

| | | |
|--|--|---|
| VEB Projektierung Wasserwirtschaft | Nachweis der Beständigkeit von Erdstoffen gegenüber der Einwirkung der Sickerwasserströmung - Kontakterosion Typ 2/2, 3/2, 2/3 und 3/3 bei nichtbindigen Erdstoffen - | WAPRO 4.04. Blatt 4 |
|--|--|---|

Verbindlich ab 1. 4. 1969

Dieser Standard gilt für die Kontakterosion nichtbindiger Erdstoffe der Typen 2/2, 3/2, 2/3 und 3/3 sowie bei geneigter Kontaktfläche und Wechselbeanspruchung, d.h. für diejenigen Typen, bei welchen das Sickerwassergefälle im Basiserdstoff ökonomischen Einfluß auf die Filterbemessung haben kann. Sollen die Erdstoffkombinationen unabhängig vom Sickerwassergefälle sicher gegen Kontakterosion sein, so sind die Regeln nach WAPRO 4.04./3, anzuwenden.

Die Festlegungen des Standards sind zur Anwendung empfohlen.

| Inhaltsverzeichnis | Seite |
|--|-------|
| 1. Notwendige Arbeitsunterlagen | 1 |
| 2. Berechnungsweg | 1 |
| 3. Rechenvorschriften | 2 |
| 3.1. Kontakterosion Typ 2/2 und 3/2 | 3 |
| 3.2. Kontakterosion bei geneigter Kontaktfläche und Wechselbeanspruchung | 4 |
| 3.3. Kontakterosion Typ 2/3 und 3/3 | 5 |
| 4. Auswertung der Berechnung | 5 |

1. Notwendige Arbeitsunterlagen

Zur vollständigen Filterbemessung auf Sicherheit gegen Kontakterosion Typ 2/2, 3/2, 2/3 und 3/3 müssen folgende Kennwerte der Erdstoffe und der Sickerwasserströmung bekannt sein oder beschafft werden:

Schwankungsbereich der Kornverteilungslinien des Basis- und Filtererdstoffes mit:

- den Korndurchmessern d_{10} , d_{50} und d_{60} [mm]
- dem Ungleichförmigkeitsgrad $U = d_{60} / d_{10}$ und
- dem Abstandsverhältnis $A_{50, vorh} = d_{11,50} / d_{1,50}$

Normalspannung σ' in der Kontaktfläche zwischen Basis- und Filtererdstoff

Größe und Richtung des Sickerwassergefalles $I_{I, vorh}$ im Basiserdstoff.

Die anderen Kennwerte werden durch die Berechnung gewonnen.

2. Berechnungsweg

Bei der Filterbemessung ist zweckmäßigerweise folgender Weg einzuschlagen:

- 2.1. Auftragung des Schwankungsbereiches der Kornverteilungslinien des Basiserdstoffes im semilogarithmischen Maßstab
- 2.2. Überprüfung der Suffosionssicherheit des Basiserdstoffes nach WAPRO 4.04./2.

Bestätigt: 14. 1. 1969, Direktor, Halle (Saale)

Fortsetzung Seite 2 bis 9

(741)0344-73-1155

2.3. Entsprechend dem Ergebnis der Suffosionsuntersuchung für den Basiserdstoff erfolgt jetzt ggf. der Nachweis der Sicherheit gegen Kontaktsuffosion ebenfalls nach WAPRO 4.04./2. Andernfalls, d.h. bei suffosionssicheren Basiserdstoffen oder wenn eine geringe Kontaktsuffosion gestattet werden kann, erfolgt:

2.3.1. Auftragung des Schwankungsbereiches der Kornverteilungslinien der angebotenen oder vorhandenen Filtererdstoffe oder der Erdstoffe, die den Basiserdstoff an der Kontaktfläche berühren sollen.

2.3.2. Überprüfung der Suffosionssicherheit dieser Erdstoffe. Ist diese nicht nachweisbar, so sind diese Erdstoffe als Filter nicht geeignet.

2.4.1. Bei der Kontakterosion Typ 2/3 und 3/3 verläuft der weitere Berechnungsweg entsprechend Regel 13 nach WAPRO 4.04./3.

2.4.2. Für die Kontakterosion bei geneigter Kontaktfläche und Wechselbeanspruchung erfolgt der Sicherheitsnachweis für Küstenschutzbauwerke nach Regel 10, für die 1. Filterschicht unter der Steinschüttung einer wasserseitigen Staudamm- oder Kanalböschung nach Regel 11 und alle weiteren Filterschichten unter der Steinschüttung einer wasserseitigen Staudamm- oder Kanalböschung nach Regel 12.

2.4.3. Bei der Kontakterosion Typ 2/2 und 3/2 sind folgende Berechnungsschritte zu empfehlen:

2.4.3.1. Bestimmung des vorhandenen Sickerwassergefälles im Basiserdstoff $I_{I,vorh}$.

2.4.3.2. Überprüfung, ob die Bedingungen der Regel 2 garantiert werden können und Anwendung der Regeln 3, 4 oder 5.

2.4.3.3. Feststellung des Bereiches der Kontaktfläche für den

a. $I_{I,vorh} \leq 0,66$,

b. $I_{I,vorh} \cdot \eta_{K,H,erf} \leq 1,5$ bzw.

c. bei der Kontakterosion Typ 3/2

$I_{I,vorh} \cdot \eta_{K,H,erf} \leq 1,3$

ist. Der Zahlenwert für $\eta_{K,H,erf}$ wird nach Regel 5 bestimmt.

2.4.3.4. Für den Bereich $I_{I,vorh} \leq 0,66$ gilt Regel 1 und 3.

2.4.3.5. Für den Bereich $I_{I,vorh} \cdot \eta_{K,H,erf} \leq 1,5$ gilt Regel 7.

2.4.3.6. Für den Bereich $I_{I,vorh} \cdot \eta_{K,H,erf} \leq 1,3$ bei der Kontakterosion Typ 3/2 gilt Regel 9.

2.4.3.7. Für den Bereich $I_{I,vorh} \cdot \eta_{K,H,erf} > 1,5$ gilt Regel 6.

2.4.3.8. Durchführung des Sicherheitsnachweises für die Kontakterosion Typ 2/2 oder 3/2 nach der jeweils günstigsten Regel für diesen Typ.

2.4.3.9. Die weitere Filterbemessung erfolgt nach WAPRO 4.04./3.

2.5. Abschließend werden die Rechenergebnisse beurteilt und die Konstruktion des Filtersystems durchgeführt.

3. Rechenvorschriften

Bei Filterbemessungen müssen folgende Sicherheitsnachweise geführt werden:
Suffosionssicherheit des Basis- und Filtererdstoffs

$$\eta_{S,G} \geq 1,5 \text{ bzw. } \eta_{S,H} \geq 2 \quad (\text{Suffosionsregeln}).$$

Der Nachweis erfolgt nach WAPRO 4.04./2.

Sicherheit gegen Kontakterosion

a) Geometrische Sicherheit gegen Kontakterosion, z.B. beim Typ 1/1,

$$A_{50,vorh} \leq A_{50,zul.} \quad - \text{Erosionsregel} -$$

oder

b) Hydraulische Sicherheit gegen Kontakterosion, z.B. beim Typ 2/2,

$$\eta_{K,H,vorh} = \frac{I_{I,krit}}{I_{I,vorh}} \geq \eta_{K,H,erf.}$$

Der geometrische Sicherheitsnachweis erfolgt nach WAPRO 4.04./3 und der hydraulische Sicherheitsnachweis nach diesem Werkstandard.

Sicherheit für genügende Wasserdurchlässigkeit

$$\alpha_{vorh} = \frac{k_{II}}{k_I} \geq \alpha_{erf} \quad (\text{Durchlässigkeitsregel}).$$

Der Nachweis erfolgt nach WAPRO 4.04./3.

Für die Kontakterosion nichtbindiger Erdstoffe vom Typ 2/2, 3/2 und 3/3 sowie bei geneigter Kontaktfläche und Wechselbeanspruchung gelten folgende Rechenvorschriften.

3.1. Kontakterosion Typ 2/2 und 3/2

Regel 1: Bei der Kontakterosion Typ 2/2 und 3/2 ist die Anwendung weiterer Erosionsregeln unnötig, wenn das vorhandene mittlere Sickerwassergefälle im Basiserdstoff

$$I_{I,vorh} \leq (0,7 \text{ bis } 0,8) \frac{(1-n)(\sigma_s - 1)}{\gamma_w}$$

ist und die Randbedingungen nach Regel 2 erfüllt sind.

Setzt man in obiger Beziehung die faktisch ungünstigsten Erdstoffkennwerte ein, so ergibt sich als grober Näherungswert:

$$I_{I,vorh} \leq 0,66.$$

Regel 2: Die Anwendung aller Regeln für die Kontakterosion Typ 2/2 und 3/2 setzt voraus, daß:

- das in die Berechnung eingeführte Sickerwassergefälle im Basiserdstoff $I_{I,vorh}$ auch bei instationärer Sickerwasserströmung nicht überschritten wird,
- die Filterkombination nicht durch dynamische Kräfte belastet wird, z.B. Erdbeben, Erschütterungen in der unmittelbaren Nähe von Tosbecken, Straßen, bei Pulsationsbetrieb von Brunnen, durch Wellenschlag und Wellensog,
- im Basiserdstoff keine bevorzugten Sickerwege vorhanden sind und
- der Filterstoff die Kontaktfläche homogen berührt.

Regel 3: Werden die Regeln 1 und 2 erfüllt, so kann das Abstandsverhältnis $A_{50} = d_{II,50} / d_{I,50}$ zwischen Basis- und Filtererdstoff beliebig gewählt werden.

Regel 4: Werden die Regeln 1 oder 2 nicht erfüllt, so kann die Filterbemessung in jedem Fall nach WAPRO 4.04./3, Bild 2, erfolgen. Dieses spiegelt die geometrischen Beziehungen zwischen maßgebendem Porenkanaldurchmesser des Filtererdstoffs und maßgebendem Korndurchmesser des Basiserdstoffs wider, bei welchen eine Kontakterosion jeglichen Typs überhaupt unmöglich ist. Ein danach bemessener Filter ist also auch für die Kontakterosion Typ 2/2 und 3/2 bei praktisch beliebigem Sickerwassergefälle $I_{I,vorh}$ im Basiserdstoff sicher genug.

Regel 5: Wird die Regel 1 nicht erfüllt, können jedoch die Randbedingungen der Regel 2 eingehalten werden, so kann der Filterentwurf wesentlich ökonomischer als nach WAPRO 4.04./3, nach den folgenden Regeln 6 oder 7 erfolgen. In diesem Falle wird die hydraulische Sicherheit gegen Kontakterosion nach folgender Gleichung bestimmt:

$$\eta_{K,H,vorh} = \frac{I_{I,krit}}{I_{I,vorh}} \leq \eta_{K,H,erf.}$$

Der erforderliche Sicherheitsgrad beträgt

$$\eta_{K,H,erf} = 1,5,$$

wenn das vorhandene Sickerwassergefälle im Basiserdstoff $I_{I,vorh}$ nur näherungsweise bestimmt

oder

$$\eta_{K,H,erf} = 1,1,$$

wenn das vorhandene Sickerwassergefälle im Basiserdstoff $I_{I,vorh}$ aus einem exakten hydrodynamischen Sickerwasserströmungsnetz entnommen werden kann.

Regel 6: Das kritische Sickerwassergefälle im Basiserdstoff $I_{I,krit}$ wird bei der Kontakt-erosion Typ 2/2 und 3/2, unter Beachtung der in Regel 8 genannten Randbedingungen, mit Hilfe des Bemessungsdiagramms auf Bild 1 bestimmt, das die funktionelle Abhängigkeit

$$I_{I,krit} = f(A_{50}; d_I)$$

enthält

Regel 7: Ist $\eta_{K,H,erf} \cdot I_{I,vorh} \leq 1,5$, so wird das zulässige Abstandsverhältnis $A_{50,zul}$ unter Beachtung der in Regel 8 genannten Randbedingungen mit Hilfe des Bemessungsdiagramms auf Bild 2 noch ökonomischer als nach Regel 6 erhalten. Es enthält die funktionelle Abhängigkeit

$$A_{50,zul} = f(U_{II}; d_I).$$

Regel 8: Die Anwendung der Bemessungsdiagramme auf Bild 1 und 2 erfordert die Einhaltung folgender Randbedingungen, zusätzlich zu Regel 2 :

a) Normalspannung in der Kontaktfläche:

$$\sigma \geq \gamma_w \cdot t \cdot I_{I,vorh}$$

b) suffosionssicherer Basiserdstoff mit

$$U_I \leq 5, \text{ bei } U_I > 5 \text{ sind Laborversuche nötig oder es ist WAPRO 4.04./3, anzuwenden,}$$

c) suffosionssicherer Filtererdstoff mit $U_{II} \leq 20$,

d) beliebige Lagerungsdichte beider Erdstoffe,

e) Kornform des Filtererdstoffs kugelförmig, abgerundet, bei Filtererdstoffen mit scharfkantig-eckiger Kornform ist das Abstandsverhältnis $A_{50,zul}$ mit einem zusätzlichen Sicherheitsgrad von $\eta = 1,3$ zu belegen,

f) Kornform des Basiserdstoffs beliebig

g) keine Beeinträchtigung der Entwässerungswirkung des Filters durch die Belastung.

Regel 9: Bei der Kontakt-erosion Typ 3/2 kann die Filterbemessung auch nach folgender Gleichung durchgeführt werden:

$$A_{50,vorh} \leq 2 + 6,8 \cdot \frac{U_{II}}{U_I}$$

Sie gilt für folgende Randbedingungen:

a) $\eta_{K,H,erf} \cdot I_{I,vorh} \leq 1,3$,

b) $\sigma \geq 100 \text{ p/cm}^2$,

c) $U_I \leq 10$ und

d) $U_{II} \leq 10$.

Danach ergeben sich jedoch nur dann günstigere Abstandsverhältnisse als nach Bild 2, wenn U_{II} wesentlich größer als U_I ist. Die Anwendung dieser Regel ist für die Kontakt-erosion Typ 3/2 daher nicht zwingend.

3.2. Kontakt-erosion bei geneigter Kontaktfläche und Wechselbeanspruchung

Regel 10: Filter unter der Böschungssicherung von Küstenschutzbauwerken sind nach folgender Gleichung zu bemessen:

$$\frac{d_{II}}{d_I} \leq 3, \text{ mit } U \approx 1.$$

Bedingung ist, daß der Durchmesser der Steine der Böschungssicherung d_{II} so bemessen wird, daß sich die Steine unter der pulsierenden Wellenbelastung nicht bewegen. Eine Ermäßigung dieser sehr aufwendigen Regel erfordert die Durchführung

von Modellversuchen und nach Möglichkeit die Auszwickung der unteren Lage der Steinschüttung mit kleineren Steinen als d_{II} .

Regel 11: Für die erste Filterschicht unter der Steinschüttung einer wasserseitigen Staudamm- oder Kanalböschung gilt:

$$\frac{d_{II,50}}{d_{I,50}} \leq 5,$$

wobei folgende Randbedingungen einzuhalten sind:

- a) das Steingewicht macht eine Bewegung der Steine durch die Wellenbelastung unmöglich,
 - b) $U_{II} \approx 1$,
 - c) $2 \leq U_I \leq 5$ und
 - d) Kornform des Erdstoffs der ersten Filterschicht kugelähnlich abgerundet.
- Wird die unterste Lage der Steinschüttung mit kleineren Steinen ausgezwickelt, so daß $U_{II} \approx 2$ wird, kann unter sonst gleichen Randbedingungen die Gleichung

$$\frac{d_{II,50}}{d_{I,50}} \leq 7,5$$

angewendet werden.

Wird als Erdstoff der ersten Filterschicht Splitt verwendet, so gilt bei $U_{II} \approx 1$ und sonst gleichen Randbedingungen

$$\frac{d_{II,50}}{d_{I,50}} \leq 6,$$

und/oder bei $U_{II} \approx 2$ in der untersten Lage der Steinschüttung:

$$\frac{d_{II,50}}{d_{I,50}} \leq 9$$

Regel 12: Alle weiteren Filterschichten unter der Steinschüttung einer wasserseitigen Staudamm- oder Kanalböschung können nach WAPRO 4.04./3 bemessen werden. Spezielle Laborversuche werden in diesem Fall ökonomische Vorteile erbringen.

3.3. Kontaktersion Typ 2/3 und 3/3

Regel 13: Die Bemessung von Brunnenfiltern muß vorläufig noch nach WAPRO 4.04./3 erfolgen.

Regel 14: Die Anwendung von Bild 16 oder 18 der Erläuterungen zu diesem Werkstandard erfordert auf jeden Fall besondere Laborversuche, die voraussichtlich aber nur für absolut pulsationsfrei betriebene Brunnen erfolgversprechend sind.

4. Auswertung der Berechnung

Hinsichtlich der Anwendung der Suffosionsberechnungen wird auf WAPRO 4.04./2 und hinsichtlich der geometrischen Sicherheitsnachweise für die Kontaktersionen auf WAPRO 4.04./3 verwiesen.

Gemäß den Ergebnissen der Nachweise für die geometrische und hydraulische Sicherheit gegen Kontaktersion erfolgt die Konstruktion der einzelnen Teile des Filtersystems. Als Beispiel ist auf Bild 3 die Filterkonstruktion für das luftseitige Entwässerungssystem eines Staudammes bei gleichen Damm- und Untergrundmaterial skizziert.

Daraus geht hervor, daß im Bereich des aufsteigenden Sickerwasserstromes im Untergrund des Staudammes eine Reduzierung oder großzügigere Bemessung der Filterschichten im Vergleich zum Bereich des absteigenden Sickerwasserstromes im Stützkörper des Staudammes möglich ist.

Besondere Beachtung erfordert der Bereich unmittelbar luftseitig des Dammfußes. In diesem Bereich ist auch ein Sicherheitsnachweis gegen hydraulischen Grundbruch erforderlich (siehe Randbedingung a) der Regel 8).

Die Filterbemessung muß mit der Feststellung abschließen, daß die Erosionsbeständigkeit und genügende Durchlässigkeit der einzelnen Erdstoffkombinationen nachgewiesen wurde. Die Einbaurichtlinien müssen Vorschriften enthalten, die eine Entmischung der Filtermaterialien, insbesondere bei höheren Ungleichförmigkeitsgraden verhindern. Kontrolleinrichtungen zur Messung des Sickerwasseranfalls sind vorzusehen. In besonderen Fällen muß auch die Möglichkeit gegeben sein, den Schwebstoff- und Sandgehalt des Sickerwassers, das der Entwässerungseinrichtung entströmt, messen zu können. Die biologische Verunreinigung der Filter ist zu verhindern.

Über durchgeführte Labor- und Feldversuche ist dem Chefsingenieur Speicherbau eine Information zu geben.

Hinweise

Ersatz für WAPRO 4.04. Blatt 4 Ausg. 1.69. Redaktionelle Korrekturen.

Die Erläuterungen zum Werkstandard WAPRO 4.04./4 enthalten Begriffsbestimmungen, Erläuterungen über die Wirkungen der Kontakterosion und die Faktoren, die die Kontakterosion beeinflussen, die Ableitung der Sicherheitskriterien, die theoretischen und empirischen Grundlagen der Kontakterosion derjenigen Typen, bei welchen das Sickerwassergefälle im Basiserdstoff ökonomischen Einfluß auf die Filterbemessung haben kann, die daraus abgeleiteten neuen Erosionsregeln für diese Typen, ein Verzeichnis der verwendeten Symbole mit ihrer Bedeutung und ein umfangreiches Literaturverzeichnis.

| | | |
|---------------|-------|---|
| WAPRO 4.04./2 | 10.70 | Nachweis der Beständigkeit von Erdstoffen gegenüber der Einwirkung der Sickerwasserströmung; Suffosion nichtbindiger Erdstoffe |
| WAPRO 4.04./3 | 10.70 | -; Kontakterosion Typ 1/1, 1/3 und 3/1 sowie Durchlässigkeitsregeln für Filter aus nichtbindigen Erdstoffen, Hinweise für die Konstruktion von Wasserbaufiltern |
| WAPRO 4.04./5 | 1.70 | -; Kontakterosion bindiger Erdstoffe |

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Ziemis +
Technische Universität Dresden,
Sektion Wasserwesen, Bereich Wasserbau

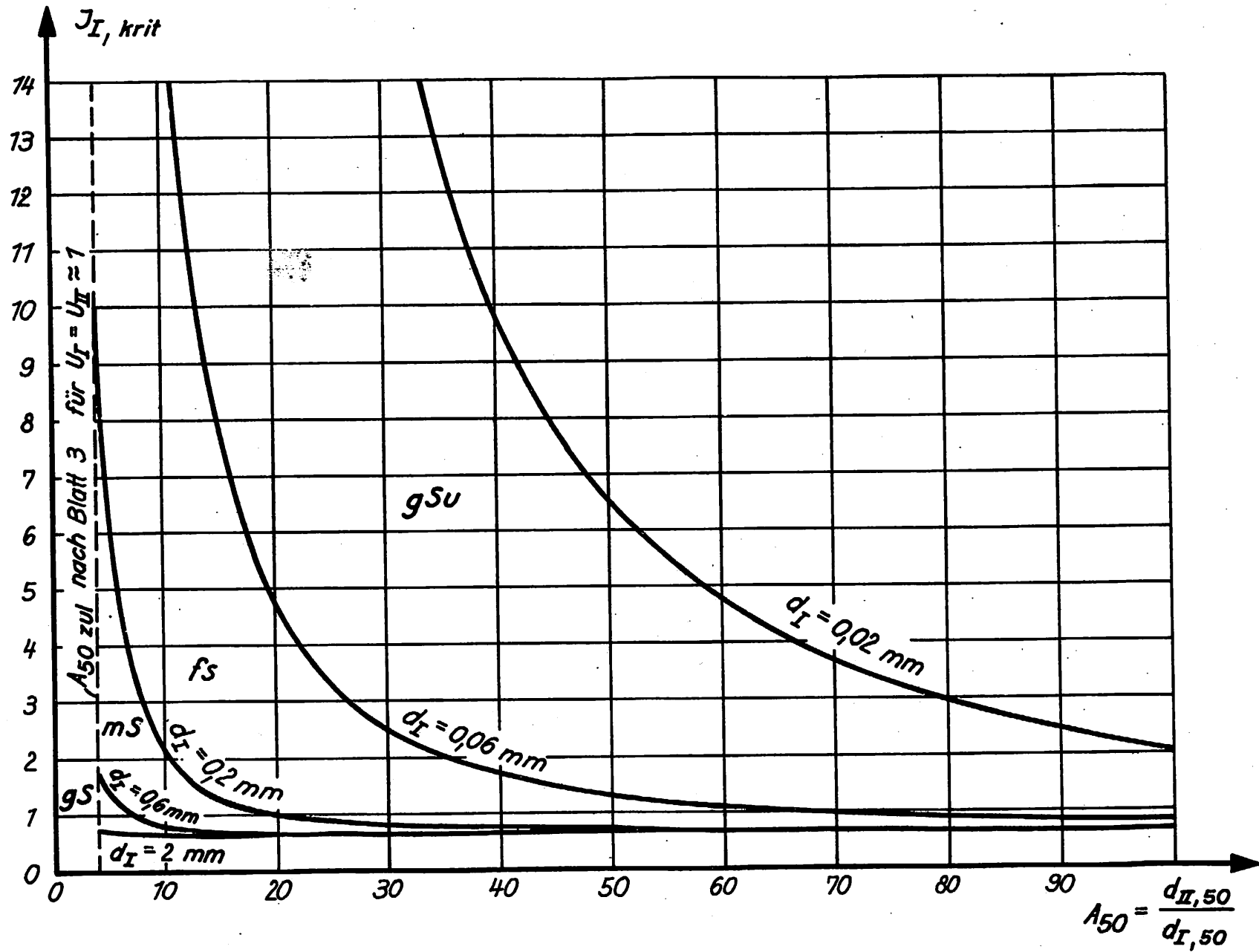


Bild 1 Entwurfsdiagramm für die Kontakterosion Typ 2/2 und 3/2 :
 $J_{I, \text{krit}} = f(A_{50}; d_I)$ bei $U_I \approx 5$ und $U_{II} \approx 20$.

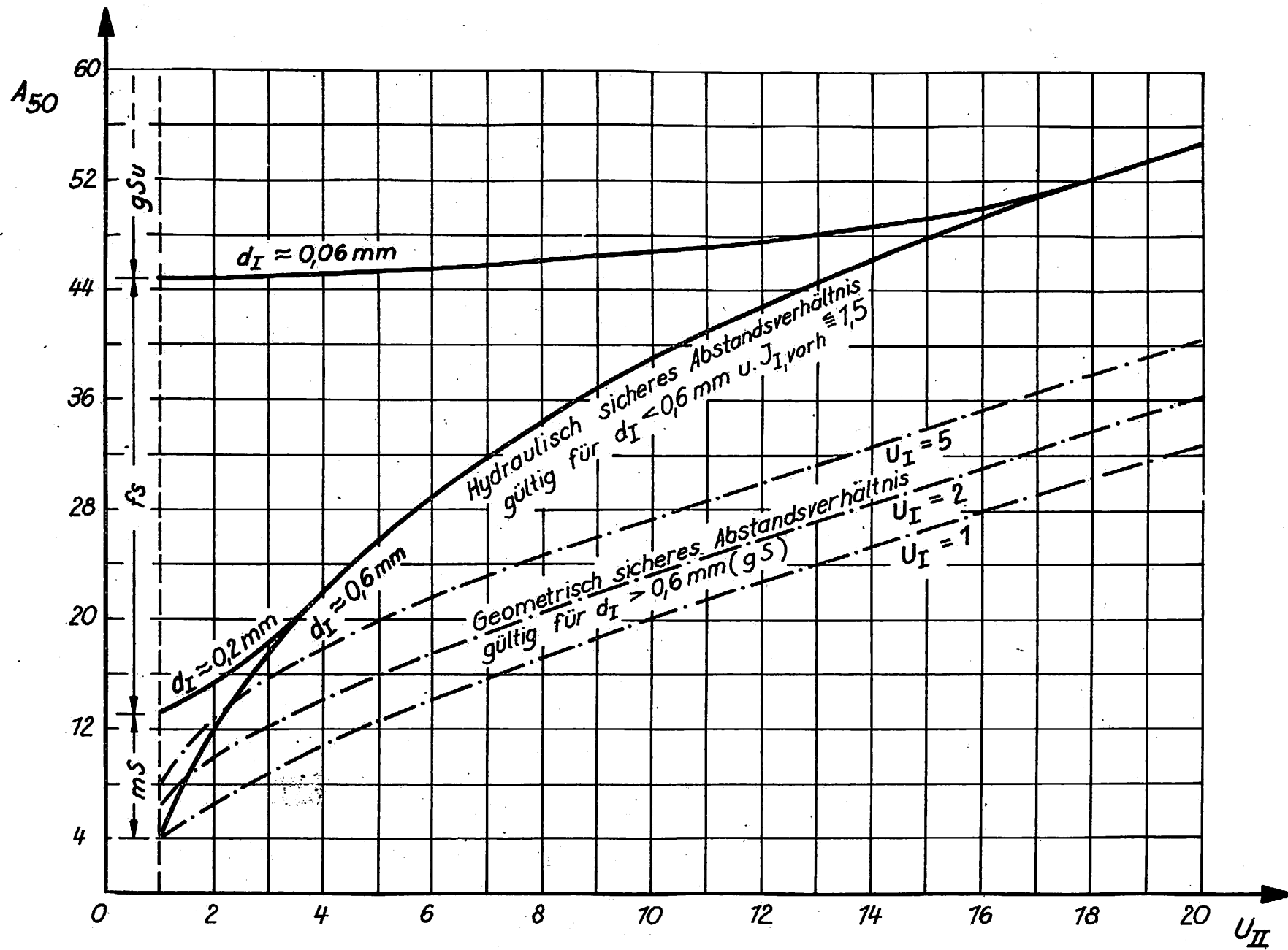


Bild 2 Entwurfsdiagramm für die Kontakterosion Typ 2/2 und 3/2

$$A_{50,zul} = f(U_{II}; d_I) \text{ bei } U_I \leq 5 \text{ und } \eta_{k,y,erf} J_{I,vorh} \leq 1,5$$

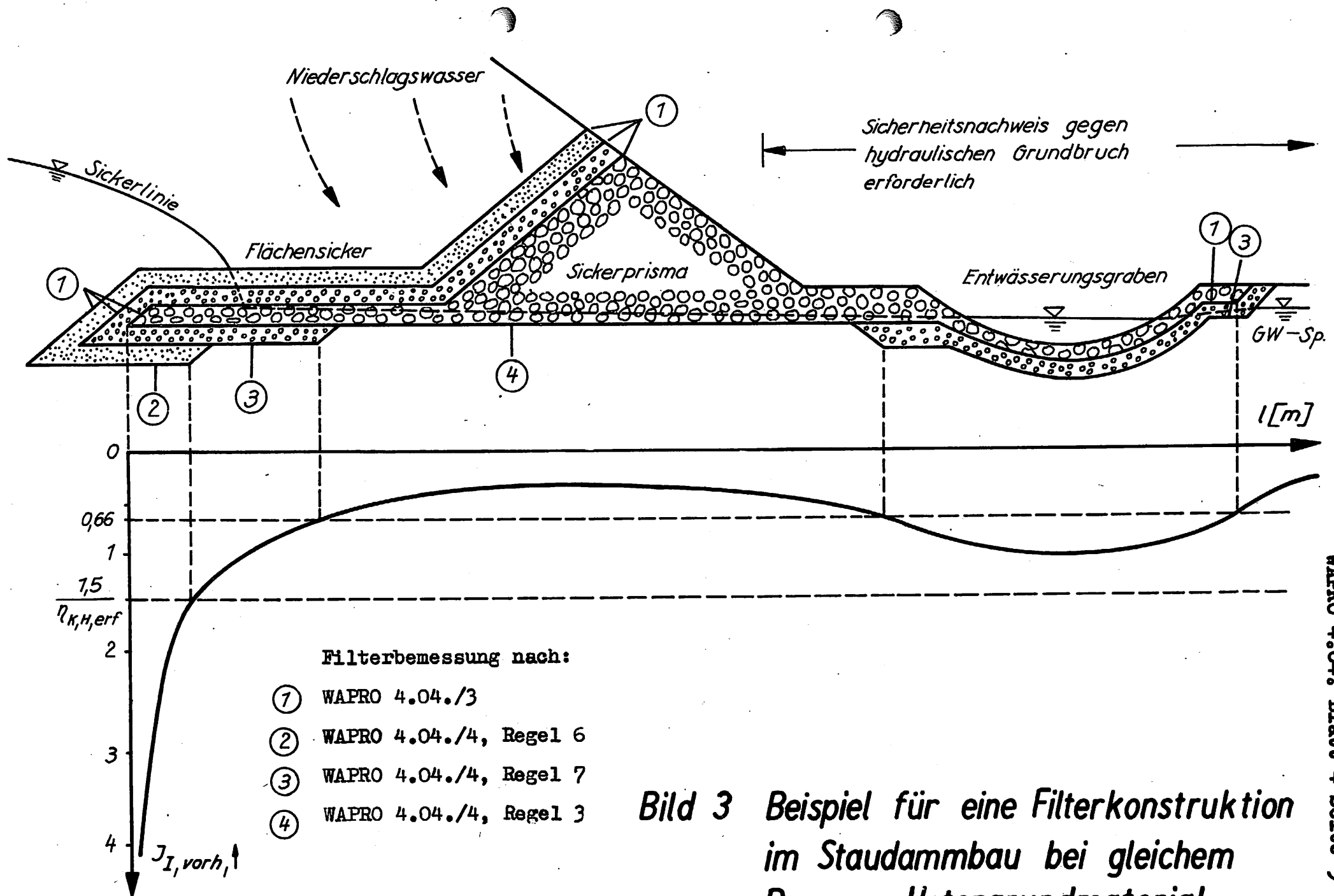


Bild 3 Beispiel für eine Filterkonstruktion im Staudammbau bei gleichem Damm - Untergrundmaterial