



Deichertüchtigung unter besonderer Berücksichtigung des Gehölzbewuchses

Dipl.-Ing. Ronald Haselsteiner

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Theodor Strobl

Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Technische Universität München, Arcisstraße 21, D-80290 München

1 Einleitung

Nach den Hochwassern des letzten Jahrzehnts mussten bundesweit große Deichstrecken ertüchtigt und teilweise wieder aufgebaut werden. In Bayern wurde eigens das Aktionsprogramm 2020 ins Leben gerufen, innerhalb dessen ein Großteil der Deiche an Gewässern erster Ordnung entsprechend den a.a.R.d.T. ertüchtigt werden soll. Nicht selten sind auf diesen zu ertüchtigenden Deichen Gehölze anzutreffen. Die Regeln zu Bewuchs, die z. B. in DIN 19712 (1997) „Flussdeiche“ und DVWK 226 (1993) „Bewuchs von Flussdeichen“ enthalten sind, schließen ein Belassen von Gehölzen auf normal dimensionierten Deichen aus. Wenn die Standsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit dauerhaft durch zusätzliche Sicherungsmaßnahmen gewährleistet sind, kann einem Belassen oder einer Entwicklung von Gehölzen auf Deichen an Fließgewässern aufgrund der landschaftsästhetischen und naturhaushaltlichen positiven Auswirkungen jedoch nicht widersprochen werden. Die Frage nach der Zulässigkeit von Gehölzen auf Deichen ist nach Meinung der Verfasser mit den bestehenden Regelwerken hinreichend beantwortet. Eine „Aufweichung“ der bestehenden Grundsätze sollte auf keinen Fall erfolgen, um das von unzähligen Fachgremien und Ausschüssen festgelegte Sicherheitsniveau für Neubau oder Ertüchtigung von Hochwasserschutzdeichen ohne Einschränkungen beizubehalten. Dieses Sicherheitsniveau beruht auf den zahlreichen Erfahrungen von Behörden, Betreibern und beratenden sowie planenden Ingenieuren (LfW BY, 1990; Londong, 1999; Marks u. Tschantz, 2002). In der Praxis werden trotzdem nicht selten, besonders von ingenieurbioologischer Seite, die möglichen positiven Auswirkungen von Gehölzwurzeln überbewertet. Überbewertet deshalb, weil die Dauerhaftigkeit dieser „biologischen Bewehrung“ i. Allg. nicht garantiert werden kann. Betrachtet man lediglich die Möglichkeit des Windwurfes oder der inneren Erosion, so überwiegen die negativen Einflüsse auf die Standsicherheit derart, dass deutlich wird, warum Gehölze ohne bauliche Sicherungsmaßnahmen auf technischen Hochwasserschutzbauwerken i. d. R. ein unzumutbares Risiko darstellen.

Dieser Beitrag beinhaltet sowohl Hinweise zur Unterhaltung und fachgerechten Entfernung von Gehölzen als auch zur Ausführung von Sicherungsmaßnahmen im Zuge von Deichertüchtigungsmaßnahmen wie z. B. Dichtungen oder Wurzelhemmschichten. Zur Beurteilung der Zulässigkeit von Gehölzen und ihren Auswirkungen werden u. A. die Ausbreitung der Wurzeln in Deichen sowie die bestehenden Regeln für Gehölze auf Deichen (Haselsteiner u. Strobl, 2004) erläutert. Anschließend wird sowohl auf die möglichen Maßnahmen zur Ertüchtigung von Deichen (Haselsteiner, 2003; Haselsteiner u. Strobl, 2005) mit und ohne Gehölz als auch auf die spezifischen Rahmenbedingungen bei der Ertüchtigung eingegangen (vgl. Haselsteiner et. al., 2002; Schneider et al., 1997). Abschließend werden die im Deichbau gängigen Dichtungen bzgl. einer möglichen Durchwurzelung beurteilt.

2 Gehölze auf Deichen

2.1 Ausbreitung von Gehölzwurzeln in Deichen

Die Wurzel ausbreitung in und Durchwurzelung von Böden hängt von den Faktoren Nähr-, Sauerstoff-, Wasserversorgung, den klimatischen Randbedingungen, der Bodenzusammensetzung und der Gehölzart selbst ab (LfW BY, 1990). Gehölzwurzeln, insbesondere die von Bäumen, und ihr Verhalten sind seit langem Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. So beschreiben Köstler et al. (1968) und Kutschera u. Lichtenegger (1997) Wurzeln im Waldgebiet, wohingegen sich Balder (1998) mit Bäumen in der Stadt beschäftigt.

Kleinere Sträucher bilden im Allgemeinen auch kleinere Wurzeln aus, was zu einer geringeren Beeinträchtigung der Standsicherheit von Deichen führt (Winski, 2004), während große Bäume weit reichendes Wurzelwerk ausbilden können. Die Wurzeln dringen primär in lockere, nähr-, sauerstoff- und wasserreiche Oberbodenschichten ein und können große, artuntypische Längen und Wurzelbilder ausbilden (Abb. 1 a). Grobkörnige Schichten, besonders eng gestufte oder gut verdichtete Kiese, werden von Wurzeln gemieden. Kiesige Deichstützkörper können dennoch bis zu einem gewissen Maß im stammnahen Bereich, auch in vertikaler Richtung, durchwurzelt werden (Abb. 1 b).

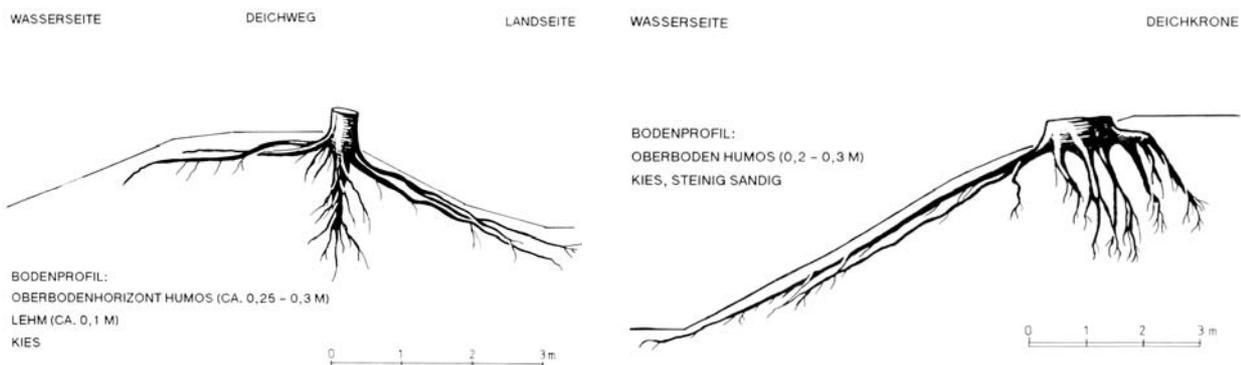


Abb. 1 a: Wurzeln einer Weide auf einem Deich an der Loisach (aus LfW BY, 1990)

Abb. 1 b: Ausbreitung der Wurzeln einer Schwarzpappel auf einem Lechdeich (aus LfW BY, 1990)

Locker gelagerte Sande und Mischböden bieten der Durchwurzelung weniger Widerstand. Die vertikale Ausbreitung von Wurzeln hält sich i. d. R. in Grenzen. Sobald feuchte Schichten (z. B. Auelehmschicht) oder Grundwasser in nahen Tiefen vorhanden ist, können Wurzeln auch ansonsten gemiedene grobkörnige Bodenschichten durchdringen, indem sie zuerst Pionierwurzeln auf die Suche nach günstigen Bodenverhältnissen schicken und beim Auffinden günstiger Lebensbedingungen mit verstärktem Wurzelwachstum und der Ausbildung mehrerer Wurzelstränge reagieren (Abb. 2).

Je nach Gewässer und Standort können Vorland und Deiche eingestaut werden, was dazu führt, dass sich im Vorland und an der wasserseitigen Deichböschung sich typische Weichholz- und Hartholzauen ausbilden können. In diesen Bereichen werden sich mittelfristig die gegen Überflutung und ggf. Staunässe resistenten Gehölzarten, wie z. B. Weidenarten, niederlassen. Bei hohen Grundwasserständen, auch z. B. durch stauende Untergrundschichten, kann Staunässe auftreten. Staunässe führt bei den empfindlichen Gehölzen zu besonderen Wurzelformen, zu Wachstumsbehinderung oder zum Absterben des Baumes.

Eine locker gelagerte Oberbodenschicht (Vegetationsdecke) bietet aufgrund ihres Nitratreichtums und ihres im Vergleich zu Kies hohen Wassergehalts den bevorzugten Lebensraum für Gehölzwurzeln (Abb. 2).

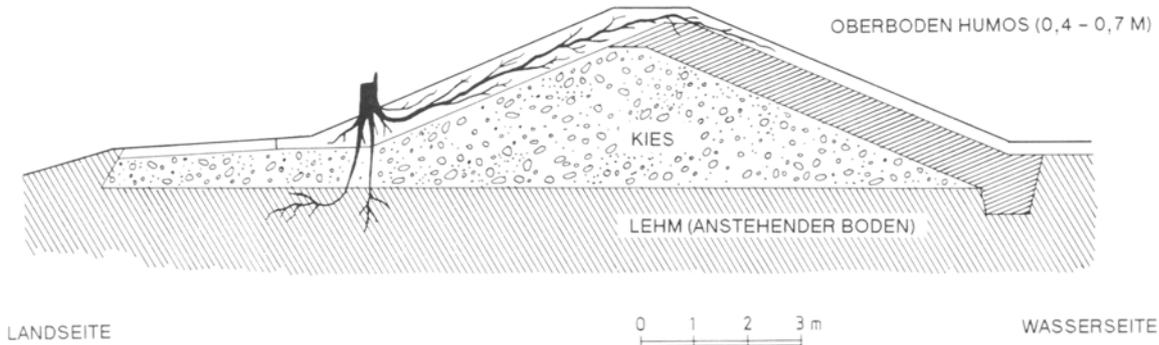


Abb. 2: In der Oberbodenschicht weit reichende Flachwurzeln und in den Lehm eindringende Pfahlwurzeln eines Ahorns auf einem Deich bei Hofkirchen an der Donau (aus LfW BY, 1990)

2.2 Auswirkungen von Gehölzen

Die Durchwurzelung des Bodens dient statisch zur Eigenstabilisierung des Baumes. Durch die Wippbewegung der Wurzeln bei zyklischer Windbelastung wird der Boden gelockert und Poren- und Hohlräume geschaffen, in die sich die Baumwurzeln ausbreiten können. Die Erosionsanfälligkeit durchwurzelter Böden ist unbestritten, besonders wenn die Wurzel verrottet. Zusätzlich wird die Sicherheit des Deichbauwerks dadurch herabgesetzt, dass die Deichüberwachung und somit die Früherkennung von schädigenden Prozessen wie z. B. Erosionstrichter, erheblich eingeschränkt sein kann. Hartge (1985) unterstreicht die lockernde Wirkung von mehrjährigen Wurzeln im Boden. Zudem werden häufig oberflächennahe Bodenschichten angehoben, gelockert und anschließend durch Oberflächenerosion abtransportiert. Die Ausmaße der Durchwurzelung von Deichen werden häufig erst nach einem Deichbruch offenbar (Abb. 3).

Neben den zahlreichen die Bauwerkssicherheit beeinträchtigenden Fakten können aus ingenieurbio- logischer Sicht einige, wenige positive Aspekte angeführt werden. Wurzeln können sowohl die lokale als auch globale Standsicherheit erhöhen, wenn sie ungünstige Gleitkreise oder Rutschflächen durchörtern. Man spricht von einem Verdübelungseffekt (Seethaler, 1999). Dies bewirkt eine Bodenstabilisierung (Schiechtl, 1985). Bei homogenen Deichen aus bindigen Schüttmaterialien können Gehölzwurzeln zur Bodenentwässerung beitragen und durch ihren Wasserbedarf als Drän wirken (vgl. Döscher u. Armbruster, 1999, Marks u. Tschantz, 2002; Seethaler, 1999). Wurzelintensive Büsche, können zum Schutz vor Oberflächenerosion beitragen. Die Beeinträchtigung der Standsicherheit durch Gehölz nach DIN 19712 (1997) sind in folgender Tab. 1 zusammengefasst (aus Haselsteiner u. Strobl, 2004).



Abb. 3: Deichbruch an der Ammer bei Pschorrn während Hochwasser 1999 (Quelle: WWA Weilheim, Bayern)

Tab. 1: Negative Auswirkungen von Gehölzen auf die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit

Nr.	Beschreibung	Nr.	Beschreibung
1	Lockerung des Bodens durch Lockerung des Bodens durch Baumwurzeln vor allem bei Sturm	6	Beeinflussung des Graswuchses bzw. der Grasnarbe durch Beschattung
2	Umstürzende Bäume reißen Löcher in den Deich (Windwurf)	7	Durchwurzelung von Böden und Dichtungen (Erhöhung der Durchlässigkeit und der Erosionsanfälligkeit)
3	Begünstigung von Oberflächenerosion hervorgerufen durch Strömung und Wellenschlag	8	Gefährdung von Entwässerungsvorrichtungen durch Wurzelwachstum
4	Bildung von Hohlräumen und Sickerwegen durch a. Wurzelfraß von Wühltieren b. Verrottende Wurzeln	9	Ggf. Begünstigung des Auftretens von Wühltieren
		10	Zusätzliche statische Belastung der Böschung (übertragbares Windmoment)
5	Erschwernis bei Überwachung, Deichverteidigung und Unterhalt	11	Beschädigung von Bauwerken im Deich

Versagensmechanismen und Schäden durch unsachgemäßen Bewuchs auf Deichen sind so vielfältig wie Besognis erregend (Abb. 4). Die vor bzw. nach Hochwasser auftretenden Primärschäden legen die Grundlage zur Verschlechterung des Deichzustandes und verstärken bei Hochwasser die Gefahr des Auftretens geotechnischer Schäden bis hin zum Deichbruch. Grundsätzlich sollten deshalb Deichschäden so schnell wie möglich beseitigt werden. Oft ist dies erst nach Abklingen einer Hochwasserwelle möglich. Im Zuge von regelmäßigen Unterhaltungsmaßnahmen können Primärschäden immer wieder beseitigt und Folgeschäden verhindert werden.

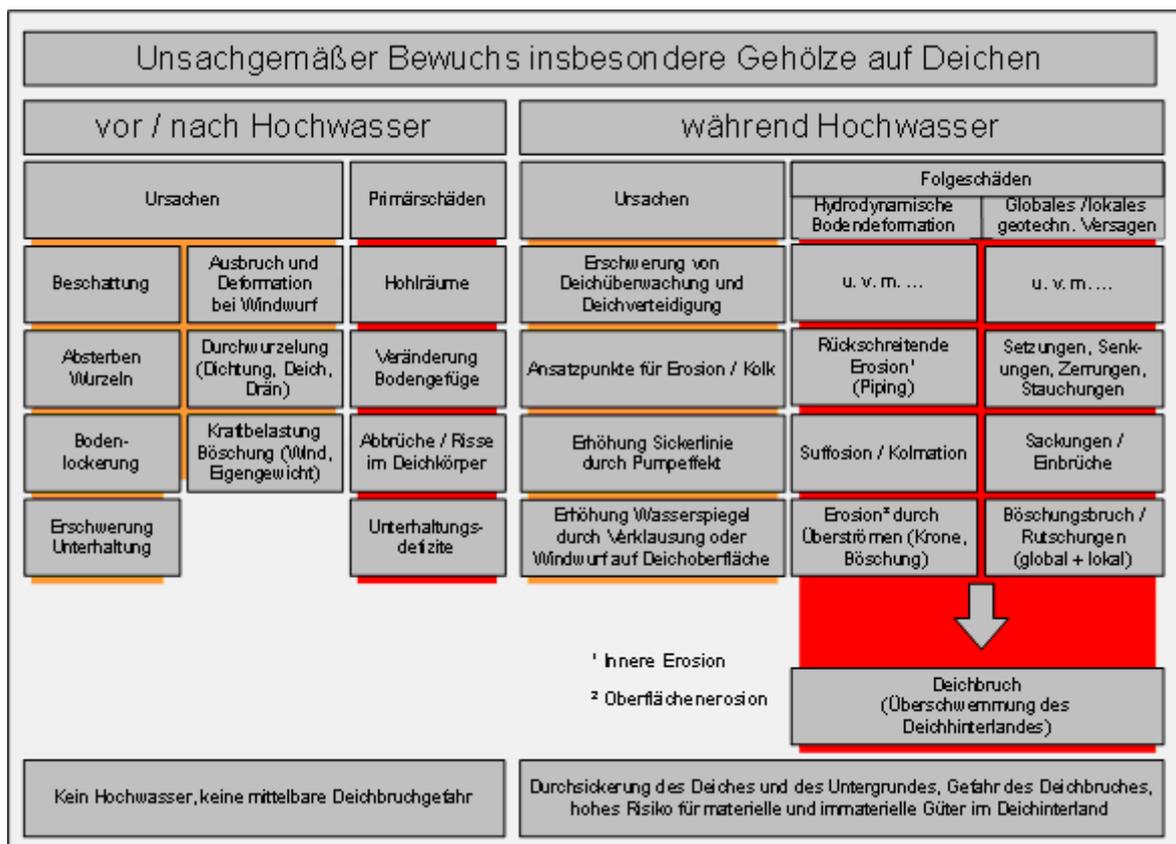


Abb. 4: Schadensursachen und Schäden vor und nach oder während dem Hochwasser infolge unsachgemäßen Gehölzbewuchses auf Deichen (aus Haselsteiner u. Strobl, 2005)

2.3 Konsequenzen für Deiche mit Gehölzbeständen

LfW BY (1984) formuliert im Anbetracht der vielen Gefahren, die mit Gehölzen auf Deichen verbunden sind, vier Gesichtspunkte, die es zu beachten gilt (vgl. DVWK 226, 1993):

- Die Sicherheit von Deichen hat Vorrang vor einer Bepflanzung und der Erhaltung des Bewuchses.
- Keinesfalls dürfen Dichtungen oder Filter beeinträchtigt werden.
- Überwachung und Deichverteidigung müssen ohne Einschränkungen möglich sein; Unterhaltung und Instandsetzung dürfen nicht wesentlich erschwert werden.
- Der rechnerisch notwendige Hochwasserabflussquerschnitt darf nicht eingeschränkt werden. Die Entwicklung des Bewuchses ist dabei zu berücksichtigen.

Marks u. Tschantz (2002) fordern darüber hinaus noch, dass Bereiche mit nicht regelkonformem Gehölzbewuchs verstärkt überwacht werden und ggf. besondere Unterhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden müssen. Die Forderungen von ingenieurbioökologischer Seite reichen von der Berücksichtigung von ökologischen Aspekten bei der Auswahl von geeignetem Bewuchs bis hin zur kompletten Bewaldung der Deiche (Pflug u. Hacker, 1999). Die auftretende, stabilisierende Wirkung von Gehölzen (Schiechl u. Stern, 2002, Patt et al., 1998) kann nicht dauerhaft garantiert werden, da Gehölze durch mechanische oder biologische Einwirkungen absterben können. Eine quantitative Festlegung der Zugfestigkeit oder Kohäsion von durchwurzeltem Boden stellt sich ebenso als schwierig dar (Tobias, 1991). BAW MSD (2005) lässt für den Nachweis der örtlichen Standsicherheit den Ansatz einer Wurzelkohäsion von maximal $c_w = 7,0 \text{ kN/m}^2$ in „besonderen Fällen“ zu (Hähne, 1991; Schuppener, 1993). Dies ist nach Meinung der Verfasser gerechtfertigt, wenn davon ausgegangen werden kann, dass eine oberflächennahe Rutschung im Bereich der Vegetationsdecke oder ein Fehlen der Vegetationsdecke nicht das Versagen des gesamten Bauwerks zur Folge hat. Häufig bleibt die „biologische Bewehrung“ aus diesen Gründen als unsichtbare Sicherheitsreserve unberücksichtigt.

2.4 Regeln zu Bewuchs auf Deichen

Gehölze auf Deichen sind in DIN 19712 (1997) geregelt:

- Kein Gehölzbewuchs auf nicht überdimensionierten Deichen, die aus Bodenarten bestehen, die eine Durchwurzelung begünstigen
- Kein Gehölzbewuchs auf wasserseitigen Böschungen und Bermen, im Bereich der Deichkrone, an Überlaufstrecken und überströmbaren Teilschutzdeichen
- Keine Ausbreitung der Wurzeln in den erdstatisch erforderlichen Deichquerschnitt
- Kein Gehölzbewuchs im unteren Drittel der landseitigen Böschung aufgrund Sickerwasserbeobachtung und Deichverteidigung
- Bepflanzung nur in Gruppen unter Beachtung der Belange des Unterhalts
- Sicherheitsabstand vom Deichfuß wegen Kolk- und Durchwurzelungsgefahr
- Beachtung der Gehölze im Vorland im Bezug auf Hochwasserabfluss
- Entfernung von Gehölzen im Falle einer Beeinträchtigung der Standsicherheit
- Entfernung von abgestorbenen Wurzeln nach spätestens zwei Jahren

BAW MSD (2005) beinhaltet Bewuchsregelungen für Stauhaltungsdämme an Bundeswasserstraßen, die von den Regelungen für Deiche abweichen. Von einer Übertragung dieser Bewuchsregelung auf Deiche kann, wenn man das Sicherheitsniveau der DIN 19712 beibehalten will, abgeraten werden (Haselsteiner u. Strobl, 2004).

2.5 Ergänzende Hinweise zu den Regeln aus DIN 19712 (1997)

Folgende Hinweise können zusätzlich zu Abschnitt 2.4 beachtet werden:

- Bei der Belassung und/oder Pflanzung von Bäumen in Gruppen sollte darauf geachtet werden, dass die einzelnen Bäume genügend Platz haben, um ein

überproportionales Höhenwachstum im Konkurrenzkampf mit anderen Artgenossen zu verhindern.

- Gesunde Bäume sollten i. d. R. ein H/D-Verhältnis von höchstens 50 aufweisen. Die Standsicherheit von Jungbäumen ist i. d. R. eher gefährdet als die von alten Bäumen. Junge Bäume können jedoch aufgrund ihrer Vorspannung auch bei größeren H/D-Werten standsicher sein. Die Beurteilung der Standsicherheit kann im Einzelfall getroffen werden (Wessolly u. Erb, 1998).
- Die Durchsickerung oder Sättigung des Wurzelballens kann die Scherwiderstandskräfte des Bodens und die Verankerung der Wurzel im Boden herabsetzen, so dass im Allgemeinen eine Durchsickerung mittels baulicher Maßnahmen (Ringdrän o. ä.) ausgeschlossen werden soll.
- Bei der Sicherung von Deichen mittels statisch wirksamen Innendichtungen muss sichergestellt werden, dass die Dichtung erstens nicht durchwurzelt wird (vgl. Kap. 3) und zweitens auftretende Momente, z. B. aufgrund von möglichen Böschungsrutschungen nach Versagen des Baumes (Windwurf), aufnehmen kann.
- Durchwurzelungshemmschichten können einerseits aus festen Baustoffen wie Stahl, Kunststoffen o. ä. bestehen und andererseits aus grobkörnigem Kiesmaterial. Sie sind stets dort anzubringen, wo eine Durchwurzelung nachteilige Auswirkungen auf die Standsicherheit mit sich bringt, das ist besonders im Bereich von Oberflächendichtung und Dräns an den Deichfüßen der Fall.
- Nach dem Fällen von Bäumen müssen die Gehölzwurzeln restlos entfernt und der Wurzelkrater mit entsprechendem Bodenmaterial verfüllt und verdichtet werden.

Die Zulässigkeit von Gehölzen ist abgesehen von standortbedingten Faktoren wie z. B. Staunässe und Untergrundböden u. A. abhängig von

- dem Deichquerschnitt (Überprofil),
- dem Schüttmaterial,
- zusätzlichen Sicherungsmaßnahmen (wurzelfeste Sperren ...),
- der Lage des Gehölzes am Deich,
- der Größe, der Wurzelausbreitung und dem Wachstum des Gehölzes,
- dem Aufwand für Unterhaltung und Ertüchtigung.

Unabdingbar für eine differenzierte Beurteilung der Zulässigkeit von unterschiedlichen Gehölzen in bestimmten Bereichen am und auf dem Deich ist neben der abschnittswisen Gliederung des Deiches (Zonierung) eine Klassifikation der Gehölze, welche unter Berücksichtigung ihrer Größe, ihrer Wurzelausbreitung und ihres Wachstums vorgenommen werden kann (vgl. BAW MSD, 2005). Für die folgenden Betrachtungen wurden Gehölze in vier Gefahrenklassen (GeK) unterteilt. GeK 1 wird von groß- oder schnellwüchsigen Bäumen mit extensiver Wurzelausbreitung wie z. B. Pappel, Fichte oder Eiche gebildet. Entsprechend des sinkenden Gefahrenpotentials werden kleinwüchsige Bäume oder Büsche, wie z. B. alle Wildrosenarten oder die Himbeere der GeK 4 zugeordnet.

Wird der Deich zzgl. Vor- und Hinterland in Bereiche aufgeteilt, kann abweichend von DIN 19712 (1997) und DVWK 226 (1993) das Bewuchskonzept unter Berücksichtigung von Sicherungsmaßnahmen (Abb. 5, linke Spalte) oder besonderen Randbedingungen fallspezifisch angepasst werden, ohne dabei das existierende Sicherheitsniveau zu beeinträchtigen (Abb. 5).

Auf den wasserseitigen Böschungen von Schardeichen darf kein Gehölz vorhanden sein, wenn mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten und Wellen zu rechnen ist

(Erosionsanfälligkeit). Wasserseitig angeordnete Gehölze müssen einer regelmäßigen und ggf. nicht seltenen Überflutung standhalten. Weitere Hinweise zu einer fallspezifischen Bewuchsregelung sind in Abb. 5 enthalten.

Einzelgehölze können auf dem Deich außer in den Zonen W1 und L2 unter Berücksichtigung der Standsicherheit des Deiches und des Gehölzes zugelassen werden. Einzelgehölze können durch Sonderbauweisen einzeln gesichert werden, wie z. B. durch Schachtringe (siehe Abschnitt 3.3.4).

Bei Gehölzbeständen, insbesondere waldartigen Gehölzstrukturen, die bis an den Deich reichen, müssen entsprechende Sicherungsmaßnahmen getroffen werden. Direkt am Deich sollten i. d. R. maximal Gehölze bis GeK 3, auf dem Deich maximal GeK 4 zugelassen werden (Abb. 5).

In den kritischen Bereichen der wasserseitigen Böschung und im Bereich des unteren Drittels der landseitigen Böschung können im Einzelfall Gehölze, die der GeK 3 entsprechen, zugelassen werden, wenn folgende Punkte es erlauben:

- Es handelt sich um Deiche mit niedrigem Schutzgrad (z. B. $T < 10$ a) und geringem Schadenspotential (Landwirtschaft, Wald), für die im Hochwasserfall keine Deichverteidigung vorgesehen ist.
- Sowohl die Standsicherheit als auch die Deichüberwachung sowie Deichverteidigung sind durch bauliche und/oder betriebliche Maßnahmen sichergestellt.

2.6 Auswahl, Unterhalt und die Entfernung von Gehölzen

2.6.1 Auswahl von Gehölzen

Neben den statischen und durchwurzelungsrelevanten Gesichtspunkten, die für die Deichsicherung von entscheidender Bedeutung sind, müssen Bäume, damit sie ihren vollen ökologischen Wert entfalten können, mit den vorherrschenden Standortbedingungen zurechtkommen. Besonders wichtig sind hierbei folgende Punkte:

Wasserseitig im Flutbereich sollten deshalb Gehölze stehen, die temporäre Überflutungen überstehen und ggf. gegen Staunässe resistent sind. Die verwendeten Deichböden spielen als Wasserspeicher, Nährstoff- und Sauerstofflieferant eine tragende Rolle.

Dicht gelagerte, nährstoffarme, saure Böden sind im Allgemeinen nur für sehr anspruchslose, resistente Gehölzarten als Standort geeignet. Schnellwüchsige Gehölze sowie Gehölze, die zu Stockausschlag und/oder Wurzelbrut fähig sind, können den Unterhaltsaufwand erhöhen. Schattenbaumarten können sich an Sonnen exponierten Deichen nur schlecht entwickeln. Sofern Gehölze überschüttungstolerant sind, können sie u. U. trotz Erdbewegungen auf dem Deich bleiben. Eine Zusammenstellung der wichtigsten Auswahlkriterien, z. B. Baumhöhe, Kronenform, Wurzelform, Empfindlichkeit gegenüber Staunässe, etc. ist in Haselsteiner u. Strobl (2005) zu finden (vgl. Hiller, 1985).

2.6.2 Pflegemaßnahmen und Unterhaltung von Gehölzen

Zur Gewährleistung bestimmter Lichttraumprofile und zur Erhöhung der Standsicherheit können Pflegeschnitte zur Formgebung notwendig werden. Statisch günstiger ist nach Mattheck (2002) ein Einkürzen des Baumes bzw. die Entfernung der Baumspitze. Um eine Beschattung der Böschung zu verhindern und Wühltieren keinen Anreiz zum Verbleib zu geben, sollten nach DIN 19712 (1997) Bäume aufgeastet (Entfernung bodennaher Äste) werden. Die Krone sollte bei Schnittmaßnahmen um höchstens 30 % reduziert werden.

Zulässigkeit von Gehölzen auf Deichen nach GeK

GeK: Gefahrenklassen⁷⁾⁸⁾

(Einteilung von Bäumen und Sträuchern aus BAW MSD (2005) in Anbetracht von Größe, Wurzelausbreitung und Wachstumsrate)

Sicherungsmaßnahmen ¹⁾⁹⁾¹⁰⁾	Deichquerschnitt ²⁾³⁾	Deichquerschnitt											
		Zone ⁹⁾ W5	Zone ⁹⁾ W4	Zone ⁹⁾ W3	Zone ⁹⁾ W2	Zone ⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾ W1	Zone ¹¹⁾ 0	Zone ¹⁰⁾¹¹⁾ L1	Zone ⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾ L2	Zone L3	Zone L4	Zone L5	Zone L6
1	Keine (Nur erdschüttsicherer Deichquerschnitt)	GeK 1	GeK 2	GeK 3	-	-	-	-	-	-	GeK 3	GeK 2	GeK 1
2	Landseitiges Überprofil	GeK 1	GeK 2	GeK 3	-	-	GeK 4	-	-	-	GeK 3	GeK 2	GeK 1
3	Landseitiges und wasserseitiges Überprofil	GeK 1	GeK 2	GeK 3	GeK ⁴⁾ 4	GeK ⁶⁾¹¹⁾ 4	GeK 4	-	-	GeK ⁴⁾ 4	GeK 3	GeK 2	GeK 1
4	Statisch wirksames Sicherungselement	GeK 1	GeK 2	GeK 2	GeK 3	GeK ⁶⁾¹¹⁾ 4	GeK 4	-	-	GeK ⁴⁾ 4	GeK 3	GeK 2	GeK 1

- 1) Ein Eindringen der Wurzeln in den statischen Querschnitt ist zu verhindern, außer wenn andere statische Sicherungselemente die Standsicherheit sicherstellen.
- 2) Deichwege und Fahrbahnen sind von Gehölz freizuhalten. Die Deichkrone und Deichverteidigungswege müssen für den vorgesehenen Verkehr ein ausreichendes Lichtprofil haben.
- 3) Beim Vorhandensein einer Oberflächendichtung ist ein Eindringen der Wurzeln in die dieselbe auszuschließen.
- 4) Das Eindringen von Wurzeln in den erdstatisch erforderlichen Querschnitt des Deiches oder in einen landseitigen Drän ist ggf. durch eine Wurzelsperre am Deichfuß zu verhindern.
- 5) Außer in diesen Bereichen sind auf und am Deich standsichere, u. U. bestehende Einzelgehölze im Einzelfall bis zu GK 3 zulässig, sofern genug Platz für eine ausreichende Wurzelausbreitung vorhanden ist, aber gleichzeitig die Wurzeln keine Beeinflussung der Standsicherheit bewirken.
- 6) Bei Schardeichen, bei erhöhtem Strömungsangriff und/oder erhöhter Erosionsgefahr durch Wellen ist auf der wasserseitigen Böschung kein Gehölz zulässig.
- 7) Gehölze mit minderer Gefahrenklasse (z. B. GeK 4) sind im Allgemeinen in Zonen höherer Gefahrenklasse (z. B. GeK 1) zulässig.
- 8) Sind aufgrund der Randbedingungen oder aufgrund besonderer Pflege- und Unterhaltungsmaßnahmen z. B. geringere Höhen und/oder geringere Wurzelausbreitungen sicher abschätzbar und/oder sind aufgrund besonderer Sicherungsmaßnahmen eine Beeinträchtigung der Deichsicherheit auszuschließen, können Gehölze einer höheren Gefahrenklasse auch in die nächstniedrigere eingestuft werden.
- 9) Gehölze auf der Wasserseite müssen einer regelmäßiger u. U. nicht seltener Überflutung standhalten.
- 10) Sind Gehölzbestände am Deich vorhanden, insbesondere innerhalb der Deichschutzstreifen, müssen Sicherungsmaßnahmen z. B. der Einbau einer Wurzelsperre getroffen werden. Am Deich sollten i. d. R. maximal Gehölze der GeK 3 und auf dem Deich der GeK 4 zugelassen werden (Ausnahme siehe unter 11).
- 11) In diesen Bereichen können im Einzelfall maximal Gehölze, die der GeK 3 entsprechen, dann zugelassen werden, wenn es sich um Deiche mit niedrigem Schutzgrad und geringem Schadenspotential handelt. Im Hochwasserfall ist keine Deichverteidigung vorgesehen. Gehölze lassen keine Beeinträchtigung der Standsicherheit erwarten und/oder sowohl die Standsicherheit, als auch die Deichüberwachung sowie Deichverteidigung sind durch bauliche und/oder betriebliche Maßnahmen sichergestellt.

Abb. 5: Zulässigkeit von Gehölzen unter Berücksichtigung von Sicherungsmaßnahmen und Gehölzklassifizierung

Die Korrektur von asymmetrischen Kronen sowie das Entfernen von weit abstehenden Einzelästen führen i. d. R. zu einer Verbesserung der Standsicherheit des Baumes. Schnittmaßnahmen sollten bei Laubbäumen i. d. R. von Mai bis September durchgeführt werden. Bei speziellen Laubbaumarten (Ahorn, Linde ...) sollte dieser Zeitraum in den Frühling verlegt werden. Nadelhölzer können ganzjährig beschnitten werden (Wessolly u. Erb, 1998).

2.6.3 Entfernung von Gehölzen

Gehölze müssen, falls sie den Empfehlungen der DIN 19712 (vgl. Abschnitte 2.4 und 2.5) nicht entsprechen und/oder ggf. sonstige Gründe wie z. B. die Erkrankung oder die Gefährdung der Standsicherheit eines Baumes dafür sprechen, entfernt werden. Marks u. Tschantz (2002) vertreten die radikale Ansicht, dass generell alle Gehölze auf Dämmen entfernt werden sollten, da es immer eine Beeinträchtigung der Funktionsweise geben kann. Wie sonstige Unterhaltungsarbeiten ist „*der Eingriff des Ausholzens während der Wintermonate*“ günstig (Boser, 1999).

Sind die Bäume bzw. Gehölze gerodet, müssen auch deren Wurzeln fachgerecht entfernt werden. Nach Entfernen der Wurzel muss der Wurzelkrater mit geeignetem Bodenmaterial verfüllt und auch entsprechend verdichtet werden.

Abgestorbene Wurzeln sind gemäß DIN 19712 nach spätestens zwei Jahren auszugraben. Besser ist es, die Entfernung der Wurzeln und die Rodungsmaßnahmen in einem Schritt durchzuführen. Von einem zügigen starken Verrotten der Gehölzwurzeln ist bei trockenen Standorten nicht auszugehen (Winski, 2004). Begemann u. Schiechtl (1986) weisen darauf hin, dass Bäume, deren Wurzeln angefault sind, ebenfalls „*rücksichtslos entfernt*“ werden müssen, da sie zum einen nicht mehr standsicher sein können und zum anderen keinen Erosionsschutz mehr bieten. Deshalb müssen „*in mehrjährigen Intervallen alle kranken oder abgestorbenen Äste und Pflanzen sowie solche Gehölze entfernt werden ..., die andere im Wuchs behindern*“.

Beim Deichbau sollte folgendes Vorgehen zur Sicherstellung der gewünschten Wirkung bei der Gehölzentfernung gewählt werden (vgl. Marks u. Tschantz, 2002):

- Fällen des Baumes ca. 0,5 bis 1,0 m über Geländeoberkante (Schritt 1)
- Lockerung des verbleibenden Baumstumpfes mitsamt der Wurzel (Schritt 2)
- Herausziehen des Baumstumpfes mitsamt der Wurzel bei begrenztem Kraftaufwand (Schritt 3)
- Entfernung aller losen Boden- und Holzpartikel im und rund um den Krater (Kegelstumpf mit Minimaldurchmesser des erzeugten Abbruchkrater und einer Böschungsneigung von mindestens 1:1) (Schritt 4)
- Sachgerechte Verfüllung des Kraters (Kegelstumpf) mit geeignetem Material und der üblichen Verdichtungsmethodik (ggf. müssen kleine Verdichtungsgeräte verwendet und/oder zusätzlicher Aushub getätigt werden) (Schritt 5)

Ökologische sowie finanzielle Gesichtspunkte können für ein zeitlich gestuftes Entfernen von Gehölzen sprechen. Marks u. Tschantz (2002) entwickelten hierfür einen 5-Jahres-Plan. Im ersten Jahr werden die Bäume mit Durchmessern < 10 cm, im zweiten Jahr mit Durchmessern kleiner 15 cm und im dritten Jahr mit Durchmessern < 20 cm bodennah abgeschnitten und ggf. die Wurzeln je nach Lage im Damm belassen. Im vierten und fünften Jahr werden dann alle übrigen, u. U. aufwendigeren Gehölzentfernungen und damit verbundenen Baumaßnahmen (Wiederverfüllung) durchgeführt.

Für Deiche an Fließgewässern sollten folgende Hinweise beachtet werden:

- Grundsätzlich sollten bei einer Gehölzentfernung die Wurzeln mit entfernt werden. In Bereichen, in denen kleine Wurzeln keinen Einfluss auf die Durchsickerung haben oder keine Erosionsgefährdung verursachen können, ist ein Belassen in der obersten Bodenschicht möglich, wenn ein erneutes Wachstum durch z. B. Stockausschlag oder Wurzelbrut verhindert wird oder ausgeschlossen werden kann.
- Grundsätzlich sollte die Entfernung von Spross und Wurzel in einem Zug ggf. mitsamt den sonstigen Deichertüchtigungs- oder Deichunterhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden.
- Im Falle, dass eine zeitliche Staffelung der Maßnahmen notwendig wird, sollte zuerst der Deich selbst und primär die wasserseitige Böschung von Gehölz befreit werden, anschließend die anderen Bereiche.
- Besonderes Augenmerk muss auf kranke und ältere Bäume mit großen Durchmessern ($D > 50 \text{ cm}$) und hohen H/D-Verhältnissen (> 50) gerichtet werden. Sie sind ggf. vorrangig zu entfernen.
- In weiteren Schritten können mit abnehmendem Durchmesser die restlichen Bäume auf dem Deich und in den nach Regelung gehölzfreien Bereichen vor und hinter dem Deich entfernt werden.

Der Zeitrahmen kann vier bis fünf Jahre betragen. Eine strikte Orientierung der Ausholungsreihenfolge an dem Baumdurchmesser kann u. U. nicht zielführend sein, da es gilt, die Bäume zuerst zu entfernen, die ein hohes Gefahrenpotential bergen. Das können junge Bäume mit hohen H/D-Verhältnissen ebenso wie alte Bäume mit starker Wurzelausprägung (Erosionsanfälligkeit) sein.

3 Ertüchtigung und bauliche Sicherung von Deichen

3.1 Allgemeines und Rahmenbedingungen

Auf Basis der in den Erkundungsmaßnahmen gewonnenen Informationen wird der Deichbestand hinsichtlich der Anforderungen der a.a.R.d.T. mit dem Ist-Zustand verglichen. Werden Defizite festgestellt, ist Ertüchtigungsbedarf vorhanden. Entspricht der Deich den a.a.R.d.T. ist kein Ertüchtigungsbedarf gegeben.

Aufgrund begrenzter Finanzmittel sollte sich die zeitliche Abfolge zur Durchführung von Ertüchtigungsmaßnahmen nach zuvor festgelegten Kriterien richten. Bei der Festlegung dringlicher Maßnahmen sind insbesondere Gesichtspunkte und Kriterien, wie die vorhandenen Defizite der Deichstrecke sowie des Hinterlandes und das Gefährdungspotential, zu berücksichtigen (Rasp, 2003). Eine Einteilung von Ertüchtigungsprioritäten in Kategorien deckt sich i. d. R. mit der zeitlichen Notwendigkeit von Ertüchtigungsmaßnahmen mit sofortigem, mittel- oder langfristigem Handlungsbedarf. Bei sofortigem Handlungsbedarf können Sofortsicherungsmaßnahmen, Vorwegmaßnahmen und Teilertüchtigungsmaßnahmen die Standsicherheit zeitnah herstellen.

Bei der Planung und Ausführung sind neben den bautechnischen und rechtlichen auch finanzierungs- und haushaltstechnische Zwangspunkte zu berücksichtigen. Neben dem Vorhandensein eines „Altdeiches“, der häufig in Aufbau und Beschaffenheit aufgrund von weit zurückliegenden Baumaßnahmen unbekannt ist, müssen Aspekte der Deichüberwachung und Deichverteidigung, z. B. die Notwendigkeit des Anlegens eines Deichhinterwegs, ebenso berücksichtigt werden wie die dauerhafte Durchführbarkeit von

wirksamen und wirtschaftlichen Unterhaltungsmaßnahmen. Die Platzverhältnisse spielen eine weitere gewichtige Rolle. Bei einer notwendigen Verbreiterung des Deichlagers können sowohl der Kosten- und Verwaltungsaufwand vergrößert als auch die Gesamtmaßnahme durch den Einspruch von betroffenen Grundstückseigentümern verzögert werden. Darüber hinaus sollten wie beim Neubau von Deichen landschaftliche, ökologische und städtebauliche Belange berücksichtigt werden. In Abstimmung mit den Vorgaben aus den notwendigen Rechtsverfahren kann der Zeitplan zur Planung und Durchführung der Maßnahme so gestaltet werden, dass die Baumaßnahmen in einer günstigen, von Hochwassern nicht gefährdeten Jahreszeit durchgeführt werden können. Der Umfang der Maßnahmen selbst begründet die Notwendigkeit der unterschiedlichen Rechtsverfahren. So können der Einbau von Dichtungen und Dräns sowie die Bewuchspflege und –entfernung häufig im Rahmen von Unterhaltungsmaßnahmen ohne Planfeststellungsverfahren und Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt werden, wogegen Deichrückverlegung oder Deicherhöhung i. d. R. ein Planfeststellungsverfahren nach sich ziehen (Kempfler, 2003; Rasp, 2003).

3.2 Maßnahmen der Deichertüchtigung

3.2.1 Verlegung des Deiches

Die Deichverlegung entspricht aus technischer Sicht einem Neubau. Folgende Punkte können für eine Deichverlegung sprechen:

- Erhöhung der natürlichen Retention
- Wiedergewinnung von Rückhalteflächen
- Ungünstige Untergrundverhältnisse im Deichlager
- Ungünstige Strömungsverhältnisse bei Hochwasser
- Hohe Fließgeschwindigkeiten am Deich
- Anschluss von Auen
- Sonstige naturhaushaltlichen Gründe,
- Kostengesichtspunkte.

Eine besondere Art der Deichneutrassierung stellt die Deichrückverlegung dar. Die Deichrückverlegung kann bei annähernd gleich bleibenden mittleren Fließgeschwindigkeiten im betrachteten Querschnitt den Wasserspiegel bei BHQ lokal herabsetzen und die an der Deichoberfläche angreifenden Strömungskräfte verringern. Zudem wird im Abflussquerschnitt zusätzlich Retentionsraum geschaffen. Deichrückverlegungen können neben den günstigen Auswirkungen für den Hochwasserschutz einen hohen ökologischen und ökonomischen Nutzen haben. Bei den üblichen Verhältnissen an eingedeichten Gewässern ist die mit einer Deichrückverlegung für Unterlieger erzielbare Retentionswirkung relativ gering im Vergleich zu anderen Maßnahmen, wie z. B. der Bau von Flutpoldern und Hochwasserrückhaltebecken (Göttle u. Pharion, 2004; Schwaller, 2003).

3.2.2 Verbesserung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit

3.2.2.1 Erdbauliche Maßnahmen / Böschungssicherung

Ist der Altdeich aufgrund seines Zustandes nicht in den ertüchtigten Deichquerschnitt integrierbar, können zusätzlich zu den Gründen, die für einen Abtrag im Zuge einer Deichverlegung sprechen, folgende Gesichtspunkte für eine Entfernung ausschlaggebend sein:

- Inhomogener, ungünstiger Aufbau durch z. B. den historischen Teilausbau und –umbau
- Geringe Lagerungsdichte durch unzureichende Verdichtung beim Bau
- Ungeeignete Deichbaumaterialien, wie z. B. Böden mit hohem organischem Anteil

- Tiefreichende Beeinträchtigungen durch z. B. Erosion, Wühltiere und Wurzeln
- Baubetriebliche Gründe und Mehrkosten

Nach Abtrag des Gesamtdeiches wird der Untergrund für den Wiederaufbau vorbereitet. Wertvolle Vegetationsbestände wie z. B. Grasnarben können zwischengelagert und wieder aufgebracht werden. Das abgetragene Material kann als Schüttmaterial verwendet werden, wenn es die dafür geltenden Anforderungen erfüllt. Unter Umständen müssen Findlinge, größere Steine, Mauerwerksreste und organische Bestandteile entfernt werden.

Unter Teilneubau wird sowohl die Wiedererrichtung eines abgetragenen Deichbestandteils als auch eine Erweiterung des bestehenden Deiches mit Integration des Altdeiches verstanden. Wichtig ist es, dass der verbleibende Bestand ordnungsgemäß in den neu geplanten Querschnitt integriert wird. Der Altdeich muss so integriert werden, dass die Durchlässigkeit im Querschnitt zur Landseite hin zunimmt. Je nachdem, ob eine wasserseitige Dichtung aufgebracht wird, nachträglich eine Innendichtung eingebaut wird oder ein Drän mit Deichverteidigungsweg (DVW) bzw. Deichhinterweg landseitig angeordnet wird, kann der Altdeich im Querschnitt unterschiedlich eingegliedert werden.

Da Altdeiche meist keinen zonierten Aufbau besitzen, bietet es sich an, vergleichsweise durchlässige Altdeiche durch Anordnung eines Dichtungselementes zu ertüchtigen (Abschnitt 3.2.2.2). Bei Anordnung einer Oberflächendichtung oder Innendichtung sowie einem Dränkörper an der Landseite (vgl. Abb. 6 und 10) entspricht der Aufbau dem eines 3-Zonen-Deiches.

Nicht tragfähige Böden, z. B. organische Böden, dürfen nicht innerhalb des statisch wirksamen Deichbereiches, im Deichkörper selbst und im Untergrund liegen. Sie müssen ggf. durch geeignetes Material ausgetauscht werden.

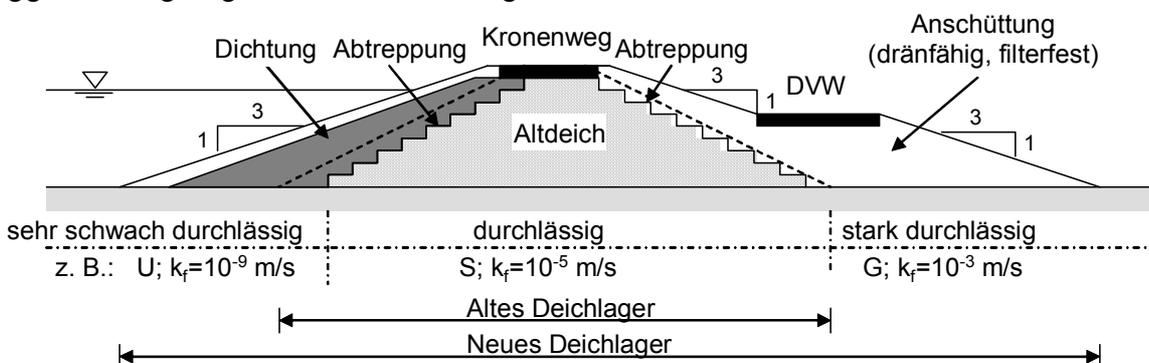


Abb. 6: Ertüchtigung eines Altdeiches mittels Oberflächendichtung

Wie in den Regelwerken gefordert wird, sollten Böschungsneigungen möglichst flach ausgebildet werden. Böschungsneigungen von 1:3 und flacher sind aus Sicht der Standsicherheit, Unterhaltung und Deichverteidigung vorteilhaft. Zur Erhöhung der lokalen Standsicherheit an der wasserseitigen Böschung bei fallendem Wasserspiegel kann im unteren Böschungsbereich eine Abflachung bzw. Abrundung mit einer anfänglichen Neigung flacher 1:5 vorgesehen werden. Eine Abflachung im unteren Drittel des Deiches ist i. d. R. ausreichend (Abb. 7). Dies gilt auch für homogene Deiche im Bereich des Sickerwasseraustritts auf der landseitigen Böschung. Neben der Erhöhung der Böschungsstandsicherheit gewährleistet diese Maßnahme auch eine landschaftsgerechte Einbindung.

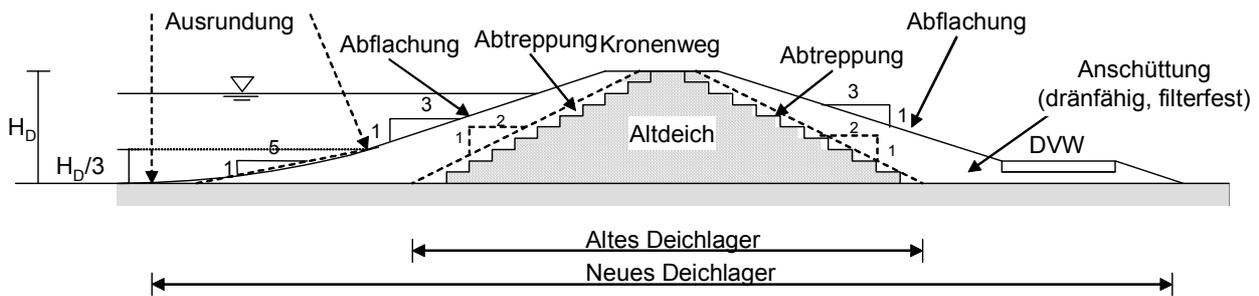


Abb. 7: Abflachen der wasserseitigen Böschung zur Gewährleistung der Standsicherheit

„Der wirtschaftlichste und natürlichste Schutz für den Deichkörper ist eine stark verwurzelte und geschlossene Grasnarbe.“ (DIN 19712, 1997). Bei Schädigung der Vegetation oder Deichoberflächen müssen die beschädigten Bereiche entfernt und ertüchtigt werden. Bei unzureichender Ausbildung der Vegetation ist in Betracht zu ziehen, auf andere, den Umgebungsbedingungen besser angepasste Saatgutmischungen zurückzugreifen. In Bereichen mit hohen Fließgeschwindigkeiten am Deich und ggf. hoher Wellenbelastung, besonders bei Schardeichen, kann es notwendig sein, die Deichoberfläche nachträglich flächenhaft, z. B. mittels einer Steinschüttung, zu sichern. Es ist auch möglich, die oberflächennahen Schichten z. B. mit Vergusssteinen, einer Verklammerung der Schüttung oder hydraulisch gebundenen Schichten zu sichern. Aufnehmbare Belastungen von Oberflächensicherungen sind in Tab. 2 angegeben.

Böschungen, die z. B. nach einer Ertüchtigungsmaßnahme keinen Erosionsschutz aufweisen, sind in hohem Maße gefährdet, beim nächsten Hochwasser oder Starkregenereignis Schäden zu erleiden. Besonders wenn außerhalb der Vegetationszeiten Baumaßnahmen abgeschlossen werden, ist mit einer raschen Ausbildung einer erosionssicheren Vegetationsdecke trotz standortgerechter Ansaat vor der Hochwasserperiode nicht zu rechnen. Fertiggras, organische Matten und Gewebe sowie Geotextilien können die Deichböschungen in diesem Fall sichern. Rasensoden oder Rollrasen haben den Vorteil, dass der Deich unmittelbar seine landschaftsgerechte Einbindung und die Erosionssicherheit erhält. Das Saatgut dieser vorgefertigten Vegetationsdecke sollte auf den Deichstandort abgestimmt werden. Organische Produkte verrotten ungefähr in drei bis fünf Jahren restlos. Die Einlage des Saatguts in Gewebe ist ebenso möglich wie Kombination mit Drahtgeflechten zum Schutz vor Wühltieren. Die Befestigung erfolgt z. B. mit Holznägeln (Neisser, 2003). Vliese, Gewebe und Maschenware können auch zur Erosionssicherung verwendet werden (vgl. Abschnitt 3.2.2.3).

Für den Fall, dass ein Deich als Überlaufdeich (Abb. 8) ausgebildet werden soll, sind neben der Böschung vor allem die Krone und der landseitige Deichfuß gegen die hydrodynamischen Kräfte zu schützen (Bieberstein et al., 2003; LfU BW, 2004).

Unter Einbehaltung der Deichlagerbreite kann eine Verbreiterung der Krone auf mindestens 3,0 m durch steilere Böschungen erreicht werden. Wände, Stützmauern, Steinschüttung und Gabionen sowie Geokunststoffe zur Bewehrung können zur Stützung der Böschung in Bereichen eingesetzt werden, an denen eine Abflachung der Böschung nicht möglich ist.

Tab. 2: Aufnehmbare Schubspannungen und Fließgeschwindigkeiten von Ufer- / Böschungssicherungsmaßnahmen

Begemann und Schiechl (1986)		LfU BW (1991)		Hamann de Salazar et al. (1994)	
Ufersicherung	Aufnehmbare Schubspannung [N/m ²] ¹	Ufersicherung	Aufnehmbare Geschwindigkeit [m/s]	Ufersicherung	Aufnehmbare Schubspannung [N/m ²] ¹
Rasen	30	Gras	1,8	Schotterrassen / Rasen	< 30
Pflanzung	> 30	Schotterrassen	3,7	Totfaschinen	60 - 70
gesicherte Pflanzung	120	Faschinenwalzen	3,5	Faschinenwalzen	100 - 150
Buschmatratze	300	Weidenstecklinge mit Steinwurf	3,5	Weidenstecklinge mit Steinwurf	100 - 150
Verpflöckte Steinberollung	250	Steinwurf mit Rauhpack	4	großer Steinwurf	> 150
Lebender Steinsatz	> 350				

¹nach mehreren Vegetationsperioden

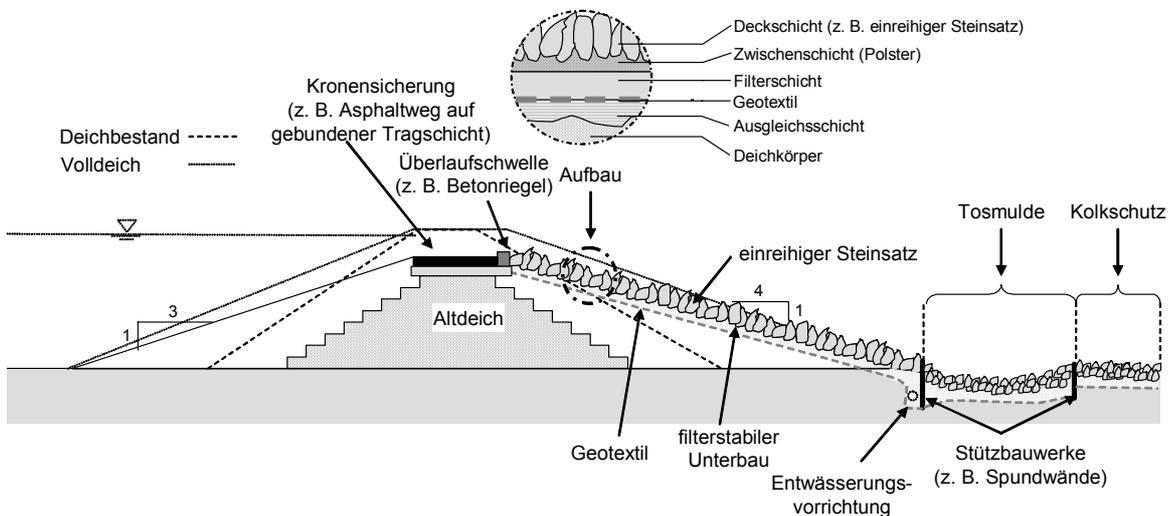


Abb. 8: Gestaltung eines Überlaufquerschnittes nach mit Überlaufschwelle, Steinsatz und anschließender Tosmulde

3.2.2.2 Einbau von Dichtungen

Falls nicht nur einzelne Hangquellen auftreten, sondern längere Deichstrecken sich als durchlässig erweisen und u. U. Erosionsprozesse beobachtet werden, ist der nachträgliche Einbau einer Dichtung zu empfehlen.

Zu unterscheiden sind vollkommene und unvollkommene Dichtungen (Abb. 9). Unvollkommene Dichtungen dienen der Verlängerung des Sickerweges und zur Verhinderung von Erosionsprozessen im Untergrund.

Wesentlichen Einfluss auf die Planung und Ausführung einer Dichtungsmaßnahme haben die Erreichbarkeit einer geringdurchlässigen Schicht im Untergrund, der Aufbau des Deiches und des Untergrundes sowie die Grundwasserverhältnisse.

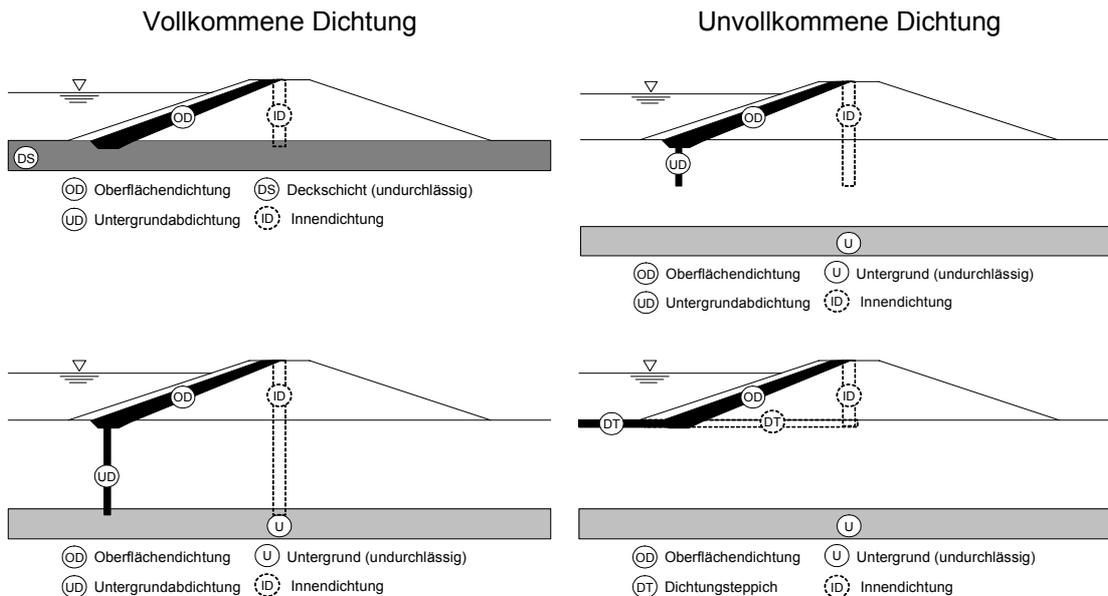


Abb. 9: Unvollkommene und vollkommene Dichtungen in Deichen

Zentrale Innendichtungen werden i. d. R. von der Deichkrone aus eingebaut (Abb. 10). Neben der Verwendung von herkömmlichen Dichtungen wie z. B. Schlitz- und Spundwand haben sich in den letzten Jahren die Verfahren der Bodenvermörtelung als geeignet und kostengünstig erwiesen. Durch das Einstellen von Stahlträgern kann bei der Bodenvermörtelung eine statische Tragwirkung der Wand erzeugt werden (Abb. 11 und Abb. 12).

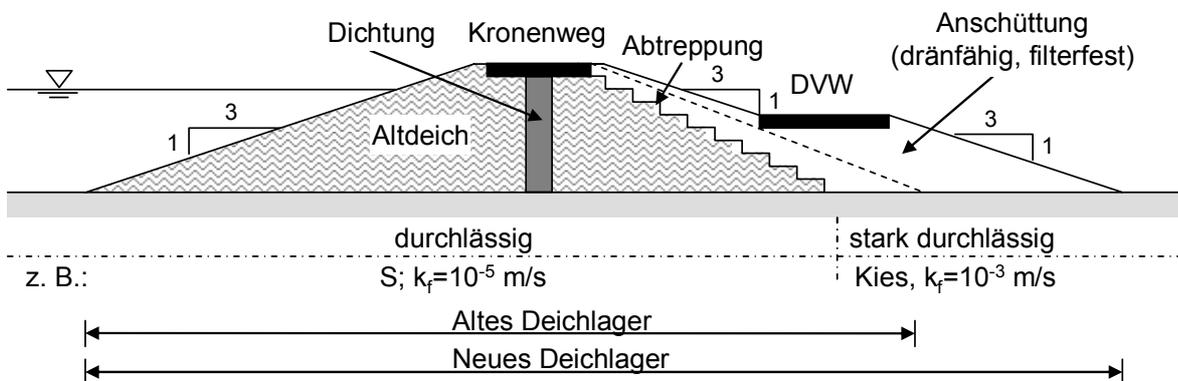


Abb. 10: Ertüchtigung eines Altdeiches mittels Innendichtung

Wenn ausreichend geeignetes Schüttmaterial verfügbar ist, kann auf der wasserseitigen Böschung eines bestehenden Deiches eine mineralische Oberflächendichtung angebracht werden (Abb. 6). Dazu ist der Oberboden mit Vegetationsdecke abzutragen. Das bindige Dichtungsmaterial muss anschließend fachgerecht verdichtet werden. Die Verdichtung der Dichtungen parallel zur Böschung in Querschnittsrichtung verhindert unerwünschte horizontale Arbeitsfugen. Ist eine bindige Deckschicht vorhanden, kann eine Anbindung der natürlichen Oberflächendichtung mittels eines Dichtungssporns als Gesamtabdichtung ausreichend sein. Mineralische Oberflächendichtungen können mit einem Dichtungsteppich ergänzt werden, wenn eine vertikale Abdichtung des Untergrundes keine wirkungsvollere oder preiswertere Methode darstellt. Die Anbindung einer natürlichen Oberflächendichtung an eine Untergrundabdichtung, kann entweder durch eine direkte Führung der Untergrunddichtung in die Oberflächendichtung oder durch das Anbringen einer plastisch verformbaren Tonplombe sowie eines Sporns erfolgen. Bei ausreichend

mächtigen und durchgehenden bindigen Deckschichten kann eine Abdichtung der Fehlstellen in der Deckschicht eine Sickerwegsverlängerung sicherstellen.



Abb. 11: MIP-Gerät im Einsatz an einem Deich an der „Kleinen Donau“ (Quelle: WWA Ingolstadt, Bayern)



Abb. 12: Grabenfräse im Einsatz auf einem Donaudeich bei Niederaltaich (Quelle: TUM)

Steht nicht genug geeignetes bindiges Dichtungsmaterial zur Verfügung oder sprechen finanzielle, baubetriebliche oder andere Gründe dafür, können auch geosynthetische Tondichtungsbahnen (GTD) zur Anwendung kommen. Eine Anbindung an eine Untergrunddichtung kann über eine Tonplombe oder durch entsprechende Überlappung erfolgen. Weiterführende Hinweise zur Thematik der Deichertüchtigung mittels Einbau von Dichtungen und Ausführungsbeispiele finden sich in DWA (2005) „Dichtungssysteme in Deichen“.

3.2.2.3 Sonstige Maßnahmen

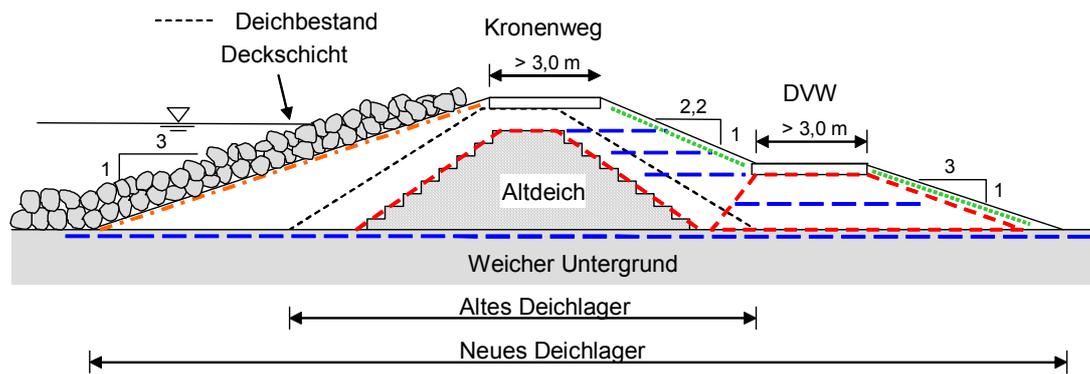
Geokunststoffe können gemäß ihrem gesamten Anwendungsspektrum Verwendung finden. Als Dichtungen kommen in erster Linie geosynthetische Tondichtungsbahnen (s. o.) zur Anwendung. Bei der Deichertüchtigung können Geotextilien als Schutz vor Erosionsprozessen im Deich und an der Deichoberfläche und zur Erhöhung der statischen Tragfähigkeit von Deichbereichen und/oder des Untergrundes besonders an den Böschungen und unter Fahr- bzw. Deichverteidigungswegen verwendet werden (Abb. 13). Weitere Hinweise zur Anwendung von Geokunststoffen sind z. B. in DVWK 221 (1992) enthalten.

Für Maßnahmen der Bodenverbesserungen, Bodenverfestigungen und -verdichtung im Rahmen von Erdarbeiten kann auf FGSV (1994, 2003, 2004) verwiesen werden.

3.2.3 Maßnahmen zur Erhöhung von Deichen

Eine Deicherhöhung hat zur Folge, dass das Erdbauwerk höhere Lasten abtragen muss. Die hydrostatischen, hydraulischen und geohydraulischen Randbedingungen ändern sich und sind als Eingangsdaten bei der Planung zu berücksichtigen.

Bei Deicherhöhungen ist dem Lastfall 3 „Wasserspiegel bis zur Krone des Deichbauwerkes“ besondere Beachtung zu schenken. Der Verbund von neuen mit bestehenden Deichbestandteilen ist sicherzustellen.



- ① Bewehren (z. B. Geogitter) ———— ③ Vegetationshilfe / Schutz (z. B. Maschenware)
 ② Filtern / Dränen (z. B. Vlies) - - - - ④ Trennen / Filtern bei Deckwerken (z. B. Vlies) - - - -

Abb. 13: Anwendungsbereiche von Geokunststoffen bei der Deichertüchtigung (vgl. Saathoff u. Werth, 2003)

Unter Beachtung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit kann eine Erhöhung ohne oder mit Verbreiterung des Deichlagers erfolgen. Falls die Deichmaterialien oder die Konstruktion keine ausreichend steilen Böschungsneigungen zulassen, können Stützbauwerke an den Böschungsfüßen angebracht werden. Die zuverlässige Entwässerung dieser Mauern oder Wände ist zu gewährleisten. Steht Platz zur Verbreiterung des Deichlagers zur Verfügung, kann der Deich unter Beibehaltung oder Abflachung der Böschungsneigung erhöht werden (Abb. 14).

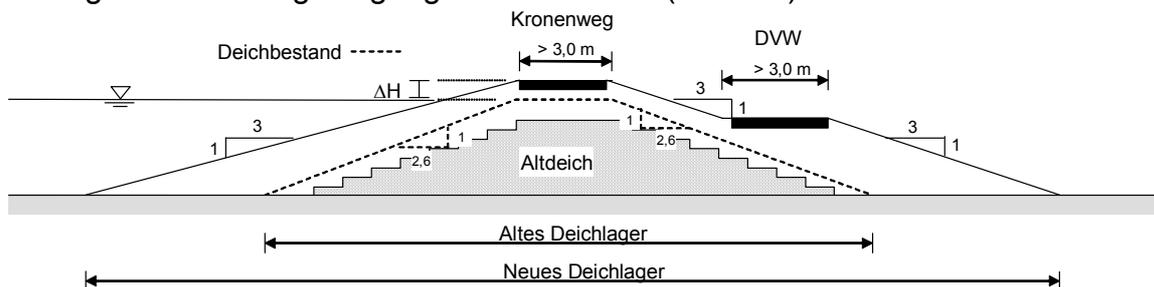


Abb. 14: Aufhöhung des Deiches mit Verbreiterung des Deichlagers, Abflachen der Böschungen und Einbau einer landseitigen Berme

In Bereichen mit beengten Platzverhältnissen können auch Mauern oder mit Mauern kombinierte Bauwerke zur Deichaufhöhung verwendet werden, die mit den Aspekten der Landschaftsästhetik und des Naturschutzes in Einklang gebracht werden sollten.

Die Gründung einer Mauer kann auf einem statisch wirksamen Dichtungselement, wie z. B. einer Spundwand, erfolgen. Die Mauer sowie das Dichtungselement sind möglichst auf der Wasserseite anzuordnen. Die konstruktive Anbindung an statisch wirksame Dichtungen muss sorgfältig ausgeführt werden, um Kraftschluss und Dichtigkeit gewährleisten zu können. Ein Beispiel einer aufgesetzten Mauer ist in Abb. 15 zu sehen.

Als Kombinationsbauwerke können mobile Elemente (BWK, 2005) oder fest stehende Bauwerke, wie z. B. Glaswände, zur Anwendung kommen als auch überstehende Spundwände.

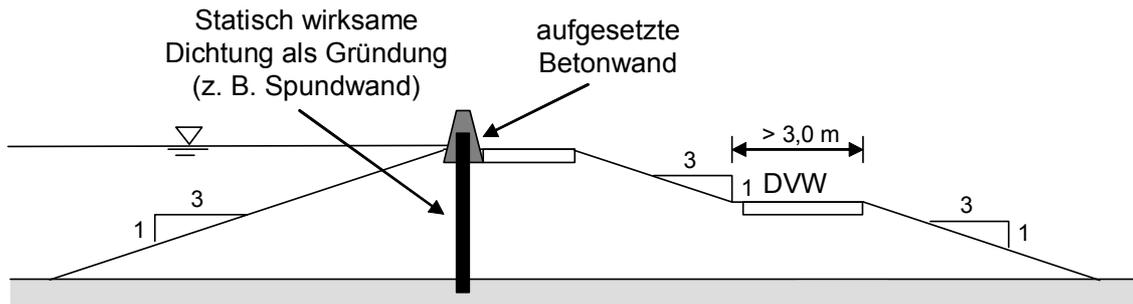


Abb. 15: Auf wasserseitiger Spundwand aufgesetzte Mauer

3.3.4 Sicherung und Ertüchtigung von Deichen mit Gehölzen

Gehölze können auf dem Deich bereits bei der Deichertüchtigungsmaßnahme vorhanden sein oder sukzessive dort wachsen. In beiden Fällen ist die Bauwerkssicherheit durch entsprechende bauliche Maßnahmen und/oder Unterhaltungsmaßnahmen sicherzustellen. Generell sind die Hinweise und Regelungen der DIN 19712 (1997) und DVWK 226 (1993) zu beachten (siehe Kapitel 2). Dort wird im Allgemeinen den Sicherheitsaspekten die notwendige Gewichtung zugesprochen und nur sehr restriktiv Gehölz zugelassen.

Im Falle, dass die Gehölze bereits auf dem Deich vorhanden sind und erhalten werden sollen, müssen u. U. besondere Lastfälle für Windwurf, Senkungen oder Böschungserosion Berücksichtigung finden. In der Praxis werden in diesem Fall immer häufiger statisch wirksame Innendichtungen verwendet (Abb. 16). Statisch wirksame Dichtungen sind Stahlspundwände und bewehrte Dichtungen aus hydraulisch gebundenen Bindemitteln (Schlitzwand, Bohrpfahlwand, Bodenvermörtelung). Die Schmalwand kann keine Kräfte abtragen. Die Einbindetiefe und die Festigkeit der Dichtung sowie der Abstand und die Art von einzustellenden Stahlträgern sind Bemessungsgrößen, die im Einzelfall von den vorherrschenden Randbedingungen und den daraus abgeleiteten Lastfällen abhängen. Eine mögliche Erhöhung des Wasserstandes durch Verklauung von wasserseitigen Gehölzbeständen und eine damit drohende Überströmung sollte bei der Planung von Deichverteidigungsmaßnahmen Berücksichtigung finden.

Die Durchwurzelungssicherheit der Dichtungen muss gegeben und u. U. nachgewiesen werden (siehe Kap. 4). Bei Duldung von Gehölzen innerhalb des zulässigen Bereiches kann eine statisch wirksame Dichtung entfallen, wenn sichergestellt wird, dass einerseits ein möglicher Windwurf und andererseits die Durchwurzelung den Deich in seiner Funktion nicht beeinträchtigen.

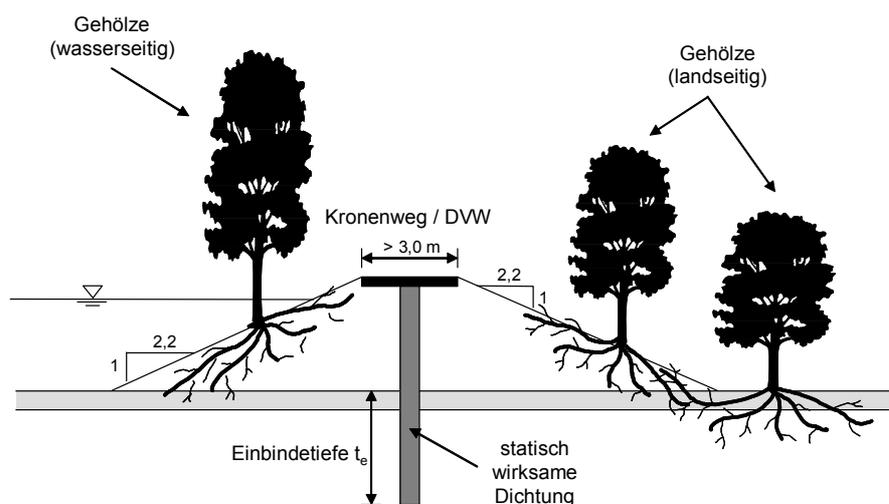


Abb. 16: Nachträglich eingebrachte statisch wirksame Dichtung bei Deich mit Gehölzen

Dazu müssen i. d. R. besondere Schutzschichten (Wurzelsperren) und eine Überprofilierung vorgesehen werden. Diese Schichten können sowohl die Aufgabe einer Wurzelsperre als auch die eines Dräns und Filters übernehmen (Abb. 17).

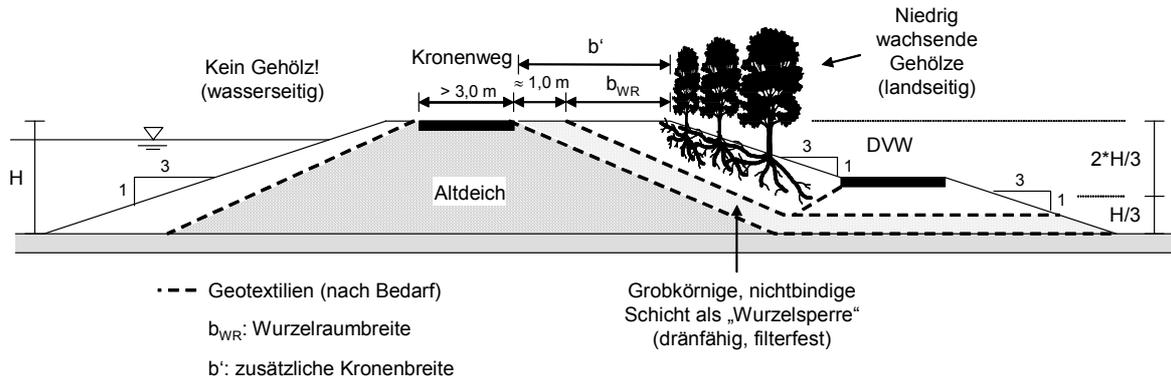
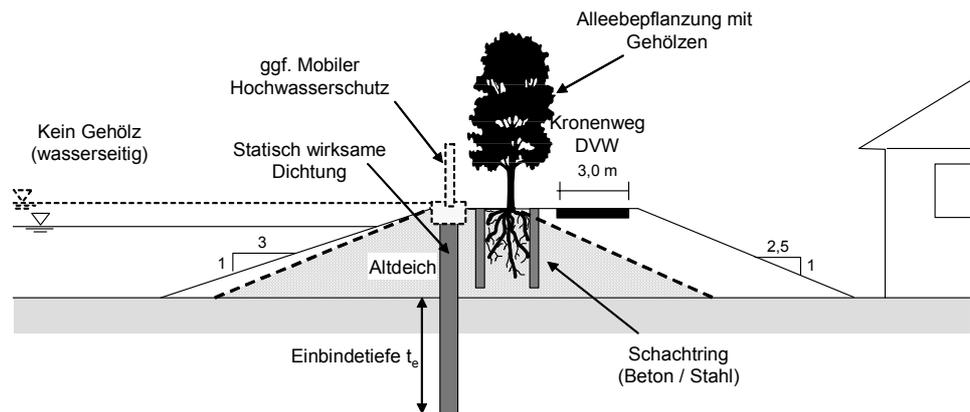


Abb. 17: Regelkonforme Bepflanzung auf Deichen

Sind Gehölze in unmittelbarer Nähe am Deich vorhanden, können ggf. Schutzmaßnahmen gegen eine Durchwurzelung des Deichkörpers, insbesondere von Dichtungen und Dräns, notwendig sein. Auf eine ausreichende Einbindung von Sperrvorrichtungen in den Untergrund ist zu achten, um zu verhindern, dass Wurzeln unter den Sperrvorrichtungen in den Deich hineinwachsen. Als nicht durchwurzelbare oder durchwurzelungshemmende Schichten können z. B. Spundwände, Schachtringe, Kieslagen oder Kunststoffe verwendet werden (Londong, 1999; Seethaler, 1999; Sommer, 1999).

Neben den gezeigten Beispielen gibt es viele andere denkbare Fälle, um den Deich bei Gehölzbestand bzw. Pflanzungen zu sichern. In Abb. 18 wird ein Einzelgehölz auf der Krone des Altdeiches durch einen Schachtring gesichert. Dies ist nur möglich, da ein Überprofil besteht. In diesem Fall wurde der Deich zur Landseite erweitert. Die mobile Hochwasserschutzwand stellt in Gebieten mit Bebauung keine Seltenheit gar und ist eine Maßnahme zur Erhöhung der Akzeptanz von Deichertüchtigung, wie es auch das Belassen von Einzelgehölzen sein kann.

Abb. 18: Sicherung eines Einzelgehölzes auf der Deichkrone im Bereich von Bebauungen



4 Durchwurzelung von Dichtungen

4.1 Allgemeines / Herangehensweise

Insbesondere bei großen Gehölzen muss sichergestellt werden, dass die Wurzeln eine evtl. vorhandene und nachträglich eingebrachte Dichtung nicht durchdringen können und so zum einen die Durchlässigkeit erhöhen und zum anderen die Stabilität des Gesamtdeiches gefährden. In diesem Beitrag werden die im Deichbau i. d. R.

eingesetzten Dichtungen bzgl. ihrer Durchwurzelbarkeit untersucht und bewertet (Abb. 19). Der prinzipiellen Unterscheidung zwischen außen- bzw. innen liegenden Dichtungen folgt eine Abfrage von zwei bzw. fünf Kriterien. Sobald eines dieser Kriterien in der angegebenen Reihenfolge erfüllt ist, kann i. d. R. davon ausgegangen werden, dass die Dichtung durchwurzelungssicher ist.

Sicherheitsabstand und Sicherungsmaßnahmen (Kriterium 1 und 2) kommen sowohl bei Oberflächen- wie Innendichtungen in Betracht. Abwägungen zur Widerstandsfähigkeit gegen chemische und mechanische Einwirkungen und die Möglichkeit des Auftretens von Fehlstellen (Kriterium 3 bis 5) werden nur für Innendichtungen behandelt, da davon ausgegangen wird, dass Oberflächendichtungen im Gegensatz zu Innendichtungen bei direktem Kontakt zur Wurzel prinzipiell durchwurzelt werden können.

4.2 Durchwurzelung von Oberflächendichtungen

„Überkonsolidiertes tonreiches Material ohne Entlastungsrisse ist für Pflanzen oft zunächst nicht durchwurzelbar. Es kann sich den Wurzeln gegenüber wie Fels verhalten“ (Hartge, 1985). Erst z. B. nach Rissbildung kann die Wurzel in das bindige Material eindringen und aktiv durch Wasserentzug zur weiteren Rissbildung beitragen. Durch diesen Mechanismus können auch gut verdichtete, bindige Substrate durchwurzelt werden. Das zeigt, dass natürliche Oberflächendichtungen von Gehölzwurzeln i. Allg. durchwurzelbar sind, was zusätzlich durch Ausgrabungen der Bundesanstalt für Wasserbau (Abb. 20) bestätigt wurde.

Unterstützend für die Ausbreitung der Wurzeln wirkt die Anordnung eines gut durchwurzelbaren Oberbodens direkt auf die Dichtung. Eine von DWA (2005) geforderte Deckschicht inklusive der Vegetationsschicht von $d \geq 80$ cm kann wurzelhemmend wirken, wenn sie aus einem grobkörnigen Substrat besteht. Bei horizontaler Verdichtungslagen und/oder lockerer Lagerung des Bodens wird der Widerstand gegen Durchwurzelung zusätzlich verringert. Beidseitig der Dichtung können Mindestabstände (Kriterium 1) und/oder Sicherungsmaßnahmen wie z. B. Wurzelsperren (Kriterium 2) vor Durchwurzelung schützen.

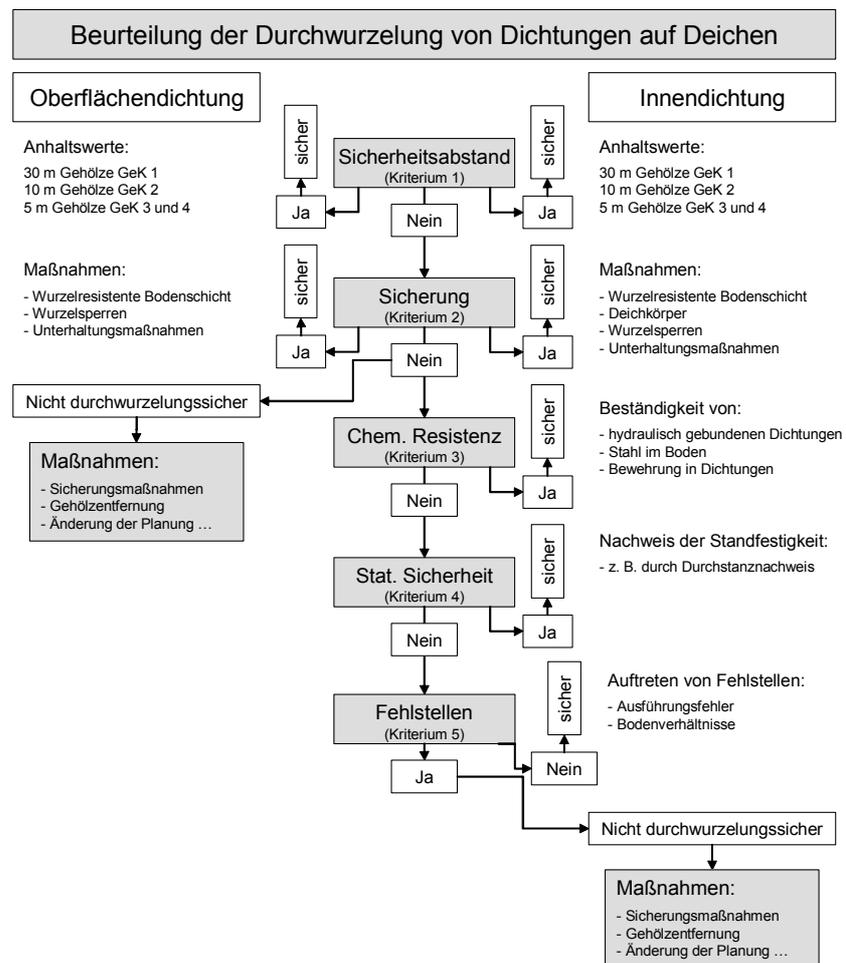


Abb. 19: Ablaufschema zur Beurteilung der Durchwurzelbarkeit von Dichtungen in Deichen

Anhaltswerte für Mindestabstände kann den allgemeinen Hinweisen zu Gehölzen auf Deichen (Kap. 2) entnommen werden. Eine Anpassung der Mindestabstände im Einzelfall unter Berücksichtigung der spezifischen Standortbedingungen ist möglich. Als Sicherungsmaßnahmen können grobkörnige Substrate sowie künstliche Wurzelsperren (Spundwände, Wurzelschutzfolien aus Kunststoffen ...) aber auch Unterhaltungsmaßnahmen eingesetzt bzw. durchgeführt werden.

Die Durchwurzelung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen kann nicht ausgeschlossen werden. Die empfohlene Überdeckung für Tondichtungsbahnen beträgt wie bei natürlichen Oberflächendichtungen $d > 80$ cm inklusive Vegetationsschicht. Im Vergleich zur natürlichen Oberflächendichtung müssen die Auswirkungen einer Durchwurzelung umso kritischer betrachtet werden, da die Dicke der Tondichtungsbahn, auch im gequollenen Zustand, nur ein paar Zentimeter beträgt und eine relativ rasche Durchwurzelung eintreten könnte. Bevorzugte Wurzelkanäle können im Bereich der Überlappung auftreten. Geringe Überlappungsbreiten und/oder auftretende Falten begünstigen eine Durchwurzelung.



Abb. 20: Durchwurzelte Dichtung eines Dammes (aus Kunz 2001)

4.3 Durchwurzelung von Innendichtungen

4.3.1 Allgemeines

Innendichtungen werden je nach Lage im Querschnitt beidseitig von einem mehr oder minder breiten Deichkörper geschützt. Bei den bekannten Beispielen (Abb. 1, Abb. 2) bewegte sich keine Wurzel quer durch den Stützkörper in Richtung des Deichinneren. Dränge eine Wurzel bis zur Deichdichtung durch, muss zum einen abgeschätzt werden, ob die Wurzel die Dichtwand an Fehlstellen durchdringen oder schädigen kann, und zum anderen, ob bei einem Wachstum bis zur Dichtwand durch den Eintrag von mechanischen Kräften die Dichtwand geschädigt und anschließend durchdrungen werden kann.

Die Sicherheitsabstände bei Innendichtungen können denen von Oberflächendichtungen entsprechen (Kriterium 1). Als Sicherung kann bei Innendichtungen auch der die Dichtung umgebende Deichkörper betrachtet werden (Kriterium 2). Dieses Sicherheitskriterium ist ständig erfüllt (vgl. Abb. 22).

4.3.2 Bio-chemische Einwirkungen auf Innendichtungen (Kriterium 3)

Hydraulisch gebundene Baustoffe sowie Stähle können einer bio-chemischen Korrosion unterliegen (DIN 4030 Teil 1, 1991). „Humussäuren (im Erdboden) ... bilden nur mit einigen Calciumverbindungen wasserlösliche Salze. Stärkere Schäden sind hier erst bei längerer Einwirkung zu erwarten. ... Zu den beeinflussenden Makroorganismen gehören z. B. Tiere ... [und Exkremete], Bäume (Wurzelsprengungen), und Moose.“ (Winnefeld, 2002). Die Wurzel hat einen bevorzugten pH-Wert-Korridor von $\text{pH} = \text{kleiner } 3,0$ bis $8,2$ (Marks u. Tschantz, 2002, Gisi, 1997). Das basische Milieu von Dichtwänden mit $\text{pH} > 9,5$ (Carl u. Strobl, 1976) kann zum Wachstumsstopp oder zum Absterben der Wurzel führen, wohingegen das saure Milieu der Wurzel mit $\text{pH}_{\text{min}} < 3$ eine Lösung der Dichtung verursachen kann. Bereits „weiche Wässer mit einem pH-Wert von 5 bis 6 beschleunigen den Vorgang [der inneren Erosion] beträchtlich“ (Strobl, 1982). Zu beachten ist dabei

jedoch, dass in „alkalischen und stark sauren Böden ... sich die pH-Werte ... [der Wurzeln] nicht wesentlich von denjenigen des wurzelfernen Bodens“ unterscheiden (Gisi, 1997). Der Wirkungsradius vom sauren Pflanzenmilieu hängt also stark vom umgebenden Boden ab und ist u. U. sehr begrenzt. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass hydraulisch gebundene Dichtungen, besonders relativ dünne Dichtungen, wie z. B. Schmalwände, durch bio-chemischen Angriff geschädigt werden können.

Der Stahl von Spundwänden unterliegt in natürlichen Böden der Korrosion. Die Einflussfaktoren „Temperatur, Chemismus, Mikroben, Mechanische Beanspruchung“ beeinflussen die Korrosion erheblich. „Bei Stahlspundwänden, die in natürlich gewachsene Böden einbinden, ist die zu erwartende beidseitige Dickenabnahme mit 0,01 mm/a sehr gering. ... Stark aggressive Böden sind von der Oberfläche der Spundwand möglichst zu entfernen. Dazu zählen u. a. Humusböden“ (DGGT EAU E35, 1996). Die Korrosion von Stählen hängt nach DIN 50929 Teil 3/1985 von vielen Faktoren ab (Tab. 3).

Tab. 4: Die Korrosion von Stahl beeinflussende Faktoren (DIN 50929 Teil 3, 1985)

In Böden:	In Wässern:
<ul style="list-style-type: none"> • vom spezifischen Bodenwiderstand, • von der Bodenart, • vom Wassergehalt, • vom pH-Wert, • von der Säure- / Basekapazität und • von den Konzentrationen von Sulfiden und Sulfaten 	<ul style="list-style-type: none"> • von Art der Gewässerart, • von der Lage des Objektes, • vom pH-Wert und • der Säurekapazität ab.

Kann man eine bio-chemische Korrosionsbeschleunigung von Spundwänden nicht ausschließen, sollte dies mit einem Zuschlag in der Profildicke berücksichtigt werden. Weitere Schutzmaßnahmen gegen Korrosion von Spundwandbauten sind in DGGT EAU (1996) zu finden.

Der Einfluss einer temporär auftretenden Sickerströmung auf den schädigenden Prozess kann sowohl günstig durch Verdünnung der angreifenden Säuren als auch negativ durch den Transport z. B. Huminsäuren zur Dichtung hin wirken.

4.3.2 Statisch-mechanische Beanspruchung von Dichtungen durch Wurzeln

Zum einen kann die Wurzel aufgrund ihres Wachstums selbst Druck auf ein Hindernis ausüben und zum anderen kann sie über die Abtragung der Windbelastung in den Untergrund Kräfte übertragen. Laut Marks u. Tschantz (2002) wirkt eine Länge von ca. dem sechsfachen Durchmesser der Wurzel bei der Kraftübertragung durch die Wurzel selbst (Eigenkraft) mit, wobei sich die Wurzel durch Reibungskräfte an den anliegenden Bodenkörnern abstützt. Die Wurzelwachstumskraft beträgt nach Marks u. Tschantz (2002) maximal $F_w = 9$ bis 20 MPa ($1 \text{ kPa} = 1 \text{ kN/m}^2$). Damit liegen die von Marks u. Tschantz (2002) angegebenen Spitzendruckwerte von Wurzeln über den von Clark et al. (2003) ermittelten Spitzendruck $p_w = 0,5$ bis $0,6$ MPa. Coder (2000) gibt einen Maximaldruck von $p_w = 3$ MPa an. Diese aufbringbaren Kräfte sind im Vergleich zu den von Mattheck (2001) angegebenen axialen Druckfestigkeit von Wurzeln $f_{ck} = 15$ bis 44 MPa sehr gering. Im Folgenden wird deshalb als statisches System eine mögliche Übertragung der Windkräfte durch die Ausbildung einer Druckwurzel (Abb. 21) an der Dichtung verwendet. Als Nachweisform wurde ein Durchstanznachweis mit einer Wurzeldruckfestigkeit von $f_{ck,rep} = 20$ MPa gewählt. Mögliche Reibungswiderstandskräfte auf der Zugseite der

Wurzeln und die Abtragung der Kräfte infolge anderer Druckwurzeln wurden vernachlässigt.

Eine durchschnittliche Druckwurzel kann unter den gewählten Rahmenbedingungen (Baumhöhe = 30 m, Windstärke 12) eine Kraft von ca. 100 kN übertragen. Schmalwände ab geringen Wanddicken von $d_{SW} < 0,12$ m können von den Wurzeln durchstoßen werden kann. Einphasendichtwände und die Verfahren der Bodenvermörtelung sind aufgrund ihrer Dicken ($d_{EP\&BV} > 0,30$ m) sicher gegen Durchstanzen.

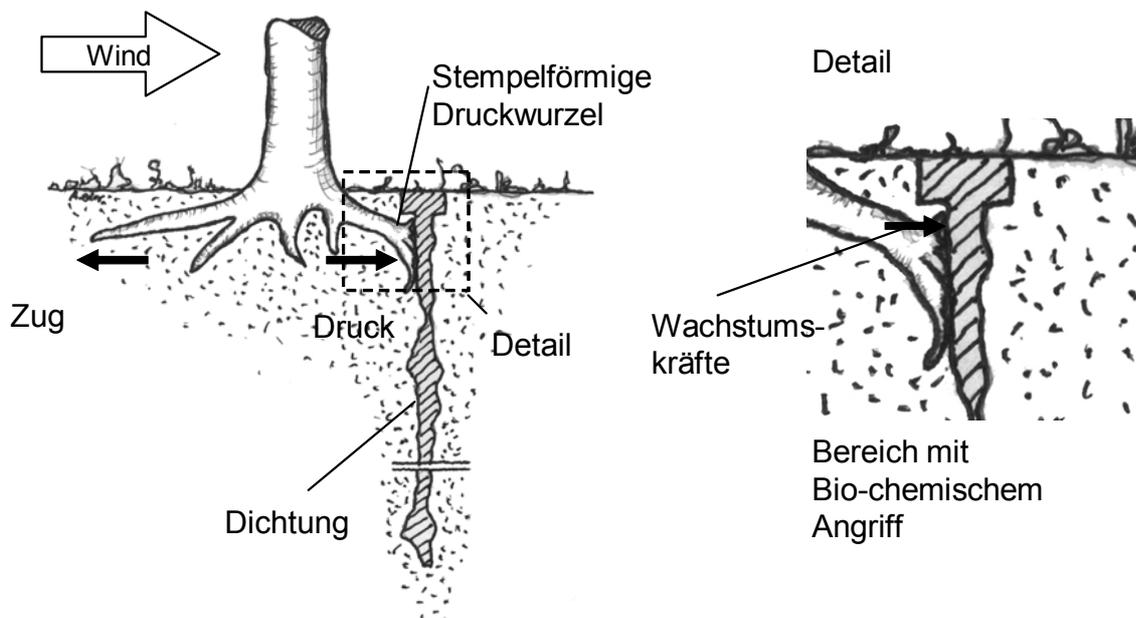


Abb. 21: Statische Kraftübertragung durch Druckwurzel (links) und durch Wachstumswurzel (rechts) (aus Eder 2002)

4.3.3 Fehlstellen an Innendichtungen

Beim Einbringen von Spundwänden kann ein Herausspringen aus dem Schloss auftreten, so dass mit zunehmender Tiefe die Abweichung von der Solllage steigen kann. In kiesigen Böden mit hoher Lagerungsdichte können auch Deformationen der Spundwandbohlen vorkommen. Doch eine Durchwurzelung von Spundwänden ist aus zwei Gründen auszuschließen. Zum einen ist bei den im Deichbau üblichen, geringen Spundwandtiefen mit Fehlstellen durch Herausspringen vom Schloss weniger zu rechnen. Zum anderen wachsen Wurzeln i. d. R. nicht so weit in tiefere Bereiche, in denen Deformationen oder ein Herausspringen aus dem Schloss auftreten können.

Einphasenschlitzwände sind schon aufgrund ihrer Dicken bei sorgfältiger Bauausführung weniger anfällig für Fehlstellen. Besonders der Fugenbereich kann dabei z. B. durch Abstellrohre konstruktiv sicher ausgeführt werden. Fehlstellen bei der herkömmlichen Rüttelschmalwand können bei unsachgemäßer Ausführung und/oder ungünstigen Bodenverhältnissen (reine Sande, bindige Böden) auftreten. Zur Vermeidung von Fehlstellen müssen spezielle Verfahrensaspekte, wie z. B. die Ziehgeschwindigkeit, die Schrittweite und das Verpressvolumen beim Einbau, kontrolliert werden (Kleist, 1999).

Die Verfahren der Bodenvermörtelung sind aufgrund ihrer Herstellungsart und ihrer Dicken relativ resistent gegen Fehlstellen. Bei humosen und/oder bindigen Bodenbestandteilen kann der Abbindeprozess des Bindemittel-Boden-Gemisches gestört werden.

4.3.4 Zusammenfassung

Die Durchwurzelungsgefahr für Dichtungen in Deichen lässt sich, wie in Abb. 22 zu sehen ist, folgendermaßen zusammenfassen:

- Natürliche Oberflächendichtungen können nachweislich durchwurzelt werden, was an einigen Beispielen belegt ist.
- Innendichtungen sind aufgrund ihrer Lage im Allgemeinen der Gefahr der Durchwurzelung weniger ausgesetzt.
- Ein bio-chemischer Angriff auf Dichtungen kann nicht ausgeschlossen werden.
- Die Gefahr der mechanischen Schädigung durch Durchwurzelung ist bei Innendichtungen maßgeblich abhängig von ihrer Dicke.
- Fehlstellen können durch fachmännischen Einbau und die Wahl der in Anbetracht der Untergrundverhältnisse geeigneten Dichtung minimiert werden. Fehlstellen können vor allem aufgrund der in manchen Böden auftretenden dünnen Wanddicken bei Schmalwänden auftreten.
- Oberflächendichtungen sind besonders gefährdet, wenn kein Sicherheitsabstand festgelegt und keine Sicherungsmaßnahmen ergriffen werden.
- Innendichtungen sind i. d. R., abgesehen von der Schmalwand, durchwurzelungssicher. Schmalwände können primär aufgrund ihrer geringen Dicken aber auch wegen auftretender Fehlstellen einer „anstürmenden“ Wurzel weniger dauerhaft standhalten als andere Innendichtungen.

		1		2		3	4	5	Summe				
									12	12	42	12	
Oberflächen- dichtungen	Natürliche Dichtung	Ja	+	Ja	+	keine Berücksichtigung							
		Nein	-	Nein	-								
	GTD	Ja	+	Ja	+								
		Nein	-	Nein	-								
									4	1			
Innendichtungen ¹	Spundwand	Ja	+	+	+	+	+	+					
		Nein	-										
	Einphasen- schlitzwand	Ja	+	+	o	+	+						
		Nein	-										
	Schmalwand	Ja	+	+	o	-	o						
		Nein	-										
	Boden- vermörtelung	Ja	+	+	o	o	+						
		Nein	-										
									+	+			
									+	+			
									+	+			
									+	+			

¹Bei Innendichtungen übernimmt der Deichkörper die Sicherungsfunktion

Bewertungsschema:

- + gut "durchwurzelungshemmend"
- o neutral "u. U. von den Randbedingungen abhängig"
- schlecht "kein größerer Widerstand"

Auswertung:

- 1 Krit. 1 erfüllt
- 4 Krit. 1 nicht erfüllt
- 2 Krit. 2 erfüllt
- 2 Krit. 2 nicht erfüllt

Abb. 22: Durchwurzelungssicherheit für Dichtungen in Deichen

5 Resümee und Ausblick

Dieser Beitrag hat die Auswirkungen und Ausbreitung von Gehölzen auf Hochwasserschutzdeichen gezeigt und die daraus abgeleiteten, technischen Konsequenzen und Regelungen vorgestellt. Dabei wurden sowohl Pflege- und Unterhaltungsmaßnahmen als auch die Gehölzentfernung betrachtet. Des Weiteren wurden Randbedingungen und Methoden zur Deichertüchtigung erläutert und ausführlicher auf die Ertüchtigung von mit Gehölzen bewachsenen Deichen eingegangen. Abschließend wurde die Durchwurzelungssicherheit von bei Deichertüchtigungsmaßnahmen verwendeten Dichtungen untersucht und beurteilt.

Mit Gehölzen bewachsene Deiche bedeuten i. d. R. einen finanziellen Mehraufwand und unter Umständen ein erhöhtes Risiko. Bei Ertüchtigung und Neubau ist diesem Mehraufwand der Nutzen gegenüberzustellen. Im Vordergrund dieses Interessenausgleichs zwischen Behörden, Betreibern, Bürgern und Ingenieuren sollte stets die technische Sicherheit des Deiches stehen. Die Haushaltslage lässt den Spielraum für teure Sicherungsmaßnahmen stetig schrumpfen. Dabei sollte beachtet werden, dass Forderungen einiger weniger nach ökologisch oder landschaftsästhetisch „getunten“ Hochwasserschutzdeichen volkswirtschaftlich nachteilige Auswirkungen haben können. Wenn aufwendige, lokal wirkende Baumaßnahmen die zur Verfügung stehenden Mittel verschlingen und aus diesem Grund andersorts dringend notwendige, effiziente Hochwasserschutzmaßnahmen nicht oder nicht rechtzeitig durchgeführt werden können.

6 Schrifttum

Balder, H. (1998): Die Wurzeln der Stadtbäume. Ein Handbuch zum Vorbeugenden und Nachsorgenden Wurzelschutz. Parey Verlag, 1998

BAW MSD (2005): Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD). Merkblatt, Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe 2005

Bieberstein, Andreas; Brauns, Josef; Queißer, J.; Bernhart, H. H. (2002): Überströmbare Dämme – landschaftsverträgliche Ausführungsvarianten für den dezentralen Hochwasserschutz in Baden-Württemberg. Programm Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung (BWPLUS), Zwischenbericht anlässlich des Statusseminars des BWPLUS am 26. und 27. Februar 2002 im Forschungszentrum Karlsruhe, 2002

Boser, Vera (1999): Die Dämme des Ludwig-Donau-Main-Kanals als Standort für Pflanzen. Flussdeiche und Flussdämme – Bewuchs und Standsicherheit, Jahrbuch 4 der Gesellschaft für Ingenieurbioogie e. V., S. 59 – 69, Hrsg. Pflug und Hacker, Aachen 1999

BWK (2005): Mobile Hochwasserschutzsysteme – Grundlagen für Planung und Einsatz. Merkblatt, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e. V., 2005

Carl, Leonhard, Strobl, Theodor (1976): Dichtungswände aus einer Zement-Bentonit-Suspension. Wasserwirtschaft 66, S. 246 – 252, 1976

Clarke, L. J.; Whalley, W. R.; Barraclough, P. B. (2003): How do roots penetrate strong soil? Plant and Soil 255, pages 93 – 104, Kluwer Academic Publishers, Netherland 2003

Coder, K. D. (2000): Tree Root Growth Requirement. University of Georgia, Cooperative Extension Service Forest Resources, Publication FOR00-5, 2000

- DGGT EAU (1996): Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“, Häfen und Wasserstraßen, (EAU 1996), Hafenbautechnische Gesellschaft und Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT), 9. Auflage, Ernst & Sohn Verlag, Berlin 1997
- DIN 4030 Teil 1 (1991): Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase. Grundlagen und Grenzwerte. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), 1991
- DIN 19712 (1997): Flussdeiche. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), 1997
- DIN 50929 Teil 3 (1985): Korrosion der Metalle. Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung – Rohrleitungen und Bauteile in Böden und Wässern. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), 1985
- Döscher, Hans-Dieter; Armbruster, Heinrich (1999): Die Standsicherheit von Flussdeichen und –dämmen unter Berücksichtigung der Vegetationsdecke. S. 73 – 83, Flussdeiche und Flussdämme. Bewuchs und Standsicherheit. Jahrbuch 4 der Gesellschaft für Ingenieurbioökologie e. V., Hrsg. Pflug und Hacker, Aachen 1999
- DVWK 210 (1986): Flussdeiche. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 210, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin 1986
- DVWK 221 (1992): Anwendung von Geotextilien im Wasserbau. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 221, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin 1992
- DVWK 226 (1993): Landschaftsökologische Gesichtspunkte bei Flussdeichen. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 226, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin 1993
- DWA (2005): Dichtungssysteme in Deichen. DWA-Themen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef 2005
- Eder, Alexander (2002): Die schadhafte Auswirkungen von Gehölzwurzeln auf Dichtungen in Deichen und Dämmen. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität München, 2002
- FGSV (1994): Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau (TP BF-StB) – Teil E 2: Flächendeckende dynamische Prüfung der Verdichtung. FGSV-Nr. 591/E 2, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1994
- FGSV (2003): Merkblatt für die Verdichtung des Untergrundes und Unterbaues im Straßenbau, FGSV-Nr. 516, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2003
- FGSV (2004): Merkblatt für Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen, FGSV-Nr. 551, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2004
- Gisi, Ulrich (1997): Bodenökologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York 1997
- Göttle, Albert; Pharion, Holger (2004): Flutpolder als Instrumente des modernen Hochwasserschutzes. Hochwasserschutz und Katastrophenmanagement, Ernst & Sohn Special 4/04, S. 48 – 52, Weinheim 2004
- Hähne, Karl (1991): Der Einfluss von Gräser- und Gehölzwurzeln auf die Scherfestigkeit von Böden und damit die Standsicherheit von Hängen und Böschungen. Dissertation. Fachbereich 14 Landschaftsentwicklung der Technischen Universität Berlin, 1991

- Hamman de Salazar, K.; Dittrich, A.; Du, C. (1994): Bewertung der naturnahen Bauweisen an der Enz nach dem Hochwasser vom Dez. 1993". Bericht des Instituts für Wasserbau und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe, 1994
- Hartge, Karl-Heinz (1985): Wechselbeziehung zwischen Pflanze und Boden bzw. Lockergestein unter besonderer Berücksichtigung der Standortverhältnisse auf neu entstandenen Böschungen. Wurzelwerk und Standsicherheit von Böschungen. Jahrbuch 2 der Gesellschaft für Ingenieurbioogie e. V., S. 23 – 34, Hrsg. Pflug und Hacker, Aachen 1985
- Haselsteiner, R.; Conrad, M.; Strobl, Th. (2002): Kriterien zur Ertüchtigung von Hochwasserschutzdeichen; Geotechnik 25, Nr. 4, S. 249 - 253, Dezember 2002
- Haselsteiner, R. (2003): Deichsanierungsarbeiten - Anerkannte Regeln der Technik und Stand der Technik; Tagungsband 5. JuWi - Treffen; Treffen junger Wissenschaftler von wasserbaulichen Instituten deutschsprachiger Hochschulen und Universitäten an der TU Dresden; 30. Juli bis 01. August 2003
- Haselsteiner, R.; Strobl, Th. (2004): Zum Einfluss von Bewuchs und Hohlräumen auf die Durchsickerung von Deichbauten; Lebensraum Fluss - Hochwasserschutz, Wasserkraft, Ökologie; Beiträge zum Symposium vom 16. - 19. Juni 2004 in Wallgau (Oberbayern); Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft , Berichtsheft Nr. 101; Band 2, S. 92 - 100; Juni 2004
- Haselsteiner, R.; Strobl, Th. (2005): Deichsanierung. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, Endbericht, im Auftrag vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW), Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität München, 2005 (Erhältlich beim Bayerischen Landesamt für Umwelt: <http://www.bayern.de/lfu>)
- Hiller, Hildegard (1985): Lebender Baustoff Pflanzen. Wurzelwerk und Standsicherheit von Böschungen. Jahrbuch 2 der Gesellschaft für Ingenieurbioogie e. V., S. 319 – 358, Hrsg. Pflug und Hacker, Aachen 1999
- Kempfler, Klaus Friedrich (2003): Sanierung von Deich- und Dammbauten an Gewässern erster Ordnung in Bayern. Bayerische Verwaltungsblätter, Heft 9, S. 261 – 265, 2003
- Kleist, Frank (1999): Die Systemdurchlässigkeit von Schmalwänden. Ein Beitrag zur Herstellung von Schmalwänden und zur Prognose der Systemdurchlässigkeit. Dissertation. Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU München 1999
- Köstler, J. N.; Brückner, E.; Bibelriether, H. (1968): Die Wurzeln der Waldbäume – Untersuchungen zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa. Verlag Parey, Hamburg Berlin 1968
- Kunz, Norbert (2001): Durchwurzelung von Tondichtungen. Kurzfassung, BAW-Kolloquium „Oberflächendichtungen in Wasserstraßen“, Bundesanstalt für Wasserbau, Hannover 2001
- Kutschera, L.; Lichtenegger, E. (1997): Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher. Leopold Stocker Verlag, Graz Stuttgart 2002
- LfU BW (1991): Ökologie der Fließgewässer, Niedrigwasser. Handbuch Wasser 2, Im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg, Stuttgart 1991
- LfU BW (2004): Überströmbare Dämme und Dammscharten. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU BW), 1. Auflage, Karlsruhe 2004

- LfW BY (1984): Hinweise zur standortgemäßen Bepflanzung von Flussdeichen, Stauhaltungsdämmen und Vorländern. Merkblatt Nr. 5.1/1 (5.8/1), Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München 1984
- LfW BY (1990): Gehölze auf Deichen. Dokumentation von Baumwurzelaufgrabungen und Windwurf von Gehölzen. 5/89 Informationsberichte. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München 1990
- Londong, Dieter (1999): Die Bepflanzung von Flussdeichen aus der Sicht des DVWK Ausschuss Flussdeiche und aus den Erfahrungen von Emschergenossenschaft und Lippeverband. Flussdeiche und Flussdämme. Bewuchs und Standsicherheit – Jahrbuch 4 der Gesellschaft für Ingenieurbioogie e. V., S. 85 – 99, Hrsg. Pflug und Hacker, Aachen 1999
- Marks, Dan B.; Tschantz, Bruce A. (2002): A Technical Manual on the Effects of Tree and Woody Vegetation Root Penetrations on the Safety of Earthen Dams. Marks Enterprises Of NC, PLLC, North Carolina 2002
- Mattheck, Claus (2001): Taschenbuch der Holzfäulen. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe 2001
- Mattheck, Claus (2002): Mechanik am Baum. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe 2002
- Neisser, Reinhold (2003): Deichsanierung mit Geweben, Matten und Bauteilen aus organischen Fasern. Hochwasserschutz und Katastrophenmanagement, Ernst & Sohn Special 04/03, S. 39 – 40, 2003
- Patt, Heinz; Jürging, Peter; Kraus, Werner (1998): Naturnaher Wasserbau – Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1998
- Pflug, Wolfram; Hacker, Eva (1999): Flussdeiche und Flussdämme. Bewuchs und Standsicherheit. Jahrbuch 4 der Gesellschaft für Ingenieurbioogie e. V., Hrsg. Pflug und Hacker, Aachen 1999
- Rasp, Franz (2003): Die Deichsanierung in der Praxis. Landesverbandstagung des ATV-DVWK Landesverbandes Bayern, Fürth, 22./23. Oktober 2003
- Saathoff, Fokke; Werth, Katja (2003): Geokunststoffe in Dämmen und Deichen. Sicherung von Dämmen und Deichen: Handbuch für Theorie und Praxis, S. 221 – 237, Hrsg. Hermann und Jensen, Universitätsverlag Siegen – universi, 2003
- Schiechtl, Hugo Meinhard (1985): Pflanzen als Mittel zur Bodenstabilisierung. Wurzelwerk und Standsicherheit von Böschungen. Jahrbuch 2 der Gesellschaft für Ingenieurbioogie e. V., S. 23 – 34, Hrsg. Pflug und Hacker, Aachen 1985
- Schiechtl, H.; Stern, R. (2002): Naturnaher Wasserbau – Anleitung für ingenieurbioologische Bauweisen. Ernst & Sohn Verlag Berlin, 2002
- Schneider, H.; Schuler, U.; Kast, K.; Brauns, J. (1997): Bewertung der geotechnischen Sicherheit von Hochwasserschutzdeichen und Grundlagen zur Beurteilung von Sanierungsmaßnahmen. Abteilung Erddammbau und Deponiebau, Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Universität Karlsruhe, Heft 7, Karlsruhe 1997
- Schuppener, Bernd (1993): Standsicherheit bei durchwurzelteten Uferböschungen. Binnenschifffahrt-ZfB – Nr. 9, Mai 1993
- Schwaller, Gabriele (2003): Retention durch Gewässerentwicklung. Nürnberger Wasserwirtschaftstag des ATV-DVWK Landesverbandes Bayern, Tagungsband, S. 135 – 144, Nürnberg 2003

Seethaler, Ludwig (1999): Wurzelausbreitung von Gehölzen auf Flusdeichen. Flussdeiche und Flusdämme – Bewuchs und Standsicherheit, Jahrbuch 4 der Gesellschaft für Ingenieurbilogie e. V., S. 215 – 232, Hrsg. Pflug und Hacker, Aachen 1999

Sommer, Heinrich (1999): Standsicherheit und Bewuchs bei hessischen Rheindeichen. Flussdeiche und Flusdämme – Bewuchs und Standsicherheit. Jahrbuch 4 der Gesellschaft für Ingenieurbilogie e. V., S. 203 – 214, Hrsg. Pflug und Hacker, Aachen 1999

Strobl, Theodor (1982): Ein Beitrag zur Erosionssicherheit von Einphasen-Dichtungswänden. Wasserwirtschaft 72, Heft 7/8, S. 269 – 272, 1982

Tobias, Silvia (1991): Bautechnisch nutzbare Verbundfestigkeit von Boden und Wurzel. Dissertation, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 1991

Wessolly, Lothar; Erb, Martin (1998): Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle. Patzer Verlag, Berlin Hannover 1998

Winski, Alfred (2004): Literaturstudie zum Verhalten von Wurzeln unter natürlichen Bedingungen sowie auf Deichen. Erläuterungsbericht, Gewässerdirektion Südlicher Oberrhein – Hochrhein, Bereich Offenburg, Teningen 2004 (unveröffentlicht)