

V&E  
Projektierung  
Wasserwirtschaft

Ertragswasserströmung bei Deichen und Dämmen  
Berechnung, konstruktive Empfehlungen und Nachweise  
- Verfahrenswege und Beispiele -

WAPRO

3.19.

Blatt 4

Verbindlich ab 1. 1. 1972

Dieser Standard gilt nicht für Deiche und Dämme aus homogenen oder geschichteten organischen Erdstoffen. Er gilt nur teilweise für Stechdämme.

Die Bezeichnung "Dämme" bezieht sich stets auf Stehdämme.

Die Festlegungen des Standards sind zur Anwendung empfohlen.

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Allgemeiner Verfahrensweg	2
1.1. Formulierung der allgemeinen Aufgabenstellung	2
1.2. Ableitung der geohydraulischen Aufgabenstellung	2
1.3. Präzisierung des Standort und der konstruktiven Ausbildung des Bauwerkes	2
1.4. Formulierung des hydrologischen Erkundungsprogrammes	3
1.5. Formulierung des hydrogeologischen Erkundungsprogrammes	3
1.6. Auswertung der hydrologischen und hydrogeologischen Erkundung	3
1.7. Endgültige Festlegung zur Standortwahl	3
1.8. Baugrunduntersuchungen	3
1.9. Endgültige Festlegung des Konstruktionsstyps	3
1.10. Festlegung des Berechnungstyps	4
1.11. Geohydraulische Variantenuntersuchung zur Ermittlung der optimalen Systemlösung	4
1.12. Festlegung der optimalen Ausführungsvariante	4
1.13. Sicherheitsweise	4
2. Verfahrenswege bei der Anwendung der verschiedenen Methoden der Ertragswasserberechnung	5
2.1. Verfahrenswege bei der Anwendung der Nomogramme	5
2.2. Verfahrenswege bei der Anwendung der Digitalprogramme	6
2.3. Verfahrenswege bei der Anwendung elektrischer Ersatzschaltbilder	6
2.4. Verfahrenswege bei der Durchführung spezieller Analogiemodelluntersuchungen	7
3. Beispielrechnungen	11
3.1. Ertragswasserberechnung bei geohydraulischen Variantenuntersuchungen (Nomogramme)	11
3.2. Berechnung der Ertragswasserströmung bei geohydraulischen Variantenuntersuchungen (Digitalprogramme)	12

Fortsetzung Seite 2 bis 20

Bestätigt: 12. 1. 1972, Direktor, Halle (Saale)



## 1. Allgemeiner Verfahrensweg

### 1.1. Formulierung der allgemeinen Aufgabenstellung

- Vorgabe des Standortes des Bauwerkes und seiner Funktion, z.B. Sommerdeich, Winterdeich, Staudamm mit Dauerstau, Lage bezüglich Hauptvorfluter usw.
- Angaben über die mit der Baumaßnahme angestrebte Wirkung - Zielstellung -, Kurzdarstellung des zu schützenden oder beeinflussten Gebietes, z.B. Hochwasserschutz für ein großes besiedeltes Gebiet, örtlicher Schutz eines landwirtschaftlich genutzten Polders, Kleinspeicher für Bewässerung usw.
- Angabe von Einschränkungen, z.B. maximal zulässige Aufhöhung des Grundwasserstandes, landskulturelle Belange, Bewirtschaftungskriterien, z.B. Vorgabe des für einen bestimmten Zeitraum angestrebten Entwässerungseffektes

### 1.2. Ableitung der geohydraulischen Aufgabenstellung

- Kurzdarstellung der durch die vorgesehene Baumaßnahme wahrscheinlich eintretenden Beeinflussung des Grundwasserströmungsfeldes, z.B. örtlich auftretende Durch- und Unterströmung des Deich- oder Dammbauwerkes, regionale Veränderungen im Grundwasserströmungsfeld
- Festlegungen der erforderlichen geohydraulischen Angaben und der Punkte, für die diese Berechnungswerte benötigt werden, z.B. Verteilung der entlang eines Deiches in ein Poldergebiet einströmenden Wassermengen, Druckverhältnisse am luftseitigen Deich- oder Dammfuß, großräumige Isohypsenpläne vom gesamten Poldergebiet
- Festlegung der für die Berechnung maßgebenden hydraulischen Randbedingungen und deren Kombination, z.B. HHW im Hauptvorfluter oder Becken und MW in den Binnenvorflutern oder Entlastungsgräben.

### 1.3. Präzisierung des Standortes und der konstruktiven Ausbildung des Bauwerkes

#### 1.3.1. Auswertung hydrologischer, geologischer und hydrogeologischer Kartenwerke, Gutachten

- Kurzdarstellung der N-A-U-Verhältnisse im Untersuchungsgebiet
- Grobdarstellung der hydrogeologischen Untergrundverhältnisse
- Angaben über die regionale Grundwasserdynamik
- Einschätzung der Baugrundverhältnisse und möglicher Entnahme für das Deich- oder Dammbaumaterial
- Angabe möglicher Damm- oder Deichtrassen mit Begründung - getrennt nach Bewirtschaftungs- und hydrologischen Kriterien -

#### 1.3.2. Hydrogeologische Vorerkundung

- Ortsbegehungen
- Abteufen einiger Flachbohrungen ( $T \approx 10$  m) zur Ergänzung der den Kartenwerken zu Grunde liegenden Bohrungen
- Sondierung oberflächennaher Schichten ( $T \leq 3$  m)
- Entnahme von Bodenproben und Ermittlung der Bodenkennwerte
- Erarbeitung eines hydrogeologischen Grobmodells - Zweischichtenmodell - (siehe WAPRO 3.19./1)

#### 1.3.3. Geohydraulische Voruntersuchung mit Hilfe der Nomogramme in WAPRO 3.19./2

- Ermittlung der Drängewassermengen für unterschiedliche Trassen
- Variation der hydrogeologischen Verhältnisse in extrem möglichen Grenzen
- Variation der hydraulischen Randbedingungen hinsichtlich Betrag und örtlicher Lage, z.B. verschiedene Becken- und Grabenwasserstände, Vorlandbreite, Anordnung des Entlastungsgrabens usw.
- Gegenüberstellung verschiedener Varianten und deren Diskussion

#### 1.3.4. Erste Festlegung zur Standort- und Konstruktionswahl

- Festlegung der sich aus den Voruntersuchungen ergebenden günstigsten Damstrassen
- Angaben über Deich- oder Dammbaumaterial
- Vorstellungen über mögliche Konstruktionsarten des Dammes oder Deiches, insbesondere hinsichtlich Dichtungs- und Entlastungsanlagen



- Erster ökonomischer Vergleich verschiedener Konstruktionsvarianten und Ausgliederung extrem ungünstiger Varianten
- Festlegung der für die weiteren Untersuchungen maßgebenden Varianten und Klassifizierung des Konstruktionstyps (siehe WAPRO 3.19./3)

#### 1.4. Formulierung des hydrologischen Erkundungsprogramms

- Maßgebend für den Umfang der durchzuführenden hydrologischen Ermittlungen sind die in WAPRO 3.19./1 Abschnitt 5. genannten Grundsätze (siehe auch [1]).
- Festlegungen von Meßstellen und Meßzyklen für die Messung des Oberflächenabflusses, z.B. Wassermengenmessungen für eine indirekte hydrogeologische Erkundung, Anlage von Pegeln usw.
- Festlegungen hinsichtlich Grundwassermeßstellen, z.B. Erarbeitung eines Pegelnetzes

Alle Meßanlagen sind so zu konzipieren, daß sie

- a) Aussagen über das gesamte beeinflusste Gebiet, z.B. auch für deich- oder dammferne Punkte zulassen und
- b) sowohl für Messungen im Erkundungsstadium als auch für Kontrollmessungen nach Beendigung der Baumaßnahme genutzt werden können.

#### 1.5. Formulierung des hydrogeologischen Erkundungsprogramms

Maßgebend für den Umfang der durchzuführenden hydrogeologischen Erkundungsarbeiten sind die in WAPRO 3.19./1, Abschnitt 5. genannten Grundsätze. (siehe auch [1] und [2])

- Koordinierung mit der die Untersuchungen durchführenden Einrichtung bei der Festlegung der Bohransatzpunkte
- Festlegung von Sondermaßnahmen, entsprechend der Bedeutung des zu untersuchenden Gebietes, z.B. geophysikalische Untersuchungen, indirekte hydrogeologische Erkundung, Pumpversuche usw.
- Regelung über Durchführung von Grundwasserstandsbeobachtungen
- Formulierung der im speziellen Untersuchungsfall an das hydrogeologische Modell zu stellenden Anforderungen

#### 1.6. Auswertung der hydrologischen und hydrogeologischen Erkundung

Die Auswertung erfolgt nach den in WAPRO 3.19./1, Abschnitt 3. und 4. ausgeführten Gesichtspunkten.

- Schematisierung der in den Gutachten dargelegten hydrologischen und hydrogeologischen Verhältnisse (siehe Abschnitt 2.1.2., 2.2.2., 2.3.1. und 2.4.2.1.)
- Zuordnung zu einem der in WAPRO 3.19./3., Abschnitt 1.1. genannten Untergrundmodelle
- Weitere geohydraulische Überschlagsrechnungen mit Hilfe der Nomogramme (siehe Abschnitt 2. und WAPRO 3.19./2, Abschnitt 1.)
- Diskussion verschiedener Trassen und Konstruktionstypen unter besonderer Beachtung der hydrologischen und hydrogeologischen Verhältnisse
- Grobeinschätzung der Baugrundverhältnisse

#### 1.7. Endgültige Festlegung zur Standortwahl

- Begründung der gewählten Trasse
- Benennung von Ausweichmöglichkeiten bei eventuellem Vorliegen unzureichender Baugrundverhältnisse

#### 1.8. Baugrunduntersuchungen.

- Veranlassung von Baugrunduntersuchungen für die gewählte Trasse nach den in WAPRO 3.19./1, Abschnitt 5.3. genannten Kriterien
- Ermittlung der Erdstoffkennwerte des in Aussicht genommenen Deich- oder Dammbaumaterials und bei Nichteignung Nachweis anderer Gewinnungsorte

#### 1.9. Endgültige Festlegung des Konstruktionstyps

- Auswahl günstiger Konstruktionstypen entsprechend dem nach Abschnitt 1.6. ermittelten Untergrundmodell (siehe WAPRO 3.19./3, Abschnitt 1.3.1.)
- Festlegung eines Regelprofils nach WAPRO 3.19./3, Abschnitt 1.3.2. und 1.3.3. unter Beachtung des verfügbaren Deich- oder Dammbaumaterials und des Untergrundmodells
- Vorschläge für die Anordnung und Gestaltung der luftseitigen Entleerungsanlagen nach WAPRO 3.19./3, Abschnitt 1.4. unter Beachtung geohydraulischer Besonderheiten und Bewirtschaftungskriterien



#### 1.10. Festlegung des Berechnungsverfahrens

- Prüfung der Möglichkeit vereinfachender Annahmen für das Grundwasserströmungsfeld nach WAPRO 3.19./1, Abschnitt 3.3
- Feststellung der in Frage kommenden Berechnungsverfahren nach WAPRO 3.19./1, Abschnitt 4.
- Überprüfung weiterer Schematisierungsmöglichkeiten bei komplizierten hydrogeologischen Modellen unter Beachtung der Bedeutung der Gesamtmaßnahme
- Festlegung der erforderlichen Berechnungsverfahren
- Falls spezielle Analogiemodelluntersuchungen notwendig scheinen (siehe WAPRO 3.19./1, Abschnitt 4.2.3. und 4.2.4.), sind außerdem so weitgehende Schematisierungen vorzunehmen, daß die Digitalprogramme (siehe Abschnitt 2.2.) für umfassende Voruntersuchungen genutzt werden können
- Spezielle Analogiemodelluntersuchungen nach WAPRO 3.19./1, Abschnitt 4.2.4. erfordern vor Auftragserteilung Konsultationen eines Speziallabors zur Absprache des erforderlichen Untersuchungsumfanges

#### 1.11. Geohydraulische Variantenuntersuchungen zur Ermittlung der optimalen Systemlösung Zu variieren sind in möglichst extremen Grenzen

- Bodenkennwerte
- Geometrie des Strömungsfeldes
- Art und Anordnung von Dichtungs- und Entlastungselementen
- Hydraulische Randbedingungen

Extreme Varianten dienen der besseren Beurteilung der angestrebten Ausführungsvariante, (siehe Abschnitt 1.9.).

- Bei Anwendung der Digitalprogramme erfolgt keine Einschränkung der Variantenanzahl (siehe Abschnitt 2.2.).
- Bei Anwendung von elektrischen Ersatzschaltungen und speziellen Analogiemodellen sind die zu untersuchenden Varianten mit dem ausführenden Analogielabor abzustimmen.

##### 1.11.1. Auswertung hinsichtlich Drängewassermenge und Gradienten

- Anzustreben sind Varianten mit geringem Drängewasseranfall und niedrigen Gradienten im Bereich luftseitig vom Damm oder Deich.
- Besonders zu untersuchen sind die Möglichkeiten, diese Werte durch Anordnung und Gestaltung der luftseitigen Entlastungsanlagen und der in ihnen herrschenden hydraulischen Randbedingungen abzumindern.
- Sicherheitsnachweise sind nach WAPRO 3.19./3, Abschnitt 2. hinsichtlich hydraulischem Grundbruch und Gefügelagerung zu führen.

##### 1.11.2. Auswertung hinsichtlich Bau- und Betriebskosten

- Vergleich der Kosten bei Anwendung von Dichtungselementen mit Entlastungselementen, die hinsichtlich Standsicherheit und Vernässungserscheinungen die gleiche Wirkung haben
- Überprüfung der Möglichkeit eines hohen Anstauses in den Entlastungsgräben in Extremsituationen zur Abminderung der Gradienten
- Analyse der Kosten, die infolge wirksamer deichnaher Entlastung durch größer zu dimensionierende Gräben und größere Schöpfwerkskapazität entstehen, im Vergleich zu den bei Beeinträchtigung der landwirtschaftlichen Nutzung eintretenden Schäden.

#### 1.12. Festlegung der optimalen Ausführungsvariante

- Zur Festlegung der Ausführungsvariante sind neben den geohydraulischen Kriterien auch alle übrigen territorialspezifischen Bewertungsgrößen heranzuziehen (siehe WAPRO 3.19./1, Abschnitt 1.).

#### 1.13. Sicherheitsnachweise

- Für die Ausführungsvariante sind alle in WAPRO 3.19./3, Abschnitt 2. geforderten Sicherheitsnachweise zu führen.



## 2. Verfahrenswege bei der Anwendung der verschiedenen Methoden der Drängewasserberechnung

### 2.1. Verfahrenswege bei Anwendung der Nomogramme

#### 2.1.1. Ermittlung eines schematisierten hydrogeologischen Modells

- Abgrenzung von Berechnungsabschnitten entlang der Deich- oder Dammatrasse
- Reduzierung der hydrogeologischen Verhältnisse auf ein Zweischichtenmodell entsprechend den in WAFRO 3.19./1, Abschnitt 3.3. genannten Kriterien
- Festlegung des Berechnungstyps gemäß WAFRO 3.19./2, Abschnitt 1.2.1.
- bei Abweichungen der wirklichen Systemkennwerte von diesen Standardtypen siehe Erweiterung des Gültigkeitsbereiches der Nomogramme nach WAFRO 3.19./2, Abschnitt 1.3.
- bei Unvereinbarkeit des natürlichen Systems mit dem in WAFRO 3.19./1, Abschnitt 4.2.1. und WAFRO 3.19./2, Abschnitt 1. genannten Kriterien ist für erste Voruntersuchungen dennoch eine grobe Annäherung an die dort aufgeführten hydrogeologischen Standardmodelle vorzunehmen.

#### 2.1.2. Festlegung hydrologischer Randwerte

- Festlegung des maßgebenden Berechnungshochwassers im Hauptvorfluter oder Becken
- bei Vorhandensein eines Entlastungsgrabens zusätzlich Festlegung der maßgebenden Grabenwasserstände

#### 2.1.3. Tabellarische Erfassung der Eingangswerte

- Ausfüllung der Spalten 0 bis 11 der Berechnungstabelle (siehe Bild 1 oder WAFRO 3.19./2, Bild 3)
- Berechnung der fiktiven Auelehmdicke  $b^*$  (siehe WAFRO 3.19./2, Bild 3 Spalte 12 und Gl.(1))
- Hinweis auf Abweichungen von den hydrogeologischen Standardmodellen der Nomogramme oder Angabe der Berechnungsvariante in Spalte 22

#### 2.1.4. Durchführung der Drängewasserermittlung

(siehe WAFRO 3.19./2, Abschnitt 1.2.3.)

- Auswahl des entsprechenden Nomogramms - Berechnungstyp 0 oder 1 -
- Aufsuchen des Wertes  $D$  im Nomogramm a, Bild 1, für Typ 0 oder in den Nomogrammen a, b, c, Bild 2 für Typ 1 (unter Beachtung von WAFRO 3.19./2, Abschnitt 1.3.) und Eintragung in die Berechnungstabelle, Bild 1, Spalte 13
- lineare Interpolation oder Extrapolation des  $D$ -wertes für solche  $H$ - oder  $S$ -Werte, die von den Werten der Nomogramme abweichen (Bild 1, Spalte 14)
- Aufsuchen der Werte  $D^D$  in Bild 1, Nomogramm c oder Bild 2, Nomogramme a, b, c (Spalte 15)
- lineare Interpolation oder Extrapolation für von den Nomogrammen abweichende  $H$ - oder  $S$ -Werte (Spalte 16; siehe auch WAFRO 3.19./2, Abschnitt 1.3.)
- Ermittlung des Faktors  $\beta$  in Bild 1, Nomogramm d, für Typ 0 oder Bild 2, Nomogramme d, e, f für Typ 1. Bei Typ 1 ist eventuell Interpolation notwendig (Spalte 17).
- Ermittlung des Vorlandfaktors  $\alpha$  für  $L_v \neq 50$  m in Bild 1, Nomogramm b, für Typ 0 oder Bild 2, Nomogramm g, für Typ 1 (Spalte 18)
- Berechnung von  $q_D$  nach WAFRO 3.19./2, Gl. (2), für Typ 0 oder Gl. (3) für Typ 1
- bei  $L_{Gr} > 1$  m erfolgt eine Abminderung des Faktors  $\alpha \cdot D \cdot K$

$$\alpha \cdot D \cdot K: = \alpha \cdot D \cdot K - (\alpha \cdot D \cdot K \cdot \text{Abminderungsfaktor})$$

Der Betrag des Abminderungsfaktors ist WAFRO 3.19./2, Abschnitt 1.3. zu entnehmen.

- Eintragung der spezifischen Drängewassermenge  $q_D$  in Bild 1 Spalte 19.
- Multiplikation von  $q_D$  mit der Länge des entsprechenden Berechnungsabschnittes  $\bar{L}_D$  (Spalte 20)

#### 2.1.5. Sicherheitsnachweis für die luftseitige Deckschicht beim Berechnungstyp 0

- Ermittlung der Druckhöhe  $h$  unter der Deckschicht am luftseitigen Deich- oder Dammfuß nach WAFRO 3.19./2 Bild 1, Nomogramme e
- Nachweis der Grundbruchsicherheit nach WAFRO 3.19./3 Abschnitt 2.2.2.

#### 2.1.6. Auswertung der Ergebnisse

- Auswertung im Rahmen der geohydraulischen Voruntersuchung nach Abschnitt 1.3.3.
- bei untergeordneten Maßnahmen können die Drängewasserberechnungen mittels Nomogrammen auch dem Ausführungsprojekt zugrunde gelegt werden.



## 2.2. Verfahrensweg bei Anwendung der Digitalprogramme

### 2.2.1. Erarbeitung eines schematisierten hydrogeologischen Modells

- Abgrenzung von Berechnungsabschnitten entlang der Damstrasse
- Reduzierung der hydrogeologischen Verhältnisse auf ein Zweischichtenmodell entsprechend den in WAPRO 3.19./1, Abschnitt 3.3. genannten Kriterien
- bei mehrschichtigem Untergrund erfolgt eine Reduzierung auf fiktive Mächtigkeit oder fiktive k-Werte
- bei Fehlen einer bindigen Deckschicht sind die Digitalprogramme nur bedingt anwendbar (siehe auch Abschnitt 2.2.4. und Beispielsvarianten 17 bis 19)

### 2.2.2. Festlegung der hydrologischen Randwerte

- Festlegung des maßgebenden Berechnungswasserstandes im Hauptvorfluter oder Becken
- Festlegung der maßgebenden Wasserstände für die Entlastungsanlagen

### 2.2.3. Bestimmung des Strömungstyps

- Unter Zugrundelegung der in Abschnitt 1.9. festgelegten Konstruktionsart des Deiches oder Dammes ist nach WAPRO 3.19./2, Abschnitt 2.1. der für die Berechnung zutreffende Strömungstyp zu ermitteln (siehe auch Übersicht zum Codeschema in WAPRO 3.19./2, Seite 8)
- Aufteilung des Strömungssystems in Fragmente nach WAPRO 3.19./2, Abschnitt 2.1.1. und 2.5.

### 2.2.4. Variantenauswahl

Ausgehend von der festgelegten Konstruktionsart ist eine möglichst weitgehende Variation aller wesentlichen Parameter vorzunehmen (siehe auch Abschnitt 1.11.). Die Variation ist so vorzunehmen, daß möglichst nur ein Parameter verändert wird, während alle anderen zunächst konstant bleiben (siehe auch Abschnitt 2.2.5.). Eine Begrenzung der Variantenzahl erfolgt nicht. Je nach Umfang der Maßnahme sind 30 bis 100 Varianten als normal anzusehen.

### 2.2.5. Ausfüllen der Eingabetabelle nach WAPRO 3.19./2, Bild 6

Es gelten die in WAPRO 3.19./2, Abschnitt 2.2. gemachten Ausführungen.

Für spezielle Konstruktionsarten, die eine Umbewertung bestimmter Eingangsdaten erforderlich machen, sind in WAPRO 3.19./2, Abschnitt 2.5. Erläuterungen gegeben. Zur Gewährleistung des Erkennens des Strömungstyps bei umbewerteten Eingangsdaten ist in der Spalte 40 - Bemerkungen der Eingabetabelle unbedingt die zutreffende Code-Nummer einzutragen. Die erste Zeile der Eingabetabelle muß vollständig ausgefüllt werden. In allen übrigen Zeilen werden nur die gegenüber der vorhergehenden Zeile geänderten Werte eingetragen.

Die Festlegung der Dimension für  $q_D$  im Output erfolgt mittels Umrechnung der k-Werte nach WAPRO 3.19./2, Abschnitt 2.2.

### 2.2.6. Informationsverarbeitung

Die ausgefüllten Eingabeformulare sind an ein Rechenzentrum entsprechend WAPRO 3.19./2, Abschnitt 2.3. zu übergeben. Ausführungen zum mathematischen Modell und zum Berechnungsalgorithmus sind in den Erläuterungen zu WAPRO 3.19. enthalten.

### 2.2.7. Auswertung des Ergebnisdrucks

Die Auswertung der Rechenergebnisse erfolgt nach den in WAPRO 3.19./2, Abschnitt 2.4. gegebenen Erläuterungen. Die Druckhöhen werden zweckmäßigerweise graphisch aufgetragen. Im Bereich der Entlastungsanlage muß eine Angleichung der Drucklinie an den wirklichen in der Entlastungsanlage herrschenden Wasserstand erfolgen.

Sicherheitsnachweise erfolgen entsprechend WAPRO 3.19./3, Abschnitt 2.

## 2.3. Verfahrenswege bei Anwendung elektrischer Ersatzschaltungen

### 2.3.1. Erarbeitung eines schematisierten hydrogeologischen Modells

Esgelten allgemein die in Abschnitt 2.2.1. gemachten Ausführungen. Abweichend von den hydraulischen Schemata der Digitalprogramme können zusätzliche Dichtungs- und Entlastungsanlagen berücksichtigt werden (siehe auch WAPRO 3.19./1, Abschnitt 4.2.3.). Nähere Angaben zu diesem



Berechnungsverfahren sind in den Erläuterungen zu WAPRO 3.19. enthalten.

#### 2.3.2. Festlegung der zu untersuchenden Varianten

Es gelten allgemein die gleichen Gesichtspunkte wie in Abschnitt 2.2.4. Die Anzahl der Varianten ist relativ gering zu halten - maximal 20 bis 30 Varianten, 1 Variante = 1 bis 2 Stunden Bearbeitungszeit -.

#### 2.3.3. Übergabe der entsprechend Abschnitt 2.3.1. und 2.3.2. erstellten Unterlagen an ein Analogielabor

Die zu untersuchenden Varianten sind mit dem Analogielabor abzustimmen.

#### 2.3.4. Auswertung der Berechnungsergebnisse

Die Berechnungsergebnisse werden dem Projektanten vom Analogielabor sowohl in Form von tabellarischen Berechnungsprotokollen als auch hinsichtlich der Druckverhältnisse in graphischer Form übergeben. Die Sicherheitsnachweise erfolgen nach WAPRO 3.19./3, Abschnitt 2.

### 2.4. Verfahrensweg bei Durchführung spezieller Analogiemodelluntersuchungen

#### 2.4.1. Nachweis der Unmöglichkeit einer Berechnung nach Abschnitt 2.2. oder 2.3.

Es ist zu begründen, weshalb der in Abschnitt 2.2. und 2.3. angegebene notwendige hohe Schematisierungsgrad des hydrogeologischen Modells für die Ausführungsvariante nicht tragbar ist. Für Voruntersuchungen ist dennoch eine so weitgehende Schematisierung vorzunehmen, daß ein Einsatz der Digitalprogramme möglich ist.

#### 2.4.2. Erarbeitung einer Aufgabenstellung für spezielle Analogiemodelluntersuchungen

##### 2.4.2.1. Kurze Darstellung der besonderen hydrogeologischen und hydrologischen Situation

- Zum Beispiel: a) stark wechselnde geologische Schichtung, die eine Reduzierung auf ein Zweischichtenmodell nicht erlaubt,  
 b) stark gewundene Linienführung des Deiches oder Dammes, des Hauptvorfluters oder der Binnenentwässerung, die eine Reduzierung auf ein vertikalebene hydrogeologisches Modell nicht gestatten,  
 c) regionale Beeinflussung eines sehr großen Poldergebietes durch die Drängewasserströmung.

Bei der Darstellung der besonderen Verhältnisse sind die Ausführungen im WAPRO 3.19./1 Abschnitt 3. zu beachten.

##### 2.4.2.2. Vorschläge für die zu untersuchenden Varianten

Diese Vorschläge sollen in kurzer Form die Vorstellungen der Projektanten für eine mögliche Lösung enthalten. Eine endgültige Festlegung der Untersuchungsart - Modelltyp, Diskretisierungsform usw. - und der zu untersuchenden Varianten erfolgt erst nach Konsultation des die Untersuchungen durchführenden Analogielabors.

#### 2.4.3. Übergabe der entsprechend Abschnitt 1.6. und 2.4.2. erstellten Unterlagen an ein Analogielabor

In Sonderfällen kann die Beteiligung des Projektanten an den Untersuchungen zweckmäßig sein.

#### 2.4.4. Auswertung des Untersuchungsberichtes

Der Untersuchungsbericht soll neben einer kurzen Dokumentation der Untersuchungen Einschätzungen entsprechend Abschnitt 1.11.1. und 1.11.2. sowie Vorschläge für eine optimale Ausführungsvariante (siehe Abschnitt 1.12.) enthalten; Sicherheitsnachweise erfolgen nur hinsichtlich der hydraulischen Größen. Die endgültige Festlegung der Ausführungsvariante und die vollständigen Sicherheitsnachweise nach WAPRO 3.19./3 Abschnitt 2. obliegen dem Projektanten.



Nr.	Typ	$T_D$	Eingabe																	Berechnung				Nr.	Bemerkung
			k	k'	k <sup>D</sup>	M	b'	L <sub>y</sub>	S	S'	H	H <sub>Gr</sub>	b''	$\frac{D_{H1}}{H_2}$	D	$\frac{D_{H1}^D}{H_2}$	D <sup>D</sup>	$\beta$	$\alpha$	q <sub>D</sub>	q <sub>D</sub> =T <sub>D</sub> ·q <sub>D</sub>				
-	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
-	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
-	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
-	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
1	0	0,6	4·10 <sup>-4</sup>	7·10 <sup>-6</sup>	1·10 <sup>-4</sup>	13,5	1,6	35	21	3,5	2,5	-	0,92	-	42,9	15	1,1	1,05	188,5	113	1	Berechnungstyp 0			
2	0	0,3	2·10 <sup>-3</sup>	4·10 <sup>-6</sup>	6·10 <sup>-5</sup>	19,0	0,8	∞	30,0	4,0	3,4	-	5,0	-	44,2	40	1,0	0,8	730	229	2	"			
3	1	1,5	1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-6</sup>	1·10 <sup>-6</sup>	8,0	0,5	70,0	19,0	3,0	1,8	-0,6	0,5	$\frac{35}{45}$	43	$\frac{3,5}{12,5}$	10,7	1,7	0,98	42,4	63,4	3	"		
4	1	0,4	1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-6</sup>	1·10 <sup>-6</sup>	8,0	0,5	∞	28,0	3,0	3,0	-1,0	0,5	$\frac{46}{55}$	60	-	21	1,75	1,0	60,4	24,2	4	"		

Bild 1 Drängwasserberechnung mittels Nomogrammen







KOMPLEKTPROGRAMM D R A E N G E W A S S E R - E R G E N I S S E

NR	FLUSS	VORLAND	DEICH	DEICHFUSS	GELÄNDE	GRA./BRU.	FOLDER	Q GESAMT	DRUCKHOEHEN H AN DEN KNOTEN IM METER										N		
									1	2	3	5	7	8	100	16	17	18		M10	DI10
5	.222R-01	.789R-03	.188R-01	.185R-01	.250R-02	.311R-03	.205R-01	.419R-01	2.90	2.15	2.06	1.92	1.79	1.56	-	2.63	2.17	1.58	1.00	.1R+04	4
6	.224R-01	.798R-03	.188R-01	.185R-01	.869R-03	.339R-03	.224R-01	.421R-01	2.90	2.14	2.05	1.91	1.78	1.70	-	2.63	2.17	1.58	1.00	.1R+04	4
7	.640R-01	.227R-02	.207R-01	.172R-01	-.585R-04	.699R-01	-.777R-10	.871R-01	2.71	0.55	0.28	-0.09	-0.48	-0.78	-	2.61	2.13	1.54	14.00	10.90	4
8	.504R-01	.178R-02	.201R-01	.176R-01	.825R-04	.537R-01	.892R-03	.723R-01	2.77	1.07	0.86	0.56	0.26	0.07	-	2.62	2.14	1.55	13.77	49.50	4
9	.509R-01	.180R-02	.160R-02	.178R-04	.105R-03	.533R-01	.792R-03	.543R-01	2.77	1.05	0.84	0.57	0.29	0.06	-	1.91	1.06	0.58	13.80	49.59	2
10	.500R-01	.177R-02	.110R-02	.539R-04	.137R-03	.512R-01	.152R-02	.529R-01	2.77	1.09	0.88	0.61	0.34	0.12	-	1.07	0.63	0.47	13.59	59.25	2
11	.641R-01	.227R-02	.424R-02	.959R-03	-.587R-04	.697R-01	-.778R-10	.706R-01	2.71	0.55	0.28	-0.10	-0.48	-0.78	-	2.41	1.80	1.18	14.00	10.90	4
12	.636R-01	.225R-02	.420R-02	.593R-03	-.951R-04	.695R-01	-.778R-10	.700R-01	2.71	0.57	0.30	-0.14	-0.58	-0.78	-	2.34	1.67	1.04	14.00	10.90	3
13	.568R-01	.124R-01	.254R-01	.154R-01	-.541R-04	.794R-01	-.781R-10	.948R-01	2.74	0.70	0.41	0.00	-0.43	-0.78	-	2.57	2.06	1.46	14.00	10.19	4
14	.146R+00	.132R-04	.217R-01	.168R-01	-.220R-04	.151R+00	-.584R-10	.168R+00	2.34	2.33	1.74	0.92	0.09	-0.58	-	2.60	2.11	1.51	14.00	10.19	4
15	.964R-01	.359R-03	.241R-01	.159R-01	-.427R-04	.105R+00	-.711R-10	.120R+00	2.57	1.28	0.89	0.33	-0.24	-0.71	-	2.58	2.08	1.48	14.00	10.19	4
16	.291R-10	.414R-01	.532R-02	.327R-03	-.685R-04	.472R-01	-.870R-10	.468R-01	3.00	0.60	-0.14	-0.40	-0.66	-0.87	-	-0.12	-0.40	-0.53	14.00	10.19	3
17	.176R-03	.799R-04	.311R+00	-.122R-01	-.119R-02	.325R+00	-.178R-11	.312R+00	3.00	3.00	2.93	1.52	-0.01	-0.02	-	2.25	1.52	0.77	14.00	6.30	2
18	.540R-02	.244R-04	.283R+00	.323R-01	-.175R-02	.322R+00	-.232R-11	.288R+00	2.98	2.98	2.91	1.45	-0.01	-0.02	-	2.18	1.45	0.72	14.00	6.30	2
19	.530R-02	.240R-04	.278R+00	.123R+00	-.277R-04	.159R+00	-.640R-10	.283R+00	2.98	2.98	2.91	1.48	0.04	-0.64	-	2.19	1.48	0.76	14.00	6.30	2
20	.464R-02	.207R-04	.283R+00	-.332R-01	-.178R-02	.322R+00	-.829R-11	.287R+00	2.98	2.92	2.90	1.44	-0.01	-0.02	-	2.17	1.44	0.72	14.00	6.30	2
21	.962R-01	.430R-03	.283R+00	-.198R+00	-.869R-03	.296R+00	-.235R-11	.969R-01	2.57	1.28	0.89	0.41	-0.07	-0.08	0.89	0.65	0.41	0.17	14.00	6.30	2
22	.135R+00	.212R-03	.314R-03	.216R-03	-.482R-02	.140R+00	-.433R-10	.135R+00	2.39	1.49	0.94	0.26	-0.43	-0.43	0.41	0.31	0.26	0.18	14.00	6.30	8
24	.362R-01	.453R-01	.150R-01	-.739R-03	-.461R-04	.973R-01	-.732R-10	.966R-01	2.84	1.11	0.76	0.23	-0.30	-0.73	1.02	0.55	0.32	0.11	14.00	10.19	2
25	.368R-01	.460R-01	.125R-01	-.582R-03	-.376R-04	.960R-01	-.736R-10	.954R-01	2.83	1.08	0.72	0.24	-0.24	-0.74	0.54	0.42	0.28	0.10	14.00	10.19	2
26	.132R-01	.796R-01	.315R-01	.197R-03	-.336R-04	.124R+00	-.527R-10	.124R+00	2.94	1.70	1.27	0.60	-0.08	-0.53	1.19	0.88	0.63	0.34	14.00	10.90	2
27	.132R-01	.794R-01	.315R-01	.269R-03	-.317R-04	.124R+00	-.605R-10	.124R+00	2.94	1.70	1.27	0.60	-0.07	-0.61	1.19	0.88	0.63	0.34	14.00	10.90	2
28	.291R-10	.652R-01	.273R-02	.478R-02	.666R-02	.523R-01	.411R-02	.679R-01	3.00	2.08	1.03	0.66	0.30	0.04	1.03	0.82	0.67	0.48	14.00	50.37	16
29	.291R-10	.674R-01	.419R-01	.100R-01	.159R-01	.628R-01	.205R-01	.109R+00	3.00	2.05	1.47	1.03	0.60	0.21	1.33	1.15	0.99	0.75	10.55	37.36	5
30	.864R-02	.446R-02	.370R-02	-.247R+00	-.196R-03	.264R+00	-.155R-10	.168R-01	2.96	1.44	1.02	0.49	-0.09	-0.16	1.02	0.74	0.49	0.21	2.00	0.90	3
31	.568R-04	.539R-08	.279R-02	-.263R+00	-.188R-03	.266R+00	-.150R-10	.285R-02	3.00	3.00	0.15	0.03	-0.08	-0.15	0.15	0.09	0.03	-0.02	2.00	0.90	2

Bild 3







Berechnungsgang siehe Abschnitt 3.1.1.1.

3.1.2. Aufgabe 2: Varianten 3 und 4

Relativ durchlässiger Deich oder Damm auf Deckschicht mit Entlastungsgraben

3.1.2.1. Variante 3: Flußdeich nach Bild 6

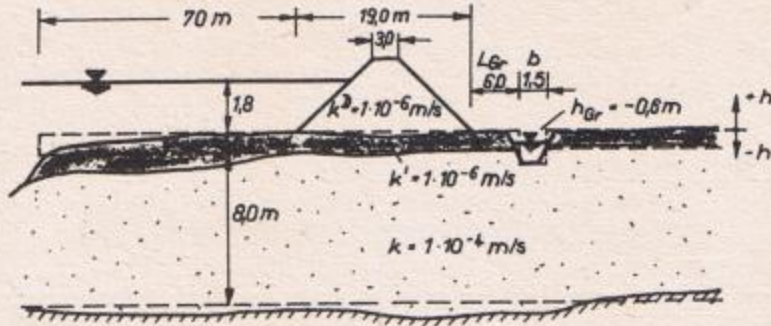


Bild 6

Berechnungsgang: siehe Abschnitt 3.1.1.1., Sicherheitsnachweis entfällt.

3.1.2.2. Variante 4

Damm eines Flachlandspeichers nach Bild 6 -Deichvorland geht gegen Unendlich-, jedoch mit höherem Außenwasserstand und tieferer Grabenwasserspiegellage ( $H = 3,0 \text{ m}$ ,  $h_{Gr} = -1,0 \text{ m}$ )

Berechnungsgang: wie Abschnitt 3.1.2.1.

3.2. Berechnung der Drängewasserströmung bei geohydraulischen Variantenuntersuchungen (Digitalprogramme)

3.2.1. Aufgabe 3: Varianten 5 bis 10

Homogener Damm oder Deich auf dicker Deckschicht mit und ohne Entlastungsanlagen.

3.2.1.1. Variante 5

Flußdeich nach Bild 7, jedoch ohne Fußentwässerung und ohne Entlastungsanlage

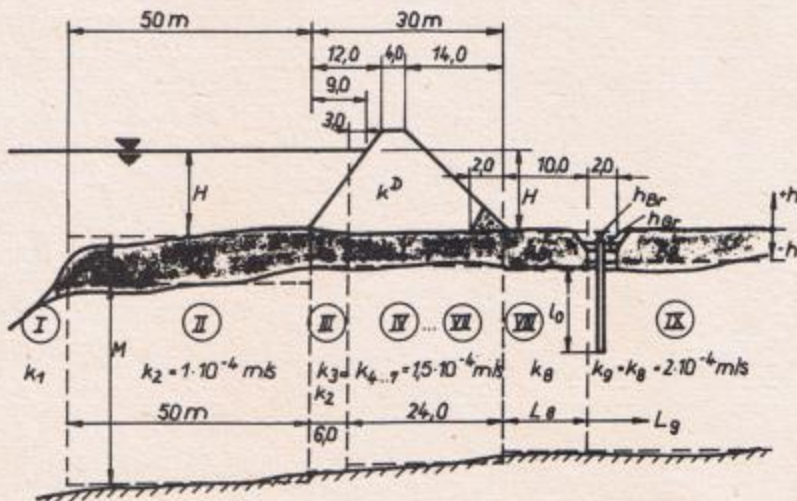


Bild 7







## 3.2.1.2. Variante 6

Wie Variante 5, jedoch mit Entlastungsgraben in der Deckschicht.

Änderungen gegenüber Variante 5

Eingabe:

In Spalte 13 wird die Entfernung Deichfuß - Graben,  $L_B = 10$  m, eingetragen.

Eine weitere Berücksichtigung des Grabens erfolgt nicht, da er die Deckschicht nicht durchstößt.

Auswertung:

Mit Hilfe von  $h_B$  wird der Nachweis der Sicherheit der Grabenschle gegen hydraulischen Grundbruch geführt. Bei Grundbruchgefahr wird die Berechnung nach Variante 7 durchgeführt.

## 3.2.1.3. Variante 7

Wie Variante 6, jedoch mit durchbrochener Grabensohle.

Änderungen gegenüber Variante 6:

Eingabe:

- In Spalte 25 wird für  $M_{10} = M_B = 14,0$  m gesetzt (siehe WAPRO 3.19./2 Abschnitt 2.2.).

- Für  $h_{Gr}$  wird die Wasserspiegellage unter der schematisierten Geländeoberfläche (siehe Bild 7) vorzeichenbehaftet eingetragen (Spalte 27).

- Für  $b$  wird die Breite der durchbrochenen Grabensohle angesetzt (Spalte 29).

- Die Angabe des zutreffenden Unterprogrammes UP 1 (Spalte 35) muß unbedingt erfolgen.

Auswertung:

Im Bereich des Entlastungsgrabens erfolgt die Angleichung der Drucklinie im Untergrund an den Grabenwasserstand entsprechend Bild 8.

## 3.2.1.4. Variante 8

Wie Variante 6, jedoch mit Entlastungsbrunnen; Brunnenabstand  $a = 30$  m, Brunnenradius  $r_0 = 0,20$  m Filterlänge  $l_0 = 5,0$  m.

Änderungen gegenüber Variante 6:

Eingabe:

$h_{Br} = -0,9$  m (siehe Bild 7)

Angabe von  $a$ ,  $r_0$  und  $l_0$  entsprechend der Aufgabenstellung

UP2 in Spalte 35

Auswertung:

$q_D$  gilt stets als spezifische Wassermenge in der angegebenen Dimension; die Ermittlung der Fördermenge eines Brunnen kann durch Multiplikation mit dem Brunnenabstand  $a$  erfolgen.

Die Angleichung der Druckhöhe an den Brunnenwasserstand erfolgt wie in Bild 8. Die in der Mitte zwischen 2 Brunnen auftretende Druckhöhe stellt den Maximalwert entlang der Brunnenreihe dar. Auf Berechnungsmöglichkeiten für diesen Wert wird in den Erläuterungen zu WAPRO 3.19. hingewiesen.

## 3.2.1.5. Variante 9

Wie Variante 8, jedoch mit weniger durchlässigem Deich und mit Fußentwässerung.

Änderungen gegenüber Variante 8:

Eingabe:

$k_D = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 = 1 \cdot 10^{-3}$  m/s

Wegen  $k_{Prisma} \gg k_{Deich}$  wird die Deichsohlbreite um  $L_{Prisma}$  reduziert (siehe WAPRO 3.19./2, Abschnitt 2.5.1.1.3.2.)

Daraus folgt eine Änderung der Fragmente im Deich -außer  $L_3$ -, siehe Bild 7:

$$L_4 \text{ bis } L_7 = (30 - 6) - 2 : 4 = 5,5 \text{ m}$$

$L_B$  wird um  $L_{Prisma}$  vergrößert:

$$L_B = 10 + 2 = 12 \text{ m}$$

Auswertung:

Bei Darstellung der Druckhöhe im Untergrund sind unbedingt die verschobenen Fragmentgrenzen zu beachten.



## 3.2.1.6. Variante 10

Wie Variante 9, jedoch mit Entlastungsschlitz und weniger durchlässigem Deich.  
Änderungen gegenüber Variante 9

Eingabe:

$$k_D = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

$h_{Gr}$  entspricht der Wasserspiegellage im Entlastungsgraben (siehe Variante 7 und Bild 7).

Die Breite  $b$  des Entlastungsschlitzes wurde mit 0,20 m angenommen.

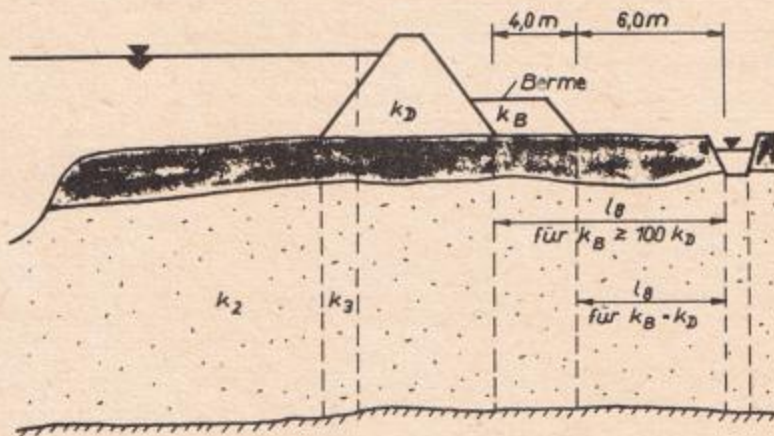
UP3 in Spalte 35

## 3.2.2. Aufgabe 4: Varianten 11 und 12

Homogener Deich oder Damm auf Deckschicht mit luftseitiger Berme -Rekonstruktionstyp-

## 3.2.2.1. Variante 11

Flußdeich nach Bild 9 und WAPRO 3.19./3, Typ R/3" mit  $k_B \geq 100 k_D$



Anmerkung: Alle übrigen Maße wie in Bild.

Bild 9

Änderungen gegenüber Variante 10

Eingabe:

$$- k_D = 1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

- wegen  $k_B > 100 \cdot k_D$  wird die Berme nicht berücksichtigt ( $L_4$  bis  $L_7 = 6 \text{ m}$ ,  $L_8 = 10 \text{ m}$ )

- Graben bindet in den Untergrund ein, damit  $b = 2,0 \text{ m}$ , gemessen in der Fuge Untergrund-Deckschicht

- UP 1 in Spalte 35

## 3.2.2.2. Variante 12

Wie Variante 11, jedoch mit  $k_B \approx k_D$

Änderungen gegenüber Variante 11

Eingabe:

Verbreiterung des Deiches um  $L_B$  ( $L_4$  bis  $L_7 = 7 \text{ m}$ ,  $L_8 = 6 \text{ m}$ )

## 3.2.3. Aufgabe 5: Varianten 13 bis 16

Homogener Damm oder Deich auf dünner Deckschicht ohne und mit Dichtungsteppich.

## 3.2.3.1. Variante 13

Flußdeich nach Bild 7, jedoch mit dünner Deckschicht, und Bild 11 in WAPRO 3.19./2.

Änderungen gegenüber Variante 12

Eingabe:

$$- k_D = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} = k_{\text{Untergrund}}$$

- Deich ohne Fußentwässerung; damit  $L_4$  bis  $L_7 = 6$ ,  $L_8 = 10 \text{ m}$



- Deckschichtdicke  $b' = 0,5$  bis  $1,0$  m
- Grabenbreite  $b = 2,5$  m, gemessen in der Fuge Untergrund - Deckschicht, daher größer als Sohlbreite

Anmerkung: Bei dünnen Deckschichten kommt im allgemeinen nur ein Graben als Entlastungsanlage in Frage.

### 3.2.3.2. Variante 14

Wie Variante 13, jedoch fehlende Deckschicht im Vorland.

Änderungen gegenüber Variante 13

Eingabe:

Fragment II entfällt, daher  $L_2 = 0,1$  m (siehe auch WAPRO 3.19./2, Abschnitt 2.2 und 2.5.1.4.)

### 3.2.3.3. Variante 15

Wie Variante 14, jedoch mit Dichtungsteppich im Vorland

Änderungen gegenüber Variante 14

Eingabe:

Der Dichtungsteppich wird bei fehlender Deckschicht im Vorland dem Fragment II zugeordnet, daher entsprechend dem gewählten Dichtungsteppich  $k_{Tep.} = k_2^I = 1 \cdot 10^{-8}$  m/s,  $L_{Tep.} = L_2 = 20$  m  
 $b_{Tep.} = b_2^I = 0,6$  m

### 3.2.3.4. Variante 16

Damm eines Flachlandspeichers auf dünner Deckschicht mit Dichtungsteppich (siehe Bild 11 in WAPRO 3.19./2)

Änderungen gegenüber Variante 15

Eingabe:

- Der Dichtungsteppich wird Fragment III zugeordnet (siehe auch WAPRO 3.19./2, Abschnitt 2.5.1.3.2.), daher

mit  $b_{Tep.} = 0,3$  m wird  $b_3^I = 0,35$  m

$$k_3^I = k_{Tep.} = 1 \cdot 10^{-25} \text{ m/s}, L_3 = L_{Tep.} + 0,7 r = 26 \text{ m}$$

- $k_D = k_{\text{Deckschicht}} = 1 \cdot 10^{-7}$  m/s

Dichtungsteppiche sind bei Deichen ohne Böschungsdichtung nur sinnvoll, wenn  $k_D \leq k_{\text{Decksch.}}$  ist

- $L_2 = 5 \cdot 10^3$  m nach WAPRO 3.19./2 Abschnitt 2.5.1.1.3.3., da kein Fluß vorhanden (unendliche Vorlandbreite)

### 3.2.4. Aufgabe 6: Varianten 17 bis 20

Homogener Damm oder Deich auf durchlässigem Untergrund bei fehlender Deckschicht

#### 3.2.4.1. Variante 17

Flußdeich nach Bild 10 mit Fußentwässerung (siehe auch WAPRO 3.19./2, Bild 12)

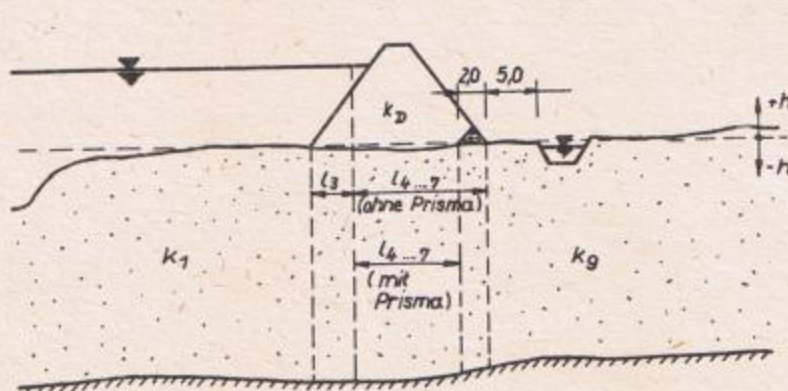


Bild 10



Änderungen gegenüber Variante 16

Eingabe:

- durchlässiger Deich,  $k_D = 1 \cdot 10^{-4}$  m/s
- $b' = 0,1$  m nach WAPRO 3.19./2, Abschnitt 2.2.
- $k' \approx k_{\text{Untergr.}} = 1 \cdot 10^{-4}$  m/s
- $L_2 = L_8 = 0,1$  m nach WAPRO 3.19./2, Abschnitt 2.2.
- $L_3 = 6$  m,  $L_8 = 5,5$  m
- Festlegung:

$h_{Gr} := -0,75$   $h_{Gr} = -0,75$  m, da für den luftseitigen Bereich bei nicht vorhandener Deckschicht nur ein unendlich breiter Graben angenommen werden kann (siehe WAPRO 3.19./2, Abschnitt 2.5.1.4.2.)

- Festlegung  $b_{Pl.} = 2 \cdot M_2 = 30$  m,  $b = 2 \cdot M_8 = 28$  m

Auswertung:

- $q_D$ -Werte sind ca. 20 bis 30 % zu groß, da das angenommene mathematische Modell für diese Variante nicht voll zutreffend ist. (siehe auch Erläuterungen zu WAPRO 3.19.) Um den Fehler einzugrenzen, ist es sinnvoll, den  $k$ -Wert im Deich zu variieren. Außerdem kann die wirkliche Grabenentfernung durch Annahme einer fiktiven Deckschicht zwischen Deich und Graben simuliert werden (siehe Varianten 18 und 19).

### 3.2.4.2. Variante 18

Wie Variante 17, jedoch mit weniger durchlässigem Deich:  $k_D \approx \frac{1}{100} \cdot k_{\text{Untergr.}}$

Änderungen gegenüber Variante 17

Eingabe:

- $k_D = 1 \cdot 10^{-6}$  m/s
- für Fragment III wird eine 1 m dicke Deckschicht mit  $k'_3 = k_D$  angenommen (siehe WAPRO 3.19., Abschnitt 2.5.1.4.3.3.)

### 3.2.4.3. Variante 19

Wie Variante 18, jedoch mit Annahme einer fiktiven undurchlässigen Deckschicht zwischen Deich und Entlastungsgraben, da wegen  $k_{Gr} = -1$  m ein Drängewasseraustritt zwischen Deichfuß und Graben nicht zu erwarten ist.

Änderungen gegenüber Variante 18

Eingabe:

- $k'_8 \rightarrow 0$ , daher  $k'_8 = 1 \cdot 10^{-10}$  m/s
- $L_8 = 10 + 2 = 12$  m (siehe Bild 10)
- $h_{Gr} := h_{Gr} = -1,0$  m

### 3.2.4.4. Variante 20

Wie Variante 19, jedoch mit Dichtungsteppich im Vorland.

Änderungen gegenüber Variante 19

Eingabe:

- der Dichtungsteppich wird im Fragment II realisiert, daher  $L_2 = 20$  m,  $k'_2 = 1 \cdot 10^{-8}$  m/s
- $b'_2 = 0,5$  m
- fiktive dichte Deckschicht im Fragment VIII entfällt, damit  $L_8 = 0,1$  m,  $k'_8 = 1 \cdot 10^{-4}$  m/s
- $h_{Gr} = -0,75$  m (siehe Variante 17)

### 3.2.5. Aufgabe 7: Varianten 21 und 22

Deich oder Damm ohne Deckschicht mit Böschungsdichtung und Dichtungsteppich, mit Entlastungsgraben.

#### 3.2.5.1. Variante 21

Wie Variante 20, jedoch mit durchlässigerem Deich und Böschungsdichtung (siehe WAPRO 3.19./2, Bild 17)

Änderungen gegenüber Variante 20

Eingabe:

- Programm 1 im Tabellenkopf angeben



- $k_D \approx k_{\text{Untergrund}} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$
  - Ausfüllen der Spalten 37 bis 39
- Annahmen für Böschungsdichtung:

$$k_{100} = 1 \cdot 10^{-8}; \text{ mittlere Dicke der Dichtung}$$

$$b'_{100} = 1,0 \text{ m};$$

$L_{100} = 8 \text{ m}$ , mittlere Länge der Böschungsdichtung, gemessen von Oberkante Fragment III bis in Höhe des Außenwasserspiegels.

#### Auswertung:

Die grundsätzliche, gegenüber Programm 0 veränderte Fragmentaufteilung ist aus WAPRO 3.19/2, Bild 5, ersichtlich. Als zusätzlicher Wert wird die Lage der freien Oberfläche an der Unterseite der Dichtung ausgedrückt ( $h_{100}$ ).

#### 3.2.5.2. Variante 22

Wie Variante 21, jedoch mit verkürztem Dichtungsteppich und Dichtungsschicht auf der Deichsohle (siehe auch WAPRO 3.19./2, Bild 18).

Änderungen gegenüber Variante 21

#### Eingabe:

- $L_2 = 10 \text{ m}$
- Die Dichtung auf der Deichsohle wird durch die Deckschicht im Deichbereich --Fragmente XII bis XV- berücksichtigt, damit  $k'_{11 \text{ bis } 15} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$   
 $b'_{11 \text{ bis } 15} = 0,5 \text{ m/s}$

#### 3.2.6. Aufgabe 8: Varianten 23 bis 25

Damm oder Deich auf dünner Deckschicht mit Böschungsdichtung und Dichtungsteppich (siehe auch WAPRO 3.19./2, Bild 16).

#### 3.2.6.1. Variante 23

Damm eines Speichers auf dünner Deckschicht mit Böschungsdichtung ohne Dichtungsteppich mit Fußentwässerung und Entlastungsgraben.

Änderungen gegenüber Variante 22

#### Eingabe:

- Annahme einer Deckschicht mit  $k' = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$  und  $b' = 1,0 \text{ m}$
- $L_2 \rightarrow \infty \Rightarrow L_2 = 5 \cdot 10^3 \text{ m}$  (siehe Variante 16)
- $L_8 = 10 + 2 = 12 \text{ m}$
- $h_{Gr} = -1 \text{ m}$
- $b_{Pl} = 20 \text{ m}$
- $b = 2,5 \text{ m}$  (Grabenbreite wie in Variante 13)

#### 3.2.6.2. Variante 24

Flußdeich als Zweizonendamm mit 50 m Vorlandbreite, ohne Fußentwässerung, sonst wie Variante 23 (siehe auch WAPRO 3.19./3, Typ I/2).

Änderungen gegenüber Variante 23

#### Eingabe:

- $L_2 = 50 \text{ m}$
  - $L_4 \text{ bis } L_7 = 6 \text{ m}$
  - $L_8 = 10 \text{ m}$
  - $k_{100} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$
  - $b'_{100} = 6 \text{ m}$
- } diese Werte repräsentieren die weniger durchlässige Deichzone an der Wasserseite.

#### 3.2.6.3. Variante 25

Flußdeich mit wasserseitiger Foliendichtung, sonst wie Variante 23.

Änderungen gegenüber Variante 24

#### Eingabe:

- $L_4 \text{ bis } L_7 = 5,5 \text{ m}$
- $L_8 = 12 \text{ m}$



- $k_{100} \rightarrow 0 \Rightarrow k_{100} = 1 \cdot 10^{-10}$
- $b_{100} = 1$  m; dieser große Wert wurde gewählt, um eine garantiert dichte Folienabdeckung zu simulieren.
- $L_{100} = 9$  m

### 3.2.7. Aufgabe 9: Varianten 26 bis 28

Damm oder Deich auf dicker Deckschicht mit Böschungsdichtung und mit Entlastungsanlagen

#### 3.2.7.1. Variante 26

Flußdeich nach Bild 7 mit Entlastungsgraben in der Deckschicht, jedoch mit wasserseitiger Böschungsdichtung (vergleiche WAPRO 3.19./2, Bild 13)

Änderungen gegenüber Variante 25

Eingabe:

- Annahme eines größeren Durchlässigkeitsbeiwertes für die Deckschicht ( $k' = 1 \cdot 10^{-5}$  m/s)
- $b' = 3$  m
- keine Fußentwässerung ( $L_4$  bis  $L_7 = 6$  m,  $L_8 = 10$  m)
- eine Berücksichtigung des in der Deckschicht liegenden Entlastungsgrabens erfolgt nicht (siehe auch Variante 6), daher UPO,  $M_{10} = 1$  m,  $b = 0,1$  m,  $h_{Gr} = 0$
- Annahme  $k_{100} = 1 \cdot 10^{-7}$   
 $L_{100} = 8,0$  m  
 $b_{100}^i = 1,0$  m

#### 3.2.7.2. Variante 27

Wie Variante 26, jedoch mit Graben, der die Deckschicht durchstößt

Änderungen gegenüber Variante 26

Eingabe:

- $M_{10} = 14,0$  m
- $h_{Gr} = -1$  m
- $b = 2,0$  m, gemessen in der Fuge Deckschicht - Untergrund
- UP1

#### 3.2.7.3. Variante 28

Damm eines Speichers mit Böschungsdichtung, Dichtungsteppich, Fußentwässerung und Entlastungsbrunnen (vergleiche auch Variante 16)

Änderungen gegenüber Variante 27

Eingabe:

- Zuordnung des Dichtungsteppichs zu Fragment III, daher mit  $k_{Tep.} = 1 \cdot 10^{-5}$  m/s  $\Rightarrow k'_3 = 1 \cdot 10^{-5}$  m/s  
 $L_{Tep.} = 20$  m  $\Rightarrow L_3 = 20 + 6 = 26$  m (siehe WAPRO 3.19./2, Bild 16)  
 $b_{Tep.}^i = 0,5$  m  $\Rightarrow b'_3 = 0,5 + \frac{10^{-5}}{10^{-2}} \cdot 3$  m =  $0,502$  m (nach WAPRO 3.19./2, Gl. (4))
- $L_4$  bis  $L_7 = 5,5$  m ) wegen Fußentlastung
- $L_8 = 12$  m )
- $L_2 \rightarrow \infty \Rightarrow L_2 = 5 \cdot 10^3$  m
- $h_{Br} = -0,9$  m, Höhe des Brunnenkopfes unter Gelände
- $r_0 = 0,1$  m,  $l_0 = 5$  m,  $a = 30$  m
- UP2

#### 3.2.8. Aufgabe 10: Variante 29

Damm auf dicker Deckschicht mit Kerndichtung und Entlastungsbrunnen (siehe WAPRO 3.19./3, Typ I/2''')

Variante 29

Änderungen gegenüber Variante 28

Eingabe:

- Fragment III umfaßt den Bereich vom wasserseitigen Böschungsfuß bis zur luftseitigen Begrenzung der Kerndichtung, (vergleiche WAPRO 3.19./2, Bild 14), daher  $L_3 = 10$  m,  $k'_3 = 1 \cdot 10^{-5}$  m/s  
 $L_4$  bis  $L_7 = 4,5$  m,  $L_8 = 12$  m



## 3.2.9. Aufgabe 11: Varianten 30 und 31

Damm auf geringmächtigem Grundwasserleiter ohne Deckschicht mit Böschungsdichtung und Dichtungsteppich oder Dichtungssporn sowie mit Entlastungsgraben.

## 3.2.9.1. Variante 30

Damm mit 0,5 m dickem Dichtungsteppich ( $k'_{\text{Tepp.}} = 1 \cdot 10^{-7}$  m/s), Tiefenlage des GW-Stauers = 2 m unter Gelände (siehe WAPRO 3.19./2, Bild 17)

Änderungen gegenüber Variante 29

Eingabe:

- $k_2' = k_3' = 1 \cdot 10^{-7}$  m/s
- $L_3 = 6$  m
- $L_4$  bis  $L_7 = 5,5$  m
- $L_8 = 0,1$  m
- $L_2 = 30$  m - angenommene Teppichlänge -
- $b_2' = b_3' = 0,5$  m
- $b_{11}'$  bis  $b_{15}' = b_8' = b_9' = 0,1$  m
- $M_1$  bis  $M_{10} = 2,0$  m
- $h_{\text{Gr}}' = -0,75 H_{\text{Gr}} = -0,75$  m (siehe auch Variante 17)
- $b_{\text{Fl.}} = 4$  m
- UP 1

## 3.2.9.2. Variante 31

Wie Variante 30, jedoch mit Sporn bis zum Stauer (vergleiche WAPRO 3.19./3, Typ III b/2')

Änderungen gegenüber Variante 30

Eingabe:

- Sporn wird durch Fragment III realisiert, daher mit
  - $k_{\text{Sp}} = 1 \cdot 10^{-7} \implies k_3 = 1 \cdot 10^{-7}$  m/s mit
  - $b_{\text{Sp}} = 3,0 \implies L_3 = 3,0$  m
- $L_4$  bis  $L_7 = (28 - 3) : 4 = 6,25$  m
- $L_2 \rightarrow \infty \implies L_2 = 0,1$  m

Hinweise

Die Erläuterungen zu diesem Werkstandard enthalten ausführlichere Darlegungen zu den verschiedenen Typen der Drängewasserströmung, zu den geohydraulischen Grundlagen, zu den Berechnungsverfahren, zur Konstruktion von Damm- und Deichsystemen sowie den erforderlichen Sicherheitsnachweisen. Es sind die Grundgleichungen angegeben und die Lösungswege erläutert.

WAPRO 3.19./1	1.72	Drängewasserströmung bei Deichen und Dämmen, Berechnung, konstruktive Empfehlungen und Nachweise; Grundsätze
WAPRO 3.19./2	1.72	-, -, -; Berechnung der Drängewasserströmung
WAPRO 3.19./3	1.72	-, -, -; Konstruktive Empfehlungen und Sicherheitsnachweise unter Berücksichtigung der Drängewasserströmung

[1] Koordinierungsvereinbarung zwischen dem AfW, dem VEB Geologische Forschung und Erkundung und dem VEB Baugrund Berlin über die Zusammenarbeit auf den Gebieten der ingenieurgeologischen und Baugrunduntersuchungen für die Planung, Projektierung, Bauausführung und Überwachung von Talsperren und wasserwirtschaftlichen Speichern (vom 30.6.1967)

[2] Richtlinie zur rationellen Bearbeitung und Gestaltung der Projektierung, Durchführung und Auswertung hydrogeologischer Untersuchungen zur Bauvorbereitung von Flachlandspeichern des VEB Hydrogeologie Nordhausen vom 19.10.1971