

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Odenwald, Bernhard**

## **Ansatz von Einwirkungen aus Grund- und Oberflächenwasser nach neuen Normen**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/100857>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Odenwald, Bernhard (2012): Ansatz von Einwirkungen aus Grund- und Oberflächenwasser nach neuen Normen. In: 8. Kolloquium 'Bauen in Boden und Fels', 17. und 18. Januar 2012 in Ostfildern/Stuttgart. Ostfildern: Technische Akademie Esslingen. S. 415-422.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



# Ansatz von Einwirkungen aus Grund- und Oberflächenwasser nach neuen Normen

Dr.-Ing. Bernhard Odenwald  
Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe

## Zusammenfassung

Die Eurocodes stellen die zukünftigen europäischen Grundlagennormen im gesamten Bauwesen dar. Die bautechnische Einführung eines wesentlichen Teils der Eurocodes für die Baubehörden der Länder und des Bundes ist zum 01.07.2012 vorgesehen. Die zukünftigen Grundlagen für geotechnische und geohydraulische Nachweise werden dann der Eurocode Grundlagen der Tagwerksplanung (DIN EN 1990: 2010) sowie insbesondere der Eurocode 7 Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik (DIN EN 1997-1: 2009) zusammen mit der nur noch als nationale Ergänzungsnorm fungierenden, neuen DIN 1054: 2010 bilden. In den Eurocodes sowie bereits in den nationalen Vorgängernormen DIN 1055-100: 2001 und DIN 1054: 2005 ist der Ansatz von Einwirkungen auf Bauwerksteile, die aus Oberflächenwasser und Grundwasser resultieren, neu geregelt. In dem Beitrag werden die Grundlagen für den Ansatz von Einwirkungen aus Grund- und Oberflächenwasser dargestellt und anhand von Beispielen aus dem Bereich des Verkehrswasserbaus erläutert.

## 1. Einleitung

Im Jahr 1975 beschloss die Europäische Kommission ein Aktionsprogramm zur Beseitigung von Handelshemmnissen im Baubereich durch Harmonisierung der technischen Regeln für die Lastannahmen und die Bemessung baulicher Anlagen. In den 1980er Jahren entstand so die erste Generation der Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau. 1989 übertrug die Kommission diese Aufgabe an das CEN (Committee for European Standardization), die Europäische Normungsorganisation. Nachdem in einem ersten Schritt die Eurocodes als Europäische Vornormen (ENV) erschienen, wurden diese ab dem Jahre 1997 in einem zweiten Schritt in Europäische Normen (EN) überführt. Nähere Informationen sind z. B. über die deutsche Eurocode-Internetplattform des Beuth-Verlags *Eurocode online* erhältlich.

Die Veröffentlichung der deutschen Fassungen (DIN EN) der Eurocodes und der deutschen Nationalen Anhänge (NA), die in Deutschland gültigen, nicht in den Eurocodes festgelegten Nachweisverfahren und Parameter enthalten, ist zwischenzeitlich weitgehend erfolgt. Die bautechnische Einführung eines wesentlichen Teils der Eurocodes für die Baubehörden der Länder und des Bundes ist zum 01.07.2012 vorgesehen (Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz, 2010). Ab diesem Zeitpunkt sind im Bereich der beteiligten Bauverwaltungen die Regelungen der Euro-

codes für die Lastannahmen und die Bemessung baulicher Anlagen alleinig gültig. Deutsche Normen, die Bereiche regeln, die denen der Eurocodes entsprechen, oder die insbesondere widersprechende Regelungen beinhalten, müssen bis dahin zurückgezogen oder ersetzt werden. Deutsche Normen, die ergänzende Regelungen zur Bemessung baulicher Anlagen enthalten, die die spezifischen deutschen Erfahrungen berücksichtigen und die über die Regelungen der Eurocodes hinaus gehen, sind jedoch weiterhin möglich.

In diesem Beitrag werden für die Beanspruchungen von Bauwerken aus Grund- und Oberflächenwasser die normativen Grundlagen und die daraus resultierenden Wasserdruckansätze in den geotechnischen Nachweisen dargestellt. Die Grundlagen und die Durchführung der geohydraulischen Nachweise basierend auf den neuen Normen wurden bereits von Odenwald (2011) dargestellt.

## 2. Grundlagen

### 2.1 Zukünftige Struktur der Normen im Bauwesen

Die zukünftige Hierarchie der deutschen Normen im Bauwesen, bezogen auf die geotechnische Bemessung von Bauwerken, ist nach Schuppener (2011) in Bild 1 etwas vereinfacht dargestellt.

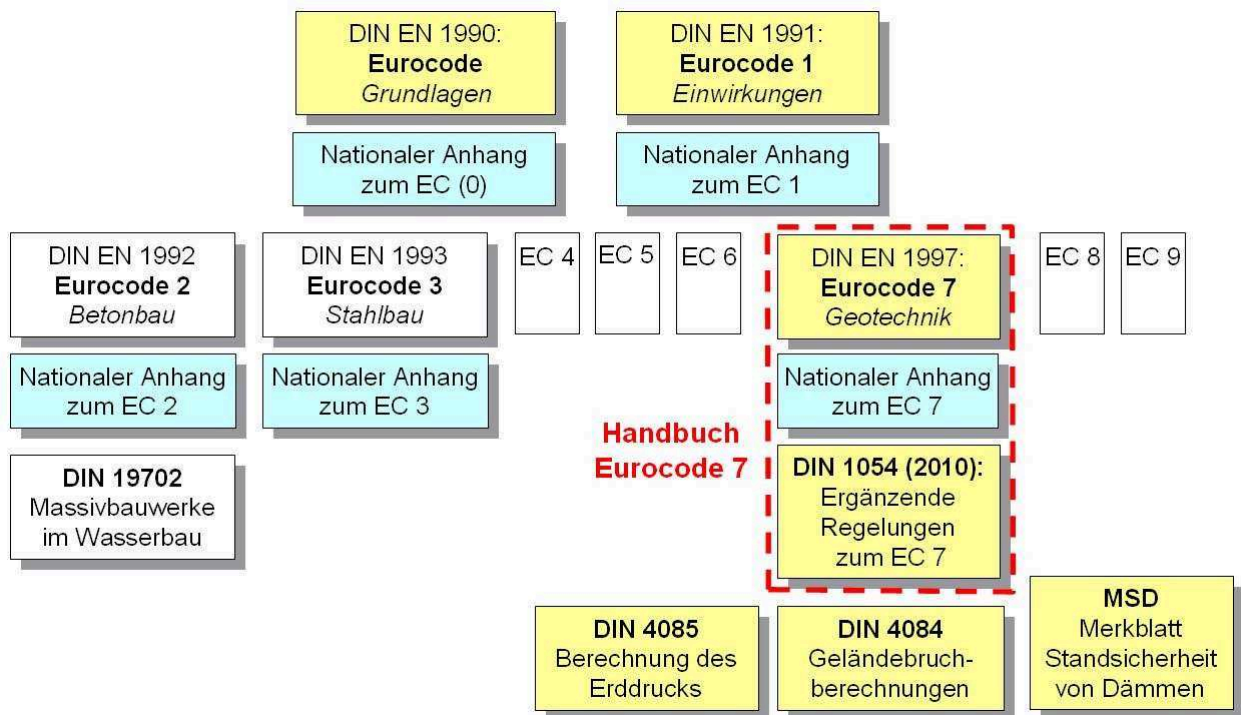


Bild 1: Zukünftige Hierarchie der deutschen Normen im Bauwesen

Die Spitze der europäischen Normen im Bauwesen bilden der Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung und der Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke. Sie bilden die neue Grundlage für die Bemessung im gesamten Bauwesen Europas. Auf diese beiden Grundnormen beziehen sich alle anderen acht Eurocodes (EC 2 – EC 9), so z. B. der Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, der Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten sowie auch der Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik. Diese Eurocodes untergliedern sich jeweils wiederum in mehrere Teile. Zu den Teilen der einzelnen Eurocodes existieren jeweils Nationale Anhänge, in denen die nicht in den Eurocodes festgelegten Parameter national definiert sind.

Der Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung, nachfolgend vereinfacht als EC 0 bezeichnet, legt Prinzipien und Anforderungen für die Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von Tragwerken fest, beschreibt die Grundlagen der Tragwerksplanung einschließlich der Nachweise und gibt Hinweise zu den dafür anzuwendenden Zuverlässigkeitsanforderungen. Die deutsche Fassung des EC 0 DIN EN 1990 (2010) ersetzt zusammen mit dem nationalen Anhang DIN EN 1990/NA (2010) die bisherige deutsche Grundlagennorm für die Tragwerksplanung DIN 1055-100 (2001). Die Regelungen im EC 0 entsprechend weitgehend denen der bereits ebenfalls auf dem Teilsicherheitskonzept basierenden DIN 1055-100.

Die neue europäische Grundlagennorm für die Geotechnik Eurocode 7 besteht aus Teil 1: Allgemeine Regeln, der die Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik enthält, und Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds. Die deutsche Fassung des Eurocode 7, Teil 1 (EC 7-1), DIN EN 1997-1 (2009) ersetzt zusammen mit dem Nationalen Anhang *DIN EN 1997-1/NA* (2010) und der neuen, als nationale Ergänzungsnorm zum EC 7-1 fungierenden DIN 1054 (2010) die bisherige deutsche Grundlagennorm für die geotechnischen Nachweise DIN 1054 (2005). Da die neue DIN 1054 (2010) nur noch eine deutsche Ergänzungsnorm darstellt und immer nur in Verbindung mit dem EC 7-1 und dem NA zum EC 7-1 angewendet werden kann, wurden vom zuständigen deutschen Normenausschuss die drei Normen in einem Handbuch Eurocode 7 - Geotechnische Bemessung, Band 1: Allgemeine Regeln (2011) zusammengefasst. Der Hauptbestandteil des Normenhandbuchs ist die deutsche Fassung des EC 7-1, DIN EN 1997-1 (2009), in die die ergänzenden deutschen Regelungen der DIN 1054 (2010) und die Hinweise und Erläuterungen des Nationalen Anhangs DIN EN 1997-1/NA (2010) hinter den entsprechenden Textstellen des EC 7-1 eingefügt sind. Dabei sind die ergänzenden Regelungen der DIN 1054 (2010) einschließlich der Tabellen und Zeichnungen durch ein vorgesetztes „A“ und die Hinweise und Erläuterungen des Nationalen Anhangs durch „NA zu ...“ gekennzeichnet (siehe auch Schuppener, 2011). Auch die DIN 1054 (2005) basiert bereits auf dem Teilsicherheitskonzept. Allerdings unterscheiden sich einige grundlegende Bezeichnungen der DIN EN 1997-1 (2009) und daraus resultierende

rend auch der DIN 1054 (2010) von denen der DIN 1054 (2005). Die Regelungen für die Durchführung der geotechnischen Nachweise unterscheiden sich jedoch nicht wesentlich.

Zusätzlich wird es selbstverständlich auch weiterhin deutsche DIN-Normen und andere technische Regelwerke geben, in denen die Durchführung der einzelnen Nachweise, ggf. bezogen auf einen speziellen Bereich, festgelegt ist. Im Bereich des Wasserbaus ist dies z. B. für den Massivbau die DIN 19702 (2010). In der Geotechnik sind die Berechnungsverfahren für die einzelnen Nachweise weiterhin in den entsprechenden Normen geregelt, z. B. die Berechnung des Erddrucks in der DIN 4085 (2011) oder die Geländebruchberechnungen in der DIN 4084 (2009). Weiterhin ist z. B. die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen im MSD (2011) festgelegt. Auch diese Normen und technischen Regelwerke sind, soweit erforderlich, an die Nomenklatur und die Form der Standsicherheitsnachweise der Eurocodes anzupassen.

## 2.2 Regelungen im Eurocode (EC 0)

Nachstehend sind die für die Wasserdruckansätze grundlegenden Regelungen und Definitionen des Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung (EC 0), die im Wesentlichen denen der DIN 1055-100 entsprechen, kurz dargestellt. In Klammern sind die jeweiligen Kapitelnummern der DIN EN 1990 (2010) angegeben.

Die Einwirkungen  $F$  auf Bauwerke oder Bauteile werden in ständige Einwirkungen  $G$ , veränderliche Einwirkungen  $Q$  und außergewöhnliche Einwirkungen  $A$  unterschieden.

- Bei einer ständigen Einwirkung  $G$  wird vorausgesetzt, dass sie während der gesamten Nutzungsdauer wirkt und dass ihre zeitliche Größenänderung gegenüber dem Mittelwert vernachlässigbar ist (1.5.3.3).
- Im Gegensatz dazu ist bei einer veränderlichen Einwirkung  $Q$  ihre zeitliche Größenänderung nicht vernachlässigbar (1.5.3.4).
- Eine außergewöhnliche Einwirkung  $A$  ist i. d. R. von kurzer Dauer, aber von bedeutender Größenordnung und kann während der geplanten Nutzungsdauer des Tragwerks, jedoch mit keiner nennenswerten Wahrscheinlichkeit auftreten (1.5.3.5).
- Als Auswirkungen  $E$  von Einwirkungen werden Beanspruchungen von Bauteilen (z. B. Schnittkräfte, Momente, Spannungen, Dehnungen) oder Reaktionen des Gesamttragwerks (z. B. Durchbiegungen, Verdrehungen), die durch Einwirkungen hervorgerufen werden, bezeichnet (1.5.3.2).

Der wichtigste repräsentative Wert einer Einwirkung ist der charakteristische Wert  $F_k$ .

- Als charakteristischer Wert einer ständigen Einwirkung  $G_k$  ist bei kleiner Streuung der Mittelwert und bei größerer Streuung ein oberer und ein unterer Wert anzugeben (4.1.2(2)P).
- Der charakteristische Wert einer veränderlichen Einwirkung  $Q_k$  ist so festzulegen, dass er im Bezugszeitraum als oberer Wert eine vorgegebene Wahrscheinlichkeit nicht überschreitet oder als unterer Wert eine vorgegebene Wahrscheinlichkeit erreicht. Er kann als Nennwert angegeben werden, wenn die statistische Verteilung der Einwirkung unbekannt ist (4.1.2(7)P).
- Der charakteristische Wert von klimatischen Einwirkungen, wie auch Einwirkungen aus Oberflächenwasser und Grundwasser, beruht auf der 98%-Überschreitungsfraktile der Extremwertverteilung der wesentlichen zeitveränderlichen Basisvariablen für einen Bezugszeitraum von einem Jahr. Dies entspricht einer mittleren Wiederkehrperiode dieser Basisvariablen von 50 Jahren (Anmerkung 2 zu 4.1.2(7)P). Dies bedeutet, dass der charakteristische Wert klimatischer Einwirkungen bei einer geplanten Nutzungsdauer des Bauwerkes von 50 Jahren für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit (bzw. Unterschreitungswahrscheinlichkeit) von ein Mal in der Nutzungsdauer des Bauwerks zu ermitteln ist. Bei einer anderen geplanten Nutzungsdauer des Bauwerks sowie bei Beanspruchungen in Bau- oder Revisionszuständen können andere Jährlichkeiten zugrunde gelegt werden.
- Der charakteristische Wert von außergewöhnlichen Einwirkungen  $A_k$  ist für den Einzelfall als Nennwert festzulegen. Eine außergewöhnliche Einwirkung wird unmittelbar als Bemessungswert  $A_d$  festgelegt, wenn sie nicht mit einem Teilsicherheitsbeiwert zur Ermittlung des Bemessungswertes beaufschlagt wird (4.1.2(8)).
- Der maßgebende repräsentative Wert  $F_{rep}$  für ständige Einwirkungen  $G_k$  und für die dominierende veränderliche Einwirkung  $Q_k$  (Leiteinwirkung) ist der charakteristische Wert. Der maßgebende repräsentative Wert für veränderliche Begleiteinwirkungen ist der Kombinationswert  $\psi_0 \cdot Q_k$ , der durch das Produkt aus dem charakteristischen Wert der veränderlichen Einwirkung  $Q_k$  und dem Kombinationswert  $\psi_0$  gebildet wird (4.1.3(1)P).

Der Bemessungswert einer Einwirkung  $F_d$  ergibt sich aus dem maßgebenden repräsentativen Wert der Einwirkung  $F_{rep}$  multipliziert mit dem jeweiligen Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_F$  ( $F_d = \gamma_F \cdot F_{rep}$ ).

Es wird zwischen den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit unterschieden (3.1(1)P). Die Grenzzustände sind in den einzelnen Bemessungssituationen nachzuweisen (3.1(3)P), wobei in ständige, vorübergehende und außergewöhnliche Bemessungssituationen unterschieden werden soll (3.1(4)).

- Ständige Bemessungssituationen entsprechen den üblichen (planmäßigen) Bedingungen während der geplanten Nutzungsdauer des Bauwerks (3.2(2)P). Hier sind die ständigen Einwirkungen sowie die veränderlichen Einwirkungen, bezogen auf die geplante Nutzungsdauer des Bauwerks, zu berücksichtigen.
- Vorübergehende Bemessungssituationen beziehen sich auf zeitlich begrenzte (geplante) Zustände, z. B. im Bauzustand oder während der Instandsetzung (3.2(2)P). Hier sind die ständigen Einwirkungen sowie die relevanten veränderlichen Einwirkungen, bezogen auf den zeitlich begrenzten Zustand, zu berücksichtigen.
- Außergewöhnliche Bemessungssituationen beinhalten außergewöhnliche (nicht planmäßige) Bedingungen während der geplanten Nutzungsdauer des Bauwerks oder während zeitlich begrenzter Zustände (3.2(2)P). Hier ist eine außergewöhnliche Einwirkung zusammen mit den gleichzeitig wirkenden ständigen und veränderlichen Einwirkungen zu berücksichtigen.

### 2.3 Regelungen im Handbuch Eurocode 7 (EC 7)

Nachstehend sind die für die Wasserdruckansätze grundlegenden Regelungen und Definitionen im Handbuch Eurocode 7 (2011) kurz dargestellt. In Klammern

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Grenzzustände der Tragfähigkeit nach Handbuch Eurocode 7 (2011) und DIN 1054 (2005)

| Handbuch<br>EC 7-1 (2011)   | DIN 1054<br>(2005) | Beschreibung   |
|-----------------------------|--------------------|--|
| <b>EQU</b><br>(equilibrium) | GZ 1A              | <b>Gleichgewichtsverlust</b> des Bauwerks oder des Baugrunds als starrer Körper, wobei die Festigkeit weder im Bauwerk noch im Boden entscheidend ist. |
| <b>UPL</b><br>(uplift)      |                    | Gleichgewichtsverlust des Bauwerks oder des Baugrunds infolge von <b>Auftrieb</b> oder anderer Vertikalkräfte  |
| <b>HYD</b><br>(hydraulic)   |                    | <b>Hydraulischer Grundbruch</b> und Materialtransport im Boden infolge von hydraulischen Gradienten  |
| <b>STR</b><br>(structural)  | GZ 1B              | <b>Bruch des Bauwerks</b> oder konstruktiver Elemente, wobei die Festigkeit des Materials entscheidend ist   |
| <b>GEO-2</b>                |                    | Sehr große Verformungen oder <b>Bruch im Baugrund</b> , bei dem die Festigkeit des Baugrunds entscheidend ist  |
| <b>GEO-3</b>                | GZ 1C              |  |

Für den Ansatz der aus dem Grundwasser resultierenden Einwirkungen werden folgende Regelungen getroffen:

- Einwirkungen, bei denen die Kräfte des Grundwassers und des offenen Wassers vorherrschen, müssen im Hinblick auf Verformungen, Rissbildungen, Veränderung der Durchlässigkeit und Erosion besonders beachtet werden (2.4.2 (9)P).

sind die jeweiligen Kapitelnummern des Handbuchs bzw. der DIN EN 1997-1 (2009) sowie der DIN 1054 (2010) (mit vorgesetztem A) angegeben.

In der DIN 1054 (2010) wird anstelle der bisherigen Lastfälle ebenfalls in ständige, vorübergehende und außergewöhnliche Bemessungssituationen unterschieden. Sie werden als BS-P (persistent situation), BS-T (transient situation) und BS-A (accidental situation) bezeichnet (A (3)). Die Definitionen der Bemessungssituationen (A (4)) entsprechen im Wesentlichen denen des EC 0.

Die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit werden in der DIN 1054 (2010) als ULS (ultimate limit state) und SLS (serviceability limit state) bezeichnet anstatt GZ 1 und GZ 2 in der DIN 1054 (2005).

Die im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) nachzuweisenden einzelnen Grenzzustände wurden entsprechend EC 0 neu bezeichnet und neu gruppiert (2.4.7.1(1)P). Eine Gegenüberstellung der Bezeichnungen nach DIN 1054 (2005) sowie nach Handbuch Eurocode 7 (2011) beinhaltet Tabelle 1.

- Ungünstige (oder destabilisierende) und günstige (oder stabilisierende) ständige Einwirkungen können gegebenenfalls als aus einer Ursache herrührend angesehen werden. In solchen Fällen darf ein einheitlicher Teilsicherheitsbeiwert auf die Summe dieser Einwirkungen oder Beanspruchungen angewendet werden (Anmerkung zu 2.4.2 (9)P).

- Als Bemessungswerte von Grundwasserdrücken im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind die ungünstigsten Werte, die während der Nutzungsdauer des Bauwerks auftreten können, anzusetzen (2.4.6.1(6)P).
- Bei der Ermittlung der Bemessungswerte der Beanspruchungen aus freiem Wasser und aus Grundwasser sind auch für den veränderlichen Anteil des Wasserdrucks die Teilsicherheitsbeiwerte für ständige Einwirkungen zugrunde zu legen (A 2.4.6.1.2 A(6)).
- Die Bemessungswerte für Grundwasserdrücke dürfen entweder mit Teilsicherheitsbeiwerten auf charakteristische Wasserdrücke oder mit einem Sicherheitszu- oder -abschlag für den charakteristischen Wasserstand abgeleitet werden (2.4.6.1(8)P). In Deutschland wird das Verfahren zur Ermittlung von Bemessungswerten durch Sicherheitszu- oder -abschlag auf charakteristische Wasserstände jedoch nicht angewendet.

### 3. Ansatz von Einwirkungen aus Wasser in geotechnischen Nachweisen

#### 3.1 Allgemeines

In Deutschland ist die Vorgehensweise für den Ansatz von Einwirkungen aus Oberflächen- und Grundwasser in den geotechnischen Nachweisen nach Handbuch Eurocode 7 (2011) wie folgt geregelt:

- Zunächst sind die maßgebenden (charakteristischen) Oberflächen- und Grundwasserstände entsprechend den Regelungen für veränderliche (klimatische) Einwirkungen festzulegen und daraus die charakteristischen Wasserdrücke zu ermitteln.
- Für die geotechnischen Nachweise dürfen die Bemessungswerte der aus dem Wasser resultierenden Einwirkungen (oder Beanspruchungen) grundsätzlich mit den Teilsicherheitsbeiwerten für ständige Einwirkungen ermittelt werden.
- Da bei ständigen Einwirkungen i. d. R. nicht nach ungünstig oder günstig unterschieden wird, dürfen die auf das Bauwerk in gleicher Richtung wirkenden charakteristischen Wasserdrücke zusammengefasst werden. Aus den resultierenden charakteristischen Wasserdrücken ergeben sich die auf das Bauwerk wirkenden charakteristischen Beanspruchungen.
- Die Bemessungswerte der Beanspruchungen ergeben sich aus der Multiplikation der charakteristischen Werte mit den Teilsicherheitsbeiwerten.

#### 3.2 Beispiel: Nachweis einer Schwergewichtswand gegen Gleiten

Für die Berücksichtigung von Einwirkungen aus Wasser nach o. g. Vorgehensweise ist exemplarisch der Ansatz horizontaler Wasserdrücke auf eine Schwere-

wichtswand (Bild 2) für den Nachweis gegen Gleiten dargestellt. Das Beispiel stellt vereinfacht eine aus Schwergewichtswänden und durchlässiger Pflastersohle bestehende Schleusenammer dar. Die Wand ist auf einer geringdurchlässigen Bodenschicht aufgelagert. Darüber steht landseitig der Kammerwand eine gut durchlässige, nichtbindige Bodenschicht an. Kammerseitig befindet sich oberhalb der geringdurchlässigen Aufstandsfläche die durchlässige Pflastersohle der Schleusenammer.

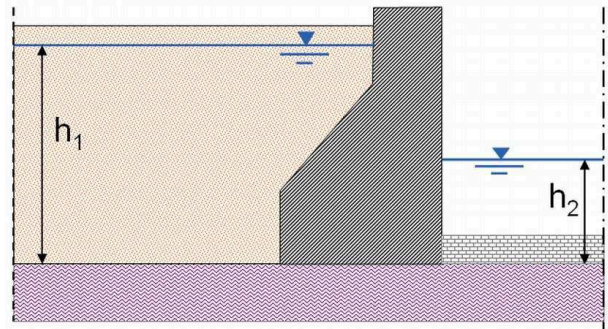


Bild 2: Beidseitig wasserbelastete Schwergewichtswand

Maßgebend für den Nachweis gegen Gleiten in der ständigen Bemessungssituation ist der obere charakteristische Grundwasserstand landseitig der Kammerwand ( $h_1$ ) und der untere charakteristische Wasserstand in der Kammer (Unterwasserstand  $h_2$ ). Da aufgrund der geringdurchlässigen unterlagernden Bodenschicht die Grundwasserunterströmung der Schwergewichtswand vernachlässigt werden kann, stellt sich beidseitig der Wand jeweils eine hydrostatische Druckverteilung bis zur Wandsohle ein.

Die Ermittlung des auf die Schwergewichtswand für den Nachweis gegen Gleiten anzusetzenden Bemessungswertes der horizontalen Wasserdruckkraft ist schematisch in Bild 3 dargestellt. Die beidseitig der Wand wirkenden horizontalen Wasserdruckkräfte  $W_{k,1}$  und  $W_{k,2}$  (a) (mit  $\gamma_w$  = spezifisches Gewicht von Wasser) werden zu der resultierenden Wasserdruckkraft  $W_{k,res}$  zusammengefasst (b). Der resultierende Bemessungswert der Wasserdruckkraft  $W_d$  (c) ergibt sich durch Multiplikation mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_G$ . In der ständigen Bemessungssituation beträgt der Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen beim Verfahren GEO-2  $\gamma_G = 1,35$ . Alternativ können auch beidseitig der Wand die Bemessungswerte der Wasserdruckkräfte  $W_{d,1}$  und  $W_{d,2}$  (d) angesetzt werden. Diese ergeben sich durch Multiplikation der charakteristischen Wasserdruckkräfte  $W_{k,1}$  und  $W_{k,2}$  jeweils mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_G$ , unabhängig von der Wirkung der Wasserdruckkraft als stabilisierende (günstige) oder als destabilisierende (ungünstige) Einwirkung.

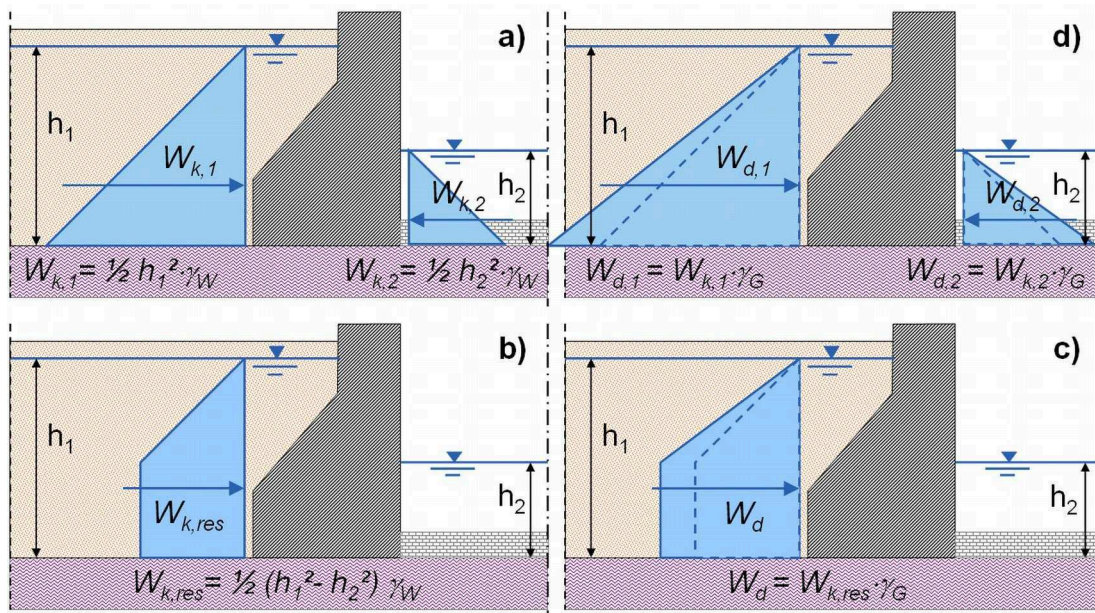


Bild 3: Ansatz von horizontalen Wasserdrücken auf eine Schwerkraftwand für den Nachweis gegen Gleiten, a) charakteristische Wasserdrücke, b) resultierender charakteristischer Wasserdruck, c) resultierender Bemessungswasserdruck, d) Bemessungswasserdrücke

### 3.3 Beispiel: Nachweis einer Wehrsohle gegen Aufschwimmen

Hinsichtlich des Ansatzes von ständigen Einwirkungen unterscheidet sich der Nachweis gegen Aufschwimmen (UPL) nach Handbuch Eurocode 7 (2011) von dem Verfahren GEO-2, da hier auch die ständigen Einwirkungen hinsichtlich ihrer stabilisierenden oder destabilisierenden Wirkung unterschieden werden. Der Nachweis gegen Aufschwimmen wird nachstehend exemplarisch für die in Bild 4 dargestellte Wehrsohle beschrieben.

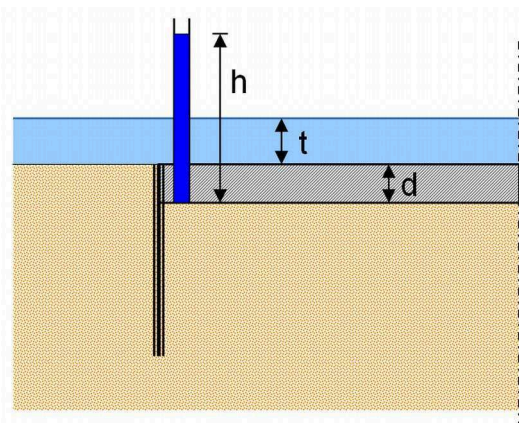


Bild 4: Wehrsohle mit Grundwasserüberdruck

Die aus Stahlbeton (spezifisches Gewicht  $\gamma_B$ ) bestehende Wehrsohle mit der Dicke  $d$  wird unterstrom durch eine in den durchlässigen Baugrund einbindende Spundwand begrenzt. Diese stellt einen Strömungswiderstand für den Potenzialausgleich zwischen Oberflächen- und Grundwasser dar. Zur Festlegung der charak-

teristischen Wasserstände für den Nachweis gegen Aufschwimmen in der ständigen Bemessungssituation wird ein schnell abfallender Oberflächenwasserstand aus dem maßgebenden Hochwasserstand betrachtet. Aufgrund des zeitlich verzögerten Potenzialabbaus im Grundwasser unterhalb der Wehrsohle ergibt sich ein Grundwasserüberdruck. Die charakteristische Grundwasserdruckhöhe  $h$  an der Unterseite der Wehrsohle und die charakteristische Wasserdruckhöhe  $t$  (Wasserstand) auf der Oberseite der Wehrsohle werden vereinfacht als konstant über die untersuchte Länge der Wehrsohle angenommen.

Für den Nachweis gegen Aufschwimmen (UPL) nach Handbuch Eurocode 7 (2011) muss der Bemessungswert der destabilisierenden Einwirkungen kleiner ist als der Bemessungswert der stabilisierenden Einwirkungen sein. Ohne Berücksichtigung seitlicher Scherkräfte am Bauwerkskörper ergibt sich der Nachweis für die Wehrsohle zu:

$$G_{dst,k} \cdot \gamma_{G,dst} \leq G_{stb,k} \cdot \gamma_{G,stb}$$

mit:

- $G_{dst,k}$  charakteristischer Wert ständiger destabilisierender vertikaler Einwirkungen
- $\gamma_{G,dst}$  Teilsicherheitsbeiwert für ständige destabilisierende Einwirkungen
- $G_{stb,k}$  unterer charakteristischer Wert stabilisierender ständiger, vertikaler Einwirkungen des Bauwerks
- $\gamma_{G,stb}$  Teilsicherheitsbeiwert für stabilisierende ständige Einwirkungen

Der Nachweis entspricht dem der DIN 1054 (2005) mit allerdings teilweise abweichenden Bezeichnungen. Insbesondere zu beachten ist, dass die Einwirkungen aus dem Grundwasser grundsätzlich als ständige Einwirkungen angesetzt werden und dass die Auftriebskraft als destabilisierende ständige Einwirkung mit  $G_{dst,k}$  bezeichnet wird. Die Teilsicherheitsbeiwerte betragen für die ständige Bemessungssituation  $\gamma_{G,dst} = 1,05$  und  $\gamma_{G,dst} = 0,95$ .

Wie von Simpson et. al. (2011) für die auf dem Eurocode 7 basierenden Nachweisverfahren in Europa beschrieben, gibt es für den hier untersuchten Fall drei unterschiedliche Verfahren für den Ansatz der Wasserdruckkräfte:

- Beim ersten Verfahren wird der von unten auf die Wehrsohle wirkende Grundwasserdruck als destabilisierende Einwirkung und der von oben auf die Wehrsohle wirkende Wasserdruck zusammen mit dem Gewicht der Wehrsohle als stabilisierende Einwirkung angesetzt:

$$h \cdot \gamma_W \cdot \gamma_{G,dst} \leq (t \cdot \gamma_W + d \cdot \gamma_B) \cdot \gamma_{G,stb}$$

- Beim zweiten Verfahren wird die Resultierende der Wasserdrücke (Differenz der Wasserdrücke) gebildet und diese als destabilisierende Einwirkung sowie das Gewicht der Wehrsohle als stabilisierende Einwirkung angesetzt:

$$(h - t) \cdot \gamma_W \cdot \gamma_{G,dst} \leq d \cdot \gamma_B \cdot \gamma_{G,stb}$$

- Beim dritten Verfahren wird nur das unter Auftrieb stehende Gewicht der Wehrsohle als stabilisierende Einwirkung und nur der aus der Potenzialdifferenz resultierende Wasserdruck als destabilisierende Einwirkung angesetzt:

$$(h - t - d) \cdot \gamma_W \cdot \gamma_{G,dst} \leq d \cdot (\gamma_B - \gamma_W) \cdot \gamma_{G,stb}$$

Beim ersten Verfahren werden unterschiedliche Teilsicherheitsfaktoren auf die stabilisierenden und die destabilisierenden Wasserdrücke angewendet. Dadurch ergibt mit zunehmendem Wasserdruck bei gleicher Wasserdruckdifferenz eine Abnahme der Sicherheit gegen Aufschwimmen, was physikalisch nicht korrekt ist. Beim dritten Verfahren werden Kräfte, die aus unterschiedlichen Einwirkungen resultieren (Gewicht, Auftrieb), vor der Beaufschlagung mit Teilsicherheitsbeiwerten miteinander verrechnet. Dies widerspricht den Grundlagen des Teilsicherheitskonzepts. Aus diesen Gründen wird in Deutschland das zweite Verfahren favorisiert. Die Verrechnung der Wasserdrücke erfolgt hier auf Grundlage der aus einer Ursache herrührenden Einwirkungen (single source principle).

#### 4. Bewertung

Zusammenfassend kann für den Ansatz der Einwirkungen aus Grund- und Oberflächenwasser in den geotechnischen Nachweisen nach den neuen Normen festgestellt werden:

- Durch die grundlegenden Definitionen im Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung (EC 0) (2010) ergeben sich einige Änderungen gegenüber denen der DIN 1054 (2005). Dies betrifft insbesondere den Ansatz charakteristischer Werte für veränderliche (klimatische) Einwirkungen und deren Berücksichtigung in der ständigen, vorübergehenden und außergewöhnlichen Bemessungssituation. In der ständigen Bemessungssituation sind dabei als charakteristische Einwirkungen i. d. R. die Wasserdrücke anzusetzen, die sich aus Wasserständen bzw. Wasserstandsunterschieden mit einer Auftretenswahrscheinlichkeit von ein Mal in der geplanten Lebensdauer des Bauwerks ergeben.
- Im Handbuch Eurocode 7 (2011), das die deutsche Fassung des Eurocode 7, Teil 1 (EC 7-1), DIN EN 1997-1 (2009), den Nationalen Anhang DIN EN 1997-1/NA (2010) und die neue, als nationale Ergänzungsnorm zum EC 7-1 fungierende DIN 1054 (2010) umfasst, wurden die Begrifflichkeiten an die des EC 0 angepasst und teilweise für die spezifischen geotechnischen Fragestellungen ergänzt. Dadurch ergeben sich hinsichtlich der Nomenklatur ebenfalls Abweichungen zur bisherigen geotechnischen Grundnorm DIN 1054 (2005), z. B. die Einführung von Bemessungssituationen anstatt der bisherigen Lastfälle sowie die Bezeichnung und Zuordnung der einzelnen Grenzzustände der Tragfähigkeit.
- Die spezifischen deutschen Regelungen für den Ansatz von Wasserdruckkräften in den einzelnen geotechnischen Nachweisen wurden im Wesentlichen jedoch von der bisherigen geotechnischen Grundnorm DIN 1054 (2005) in die DIN 1054 (2010), die nur noch die ergänzenden deutschen Regelungen zum EC 7-1 beinhaltet, übernommen.
- Insbesondere werden wie bisher für die Ermittlung der Bemessungswerte der Beanspruchungen aus Oberflächen- und Grundwasser auch für den veränderlichen Anteil des Wasserdrucks die Teilsicherheitsbeiwerte für ständige Einwirkungen zugrunde gelegt. D. h. Einwirkungen aus Wasser werden in den geotechnischen Nachweisen, unabhängig von deren zeitlicher Veränderung, wie ständige Einwirkungen berücksichtigt.
- Weiterhin werden die in horizontaler und vertikaler Richtung wirkenden charakteristischen Wasserdruckkräfte i. d. R. jeweils zuerst zu Resultierenden zusammengefasst und danach mit den Teilsicherheitsbeiwerten zur Ermittlung der Bemessungswerte beaufschlagt. Dies betrifft insbesondere auch den Nachweis gegen Aufschwimmen, bei dem die ständigen Einwirkungen in stabilisierende und



destabilisierende Einwirkungen unterschieden werden. Hier wird die Resultierende der Wasserdruckkräfte mit dem Teilsicherheitsbeiwert in Abhängigkeit von der Wirkung der Resultierenden berücksichtigt. Aufgrund der zumeist vorhandenen, gegenseitigen Abhängigkeit der auf den unterschiedlichen Bauteilseiten vorhandenen Wasserstände sind i. A. nicht jeweils die oberen und unteren charakteristischen Wasserstände sondern charakteristische Wasserstandsunterschiede für die Bestimmung der charakteristischen Wasserdruckkräfte zugrunde zu legen.

## 5. Literatur

- DIN 1054: 2005-01: Baugrund -: Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 1054: 2010-12: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 1055-100: 2001-03: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln, Beuth Verlag, Berlin.
- DIN EN 1990: 2010-12: Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990, Beuth Verlag, Berlin.
- DIN EN 1990/NA: 2010-12: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung, Beuth Verlag, Berlin.
- DIN EN 1997-1: 2009-09: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1, Beuth Verlag, Berlin.
- DIN EN 1997-1/NA: 2010-12: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln, Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 4084: 2009-01: Baugrund - Geländebruchberechnungen, Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 4085: 2011-05: Baugrund - Berechnung des Erddrucks, Beuth Verlag, Berlin..
- DIN 19702: 2010-06: Massivbauwerke im Wasserbau - Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit, Beuth Verlag, Berlin.
- Eurocode online (<http://www.eurocode-online.de>), Eurocode-Internetplattform des Beuth-Verlags, Stand September 2011
- Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz (2010): Erläuterungen zur Anwendung der Eurocodes vor ihrer Bekanntmachung als Technische Baubestimmungen, DIBt Mitteilungen, 6/2010.
- Handbuch Eurocode 7: 2011-06: Geotechnische Bemessung - Band 1: Allgemeine Regeln, vom DIN autorisierte konsolidierte Fassung, Beuth Verlag, Berlin.
- Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD), Ausgabe 2011; Bundesanstalt für Wasserbau (BAW).
- Odenwald, B. (2011): Geohydraulische Nachweise nach neuen Normen, in: Beiträge zum 10. Geotechnik-Tag „Wasser und Boden“, Heft 49 der Schriftenreihe des Zentrum Geotechnik der Technischen Universität München, Herausgeber: N. Vogt, S. 113 – 124.
- Simpson, B., Vogt, N., van Seters, A. J. (2011): Geotechnical safety in relation to water pressures, Third International Symposium on Geotechnical Safety and Risk (ISGSR 2011), Vogt, Schuppener, Straub & Bräu (eds), Bundesanstalt für Wasserbau (BAW).
- Schuppener, B. (2011): Das Normenhandbuch zu Eurocode 7 und DIN 1054:2010 – Grundlagen für geotechnische Nachweise im Verkehrswasserbau; BAW-Mitteilungen Nr. 94 (voraussichtlich), Bundesanstalt für Wasserbau (BAW).