der Ermangelung von hydrologischen und geohydraulischen Daten auf eine instationäre Bemessung von Deichen verzichtet. Die daraus mögliche Überdimensionierung des Bauwerks kann sowohl aufgrund der übermäßigen Einflussnahme von Umwelteinflüssen als

auch aufgrund der während der Funktionszeit oft nicht vermeidbaren Vernachlässigung von Unterhalt und Überwachung gerechtfertigt werden.

Im Gegensatz zu Talsperren ist Lastfall 1 nach DIN 1054 [1] für Deiche i. d. R. nicht maßgebend. Zudem werden Deiche in Lastfall 3 für den Einstau bis zur Krone bemessen. Der Lastfall „fallender Wasserstand“ ist bei Deichen ein unvermeidbarer, natürlicher Vorgang beim Abfließen einer Hochwasserganglinie und ist somit in Zusammenhang mit Lastfall 2 „Bemessungshochwasserstand“ und Lastfall 3 „Kronenstau“ zu überprüfen [4]. Erdbebenszenarien werden bei Deichen i. d. R. nicht berücksichtigt.

3 Stationäre Durchsickerung von Erdbauwerken

3.1 Allgemeines

Zur Abschätzung der stationären Durchsickerung existieren ausreichend analytische Verfahren, mit Hilfe derer auch zonal gegliederte Querschnitte berechnet werden können [4].

3.2 Abschätzungsverfahren

Unter den zahlreichen Abschätzungsverfahren bietet beispielsweise das Verfahren von KOZENY-CASAGRANDE einen Ansatz, der für praktische Belange im Allgemeinen ausreichend ist (vgl. Bild 1). Mit vereinfachenden Annahmen kann auf diese Weise ebenfalls die Durchsickerung von Dämmen mit Dichtungen und Drainagekörper sowie auch anisotrope Verhältnisse mit ausreichender Genauigkeit abgeschätzt werden. Andere Verfahren und weiterführende Literaturstellen sind in Haselsteiner [4] enthalten.

3.3 Besonderheiten

Bei der Festlegung der maßgebenden Lastfälle sollte abgeschätzt werden, inwiefern die Wirkung von Dichtungen oder Dränagen beeinträchtigt werden kann. In diesem Zusammenhang wird in der Praxis häufig der Lastfall „Ausfall der Dichtung“ (Lastfall 3) berücksichtigt. Die von lokal begrenzten Fehlstellen verursachte Durchsickerung ist, da sich eine dreidimensionale Durchsickerung des Stützkörpers hinter der Dichtung einstellt, weitaus geringer als der Durchsickerungszustand bei Vernachlässigung der gesamten Dichtung [4]. In **Bild 1** ist die Durchsickerung eines Beispieldammes dargestellt, dessen Dichtung eine Fehlstelle aufweist. Der Vergleich von 2-D- und 3-D-Verhältnissen zeigt, welche zusätzlichen Sicherheiten bei Annahme des kompletten Ausfalls einer Dichtung in Lastfall 3 geschaffen werden können.

4 Instationäre Durchsickerung von Erdbauwerken

4.1 Allgemeines

Instationäre Durchsickerungsprozesse werden dominiert von der gesättigten Durchlässigkeit und der Einstauzeit. Einfluss auf diesen Vorgang nehmen außerdem die Vorfeuchte bzw. Ausgangssättigung, das Saugspannungsverhalten des Bodens, die Dammgeometrie, der Dammaufbau und natürlich die hydraulische Belastung.

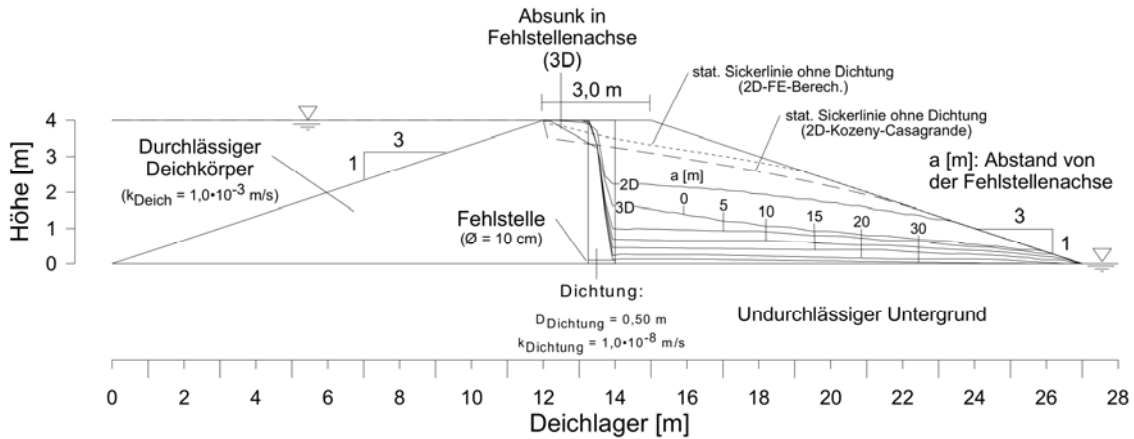


Bild 1: Deich mit Dichtung und Fehlstelle und daraus resultierende Durchsickerung im des unterwasserseitigen Deichkörpers (nach [4])

4.2 Eindimensionale, instationäre Durchsickerung von homogenen Böden

Ein einfaches Hilfsmittel, um sich eine Vorstellung der möglichen Dauern bzw. der Ausbreitung einer Durchsickerung in Dämmen oder Deichen zu machen, ist die Betrachtung der eindimensionalen Verhältnisse (Gl. 1).

$$x(t) = \sqrt{2 \cdot \frac{k_s}{n_e} \cdot h_w \cdot t} \quad (\text{Gl. 1})$$

Unter Zuhilfenahme von Gl. 1 kann die horizontale Sickerwegstrecke x [m] berechnet werden, die einer vorhandenen gesättigten Durchlässigkeit k_s [m/s], einem für den Wasserzutritt zur Verfügung stehenden Porenraum bzw. einer effektiven Porosität n_e [-] und einer anstehenden Wasserdruckhöhe h_w [m] in der Zeit t [s] durchsickert wird [5].

4.3 κ -Werte zur Abschätzung der Durchsickerung von homogenen Deichen

Sowohl für steigende als auch für fallende Wasserstände kann die Durchsickerung eines homogenen Erddammes anhand des Ähnlichkeitsfaktors κ [-] abgeschätzt werden. Gl. 2 beinhaltet den κ -Faktor für die Durchsickerung bei steigendem Wasserstand.

$$\kappa = \frac{k_s}{n_e \cdot v_{AN}} \quad (\text{Gl. 2})$$

In Gl. 2 ist der Quotient aus der gesättigten Durchlässigkeit k_s [m/s] und aus dem Produkt der effektiven Porosität n_e [-] und der Anstiegsgeschwindigkeit des Wasserstands v_{AN} [m/s] (1 cm/h = $2,78 \cdot 10^{-6}$ m/s) dargestellt. Berechnungen in Haselsteiner [4] an Deichen mit kleiner Höhe haben gezeigt, dass für $\kappa = 100$ bis 1 000 mit dem steigenden Wasserstand eine vollständige Durchsickerung eintritt. Bei Annahme von mittleren Werten für die Anstiegsgeschwindigkeit und für die gesättigte Durchlässigkeit kann unter Zuhilfenahme von **Bild 2** die Durchsickerung bei steigendem Wasserstand auf diese Weise abgeschätzt werden.

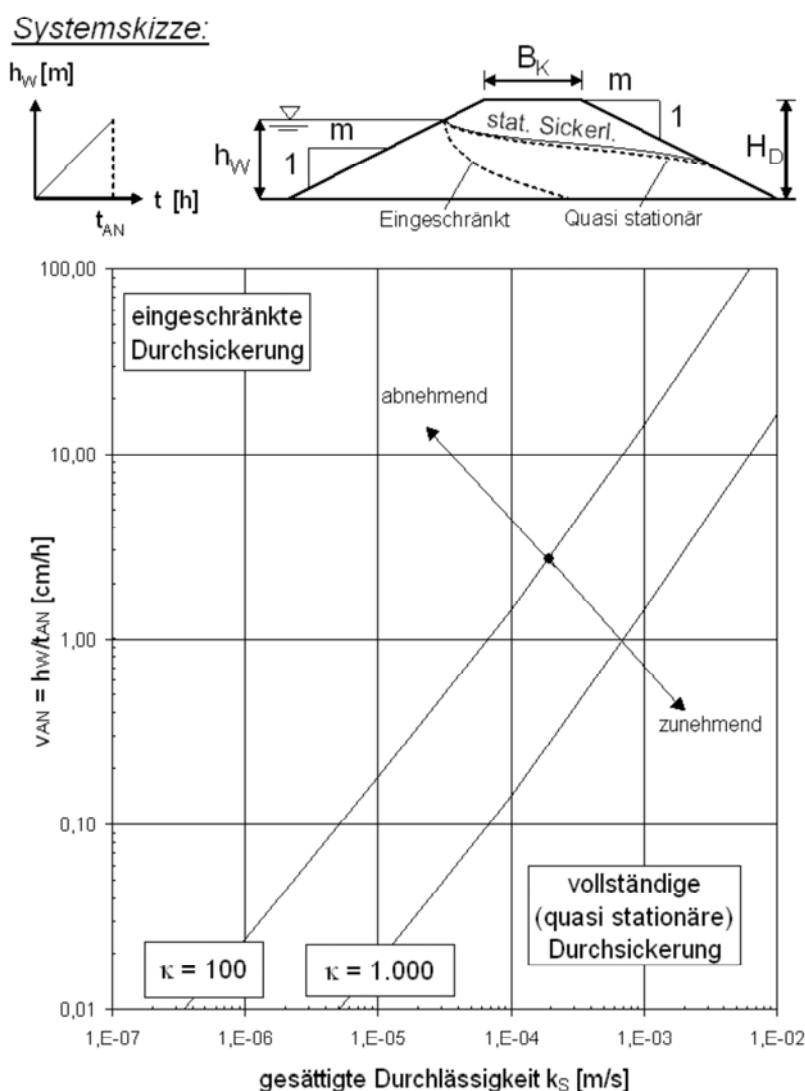


Bild 2: Abschätzung der Durchsickerung bei steigendem Wasserstand (nach [4])

Ähnlich verhält es sich bei fallendem Wasserstand an bereits durchsickerten Erdbauwerken, wenn der Scheitel einer Hochwasserganglinie durchlaufen ist und das Hochwasser abklingt. Hier kann ebenfalls mit κ -Faktoren unter Zuhilfenahme der Abstiegsgeschwindigkeit des Wasserstands v_{AB} [m/s] das Verhalten der auftretenden Durchsickerung beurteilt werden (Gl. 3).

$$\kappa = \frac{k_S}{n_e \cdot v_{AB}} \quad (\text{Gl. 3})$$

Berechnungen in [4] bestätigen die in der Literatur zu findende untere Grenze mit $\kappa \leq 0,1$ bis $1,0$ für annähernd vollständig nachhängende Sickerlinien und die obere Grenze mit $\kappa \geq 100$ bis 250 für kaum nachhängende Sickerlinien. Anhand der Darstellung in **Bild 3** ist analog zu Bild 2 eine Abschätzung der Durchsickerung bei fallendem Wasserstand möglich.

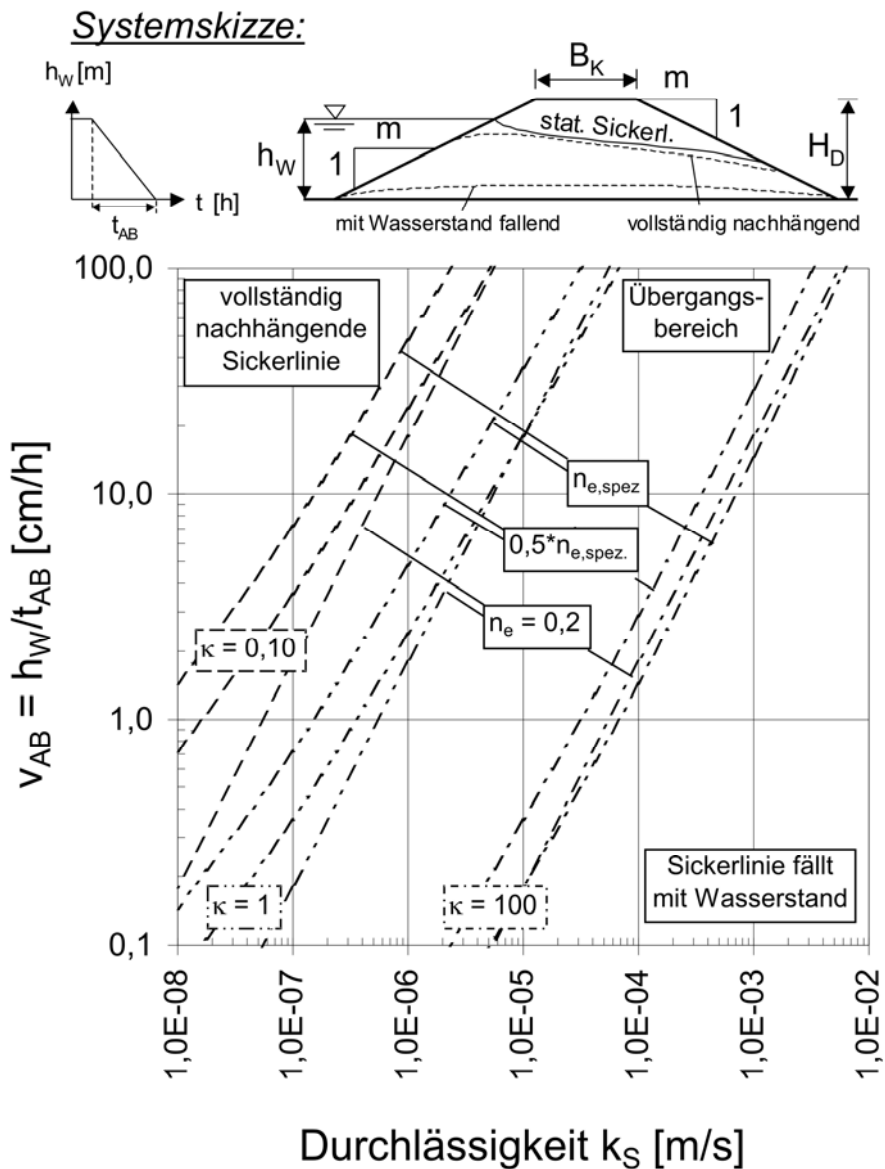


Bild 3: Abschätzung der Durchsickerung bei fallendem Wasserstand (nach [4])

4.4 Weitere Einflussgrößen

Die Feuchteverteilung zu Beginn eines Durchsickerungsprozesses bzw. der gesamte Wasserhaushalt eines Damm- oder Deichsystems ist von besonderem Interesse bei der Betrachtung instationärer Durchsickerungsprozesse. Um hierfür realistische Verhältnisse abzuschätzen, können zum einen Naturmessungen und zum anderen Berechnungen unter Verwendung von Wasserhaushaltsmodellen Anhaltswerte liefern. Beide Herangehensweisen können große Unsicherheiten aufweisen, so dass in der Praxis häufig empfohlen wird, als Ausgangswert die Restfeuchte oder je nach Randbedingung andere Bodensättigungswerte anzusetzen [5]. Mitunter können Niederschlagsereignisse oder vorlaufende Einstauereignisse die Sättigung im Deich erhöhen, was zu einer Verstärkung, sprich Beschleunigung und Erhöhung der Durchsickerungsfläche, führen kann [4].

Literatur

- [1] DIN 1054/2005: Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)
- [2] DIN 19712/1997: Flussdeiche. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)
- [3] DIN 19700/2004: Stauanlagen. Teil 10 – 15. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)
- [4] Haselsteiner, R. (2007): Hochwasserschutzdeiche an Fließgewässern und ihre Durchsickerung. Dissertation, Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität München, Band 111
- [5] Scheuermann, A. (2005): Instationäre Durchfeuchtung quasi-homogener Erddeiche. Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Universität Karlsruhe, Heft 164

Anschrift des Verfassers

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner
RMD-Consult GmbH
Bautechnik
Blutenburgstraße 20
80636 München
ronald.haselsteiner@rmd-consult.de